



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

32  
2ej

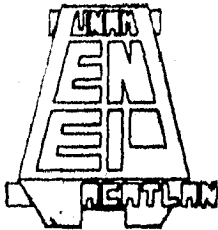
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

ORDENAMIENTO DE LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUAREZ.

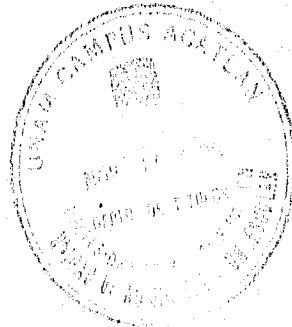
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
CRISTINA SORAIDA RAMOS CORTEZ

ASESOR: M. EN ING. JULIAN ALFREDO BUENO CONTRERAS



MEXICO, D. F.



1996

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**ORDENAMIENTO DE LA DISPOSICION  
FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS  
EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN  
DE JUAREZ**

Ramos Cortez Cristina Soraida

*A mi Mamá, con amor*

*Primeramente Gracias a Dios por permitirme vivir*

*Gracias a mi Madre por darme la vida y presionar hasta lograr que consiguiera terminar este trabajo  
También gracias por confiar en mí, apoyarme y porque siempre estas cuando te necesito.  
Este trabajo le lo debo a ti, es tuyo.*

*A mi Padre por darme una educación y una carrera, y lijar la raíz de lo que soy ahora y de lo que puedo llegar a ser.*

*A mis hermanos Claribel, Argelia, Baltazar e Israel les agradezco el apoyo, la confianza y la fe que tienen hacia mí.*

*A mi tía Luz Marina y a mi tío Jorge por ser como son*

*A los que ya no están y sigo queriendo.*

*Al Ing. Ricardo Estrada Núñez le agradezco todo el apoyo que me brindó para la realización de este trabajo.  
Gracias también por enseñarme todo lo que se y por ser el mejor de los jefes y un gran amigo.*

*A la Coordinación de Informática porque sin ellos no lo hubiera logrado, especialmente a Angelina y Abigail por el desmedido entusiasmo con que me ayudaron.*

*A ti mi amor porque me has hecho crecer como mujer y como ser humano, eres un gran hombre y el gran amor de mi vida. Te amo.*

*A los sinodales asignados para revisar esta tesis les agradezco su disponibilidad y apoyo.*

*A las personas que no pude mencionar aquí porque utilizaría toda la tesis, a mis maestros, parientes, compañeros y amigos no tengo otra cosa más que decir que Gracias a todos.*

## CONTENIDO

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS PARTICULARES

INTRODUCCION

<b>1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA LOCALIDAD</b> .....	<b>1</b>
1.1 Características geográficas .....	1
1.2 Climatología .....	1
1.3 Orografía .....	1
1.4 Estructura urbana .....	2
<b>2. SITUACION ACTUAL DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS</b> .....	<b>4</b>
2.1 Problemática de la disposición final .....	4
2.2 Indicadores de contaminación .....	11
<b>3. CLAUSURA DEL TIRADERO A CIELO ABIERTO NAUCALPAN</b> .....	<b>15</b>
3.1 Resumen de estudios básicos realizados .....	15
3.2 Clausura y saneamiento .....	20
3.3 Obras complementarias .....	21
3.4 Programa de monitoreo ambiental propuesto para el seguimiento de la estabilización del sitio. ....	23
<b>4. RELLENO SANITARIO NAUCALPAN</b> .....	<b>27</b>
4.1 Ubicación del relleno sanitario Naucalpan .....	28
4.2 Estudios básicos realizados .....	59
4.3 Diagnóstico ambiental .....	70
4.4 Impacto vial .....	72

5.	CALCULO DEL GRADO DE CONTAMINANTES QUE SE GENERAN EN EL RELLENO SANITARIO .....	73
5.1	Generación de lixiviado .....	73
5.2	Generación de biogás .....	90
6.	CONFIGURACION DEL PROYECTO DEL RELLENO SANITARIO .....	143
6.1	Características de los residuos, áreas y volúmenes del sitio .....	143
6.2	Vida útil del sitio .....	144
6.3	Diseño del área disponible .....	144
6.4	Obras de apoyo .....	182
7.	OPERACION .....	187
7.1	Preparación del sitio .....	187
7.2	Administración .....	188
7.3	Control de afectaciones .....	196
7.4	Manual de operación .....	200
7.5	Clausura del sitio .....	207
7.6	Gerenciamiento .....	208
8.	MONITOREO DEL SITIO .....	217
8.1	Monitoreo de lixiviado .....	217
8.2	Monitoreo del acuífero .....	222
8.3	Monitoreo de biogás .....	227
8.4	Monitoreo post-clausura .....	231
8.5	Operación de monitoreo .....	231

**BIBLIOGRAFIA**

- ANEXO I MEMORIA DE CALCULO DE LAS MATRICES DE PAGOS Y APLICACION DE METODO SIMPLEX**
- ANEXO II PLANOS**

**OBJETIVO GENERAL**

---



## **OBJETIVO GENERAL**

Las acciones requeridas para mejorar las inadecuadas prácticas que actualmente se emplean en el Municipio de Naucalpan de Juárez, para llevar a cabo la disposición final de los residuos sólidos que se generan por las diversas actividades habitacionales, productivas y de servicios que se registran en dicha demarcación; deben circunscribirse dentro de un marco de referencia que permita la factibilidad de su planeación e instrumentación, con el fin de prevenir la contaminación ambiental, evitar el deterioro de la salud pública y disminuir el impacto a las actividades urbanas, debido al empleo de tales prácticas; con el profundo sentido de productividad, que se traduzca en una eficiente, oportuna y precisa aplicación de soluciones adecuadas, que den por resultado la eliminación de los desequilibrios antes mencionados a través de la aplicación de los métodos de ingeniería y las prácticas operativas que aseguren un manejo eficiente y seguro de los residuos sólidos.

Es por ello que se elaboró el presente documento, el cual integra las premisas y parámetros de diseño, los estudios básicos, los diagnósticos y estudios de riesgo ambiental, así como los proyectos y propuestas de trabajo, que avalan y soportan la viabilidad de llevar a cabo acciones tendientes a mejorar el actual sistema de disposición final de los residuos sólidos generados en el Municipio de Naucalpan de Juárez y, por consiguiente, evitar las implicaciones ambientales y el deterioro a la salud pública que actualmente alcanzan niveles altamente críticos.

**OBJETIVOS PARTICULARES**

---

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

### **Capítulo 1. Características generales de la localidad**

El objetivo de este capítulo es ubicar geográficamente el municipio de Naucalpan de Juárez, describiendo sus datos generales como son: climatología, orografía, así como la distribución del uso de suelo.

### **Capítulo 2. Situación actual de la disposición final de residuos sólidos**

Realizar una descripción de la problemática que sufre el municipio de Naucalpan en materia de disposición final, ilustrando las alteraciones al entorno y a la comunidad originadas por la inexistencia de infraestructura para la realización de esta actividad. Además se realiza una valoración del potencial de contaminación que pueden originar los residuos sólidos.

### **Capítulo 3. Clausura del tiradero a cielo abierto Naucalpan**

Una de las primeras acciones requeridas para realizar el ordenamiento de la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Naucalpan es la clausura del tiradero a cielo abierto Rincón Verde, este capítulo tiene por objetivo la descripción de las acciones requeridas para la clausura del sitio, como son los estudios básicos, el saneamiento del sitio, las obras complementarias, etc.

### **Capítulo 4. Relleno Sanitario Naucalpan**

Definir por métodos matemáticos, la región factible, localizando el sitio más adecuado para la ubicación del relleno sanitario. Describir los estudios básicos requeridos para la implementación de un relleno sanitario como son el impacto ambiental y vial que originará la construcción de una obra como ésta.

### **Capítulo 5. Cálculo del grado de contaminantes que se generan en el relleno sanitario**

Determinar en base al balance de agua y modelos matemáticos los volúmenes de lixiviado y de biogás que se generarán en el relleno sanitario de Naucalpan.

### **Capítulo 6. Configuración del proyecto relleno sanitario**

Diseño de los parámetros que constituyen la conformación del relleno sanitario, definir áreas y volúmenes, determinar la vida útil y las etapas en que se realizará la construcción del relleno sanitario.

Por otra parte se diseñarán las estructuras de apoyo que se requieren para la operación del relleno sanitario.

#### **Capítulo 7. Operación**

Descripción de la operación del relleno sanitario, la administración de los materiales y equipo, la manera en que se realizará el control de las afectaciones. Describir además, al personal requerido para la operación del relleno así como sus actividades específicas.

#### **Capítulo 8. Monitoreo del Sitio**

Describir las acciones requeridas para llevar a cabo un programa de monitoreo ambiental en el sitio, la infraestructura y las medidas de mitigación para las afectaciones.

## INTRODUCCION

---

## INTRODUCCION

El acelerado crecimiento poblacional que a últimas fechas ha experimentado la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) ha generado una alta demanda de servicios, de entre los cuales destacan por su complejidad y por la escasa atención que normalmente se les ha brindado los servicios de aseo urbano, cuyos aspectos más críticos y de mayor relevancia son los que se refieren a la disposición final de los residuos sólidos, debido a la relación tan directa que guardan con la afectación al ambiente y a la salud pública. Esta situación ha propiciado entre otras cosas, los siguientes desequilibrios:

- Contaminación del suelo, aire y agua
- Riesgo a la salud pública
- Alteraciones de la ecología regional
- Incendios recurrentes
- Afectación de la vialidad primaria de la zona
- Queja pública permanente y descontento de la población

Esta serie de alteraciones han agravado aún más el conflicto ambiental que vive toda la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, por el deterioro atmosférico que año con año en invierno, época de inversiones térmicas diarias, vive sus periodos más álgidos.

Por lo anterior, es urgente la necesidad de realizar un ordenamiento integral en los servicios de aseo urbano, para prevenir la contaminación ambiental y preservar la salud pública, con el fin de elevar la calidad de los servicios en aras de propiciar mejores condiciones de vida a los habitantes de ésta metrópoli tan grande. El punto de arranque de este ordenamiento, es sin duda alguna la etapa de disposición final, ya que por ser la etapa terminal para cualquier esquema de manejo de residuos sólidos, requiere ser atendida antes que cualquier otra, para posibilitar el mejoramiento de las etapas restantes; ya que no es factible realizar el ordenamiento del proceso global para el manejo de los residuos sólidos de manera integral y programada, iniciando acciones en las etapas intermedias puesto que la influencia de ellas dentro de dicho proceso, es tan solo limitada, mientras que la disposición final tiene un impacto mucho más amplio sobre el mencionado proceso.

## **1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA LOCALIDAD**

---

## **1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA LOCALIDAD**

### **1.1 Características geográficas**

El Municipio de Naucalpan de Juárez se encuentra ubicado en la porción oriental del Estado de México y al Noroeste del Distrito Federal. Su altura promedio con respecto al nivel del mar es de 2,650 m.; tiene una superficie de 19,661 Ha. y ocupa el cuarto lugar de los 17 Municipios de la zona conurbada del Estado de México. La cabecera municipal se localiza a 99° 23' 11" de longitud oeste y 19° 32' 08" de latitud norte.

Limita al norte con los Municipios de Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla, al sur con Huixquilucan, al este con el Distrito Federal y al oeste con Jilotzingo.

### **1.2 Climatología**

El clima en la zona de estudio es del tipo templado, C(w) (w) según la clasificación de KÖPPEN. La precipitación media máxima mensual se presenta en los meses de junio a agosto y es de aproximadamente 130 mm., la temporada de lluvias es de mayo a septiembre. La temperatura media mínima que es de 11°C, se presenta durante diciembre y enero; y la temperatura media máxima, de 17°C en el mes de mayo.

Así, la precipitación media anual oscila entre los 600 mm. y 800 mm., y la temperatura media anual es de 12 a 16°C.

### **1.3 Orografía**

Morfológicamente el Municipio presenta un plano inclinado que culmina con la cadena montañosa de Monte Alto, la cual se separa del Valle de Toluca; la zona occidental es la que posee la mayor parte de las elevaciones en sus límites con Jilotzingo, principalmente La Malinche, que cuenta con una altura aproximada de 3,450 m.; siguen a ésta otras elevaciones como La Cantera, La Palma, El Gerrito, etc., sobre todo en las partes superiores de los cerros expuestos al viento.



#### 1.4 Estructura urbana

De acuerdo con el uso potencial y actual del suelo, el territorio de Naucalpan se clasifica en dos grandes áreas: la primera, llamada área urbanizable, cubre una superficie de 7,190 Ha. y equivalen a 37 % del territorio del municipio. La segunda que es la no urbanizable, consta de 12,471 Ha., y constituye el restante 63 % del territorio municipal.

#### USO DEL SUELO DEL MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUAREZ

USOS DEL SUELO	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE TOTAL (%)
Urbano	7,190.00	37.0
Habitacional	2,687.35	14.0
Industrial	333.30	2.0
Equipamiento, servicios y comercio	203.00	1.0
Infraestructura y equipamiento especial	444.20	2.3
Vialidad	1,268.38	6.4
Parques urbanos y metropolitanos	407.52	2.0
Áreas aptas al desarrollo urbano	851.50	4.3
Áreas no aptas al desarrollo urbano	791.90	4.0
Cuerpos de agua	202.85	1.0
No urbano	12,471.00	63
Total municipal	19,661.00	100.00

FUENTE: PLAN DEL CENTRO DE POBLACION ESTRATEGICO DEL MUNICIPIO

TABLA No. 1.4.1

Naucalpan respecto al Sistema de Transporte Urbano Valle Cuautitlán-Texcoco y el Distrito Federal, origina excesivos viajes para la estructura vial y el transporte en el centro de la población. El área urbana se ha conformado mediante el aumento irracional de fraccionamientos y asentamientos irregulares, sin ofrecer continuidad a las vialidades ni a la estructura vial secundaria; las rutas y los

precios del transporte público en autobuses y colectivos no tienen el control adecuado ni la coordinación entre ellos, de lo cual se deriva que el transporte colectivo y privado no satisfaga las necesidades de los usuarios, en consecuencia, éstos invierten gran cantidad de horas y dinero en el servicio actual, en detrimento de su economía y bienestar social.

**2. SITUACION ACTUAL DE LA DISPOSICION FINAL  
DE RESIDUOS SOLIDOS**

---

## 2. SITUACION ACTUAL DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS

### 2.1 Problemática de la disposición final

El sitio de disposición final de los residuos sólidos generados en el Municipio de Naucalpan de Juárez, es un tiradero a cielo abierto que presenta una grave problemática ambiental, el cual es operado por el H. Ayuntamiento, ocupando una superficie aproximada de 30 Ha. (Ver fotografía No. 2.1.1).

En el sitio se detectaron alrededor de 300 pepenadores, y unas 80 casas en estado deplorable, estimándose que un 80% de los pepenadores viven en el lugar en condiciones de insalubridad (Ver fotografía No. 2.1.2).

Durante la operación del tiradero, los vehículos recolectores que ingresan al sitio, son registrados en la caseta de control, de donde pasan a los frentes de trabajo y depositan su carga en el suelo para que los pepenadores puedan llevar a cabo la separación de los materiales reciclables (pepena). Una vez que estos grupos han concluido su labor, los residuos sólidos restantes, son esparcidos y acomodados con un tractor D-155 propiedad del Municipio, mismo que se emplea periódicamente para cubrir los residuos sólidos con tierra. Los subproductos que son recuperados principalmente son el vidrio, el cartón, los metales y el plástico rígido; los cuales son comercializados por los pepenadores a través de sus líderes.

Esta situación genera una serie de desequilibrios sobre el entorno urbano, de entre los cuales los más importantes se mencionan a continuación:

- Permanente deterioro ambiental
- Afectación de la salud pública
- Impacto a las actividades urbanas

En relación con el deterioro ambiental generado por las prácticas antes descritas, se debe mencionar que los taludes del sitio son altamente inestables (Ver fotografía No. 2.1.3), lo que se agrava al fluir a través de ellos gran cantidad de líquidos percolados con cargas contaminantes importantes y que, en gran parte, son acumulados en una laguna sin control (Ver fotografía No. 2.1.4).



FOTO 2.1.1. PANORAMICA DEL TIRADERO DE "RINCON VERDE"



FOTO 2.1.2 CONDICIONES DE VIDA DE LOS PEPENADORES  
DEL TIRADERO DE "RINCON VERDE"



FOTO 2.1.3 TALUDES DE BASURA POCO ESTABLES



FOTO 2.1.4 "ACUMULACION DE LIXIVIADOS AL PIE DE TALUDES

Dicha inestabilidad de los taludes ha provocado agrietamientos de cierta magnitud, por lo que existe un permanente escape de biogás que se manifiesta también a través de paquetes de residuos sólidos poco compactados. Todo lo anterior, genera que en muchos puntos del sitio se estén presentando importantes emanaciones de biogás.

Por otro lado, es de resaltar que en el sitio son dispuestos residuos sólidos de tipo industrial, en una zona especialmente destinada para ello. No se lleva ningún control sobre las características físico-químicas de este tipo de residuos, por lo que es bastante factible el que se estén disponiendo ciertos tipos de materiales peligrosos o potencialmente peligrosos (Ver fotografías Nos. 2.1.5 y 2.1.6).

Esta situación no solamente genera un fuerte deterioro ambiental, sino que también trae consigo una grave afectación de la salud pública, tanto de los propios pepenadores como de la población circundante al sitio; sobre todo si se considera que al tiradero ingresan residuos hospitalarios conteniendo desechos patológicos altamente infecciosos (Ver fotografía No. 2.1.7), los cuales también son sometidos a las actividades de pepena, como se muestra en la fotografía No. 2.1.8.

En cuanto al impacto a las actividades urbanas que genera la disposición actual de residuos sólidos en el tiradero de "Rincón Verde", se debe comentar que la Av. San Mateo Nopala presenta severos problemas de tránsito, por la circulación de los vehículos recolectores, como se muestra en la fotografía No. 2.1.9, los cuales se hacen más críticos en épocas de lluvias, dando por resultado que la carpeta asfáltica y demás elementos viales se vean gravemente afectados, como se observa en la fotografía No. 2.1.10. Lo anterior propicia que los niveles de contaminación por emisiones de gases producto de la combustión en automotores se vean incrementados en toda la Av. San Mateo Nopala, afectando las actividades propias de la población circundante, deteriorando su salud y afectando su calidad de vida.

Existen además, importantes riesgos hacia la población que tiene relación directa con la falta de planeación ingenieril que un sitio de disposición final requiere, para evitar los daños al medio ambiente y al entorno urbano.



FOTO 2.1.5. TIRO DE RESIDUOS INDUSTRIALES



FOTO 2.1.6 FRENTE DE TIRO DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y HOSPITALARIOS



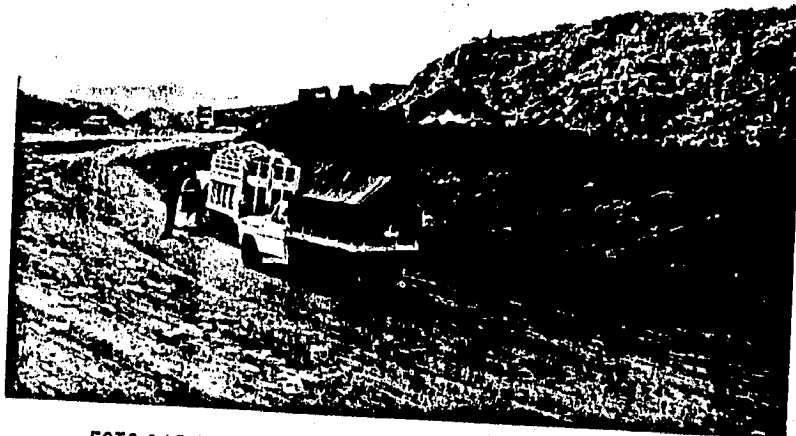


FOTO 2.1.7. INGRESO AL TIRADERO DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

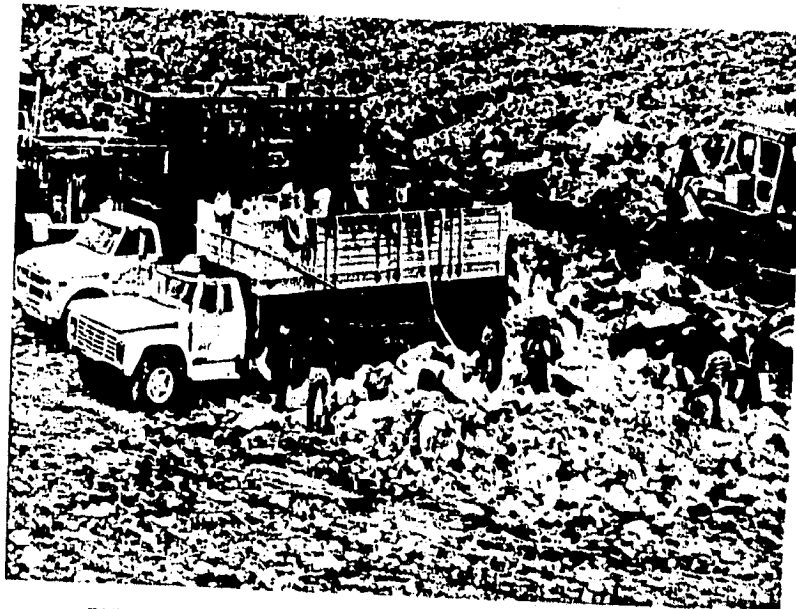


FOTO 2.1.8 PEPENA DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y HOSPITALARIOS



FOTO 2.1.9. PROBLEMAS VIALES EN LA AV. SAN MATEO NOPALA,  
CAUSADOS POR EL TRANSITO DE VEHICULOS RECOLECTORES



FOTO 2.1.10. DETERIORO DE LA CARPETA ASFALTICA  
EN LA AV. SAN MATEO NOPALA

Un importante riesgo es el potencial explosivo del sitio por las emanaciones de biogás sin control, así como la posibilidad de que se presenten incendios en la época de sequía, que pueden afectar a todos los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, como ha sucedido recientemente en algunos tiraderos a cielo abierto, ubicados en la zona conurbada del Estado de México con el Distrito Federal.

Por otro lado, el tener 30 Ha. de residuos sólidos expuestas y sin control, permite el paso de las aguas de lluvia a través de los estratos de desechos incrementándose los volúmenes de lixiviados, constituyendo una fuente de emisión de partículas, olores y microorganismos a la atmósfera, generando un impacto que puede llegar a afectar la salud de los pepenadores y de los habitantes de las colonias circunvecinas, ya que los líquidos percolados escurren libremente por el cauce del Río San Mateo, degradándolo de manera importante.

Otro riesgo importante originado por los paquetes de residuos sólidos que se hallan sobre la ladera de la carretera a Jilotzingo, son los fracturamientos de los materiales que la componen, constituyendo un peligro permanente para los vehículos y vecinos del lugar que por ahí transitan, dado que ya se han presentado desprendimientos sobre la vialidad mencionada.

Finalmente, es preciso resaltar que se detectaron fisuras sobre los taludes, que en algunos casos, presentan continuidad sobre las plataformas a través de las cuales hay escapes de biogás y lixiviados, propiciando con ello asentamientos diferenciales en algunas zonas del tiradero, que son precursores de potenciales deslizamientos.

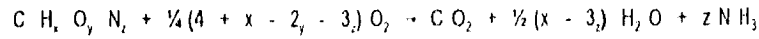
## **2.2 Indicadores de contaminación**

Generalmente, la contaminación debida a los residuos sólidos generados por la población, no se valora en toda su magnitud con respecto a otras fuentes de contaminación.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), requerida para la estabilización de la materia orgánica presente en los desechos contaminantes de todo tipo, es comúnmente aceptada como el indicador más importante de contaminación.

Para relacionar este indicador con la generación de residuos sólidos, es necesario efectuar el cálculo del oxígeno necesario para oxidar aeróbicamente la materia orgánica presente en los mismos.

La oxidación aeróbica de los residuos sólidos, está dada por la siguiente reacción estequiométrica:



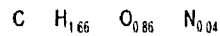
Para obtener, los coeficientes de esta expresión, se considerarán los siguientes porcentajes en peso promedio, encontrados a partir de los diversos análisis de los residuos.

C : 43 %      H : 5.96 %      O : 49.09 %      N : 1.94 %

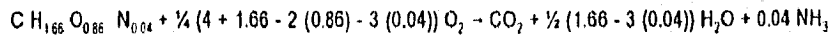
La fórmula mínima derivada de estos porcentajes, se define como sigue:

ELEMENTO	%	% / P. ATOM	RESULTADOS
C	43	43/12	3.59
H	5.96	5.96/1	5.96
O	49.09	49.09/16	3.07
N	1.94	1.94/14	0.14

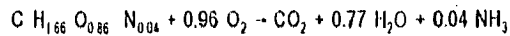
Por tanto la fórmula mínima tomando al carbono como base, será:



Sustituyendo en la expresión anterior se tendrá:



Por tanto:



De esta relación, resulta lo siguiente:

- Oxígeno requerido para la oxidación de los residuos:

$$\frac{0.96 \text{ O}_2}{\text{C H}_{1.66} \text{ O}_{0.86} \text{ N}_{0.04}} = \frac{0.96 \times 32}{(12) + (1 \times 1.66) + (16 \times 0.86) + (14 \times 0.04)} = \frac{30.72}{27.98} = 1.10$$

Es decir, se tiene una Demanda Bioquímica de Oxígeno de alrededor de 1.1 gr. para oxidar 1 gr. de residuos sólidos.

Para darnos una idea del potencial contaminante que lo anterior representa, estableceremos una comparación entre la contaminación producida diariamente por una persona debida a sus generaciones de residuos sólidos y líquidos.

a) Contaminación diaria por habitante y por día debido a su generación de residuos sólidos.

A partir de una generación unitaria de 1 kg/hab-día y un contenido de materia orgánica del 48%, se tiene:

$$\text{DBO} = \frac{1,000 \text{ gr-res.sol}}{\text{hab.-día}} \times 0.48 \times 1.10 = \frac{\text{gr O}_2}{\text{gr.-res. sol}}$$

$$\text{DBO} = 528 \frac{\text{gr O}_2}{\text{hab.-día}}$$

b) Contaminación diaria por habitante y por día debido a su generación de residuos líquidos.

A partir de una aportación de aguas residuales de 300 l/hab-día y un valor típico de 300 mg/l para la DBO de las aguas residuales municipales, se tiene:

$$\text{DBO} = 300 \text{ l/hab-día} \times 0.3 \text{ gr O}_2/\text{l}$$

$$\text{DBO} = 90 \frac{\text{gr O}_2}{\text{hab.-día}}$$

Puede entonces observarse que cada persona contamina aproximadamente 6 veces más por sus residuos sólidos que por sus residuos líquidos; lo anterior significa hipotéticamente que la disposición de 1,000 toneladas de residuos sólidos generada por una población de 1'000,000 de habitantes, en tiraderos a cielo abierto, equivale en cuanto a su afectación al ambiente, a disponer en el entorno sin ningún control 1'800,000 m<sup>3</sup> de aguas negras municipales generadas por 6'000,000 de habitantes.

**3. CLAUSURA DEL TIRADERO A CIELO  
ABIERTO NAUCALPAN**

---

### **3. CLAUSURA DEL TIRADERO A CIELO ABIERTO NAUCALPAN**

Para el ordenamiento de la disposición final de los residuos sólidos generados en el Municipio de Naucalpan de Juárez, se requiere efectuar de manera programada y secuencial tanto el cierre del actual tiradero de Rincón Verde, como la construcción de un relleno sanitario que contemple todas las obras y acciones que aseguren la preservación del entorno ambiental del sitio que se seleccione para ello.

Es evidente que estas acciones están encaminadas a evitar que la disposición inadecuada de los residuos sólidos en el municipio de Naucalpan de Juárez, sigan dañando los ecosistemas, además de proteger no sólo la salud pública de la población, sino también el bienestar de la misma.

Para lograr lo anterior, es de suma importancia ordenar las prácticas que para el manejo de los residuos sólidos se emplean actualmente en el Municipio de Naucalpan, iniciando este ordenamiento con el mejoramiento de la disposición final de los residuos sólidos, para evitar tanto el deterioro ambiental como la afectación de la salud pública, a fin de coadyuvar a disminuir las alteraciones de las actividades urbanas que se han venido deteriorando por la inadecuada disposición de los residuos que se efectúa en la zona. De igual manera, es necesario establecer métodos y criterios adecuados que sirvan de base al proceso de solución de tales problemas, por lo que para el caso que nos ocupa se propone la clausura y saneamiento del tiradero a cielo abierto Rincon Verde.

#### **3.1 Resumen de estudios básicos realizados**

En estos estudios se incluyen la topografía, la geofísica y el estudio de riesgo ambiental de la zona, con el objetivo de contar con la información necesaria para efectuar los proyectos de clausura y saneamiento, así como de las obras complementarias que se requieren para el cierre del tiradero, los cuales se describen a detalle en los incisos subsecuentes.

El estudio topográfico consistió en el levantamiento de:

- Una poligonal cerrada delimitadora de la superficie total que ocupa el tiradero, incluyendo su conexión con el costado derecho de la carretera San Mateo Nopala.



- La altimetría con curvas de nivel determinada a cada metro.
- Un corte longitudinal y 40 cortes transversales espaciados a cada 20 metros sobre dicho corte longitudinal.

La prospección geofísica se efectuó a través del método geoelectrico de alta densidad de medidas B-63, el cual consiste en implantar en el terreno en forma lineal, un grupo o dispositivo de 11 electrodos de tensión, separados a 10 m. entre sí, por donde se mide la diferencia de potencial entre cada par, a diferentes profundidades previamente programadas; dicho potencial corresponde a un campo eléctrico artificial enviado al subsuelo por medio de un conmutador de corriente continua, en este caso la profundidad de investigación osciló entre los 105 y 110 m.

Con relación a las características de la zona en estudio, se situaron 3 perfiles formados con 15 dispositivos como se puede ver en la figura No. 3.1.1.

Los resultados de esta prospección geofísica se presenta en los 3 perfiles isoresistivos contenidos en la figura No. 3.1.2.

Con relación al estudio de riesgo ambiental, es importante mencionar que fue realizado con el fin de precisar el impacto y afectaciones que el sitio de disposición final de residuos sólidos del Municipio de Naucalpan, genera sobre el entorno de la zona. Esto resulta de vital importancia, ya que a partir del diagnóstico de las prácticas que se emplean en dicho sitio, fue posible establecer las recomendaciones, acciones y obras necesarias, para que la clausura y saneamiento se lleven a cabo en forma adecuada y bajo el criterio de prevenir y vigilar las afectaciones que el sitio clausurado pueda generar durante el periodo que dure su proceso de estabilización final.

En este estudio se definieron como impactantes al ambiente, los siguientes:

- Biogás
- Lixiviados

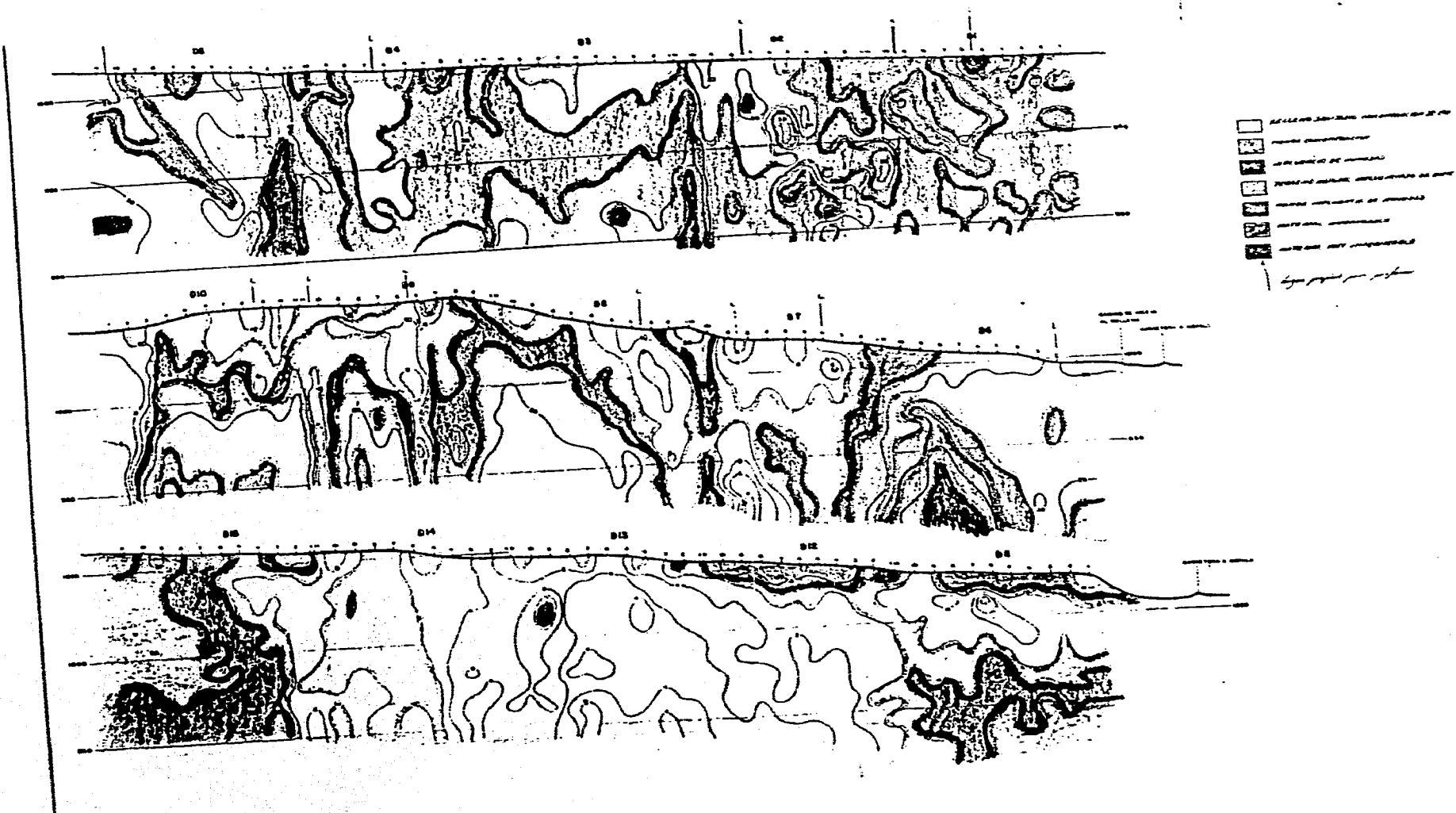


FIGURA No. 3.1.2

PLAN DE UBICACION DE LAS MEDIDAS GEOPISICAS

NO. DE MEDIDA	COORDENADAS UTM	PROFUNDIDAD (M)	TIPO DE MEDIDA
1	498000 1000000	10	TEMPERATURA
2	498000 1000000	20	TEMPERATURA
3	498000 1000000	30	TEMPERATURA
4	498000 1000000	40	TEMPERATURA
5	498000 1000000	50	TEMPERATURA
6	498000 1000000	60	TEMPERATURA
7	498000 1000000	70	TEMPERATURA
8	498000 1000000	80	TEMPERATURA
9	498000 1000000	90	TEMPERATURA
10	498000 1000000	100	TEMPERATURA
11	498000 1000000	110	TEMPERATURA
12	498000 1000000	120	TEMPERATURA
13	498000 1000000	130	TEMPERATURA
14	498000 1000000	140	TEMPERATURA
15	498000 1000000	150	TEMPERATURA
16	498000 1000000	160	TEMPERATURA
17	498000 1000000	170	TEMPERATURA
18	498000 1000000	180	TEMPERATURA
19	498000 1000000	190	TEMPERATURA
20	498000 1000000	200	TEMPERATURA
21	498000 1000000	210	TEMPERATURA
22	498000 1000000	220	TEMPERATURA
23	498000 1000000	230	TEMPERATURA
24	498000 1000000	240	TEMPERATURA
25	498000 1000000	250	TEMPERATURA
26	498000 1000000	260	TEMPERATURA
27	498000 1000000	270	TEMPERATURA
28	498000 1000000	280	TEMPERATURA
29	498000 1000000	290	TEMPERATURA
30	498000 1000000	300	TEMPERATURA
31	498000 1000000	310	TEMPERATURA
32	498000 1000000	320	TEMPERATURA
33	498000 1000000	330	TEMPERATURA
34	498000 1000000	340	TEMPERATURA
35	498000 1000000	350	TEMPERATURA
36	498000 1000000	360	TEMPERATURA
37	498000 1000000	370	TEMPERATURA
38	498000 1000000	380	TEMPERATURA
39	498000 1000000	390	TEMPERATURA
40	498000 1000000	400	TEMPERATURA
41	498000 1000000	410	TEMPERATURA
42	498000 1000000	420	TEMPERATURA
43	498000 1000000	430	TEMPERATURA
44	498000 1000000	440	TEMPERATURA
45	498000 1000000	450	TEMPERATURA
46	498000 1000000	460	TEMPERATURA
47	498000 1000000	470	TEMPERATURA
48	498000 1000000	480	TEMPERATURA
49	498000 1000000	490	TEMPERATURA
50	498000 1000000	500	TEMPERATURA
51	498000 1000000	510	TEMPERATURA
52	498000 1000000	520	TEMPERATURA
53	498000 1000000	530	TEMPERATURA
54	498000 1000000	540	TEMPERATURA
55	498000 1000000	550	TEMPERATURA
56	498000 1000000	560	TEMPERATURA
57	498000 1000000	570	TEMPERATURA
58	498000 1000000	580	TEMPERATURA
59	498000 1000000	590	TEMPERATURA
60	498000 1000000	600	TEMPERATURA
61	498000 1000000	610	TEMPERATURA
62	498000 1000000	620	TEMPERATURA
63	498000 1000000	630	TEMPERATURA
64	498000 1000000	640	TEMPERATURA
65	498000 1000000	650	TEMPERATURA
66	498000 1000000	660	TEMPERATURA
67	498000 1000000	670	TEMPERATURA
68	498000 1000000	680	TEMPERATURA
69	498000 1000000	690	TEMPERATURA
70	498000 1000000	700	TEMPERATURA
71	498000 1000000	710	TEMPERATURA
72	498000 1000000	720	TEMPERATURA
73	498000 1000000	730	TEMPERATURA
74	498000 1000000	740	TEMPERATURA
75	498000 1000000	750	TEMPERATURA
76	498000 1000000	760	TEMPERATURA
77	498000 1000000	770	TEMPERATURA
78	498000 1000000	780	TEMPERATURA
79	498000 1000000	790	TEMPERATURA
80	498000 1000000	800	TEMPERATURA
81	498000 1000000	810	TEMPERATURA
82	498000 1000000	820	TEMPERATURA
83	498000 1000000	830	TEMPERATURA
84	498000 1000000	840	TEMPERATURA
85	498000 1000000	850	TEMPERATURA
86	498000 1000000	860	TEMPERATURA
87	498000 1000000	870	TEMPERATURA
88	498000 1000000	880	TEMPERATURA
89	498000 1000000	890	TEMPERATURA
90	498000 1000000	900	TEMPERATURA
91	498000 1000000	910	TEMPERATURA
92	498000 1000000	920	TEMPERATURA
93	498000 1000000	930	TEMPERATURA
94	498000 1000000	940	TEMPERATURA
95	498000 1000000	950	TEMPERATURA
96	498000 1000000	960	TEMPERATURA
97	498000 1000000	970	TEMPERATURA
98	498000 1000000	980	TEMPERATURA
99	498000 1000000	990	TEMPERATURA
100	498000 1000000	1000	TEMPERATURA

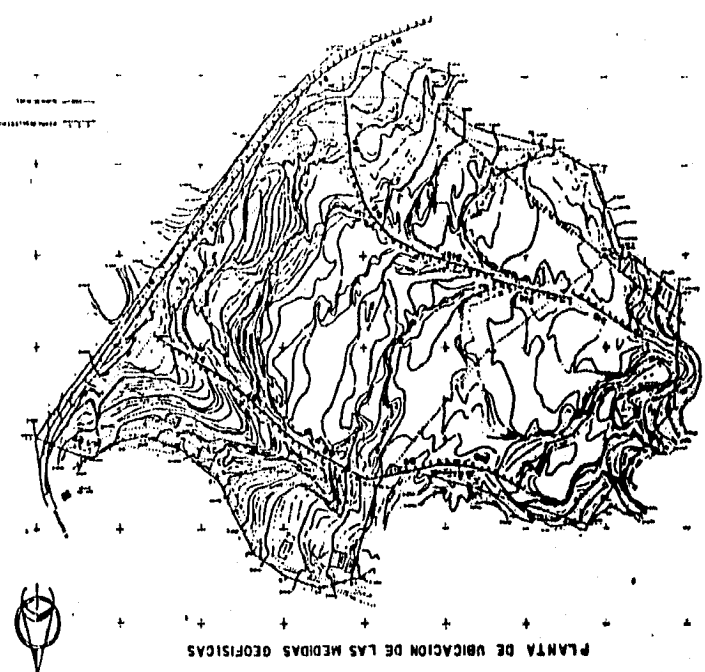


FIGURA No. 3.1.1

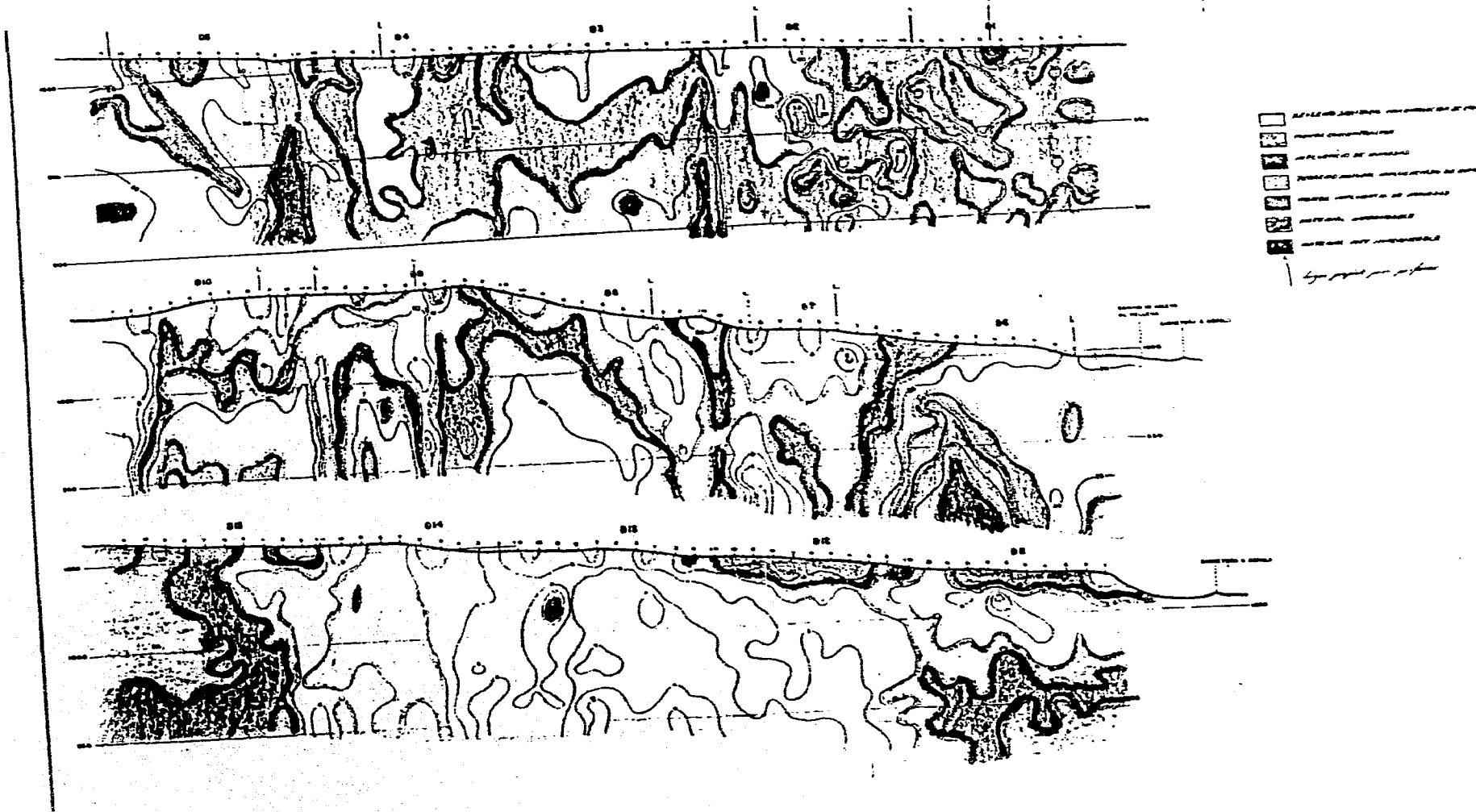


FIGURA No. 3.1.2

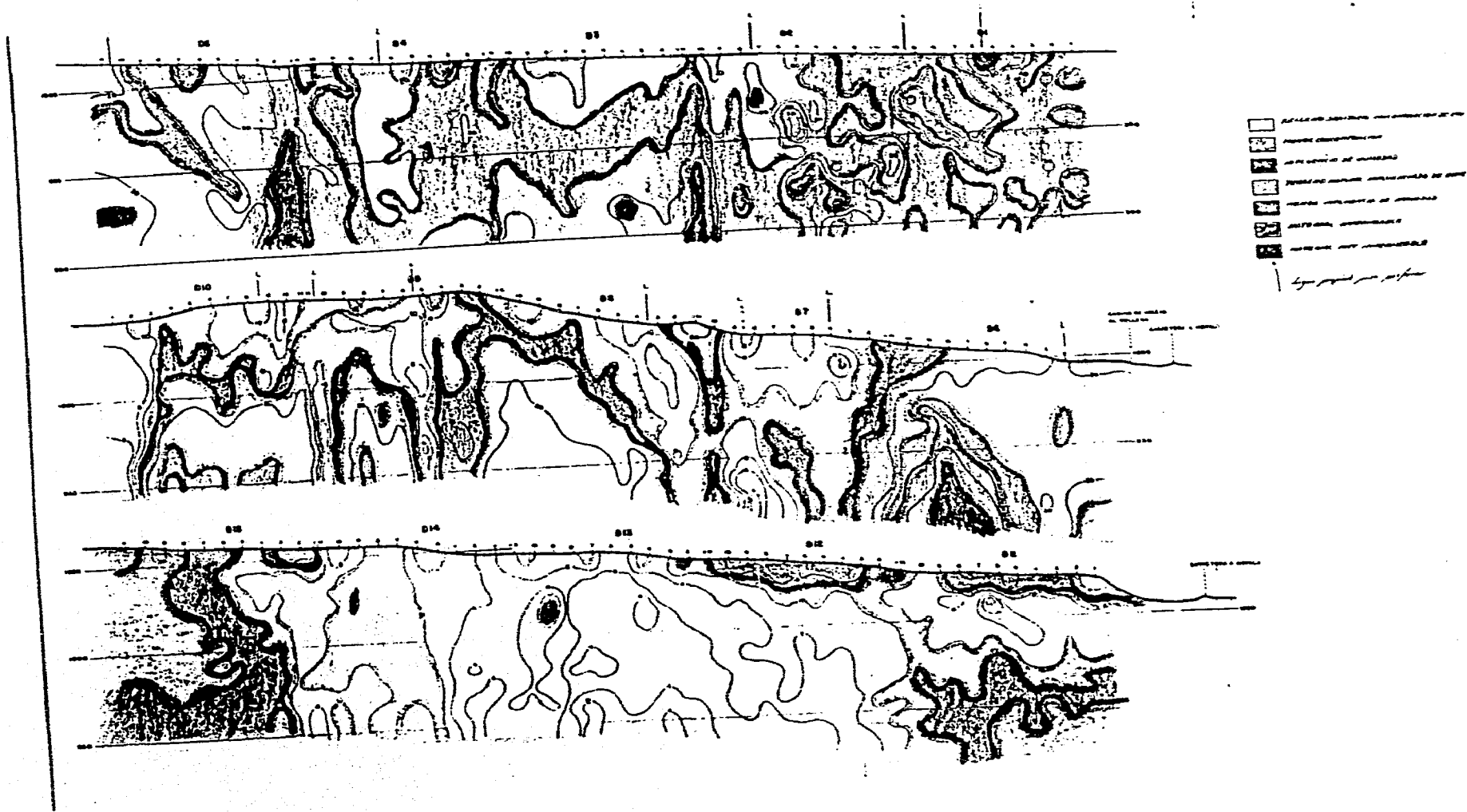


FIGURA No. 3.1.2

- Ruido
- Olor
- Fauna nociva
- Disposición de residuos hospitalarios e industriales
- Selección de subproductos

Se efectuarán análisis de laboratorio y registros de aquellos impactantes medibles como son: el biogás y lixiviados, para conocer su potencial de riesgo ambiental. Asimismo, se llevó a cabo una evaluación del efecto que cada uno de los impactantes tiene sobre los diferentes elementos en que se clasificó el entorno ambiental, mismos que fueron los siguientes:

- Zonas aledañas
- Suelo
- Aire
- Agua
- Vialidad

De esta evaluación, la afectación que el tiradero provocó a los elementos antes mencionados en el orden de importancia se indican en la tabla No. 3.1.1.

ELEMENTO DEL AMBIENTE	GRADO DE AFECTACIÓN
Aire	0.450
Suelo	0.424
Agua	0.360
Vialidad	0.249
Zonas aledañas	0.149

TABLA No. 3.1.1

Finalmente, a partir del estudio de riesgo ambiental, se desprenden las siguientes recomendaciones:

- Mejorar sustancialmente el servicio de recolección de los residuos domiciliarios, mediante la planeación del sistema, la adquisición de equipos apropiados, el mantenimiento y reparación de los actuales, y el establecimiento de tarifas por la prestación del servicio.
- Clausurar definitivamente el sitio de disposición final, procediendo a la realización de un saneamiento profundo y rehabilitando el área como una zona verde reforestada.
- Mejorar el actual sistema de disposición final de residuos sólidos municipales, incorporando la técnica del relleno sanitario a los métodos y prácticas empleadas en dicho sistema de disposición; en sitios seguros y adecuados geohidrologicamente hablando.
- Implementar las medidas de control de contaminantes, construyendo un sistema de monitoreo ambiental e implantando un programa de evaluación de las emisiones al aire, agua y suelo.

### **3.2 Clausura y saneamiento**

Para definir el programa de trabajo, fue necesaria la concertación con los líderes de los papenadores asentados en el lugar, así como efectuar reconocimientos físicos para evaluar las condiciones de operación del sitio, así como su problemática ambiental, generada por las prácticas actualmente empleadas para la disposición final de los residuos sólidos.

Los primeros reconocimientos de la zona, establecieron la necesidad de elaborar los levantamientos topográficos del área ocupada por el tiradero, con el objeto de conocer las superficies por regenerar, los desniveles existentes y planear adecuadamente la configuración futura de plataformas y taludes. Hubo la necesidad de apoyarse con vuelos fotogramétricos para ubicar el tiro y su problemática en el entorno de la zona.

Una vez realizados los primeros levantamientos topográficos, se procedió a la realización de estudios geofísicos de la zona, con el objeto de determinar los espesores existentes de desechos, la estratigrafía del suelo subyacente, la existencia de onquedades y fracturas, así como las zonas de acumulación de biogás y lixiviados, para que en base a esta información, se estime el número de pozos de monitoreo y venteo de biogás y su ubicación y el número de pozos de monitoreo y extracción de lixiviados.

Con los levantamientos topográficos y espesores de desechos dados por los estudios geofísicos realizados, se efectuaron los proyectos de plataformeo y conducción del agua pluvial. Con base en estos proyectos se procedió a la conformación y compactación de los desechos, con objeto de formar las plataformas y taludes con las dimensiones y pendientes más convenientes de acuerdo a la configuración general del tiradero y realizando el menor movimiento de desechos.

La formación de plataformas y taludes, se realizó con maquinaria pesada y apoyo de vehículos y pipas arrendadas; los cuales transportaban el material de cobertura (tepalcate) del banco autorizado al sitio de colocación. Una vez formados y revestidos con tepalcate, se procedió a colocar una capa de tierra vegetal y pasto sobre los taludes, lo cual tiene por objeto evitar la erosión del material de cobertura y reducir la generación de lixivados.

Sobre la base de los taludes, se construirán cunetas a cielo abierto para captar por áreas el agua pluvial y llevarlas hacia las zonas más bajas, hasta su encone final en el arroyo que se localiza paralelo al camino pavimentado.

### **3.3 Obras complementarias**

Dentro del programa de clausura y saneamiento del tiradero de Rincón Verde, hubo la necesidad de efectuar obras complementarias, mismas que se detallan a continuación:



### **3.3.1 Construcción de pozos de biogás**

Con el propósito de evitar grandes concentraciones de gas metano o la migración del mismo, una vez selladas las diferentes plataformas y taludes que conforman el tiradero, se construyeron 15 pozos de venteo de biogás, a diferentes profundidades según los espesores de residuos existentes y localizados en las diferentes plataformas.

El pozo consiste en una perforación de 0.40 m. de diámetro, realizada con perforadora de gran alcance. Sobre la perforación se coloca un tubo de P.V.C. de 4" de diámetro centrado, protegido con un filtro de tezontle con espesor de 5 a 13 mm. Este filtro permite la captación del biogás y conducirlo a las perforaciones con que cuenta el tubo de P.V.C.

Sobre la superficie se instalan los accesorios necesarios para recibir un quemador local, que será utilizado para eliminar el biogás que capte el pozo. El quemador es protegido por un registro y jaula metálica para evitar accidentes.

### **3.3.2 Pozos de captación de lixiviados**

Con el propósito de captar en el fondo del sitio los lixiviados provocados por la degradación de la porción orgánica de los desechos, se construyeron en esta zona 9 pozos de captación a diferentes profundidades.

La perforación es de 0.40 m. de diámetro y sobre ella se instala un tubo de P.V.C. de 6" de diámetro. En el fondo del pozo se instala una jaula tipo trampa, con el objeto de que sirva como pichancha para colocar un tubo extractor galvanizado de 2" de diámetro. El tubo de P.V.C. será protegido con un filtro de grava ¾" hasta la superficie. El pozo en su superficie también es protegido por medio de una jaula metálica montada sobre muros de tabique. La extracción será a través de una bomba portátil que se conectará al tubo extractor.

### **3.3.3 Drenes para captación de lixiviados**

Al pie de los bordos de protección que se localizan en las zonas más bajas del tiro, se construyen drenes pantalla para captación de lixiviados, los cuales tienen por objeto interceptar el flujo en las partes más bajas del tiradero. Consisten en una excavación de 2 m. de ancho y 4 m. de profundidad, ésta se afina con una capa de tepetate, sobre la cual se colocará una geomembrana de 80 milésimas de pulgada de espesor, misma que se levanta sobre una de las paredes. Esta membrana tiene por objeto evitar que el flujo de lixiviado continúe y además como se tiene pendiente longitudinal, funcionará como dren natural hacia un estanque construido para el almacenamiento temporal de los lixiviados captados. La excavación se rellenará con filtro de grava de 3" de diámetro hasta una altura de 2.50 m.; el resto se rellenará con material producto de excavación en capas compactadas. En las figuras Nos. 3.3.3.1 y 3.3.3.2 se muestra la localización de los drenes.

### **3.3.4 Bordos de protección**

Con el propósito de garantizar la estabilidad de los taludes de los desechos conformados en las partes más bajas del relleno, se construyeron 2 bordos de contención que tienen las dimensiones adecuadas para rematarlos y evitar que éstos se deslaven; se construyeron con material de la zona y fueron compactados en capas de 30 cm. para garantizar su estabilidad.

### **3.4 Programa de monitoreo ambiental propuesto para el seguimiento de la estabilización del sitio**

Dado que en el estudio de Riesgo Ambiental se establece la necesidad de contar con pozos de monitoreo y extracción de biogás, sistemas de colecta y tratamiento de lixiviados, así como de los dispositivos para el muestreo de éstos debido a los volúmenes que de estos impactantes se detectaron, es necesario establecer un programa de monitoreo ambiental donde se especifiquen las actividades que se deban realizar para llevar a cabo una serie de mediciones periódicas para registrar las emisiones de biogás y lixiviados, así como mediciones de otro tipo de parámetros como son ruido, partículas y microorganismos en el ambiente.

Al respecto, no hay normatividad en nuestro medio sobre la periodicidad con que se deben hacer estas mediciones. La USEPA (United States Environmental Protection Agency), únicamente recomienda llevar cabo dos mediciones anuales de la calidad de las aguas subterráneas en la zona de interés.

Con base en lo anterior, se propone que las mediciones tanto de las emisiones de biogás y lixiviados, como de los otros parámetros mencionados, se efectúen con una frecuencia de cada 6 semanas, lo que implica que cuando menos se lleven a cabo 8 mediciones durante el año, con lo cual se asegura el conocimiento del comportamiento del sitio en las diferentes temporadas del año.



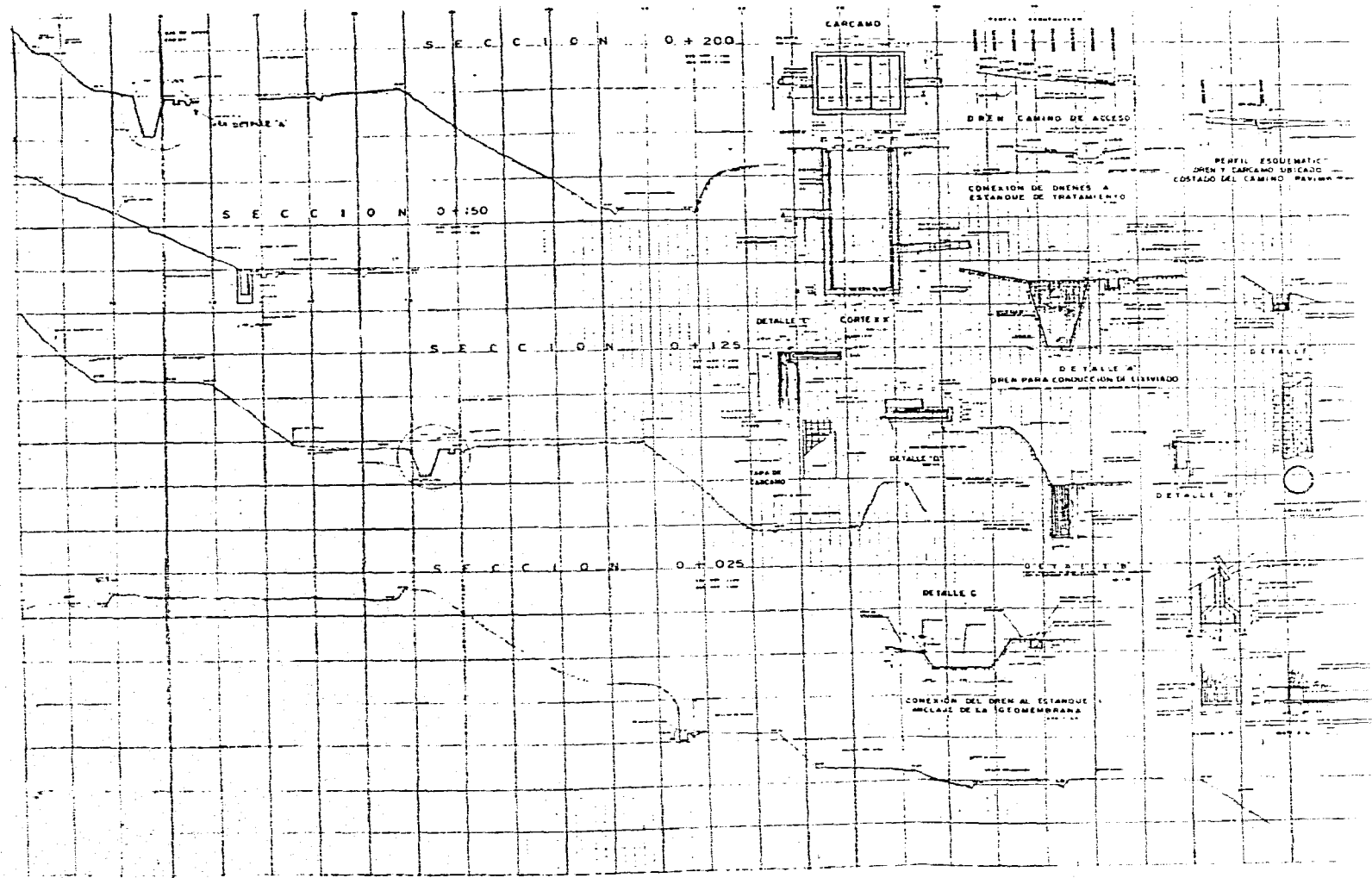


FIGURA No. 3.3.3.2

#### 4. RELLENO SANITARIO NAUCALPAN

---

#### 4. RELLENO SANITARIO NAUCALPAN

El relleno sanitario debemos entenderlo como el método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos y potencialmente peligrosos, mediante su depósito sobre el suelo de un terreno adecuado, su reducción al menor volumen práctico posible y cubriéndolos con una capa de tierra al término de las operaciones del día, de tal manera que no sean un peligro para la salud pública o al ambiente. Adicionalmente, el método prevé el aprovechamiento de la superficie recuperada, para destinarla a fines y usos que restituyen el equilibrio de los ecosistemas.

Al respecto, la Norma Oficial Mexicana (NOM-AA-91-1987) 'Calidad del Suelo-Terminología', de la Dirección General de Normas -SECOFI, define: 'Relleno sanitario, es una obra de ingeniería planeada y ejecutada, previendo los efectos al ambiente, para la disposición final de los residuos sólidos municipales'.

Caba mencionar que la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, no contempla una definición específica para relleno sanitario, por lo que se hace necesario recurrir a las definiciones que manejan los expertos en la materia a nivel internacional.

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

La Agencia de Protección Ambiental de los E.U. (USEPA), define: 'Relleno sanitario es un método de ingeniería para la disposición de residuos sólidos en el suelo de manera que se le dé protección al ambiente; mediante el esparcido de los residuos en pequeñas capas, compactándolos al menor volumen práctico y cubriéndolos con suelo al final del día de trabajo'.

Desde el punto de vista geológico e hidrogeológico, la ubicación de un relleno sanitario, debe hacerse en un sitio que en principio corresponda a un terreno de naturaleza impermeable o de muy baja permeabilidad, a fin de que las aguas subterráneas de acuíferos someros (aguas freáticas), o de acuíferos

profundos, no sean contaminadas por los lixiviados generados por el paso del agua de lluvia a través de los residuos contenidos dentro de dicho relleno. Debe también ser estable, desde el punto de vista tectónico; es decir, ubicarse en zonas donde no se presenten fuertes movimientos que generen fracturamiento y que consecuentemente incrementen la permeabilidad del terreno, o que rompan el sistema basal del sellado y drenaje, o bien que desestabilicen dicho relleno.

#### **4.1 Ubicación del relleno sanitario Naucalpan**

Para enfrentar el reto de aplicar técnicas de ingeniería adecuadas al medio mexicano tanto en la evaluación y selección de sitios para el relleno sanitario, como para el diseño del mismo; se consideraron sobremanera los criterios establecidos por la SEDUE en su 'Manual de Rellenos Sanitarios', debido a que en la actualidad no se cuenta con Normas Técnicas Ecológicas, en materia de planeación, diseño y operación de rellenos sanitarios. Por tal razón apoyarse en dicho manual, implica tomar en cuenta los criterios que la SEDUE considera como válidos, lo cual a falta de apoyos normativos, es lo más adecuado.

##### **4.1.1 Definición de la región factible para ubicación del relleno sanitario**

Debido a la enorme importancia que para la ubicación de un relleno sanitario revisten las características geológicas, hidrogeológicas y topográficas del sitio, se juzgó convenientemente elaborar un estudio para definir dentro de la superficie que ocupa la Cuenca del Valle de México, las zonas factibles de alojar estas obras sin riesgo al ambiente. Para ello se partió de las definiciones que sobre rellenos sanitarios se establecieron al inicio del presente capítulo; en las que se resalta sobre manera, la preservación a la salud pública.

Por tanto, como premisa básica se determinó considerar como variable de más importancia, la protección de los mantos acuíferos.

En este estudio se realizó una regionalización de la Cuenca del Valle de México, considerando los tres conceptos geohidrológicos básicos de protección a los mantos acuíferos que se indican a continuación: proteger las zonas de recarga de acuíferos, cuidar las zonas de explotación del acuífero y evitar las zonas con topografía abrupta.



El resultado de este análisis sirvió para definir las principales unidades geohidrológicas que conforman la geología de la cuenca antes mencionada, las cuales se presentan en la figura No. 4.1.1.1. A partir de tal clasificación se definió la región de la zona occidental de la Cuenca del Valle de México, con mayores posibilidades ecológicas para albergar rellenos sanitarios, la cual se muestra en la figura No. 4.1.1.2, misma que está compuesta por conglomerados volcánicos de diferentes tamaños altamente cementados de baja permeabilidad, conocidos vulgarmente como 'Formación Tarango'. Como referencia, en dicho plano se indica la ubicación del tiradero Rincón Verde.

#### **4.1.2 Identificación, evaluación y selección de sitios**

Una vez definida la región factible dentro del territorio del municipio de Naucalpan, para la ubicación de rellenos sanitarios, desde un punto de vista geohidrológico, como se describió a detalle en el inciso anterior, se procedió a identificar sitios viables para el establecimiento del relleno sanitario, mediante una serie de recorridos de campo por toda la zona considerada, complementados con algunos vuelos en helicóptero, para dar precisión y claridad a las dudas e inquietudes surgidas durante los recorridos terrestres. Para la identificación de sitios se consideraron básicamente 3 parámetros de suma importancia, que también se consideraron posteriormente para la evaluación de los sitios, mismos que se anotan a continuación:

- Existencia de material de cubierta
- Ubicación al inicio de cañadas, como lo recomienda la SEDUE
- Existencia de accesos al sitio

Mediante el procedimiento descrito, se identificaron 5 sitios viables dentro de la región factible, cuya ubicación se presenta en la figura No. 4.1.2.1. A continuación se procedió a realizar la caracterización de los sitios, considerando para ello todos los factores recomendados por la SEDUE, en su Manual de Rellenos Sanitarios. Las características que se precisaron para cada uno de los sitios identificados se presentan en la tabla No. 4.1.2.1.

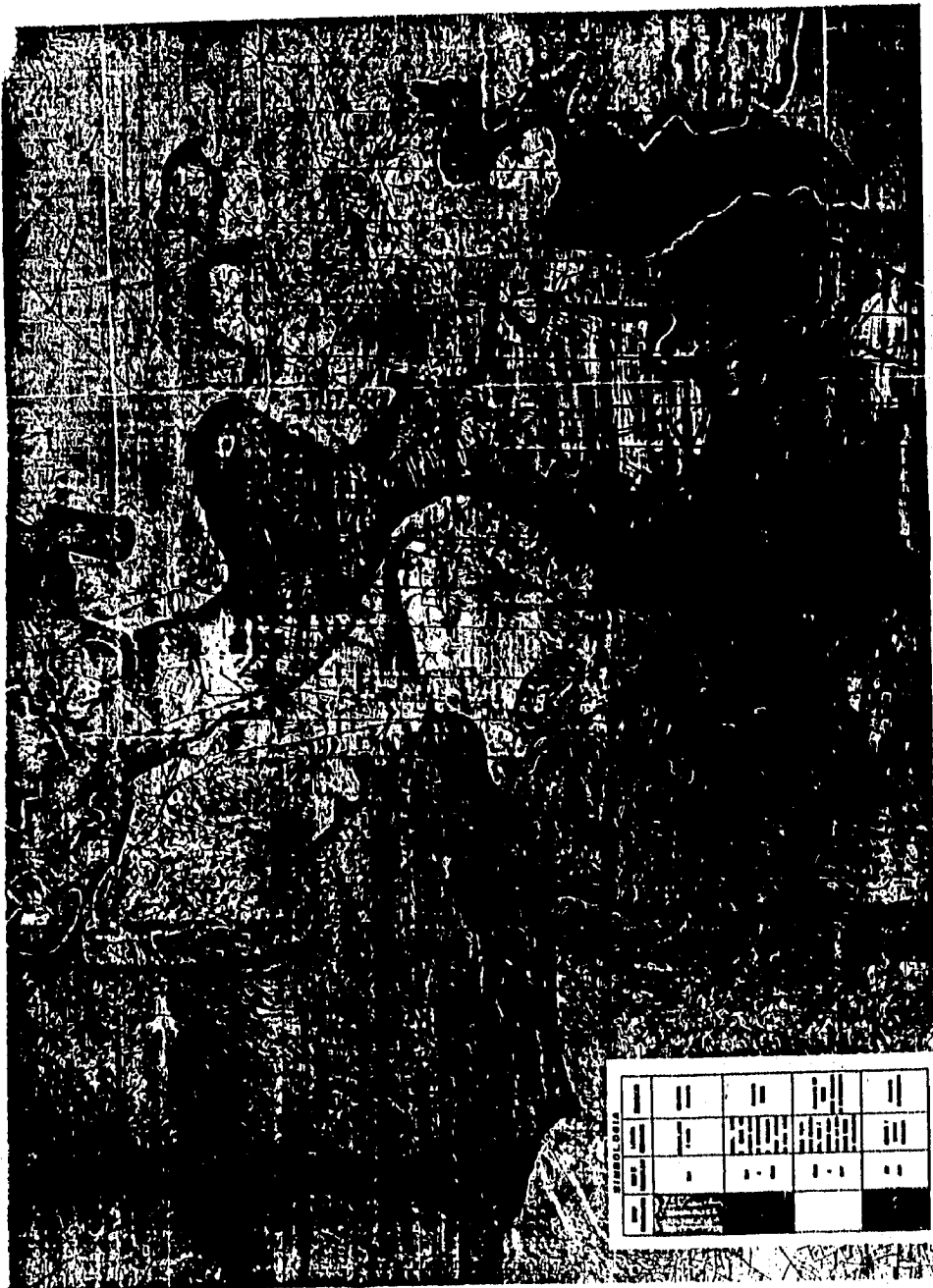


FIGURA No. 4.1.1.1



LEYENDA

CEMZO I CO	1	2	3
CONSEJO	4	5	6
CONSEJO	7	8	9
CONSEJO	10	11	12

1. ...  
 2. ...  
 3. ...  
 4. ...  
 5. ...  
 6. ...  
 7. ...  
 8. ...  
 9. ...  
 10. ...  
 11. ...  
 12. ...

FIGURA No. 4.1.1.2

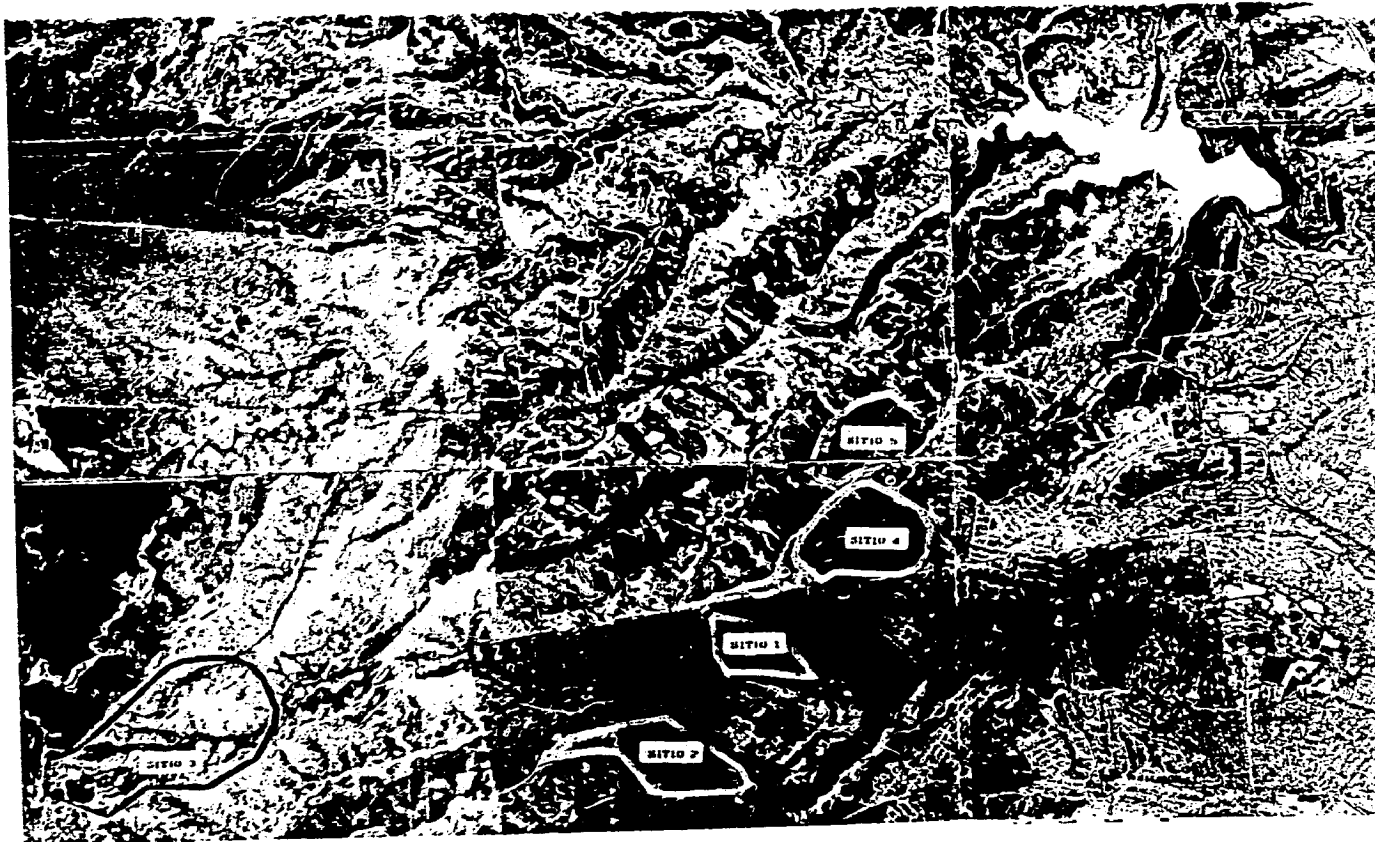


FIGURA No. 4.1.2.1

### CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS PROPUESTOS

FACTOR DE CAMPO	CARACTERÍSTICAS				
	NAUCALPAN I	NAUCALPAN II	NAUCALPAN III	NAUCALPAN IV	NAUCALPAN V
MATERIAL PARA COBERTURA DE LOS RESIDUOS	ACARREO 0 Km	ACARREO 0 Km	ACARREO 0 Km	ACARREO 0 Km	ACARREO 0 Km
ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO	ACONDICIONAMIENTO PREVIO AL INICIO DEL RELLENO	ACONDICIONAMIENTO PREVIO AL INICIO DEL RELLENO	ACONDICIONAMIENTO PREVIO AL INICIO DEL RELLENO	ACONDICIONAMIENTO PREVIO AL INICIO DEL RELLENO	ACONDICIONAMIENTO PREVIO AL INICIO DEL RELLENO
CERCANIA A ZONAS URBANAS	1 Km	1.8 Km	3 Km	0.6 Km	1.3 Km
INCIDENCIA DE VIENTOS	NO INCIDE	NO INCIDE	NO INCIDE	INCIDE EN DIR. SUR PONENTE A LA LOCALIDAD	INCIDE EN DIR. SUR PONENTE A LA LOCALIDAD
VISIBILIDAD DEL SITIO	VISIBLE	SEMIARIDO	OCULTO	VISIBLE	OCULTO
UBICACION RESPECTO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES Y POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	800 m.	900 m	7,000 m.	1,100 m.	2,555 m.
UBICACION DEL SITIO DENTRO DE LA CUENCA APORTANTE	PRINCIPIO DE CUENCA	PRINCIPIO DE CUENCA	PRINCIPIO DE CUENCA	PRINCIPIO DE CUENCA	PRINCIPIO DE CUENCA
PERMEABILIDAD K	$1 \times 10^{-5}$ m/seg	$1 \times 10^{-6}$ m/seg	$1 \times 10^{-5}$ m/seg	$1 \times 10^{-5}$ m/seg	$1 \times 10^{-5}$ m/seg
PROFUNDIDAD DEL MANTO ACUIFERO	330 m.	350 m	321 m	320 m	310 m
EXISTENCIA DE CAMINOS DE ACCESO	CAMINOS DE TERRACERIA	CAMINOS DE TERRACERIA	CAMINOS DE TERRACERIA	CAMINOS DE TERRACERIA	CAMINOS DE TERRACERIA

TABLA No. 4.1.2.1

A continuación, se efectuó la valoración de las características de los sitios, empleando para ello, las funciones de sensibilidad que se indican en la tabla No. 4.1.2.2 y se describen gráficamente en de las figuras Nos. 4.1.2.2 a 4.1.2.13. Al respecto cabe mencionar que se aplicó con una función de sensibilidad para cada 'característica o factor de campo' considerando fundamentada en cuanto a su forma y límites en bibliografía publicada por la SEDUE, la SMISA, A.C. y la E.P.A. La aplicación de las funciones de sensibilidad a las características de los sitios, arrojó los valores de calificación por sitio que se presentan en la tabla No. 4.1.2.3. Para evaluar numéricamente los efectos de las características o factores de campo sobre cada uno de los elementos del ambiente (aire, agua, suelo, estética, salud y ruido) fue necesario distribuir el valor de la calificación de cada factor de campo sobre dichos elementos del ambiente, mediante la aplicación de una 'Matriz de contribución' que se presenta en la tabla No. 4.1.2.4, la cual está formada por los pesos relativos que cada factor de campo tiene sobre los elementos del ambiente, de

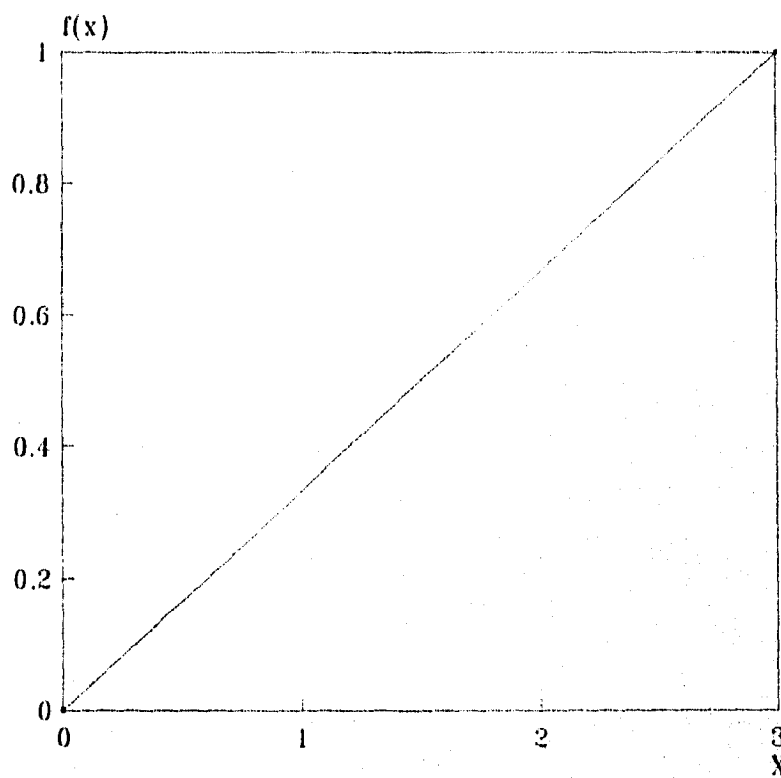
tal manera que la sumatoria de dichos pesos para cada uno de tales elementos, invariablemente tiene un valor de uno.

### FUNDAMENTOS Y EXPRESIONES ALGEBRAICAS DE LAS FUNCIONES DE SENSIBILIDAD

FACTOR DE CAMPO	TIPO DE FUNCION	FUNDAMENTO DE LIMITES	EXPRESION Y LIMITES
MATERIAL PARA COBERTURA DE LOS RESIDUOS	LINEAL	IMPORTANCIA DEL FACTOR DE CAMPO	$f(x) = x/3, 0 \leq x \leq 3$
ACONDICIONAMIENTO AL SITIO	LINEAL	IMPORTANCIA DEL FACTOR DE CAMPO	$f(x) = x/4, 0 \leq x \leq 4$
CERCANIA A ZONAS URBANAS	PARABOLICA	IMPORTANCIA DEL FACTOR DE CAMPO	$f(x) = 1 - (x^2 - (x-a)^2) / a^2$ $0 \leq x \text{ (Kms.)} \leq 12$ $f(x) = 1, x > 12 \text{ Kms}$
INCIDENCIA DE VIENTOS	LINEAL	EXPERIENCIA EN EL MEDIO MEXICANO	$f(x) = x/4, 0 \leq x \leq 4$ (Criterio No. 1) $f(x) = x/365, 0 \leq x \leq 365$ (Criterio No. 2)
VISIBILIDAD DEL SITIO	LINEAL	EXPERIENCIA EN EL MEDIO MEXICANO	$f(x) = x/2, 0 \leq x \leq 2$
UBICACION RESPECTO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES Y POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	LINEAL	EXPERIENCIA EN EL MEDIO MEXICANO	$f(x) = 1 - (x/3),$ $0 \leq x \leq 3$
UBICACION DEL SITIO DENTRO DE LA CUENCA APORTANTE	LINEAL	RECOMENDACION SEDESOL	$f(x) = 1 - (x/3),$ $0 \leq x \leq 3$
PERMEABILIDAD (K)	LINEAL	RECOMENDACION SEDESOL	$f(x) = k/l$ $10^{-2} \leq x(\text{cm/s}) \leq 10^1$
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)	LINEAL	RECOMENDACION SEDESOL	$f(x) = 1 - (x/28)$ $0 \leq x(\text{meq}/100 \text{ gr}) \leq 28$
PRFUNDIDAD DEL MANTO ACUIFERO	LINEAL	IMPORTANCIA DEL FACTOR DE CAMPO	$f(x) = 1 - (x/50)$ $0 \leq x(\text{m}) \leq 50$
EXISTENCIA DE CAMINOS DE ACCESO	LINEAL	EXPERIENCIA EN EL MEDIO MEXICANO	$f(x) = 1 - (x/4)$ $0 \leq x \leq 4$

TABLA No. 4.1.2.2

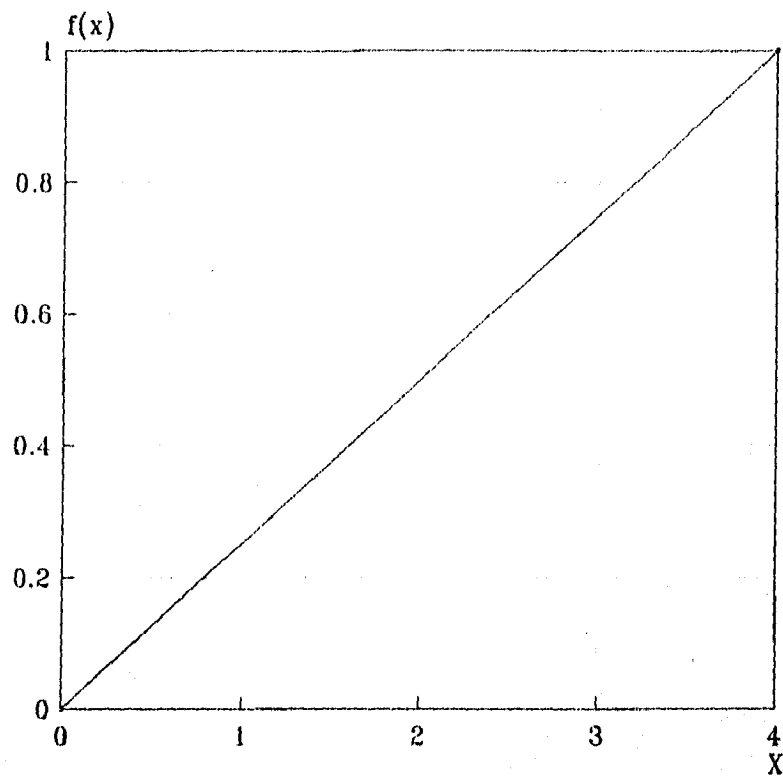
FUNCION DE SENSIBILIDAD  
MATERIAL DE CUBIERTA  
(Adimensional)



→  $f(x) = x/3 : 0 \leq x \leq 3$

FIGURA No. 4.1.2.2

FUNCION DE SENSIBILIDAD  
ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO  
(Adimensional)



—  $f(x)=x/4 ; 0 \leq x \leq 4$

FIGURA No. 4.1.2.3



## FUNCION DE SENSIBILIDAD CERCANIA A ZONAS URBANAS

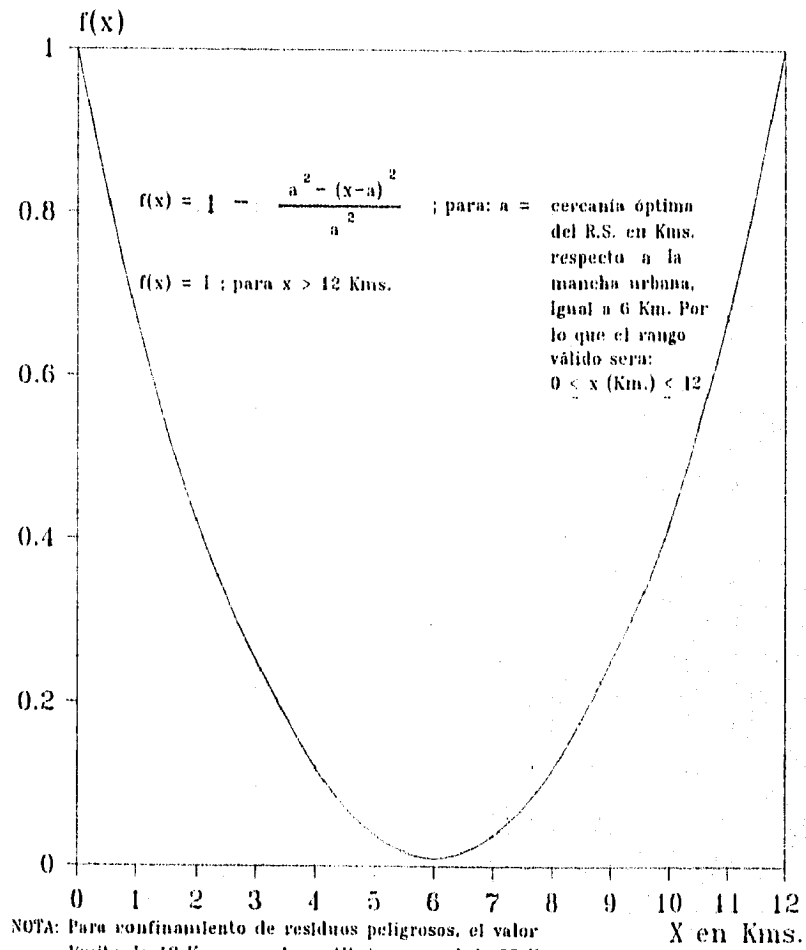
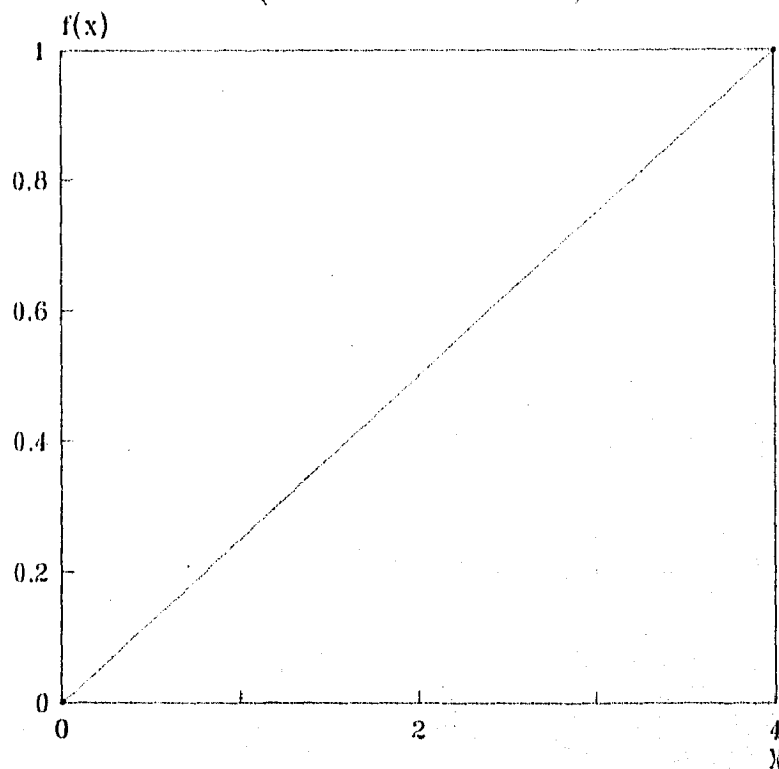


FIGURA No. 4.1.2.4

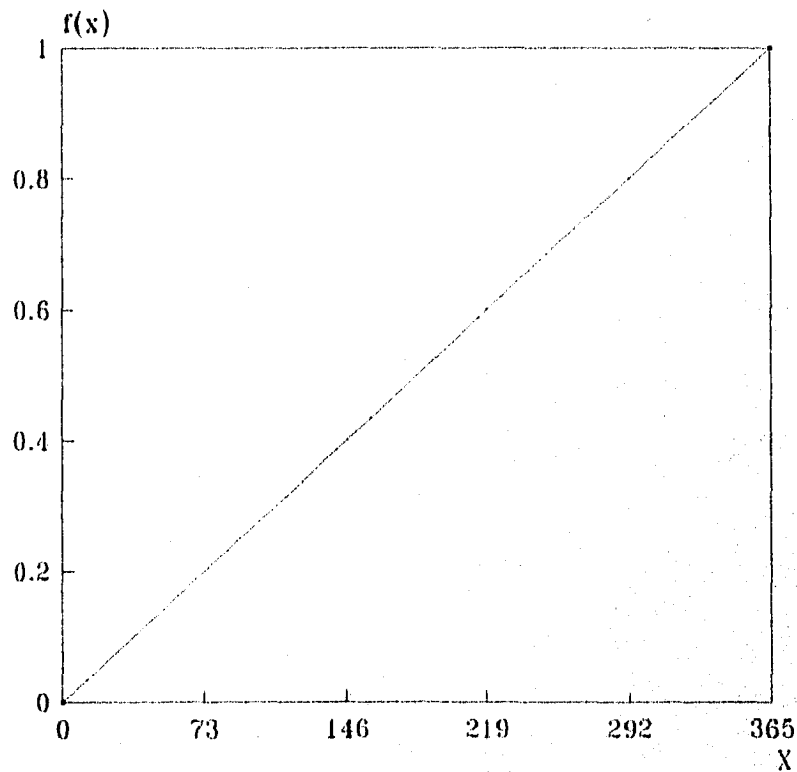
FUNCION DE SENSIBILIDAD  
INCIDENCIA DE VIENTOS  
CRITERIO No. 1  
(Adimensional)



→  $f(x) = (x/4) ; 0 \leq x \leq 4$

FIGURA No. 4.1.2.5

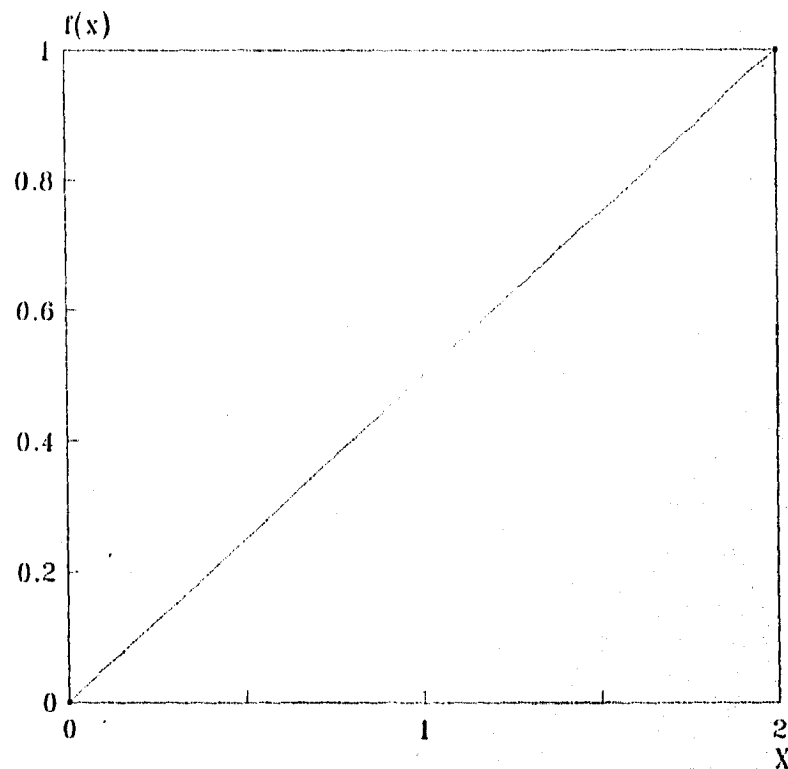
FUNCION DE SENSIBILIDAD  
INCIDENCIA DE VIENTOS  
CRITERIO No. 2  
(Adimensional)



$$\rightarrow f(x) = x / 365 \quad 0 \leq x \leq 365$$

FIGURA No. 4.1.2.6

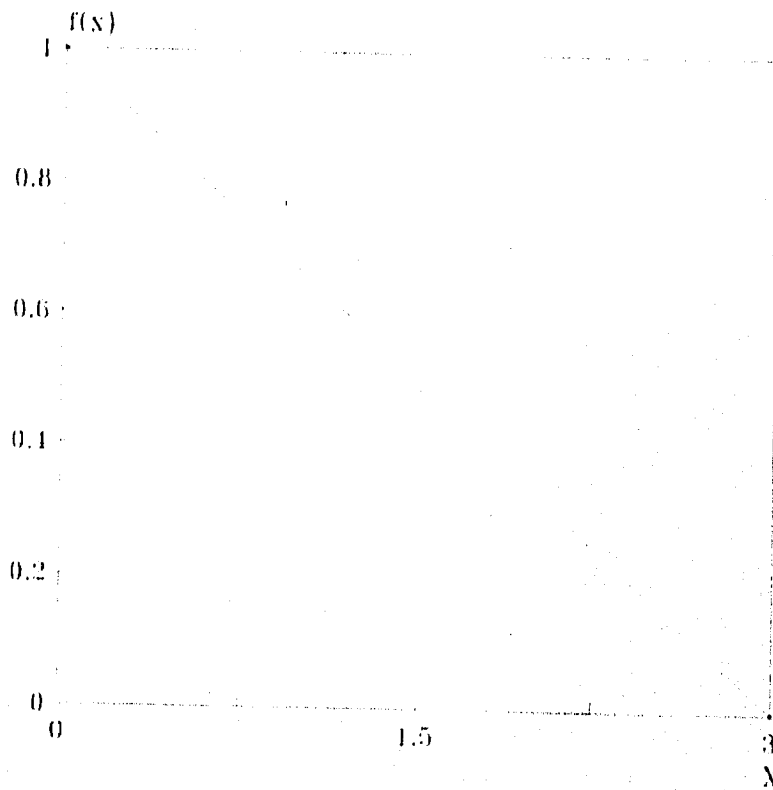
FUNCION DE SENSIBILIDAD  
VISIBILIDAD DEL SITIO  
(Adimensional)



—  $f(x) = x/2 ; 0 \leq x \leq 2$

FIGURA No. 4.1.2.7

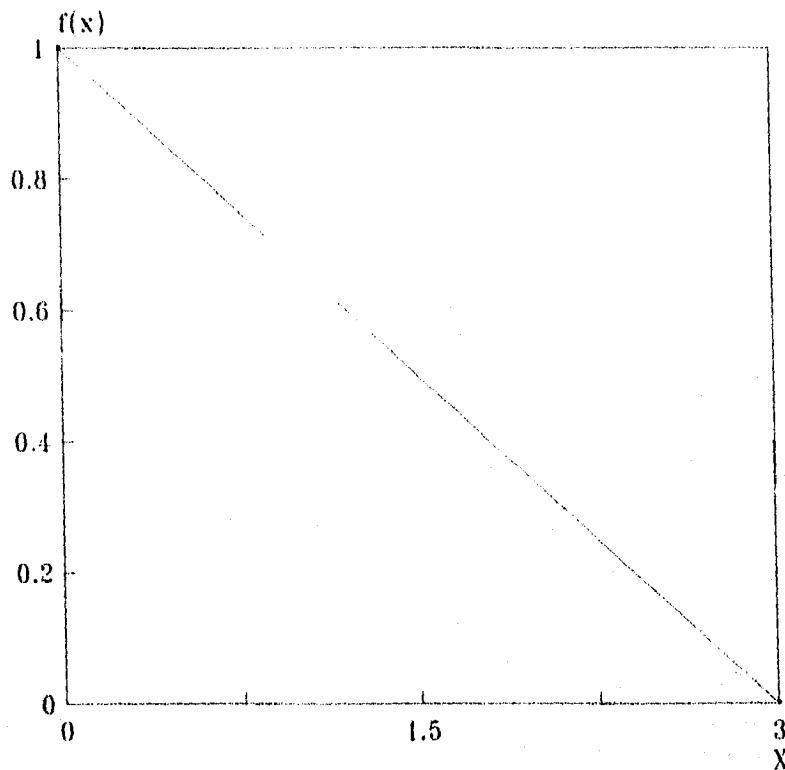
FUNCION DE SENSIBILIDAD  
UBICACION RESPECTO A CUERPOS  
DE AGUAS SUPERFICIALES  
(Adimensional)



\*  $f(x) = 1 - (x/3) ; 0 \leq x \leq 3$

FIGURA No. 1.1.2.B

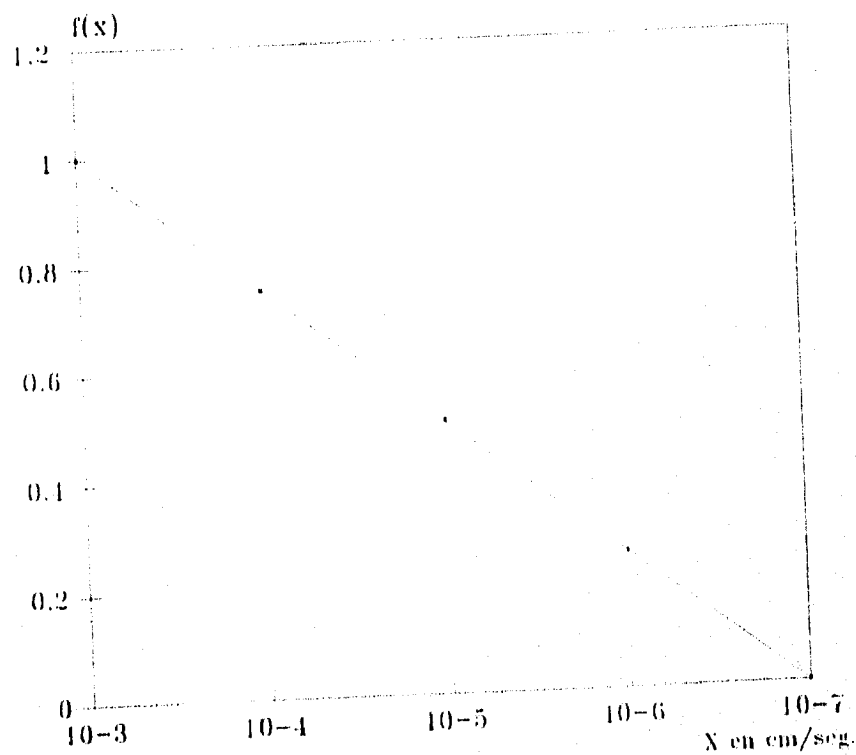
FUNCION DE SENSIBILIDAD  
UBICACION DENTRO DE LA  
CUENCA APORTANTE  
(Adimensional)



$$f(x) = 1 - (x/3) ; 0 \leq x \leq 3$$

FIGURA No. 4.1.2.9

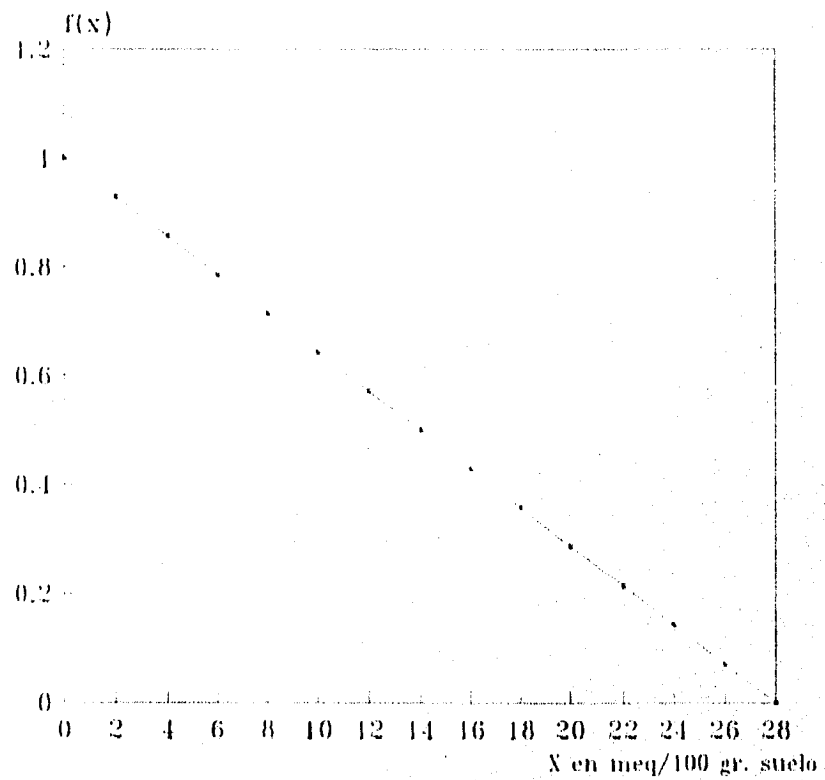
# FUNCION DE SENSIBILIDAD CARACTERISTICAS DEL SUELO PERMEABILIDAD



$f(x) = k/f$        $f=10^{-3}$  para  $k=10^{-3}$   
 donde:       $f=1.31 \times 10^{-4}$  para  $k=10^{-4}$   
                   $f=2 \times 10^{-5}$  para  $k=10^{-5}$   
                   $f=4 \times 10^{-6}$  para  $k=10^{-6}$   
                   $f=10^{-7}$  para  $k=10^{-7}$

FIGURA No. 4.1.2.10

FUNCION DE SENSIBILIDAD  
CARACTERISTICAS DEL SUELO  
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO  
CATIONICO



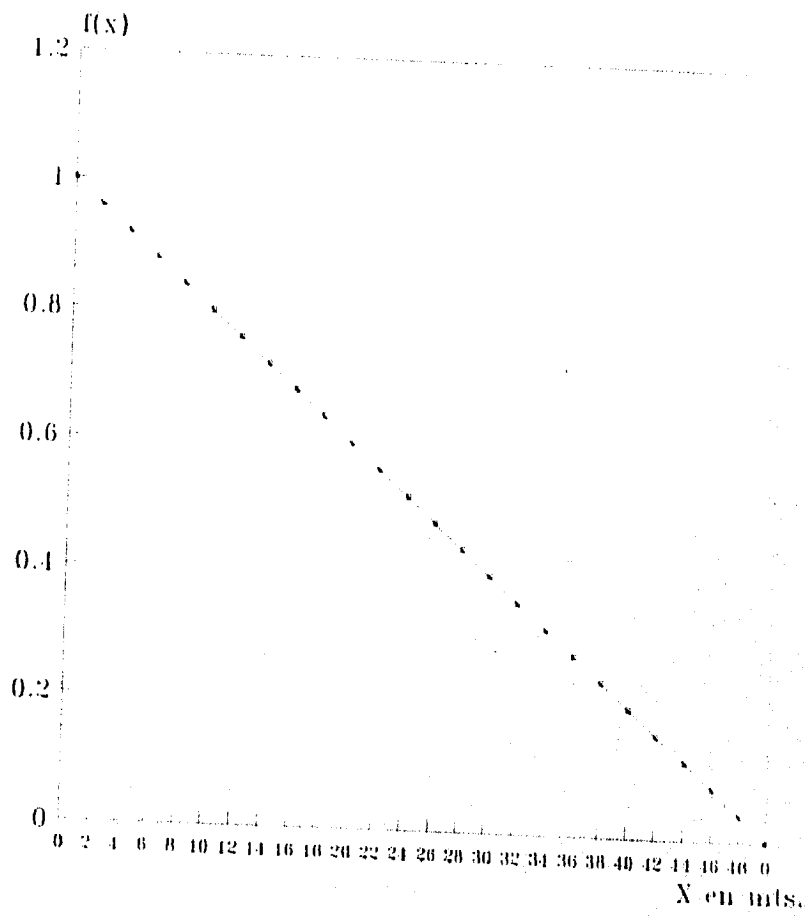
$$f(x) = 1 - (x/28)$$

$$0 \leq x \leq 28$$

FIGURA No. 4.1.2.11



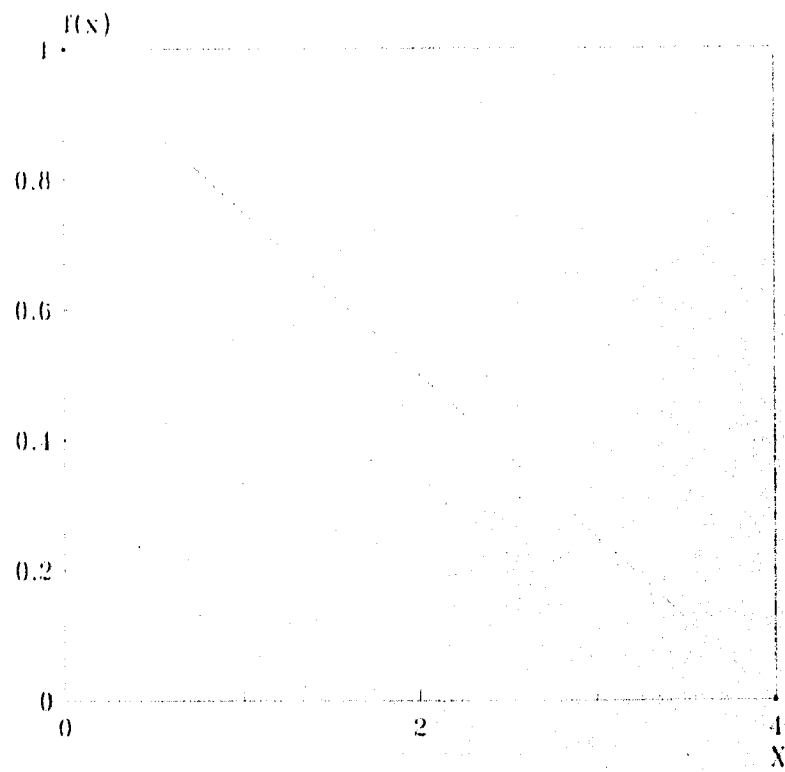
# FUNCION DE SENSIBILIDAD PROFUNDIDAD DEL MANTO FREATICO



$$f(x) = 1 - (x/50)$$
$$0 \leq x \leq 50$$

FIGURA No. 4.1.2.12

FUNCION DE SENSIBILIDAD  
EXISTENCIA DE CAMINOS DE ACCESO  
(Adimensional)



$$f(x) = 1 - (x/4) : 0 \leq x \leq 4$$

FIGURA No. 4.1.2.13

**CALIFICACION DE LOS SITIOS PROPUESTOS**

FACTOR DE CAMPO	CALIFICACION				
	NAUCALPAN I	NAUCALPAN II	NAUCALPAN III	NAUCALPAN IV	NAUCALPAN V
MATERIAL PARA COBERTURA DE LOS RESIDUOS	0	0	0	0	0
ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
CERCANIA A ZONAS URBANAS	0.69	0.49	0.25	0.81	0.81
INCIDENCIA DE VIENTOS	0	0	0	0.5	0.5
VISIBILIDAD DEL SITIO	1	0.5	0	1	0
UBICACION RESPECTO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES Y POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	0.5	0.5	0	0	0
UBICACION DEL SITIO DENTRO DE LA CUENCA APORTANTE	0	0	0	0.5	0.5
PERMEABILIDAD K	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5
PRDFUNDIDAD DEL MANTO ACUIFERO	0	0	0	0	0
EXISTENCIA DE CAMINOS DE ACCESO	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

**TABLA No. 4.1.2.3**

**MATRIZ DE CONTRIBUCION PROPORCIONAL DE LOS FACTORES DE CAMPO  
A LOS ELEMENTOS DEL ENTORNO**

FACTOR DE CAMPO	ELEMENTOS DEL ENTORNO					TOTAL
	AIRE	AGUA	SUELO	BIENESTAR	SALUD	
MATERIALES PARA COBERTURA DE LOS RESIDUOS	0.10	0.35	0.35		0.20	1.00
ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO	0.25	0.15	0.20	0.25	0.15	1.00
CERCANIA A ZONAS URBANAS	0.20	0.15	0.15	0.25	0.25	1.00
INCIDENCIA DEL VIENTO	0.30	0.15	0.05	0.25	0.25	1.00
VISIBILIDAD DEL SITIO				1.00		1.00
UBICACION RESPECTO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES Y POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE		0.50		0.20	0.30	1.00
UBICACION DEL SITIO DENTRO DE LA CUENCA APORTANTE		0.45	0.25		0.30	1.00
PERMEABILIDAD (K)		0.50	0.20		0.30	1.00
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)		0.40	0.25		0.35	1.00
PROFUNDIDAD DEL MANTO FREATICO		0.50	0.15	0.10	0.25	1.00
EXISTENCIA DE CAMINOS DE ACCESO	0.20		0.15	0.40	0.25	1.00
TOTALES	1.05	3.15	1.75	2.45	2.60	--

TABLA No. 4.1.2.4

Para la conformación de la 'Matriz de Contribución' un grupo de expertos evaluó el efecto de cada uno de los factores de campo sobre cada uno de los elementos del ambiente considerados; por ejemplo: Se considera que una mala selección del material de cubierta del relleno sanitario impacta negativamente al aire, agua, suelo y a la salud; así como la visibilidad del sitio afecta a la estética únicamente; es decir, el material de cubierta afecta en un 10 % al aire, 40 % al agua, 30 % al suelo y 20 % a la salud; de la misma forma que la visibilidad afecta en un 100 % a la estética.

Aplicando la matriz de contribución, a las calificaciones de los factores de campo obtenidos para cada sitio, se generaron las matrices de evaluación que se presentan en las tablas Nos. 4.1.2.5 a 4.1.2.9, una por cada sitio considerado en el análisis.

Una vez establecidas las matrices de pagos para cada uno de los sitios (Anexo 1), se estará en condiciones de calificarlos y jerarquizarlos, mediante la solución al juego planteado entre el 'hombre y su entorno'.

Aunque existen varios métodos para resolver un determinado juego, para dar solución al formulado anteriormente, se propone la utilización del Método de Newman-Dantzing, el cual con las adecuaciones del caso, resuelve el juego mediante programación lineal. Para ello, el juego para cada sitio, se debe plantear a través de la propia matriz de pagos, la cual relaciona dos conjuntos; el de las acciones del hombre que causan impacto a su entorno y el de los elementos del entorno que puedan verse impactados. Ambos conjuntos representan las diferentes estrategias que pueden ser consideradas por los antagonistas, mientras que el pago es una regla que indica cuanto recibirá un jugador del otro, cuando ambos eligen una estrategia particular de sus respectivos conjuntos de estrategias.

Puesto que las técnicas de cálculo para la solución directa de problemas de programación lineal de grandes dimensiones son bastante engorrosas, se empleó un programa de computadora para resolver el problema de programación lineal asociado al juego planteado en la matriz de pagos establecidos anteriormente.

Dicho programa de computador, se encuentra en Lenguaje Basic y resuelve problemas tanto de maximización como de minimización, empleando el Método Simplex convencional. Los resultados de las corridas del programa se muestran en el Anexo 1 del presente documento.

**MATRIZ DE PAGOS PARA EL JUEGO "ACCIONES DEL HOMBRE" (FACTOR DE CAMPO)  
CONTRA SU "ENTORNO" (ELEMENTOS DEL ENTORNO) CORRESPONDIENTES A LOS SITIOS PROPUESTOS.**

**Naucaipan I**

Factores de Campo (Hombre) Elementos de su Entorno	Materia para cobertura de los residuos	Acondicionamiento del sitio	Cercanía a zonas urbanas	Incidenca de vientos	Visibilidad del sitio	Ubicación respecto a cuerpos de aguas superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable	Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	Permeabilidad (K)	Profundidad del manantial acuífero	Existencia de ruidos de vecinos
Aire	0	0.1875	0.138	0	0	0	0	0	0	0.1
Agua	0	0.1125	0.1035	0	0	0.25	0	0.25	0	0
Suelo	0	0.15	0.1035	0	0	0	0	0.1	0	0.075
Bienestar	0	0.1875	0.1725	0	1	0.1	0	0	0	0.2
Salud	0	0.1125	0.1725	0	0	0.15	0	0.15	0	0.15

**TABLA No. 4.1.2.5**

**MATRIZ DE PAGOS PARA EL JUEGO "ACCIONES DEL HOMBRE" (FACTOR DE CAMPO)  
CONTRA SU "ENTORNO" (ELEMENTOS DEL ENTORNO) CORRESPONDIENTES A LOS SITIOS PROPUESTOS.**

**Naucaipan II**

Factores de Campo (Hombre)	Material para cobertura de los residuos	Acondicionamiento del sitio	Cercanía a zonas urbanas	Incidencia de vientos	Visibilidad del sitio	Ubicación respecto a cuerpos de aguas superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable	Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	Fermeabilidad (K)	Profundidad del manto acuífero	Existencia de caminos de acceso
Elementos de su entorno										
Aire	0	0.1875	0.058	0	0	0	0	0	0	0.1
Agua	0	0.1125	0.0735	0	0	0.25	0	0.15	0	0
Suelo	0	0.15	0.0735	0	0	0	0	0.05	0	0.075
Bienestar	0	0.1875	0.1225	0	0.5	0.1	0	0	0	0.2
Salud	0	0.1125	0.1225	0	0	0.15	0	0.05	0	0.125

**TABLA No. 4.1.2.6**

**MATRIZ DE PAGOS PARA EL JUEGO "ACCIONES DEL HOMBRE" (FACTOR DE CAMPO)  
CONTRA SU "ENTORNO" (ELEMENTOS DEL ENTORNO) CORRESPONDIENTES A LOS SITIOS PROPUESTOS.**

**Naucalpan III**

Factores de Campo (Hombre): Elementos de su entorno	Materia para cobertura de los residuos	Acondicionamiento del sitio	Cercanía a zonas urbanas	Incidenca de vientos	Visibilidad del sitio	Ubicación respecto a cuerpos de aguas superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable	Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	Permeabilidad (k)	Profundidad del manto acuífero	Existencia de caminos de acceso
Aire	0	0.1875	0.05	0	0	0	0	0	0	0.1
Agua	0	0.1125	0.0375	0	0	0	0	0.15	0	0
Suelo	0	0.15	0.0375	0	0	0	0	0.06	0	0.075
Bienestar	0	0.1875	0.0625	0	0	0	0	0	0	0.25
Salud	0	0.1125	0.0625	0	0	0	0	0.09	0	0.125

TABLA No. 4.1.2.7



**MATRIZ DE PAGOS PARA EL JUEGO "ACCIONES DEL HOMBRE" (FACTOR DE CAMPO)  
CONTRA SU "ENTORNO" (ELEMENTOS DEL ENTORNO) CORRESPONDIENTES A LOS SITIOS PROPUESTOS.**

**Naucalpan IV**

Factores de Campo (Promedios)	Materiales para cobertura de los recursos	Acondicionamiento del sitio	Cercanía a zonas urbanas	Incidencia de vientos	Visibilidad del sitio	Ubicación respecto a cuerpos de aguas superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable	Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	Permeabilidad (P)	Profundidad del manto acuífero	Evidencia de contaminación
Elementos de su entorno										
Aire	0	0.1875	0.162	0.15	0	0	0	0	0	0.1
Agua	0	0.1125	0.1215	0.075	0	0	0.225	0.25	0	0
Suelo	0	0.15	0.1215	0.025	0	0	0.125	0.10	0	0.075
Bienestar	0	0.1875	0.2025	0.125	1	0	0	0	0	0.21
Salud	0	0.1125	0.2025	0.125	0	0	0.15	0.15	0	0.125

TABLA No. 4.1.2.8

**MATRIZ DE PAGOS PARA EL JUEGO "ACCIONES DEL HOMBRE" (FACTOR DE CAMPO)  
CONTRA SU "ENTORNO" (ELEMENTOS DEL ENTORNO) CORRESPONDIENTES A LOS SITIOS PROPUESTOS.**

**Naucalpan V**

Factores de Campo (Hombre)	Material para cobertura de los residuos	Acondicionamiento del sitio	Cercanía a zonas urbanas	Incidencia de vientos	Visibilidad del sitio	Ubicación respecto a cuerpos de aguas superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable	Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	Permeabilidad (K)	Profundidad del manto acuífero	Existencia de caminos de acceso
Elementos de su entorno										
Aire	0	0.1875	0.122	0.15	0	0	0	0	0	0.1
Aguas	0	0.1125	0.0915	0.075	0	0	0.225	0.25	0	0
Suelo	0	0.15	0.0915	0.025	0	0	0.125	0.1	0	0.075
Bienestar	0	0.1875	0.1525	0.125	0	0	0	0	0	0.25
Salud	0	0.1125	0.1525	0.125	0	0	0.15	0.15	0	0.125

TABLA No. 4.1.2.9

La sumatoria de los efectos en cada uno de los elementos del ambiente, para los 5 sitios analizados se presentan resumidos en la tabla No. 4.1.2.10, en la que se muestra la estrategia obtenida para el juego en cuestión.

#### ESTRATEGIA DEL JUEGO

ACCIONES DEL HOMBRE	NAUCALPAN I	NAUCALPAN II	NAUCALPAN III	NAUCALPAN IV	NAUCALPAN V
Materiales para cobertura de los residuos	-	-	-	-	-
Acondicionamiento del sitio	0.6202247	0.8	0.9999999	0.5806452	0.5387395
Cercanía a zonas urbanas	0.2247191	-	-	0.2016129	0.240867
Incidencia de vientos	-	-	-	-	-
Visibilidad del sitio	-	-	-	-	-
Ubicación respecto a cuerpos de agua superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable	-	0.2	-	-	-
Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	-	-	-	0.217742	0.2203934
Permeabilidad (k)	0.1550561	-	-	-	-
Profundidad del manto acuífero	-	-	-	-	-
Existencia de caminos de acceso	-	-	0.0000001	-	-
<b>Suma</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>

TABLA No 4.1.2.10

De manera que se cumple la condición:

$$X = \sum_{i=1}^n x_i = 1$$

donde  $n = 10$ , para este caso

El valor del juego para los sitios analizados fueron los siguientes:

Naucalpan I = 0.1317978

Naucalpan II = 0.12

Naucalpan III = 0.1125

Naucalpan IV = 0.1388105

Naucalpan V = 0.1303994

Las estrategias indicadas anteriormente para ambos sitios, son las que maximizan las 'ganancias' del hombre, es decir, son las acciones que mayormente afectarían a la naturaleza.

Para cada sitio, existe una estrategia mixta, que maximiza las ganancias del hombre, donde las acciones de mayor afectación ambiental se reportan (tablas Nos. 4.1.2.11 a 4.1.2.15), en orden jerárquico o de importancia.

#### NAUCALPAN I

FACTOR DE CAMPO	IMPORTANCIA
Acondicionamiento del sitio	0.6202247
Cercanía a zonas urbanas	0.2247191
Permeabilidad (k)	0.1550561

TABLA No. 4.1.2.11

NAUCALPAN II

FACTOR DE CAMPO	IMPORTANCIA
Acondicionamiento del sitio	0.8
Ubicación respecto a cuerpos de agua superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable	0.2

TABLA No. 4.1.2.12

NAUCALPAN III

FACTOR DE CAMPO	IMPORTANCIA
Acondicionamiento del sitio	0.9999999
Existencia de caminos de acceso	0.0000001

TABLA No. 4.1.2.13

NAUCALPAN IV

FACTOR DE CAMPO	IMPORTANCIA
Acondicionamiento del sitio	0.5806452
Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	0.217742
Cercanía a zonas urbanas	0.20161219

TABLA No. 4.1.2.14

NAUCALPAN V

FACTOR DE CAMPO	IMPORTANCIA
Acondicionamiento del sitio	0.5387395
Cercanía a zonas urbanas	0.240887
Ubicación del sitio dentro de la cuenca aportante	0.2203934

TABLA No. 4.1.2.15

La solución a todo problema de programación lineal, contiene dentro de la misma, una solución al problema "dual"; que para este caso representan las estrategias del entorno para el juego en cuestión, las cuales se presentan a en la tabla No. 4.1.2.16 para los sitios propuestos.

ACCIONES DEL ENTORNO	NAUCALPAN I	NAUCALPAN II	NAUCALPAN III	NAUCALPAN IV	NAUCALPAN V
Aire	0.07528087	0	0.09999981	0.08467744	0
Agua	0.5146067	0.1999999	0	0.7016129	0.3239661
Suelo	0	0	0	0	0
Bienestar	0.4101125	0.8000001	0.9000002	0.2137095	0.5993578
Salud	0.1317978	0.12	0.1125	0.1388105	0.1303994

**TABLA No. 4.1.2.16**

Como el problema primal tiene restricciones de igualdad, las variables duales no están restringidas en cuanto al signo, por lo que la magnitud del impacto en los elementos de la naturaleza estará definida por su valor absoluto.

Las estrategias indicadas anteriormente para ambos sitios son los que minimizan las 'perdidas' del entorno; es decir, son elementos del entorno afectados por las acciones del hombre, que minimizan en forma global, la afectación ambiental por el efecto alterador del hombre.

La definición del sitio más idóneo para establecer el relleno sanitario se hace comparando los valores del juego obtenidos para los sitios, eligiendo aquel cuyo valor es menor, o sea el sitio que involucre una menor ganancia para las acciones alteradoras de hombre hacia el entorno.

El sitio denominado Naucalpan III es el que presenta los valores de afectación más bajos a los elementos del ambiente, por lo que vendría a ser el más adecuado jerárquicamente, le siguen los sitios Naucalpan II y Naucalpan V, quedando los sitios Naucalpan I y Naucalpan IV, como los menos adecuados. De acuerdo a lo anterior, el ordenamiento jerárquico de los 5 sitios según su menor afectación al ambiente se muestra en la tabla No. 4.1.2.17.

NIVEL	SITIO
Primero	Naucalpan III
Segundo	Naucalpan II
Tercero	Naucalpan V
Cuarto	Naucalpan I
Quinto	Naucalpan IV

**TABLA No. 4.1.2.17**

#### **4.2.3 Estudios básicos realizados**

Los estudios básicos realizados en el sitio previsto para la ubicación del relleno sanitario tuvieron por objeto verificar a detalle la factibilidad del predio para alojar sin riesgo al ambiente esta obra de ingeniería, así como recabar la información necesaria para la realización del proyecto del relleno sanitario.

Los estudios básicos tuvieron que ver con la topografía, geología, geotécnica, geofísica y geohidrología del sitio.

La topografía se encargó a una empresa especializada para efectuar la restitución fotogramétrica del predio a partir de fotografías aéreas de vuelos recientes.

Las actividades realizadas en el estudio hidrogeológico consistieron en recopilación de la información existente y levantamiento geológico detallado. Posteriormente, en campo, se tuvo una campaña de exploración geofísica por medio de técnicas geoeléctricas y se ubicaron los aprovechamientos hidrológicos de la zona y, con toda esta información, la cual incluye datos de una perforación con pruebas de permeabilidad, se elaboró un modelo geohidrológico del área. Finalmente se concluyó sobre la factibilidad, señalando que el sitio es favorable, y se formaron las conclusiones y recomendaciones pertinentes, mismas que señalaron a la zona como impermeable a poco permeable, se señaló la unidad litológica que resulta ser favorable para la construcción de barreras impermeables y se indicó la necesidad de continuar

la exploración por medio de una perforación profunda, llevándola hasta encontrar el nivel freático.

A continuación se describe brevemente la información obtenida en diversas fases de exploración e integración.

En la región donde se ubica el sitio elegido se presentan las formaciones Las Cruces y Tarango, así como aluviones lacustres (figuras Nos. 4.2.1 y 4.2.2).

La formación Las Cruces se conforma por un potente espesor de cotadas lávicas andesíticas que descansan sobre intercalaciones de lava y brechas volcánicas. Esta formación aflora a unos 2 km. al poniente del tiro.

La formación Tarango se presenta en la región como un grueso depósito de abanicos volcánicos que incluyen tobas, horizonte de arena pumítica, ceniza volcánica, suelos, así como depósitos fluviales y depósitos fluviales híbridos. En la zona del tiro se conforma la totalidad de las lomas y barrancas y se separó en dos unidades bien caracterizadas, brecha volcánica (B1) y toba areno-arcillosa (T1), tal como se ilustra en las figuras Nos. 4.2.2 y 4.2.3.

Los aluviones se constituyen por arenas, gravas y voleos en estado suelto, que se acumulan a lo largo de las corrientes principales, así como en la falda de las lomas que circundan la zona de lo que fueron los lagos (figuras Nos. 4.2.1, 4.2.4 y 4.2.5). 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.) En la zona del sitio se presentan formando suelos residuales delgados (unos 0.3 m.) y terrazas fluviales de hasta unos 2 m. de espesor (figuras Nos. 4.2.2 y 4.2.3). En la zona sólo se presentan brechas volcánicas (Bv1) y tobas areno-arcillosas (T1), así como aluviones.

La brecha volcánica (Bv1) es la unidad más antigua y tiene un fuerte espesor, que se infiere mayor a 200 m. Se trata de una roca de matriz areno-limosa, masiva, sana y muy compacta, la cual empaca fragmentos de roca en tamaños de 2 a 130 cm. de diámetro con un promedio de 5 cm. Esta roca, por pruebas de permeabilidad aplicadas es poco permeable con  $K=1.4 \times 10^{-6}$  cm/seg. Sobre esta unidad se realizaría el relleno sanitario.



Sobre la brecha volcánica se depositó la toba areno-arcillosa (T1) de manera discordante y muy irregular. La unidad, a pesar de tener un predominio areno-arcilloso, incluye horizontes de tobas pumíticas arenosas y arcillosas así como conglomerados híbridos. Su espesor es totalmente variable ya que se depositó sobre una paleotopografía erosionada, varía entre 0 y 40 m. El conjunto de esta unidad, por pruebas de permeabilidad aplicadas en los seis barrenos del sitio en Puente de Piedra (sitio No. 2) así como en un barreno del sitio elegido, es impermeable a poco permeable con K que varía entre  $0.14 \times 10^{-6}$  y  $7.4 \times 10^{-6}$  cm/seg. Esta unidad se removería y se utilizaría compactador, como barrera impermeable en los rellenos sanitarios.

Los aluviones que afloran en el sitio elegido cubren a las unidades de brecha volcánica (Bv1) y toba areno-arcillosa (T1) de manera irregular, con espesor muy delgado, que varía entre 0.3 y 2 m. Esta unidad se removería de la zona del tiro y no es susceptible de uso como barrera impermeable.

La exploración geoelectrica fue importante para la elaboración del modelo geohidrológico, ya que los sondeos realizados en puntos intermedios entre perforaciones ayudaron a definir el espesor de la toba areno-arcillosa y a definir la predominancia de arcillas y arenas en los diferentes paquetes de la brecha volcánica.

Por otro lado, de una manera regional, los materiales de aluvión, formación de Las Cruces y formación Tarango, se agruparon en las unidades hidrogeológicas I, II y III, (figuras Nos. 4.2.4 y 4.2.5).

La unidad hidrogeológica I agrupa a materiales en estado suelto, muy permeables con K estimada del orden de  $10^{-4}$  cm/seg. Por ser materiales superficiales se les consideró como zonas de recarga que constituyen un acuífero granular libre. Sin embargo, debe ser poco importante hacia la porción poniente del área, ya que los aluviones presentan espesores reducidos en las partes altas; hacia la porción oriente, los aluviones se engrosan sustancialmente, pero la calidad del agua que contenga tal vez no sea muy buena, ya que las corrientes principales reciben una buena cantidad de desechos provenientes de los asentamientos humanos próximos a ellos.

La unidad hidrogeológica II se constituye por un muy grueso espesor de coladas lávicas fracturadas, con brechas volcánicas intercaladas en su base; por sus características físicas se le consideró como un

material permeable a poco permeable.

Dado que aflora en las partes altas de la sierra y son permeables, se les consideró como zonas de recarga y que bajo condiciones topográficas adecuadas pueden conformar un acuífero confinado hacia la zona de lomas y borde occidental de la Cuenca de México. La calidad del agua de esta unidad debe ser buena, ya que la recarga se realiza en las partes altas de las sierras, en zonas alejadas de asentamientos humanos. Esta unidad hidrogeológica se infiere a unos 2501 m. por debajo del sitio seleccionado, confinada por la unidad hidrogeológica III.

La unidad hidrogeológica III agrupa a todos los materiales tobáceos y brechoides que constituyen a la formación Tarango, en la cual se incluyen tobas y brechas de matriz arcillosa, limosa, arno-arcillosa, arno-limosa y arenosa muy fina, a manera de interestratificaciones, con K variable entre  $10^6$  y  $10^7$  cm/seg., registrándose en algunas pruebas valores de hasta  $10^8$  cm/seg. Por lo anterior se considera que este material no constituye acuíferos y podría ser el confinante superior de la unidad hidrogeológica II.

Los aprovechamientos hidráulicos de la zona son pocos y se encuentran alejados. El pozo más cercano se localiza en la proximidad del poblado de San Mateo Nopala, a poco más de 5 km. hacia el oriente del tiro; este pozo se encuentra ubicado sobre acarreos del Arroyo San Mateo y se desconoce su nivel piezométrico, pero se infiere por lo menos a unos 40 m. de profundidad, (aproximadamente en la cota 2280); es decir, a unos 270 m. por debajo de la zona más baja del tiro Naucalpan II.

Un mayor número de pozos se ubican en la zona de Satélite, a unos 7 km. al NE del tiro, en estos pozos el nivel freático se debe encontrar del mismo orden de profundidad.

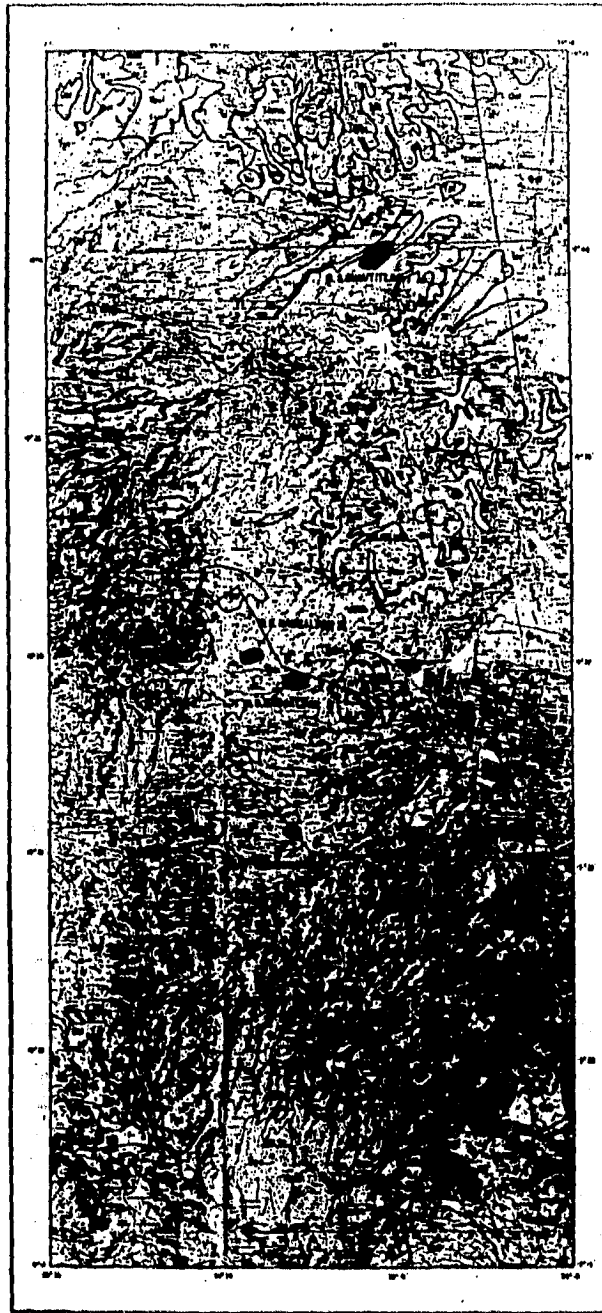
En el área se encuentran tres manantiales, dos aguas arriba del sitio elegido, en las zonas de Mazatla (3 km. al NW) y Santiago Tepatlaxco (3 km. al SW), los cuales se alumbran en la unidad geohidrológica II; y del último sobre el arroyo San Mateo, a 2 km. del tiro al SE, sobre la unidad geohidrológica I.

Dada la lejanía de los aprovechamientos y la unidad hidrogeológica sobre la cual se alojan, no es de temerse contaminación de las aguas de los acuíferos que alimentan a dichos aprovechamientos. Lo anterior máxime que dos manantiales se encuentran topográficamente más altos que el tiro, así como por

lo profundo de los niveles piezométricos hacia las zonas aledañas, topográficamente más bajas, al sitio elegido.

Respecto a la exploración de terrenos, tuvo por objeto determinar la estratigrafía y el coeficiente de permeabilidad de los diferentes estratos encontrados; se efectuó mediante un sondeo de muestreo, acompañado de un sondeo paralelo en el que se realizaron pruebas de permeabilidad del tipo Nasberg, para materiales parcialmente saturados. El sondeo de muestreo se realizó utilizando la penetración estándar y recuperando muestras alteradas con lodo bentonítico como fluido de perforación. El sondeo para pruebas de permeabilidad se realizó con broca tricónica, utilizando agua limpia como fluido de perforación.

El sondeo se efectuó en una terraza que se ubica contigua al camino de acceso según puede observarse en la figura No. 4.2.2, la profundidad explorada fue de 14 m. La estratigrafía detectada asociada a los valores del coeficiente de permeabilidad correspondientes, se describen en la tabla No. 4.2.1 y puede verse gráficamente en la figura No. 4.2.6.



**LEYENDA**

O U I O N D E M U	En	SEÑALES DE ALTO
	En	SEÑALES DE BAJA
	Ac	LINEAS Y MALLAS DE ALTO Y BAJA
	En	SEÑALES DE ALTO Y BAJA EN EL TERRENO
	En	SEÑALES DE ALTO Y BAJA EN EL TERRENO
	En	SEÑALES DE ALTO Y BAJA EN EL TERRENO
	En	SEÑALES DE ALTO Y BAJA EN EL TERRENO
	En	SEÑALES DE ALTO Y BAJA EN EL TERRENO
	En	SEÑALES DE ALTO Y BAJA EN EL TERRENO
	En	SEÑALES DE ALTO Y BAJA EN EL TERRENO

**SIMBOLOGIA GEOLOGICA**

- DEPOSITO VOLCANICO
- DEPOSITO MARINO
- EPOCA
- EPOCA

**SIMBOLOGIA TOPOGRAFICA**

- ESTACIONES TOPOGRAFICAS
- ESTACIONES TOPOGRAFICAS EN EL TERRENO
- ESTACIONES TOPOGRAFICAS EN EL TERRENO
- ESTACIONES TOPOGRAFICAS EN EL TERRENO
- ESTACIONES TOPOGRAFICAS EN EL TERRENO

FIGURA No. 4.2.1

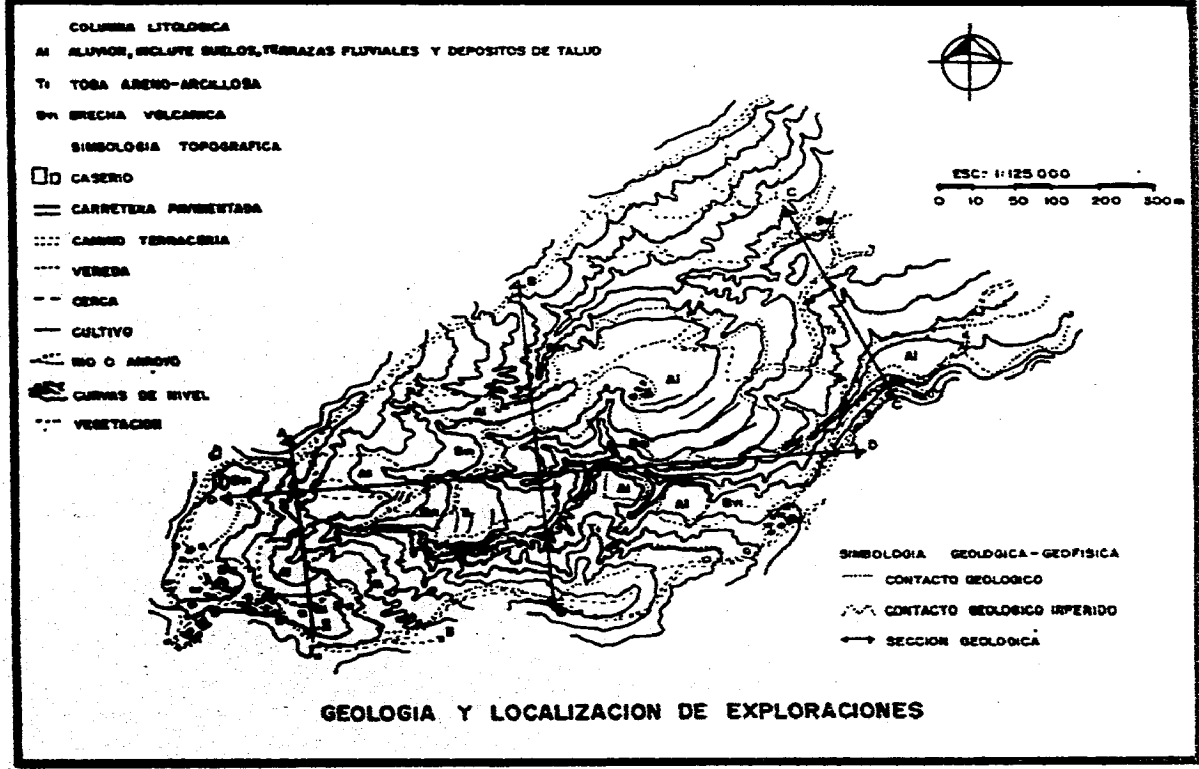


FIGURA No. 422

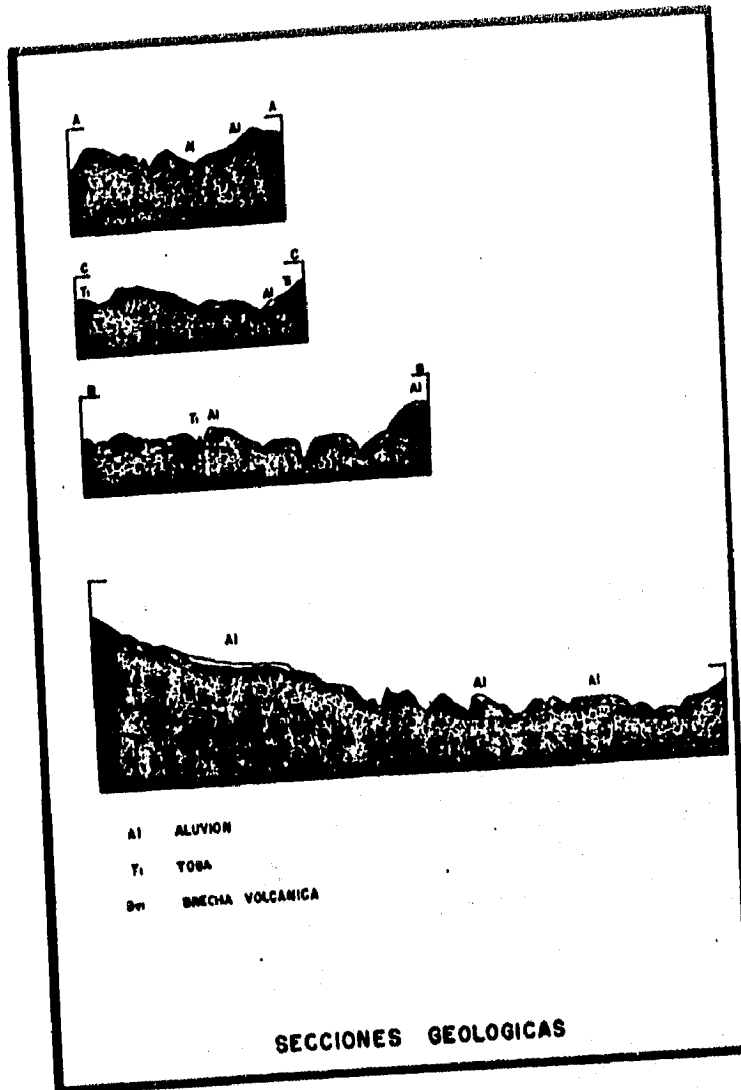


FIGURA No. 4.2.3











PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCION
De:	a:	
0.00	3.00	Toba intemperizada, formada por arcilla arenosa, con gravillas aisladas, color café oscuro, de consistencia suave a dura.  K = $6.5 \times 10^{-6}$ cm/seg.
3.00	7.00	Toba compuesta por limo arcilloso, con poca arena fina, color café rojizo, de consistencia dura.  K = $5.0 \times 10^{-6}$ cm/seg.
7.00	14.00	Toba compuesta por limo arenoso, con gravillas aisladas, de color amarillo claro, de consistencia dura.  K = $6.5 \times 10^{-6}$ cm/seg.

TABLA No. 4.2.1

Como conclusiones se establece:

- 1) El sitio es favorable para la construcción de rellenos sanitarios.
- 2) Los rellenos se realizarían sobre la unidad de brechas volcánicas (Bv).
- 3) La unidad de tobas areno-arcillosas (T1) es susceptible de explotarse como banco para barrera impermeable.

#### 4.3 Diagnóstico ambiental

La realización de estudios y diagnósticos de impacto ambiental, es una herramienta fundamental para conocer la situación actual y predecirla a futuro en un sitio propuesto.

Diagnóstico ambiental del sitio propuesto para relleno sanitario localizado a 5 km. al poniente de la colonia Rincón Verde, ubicado fuera de los límites marcados por el crecimiento de la mancha urbana.

El tipo de vegetación es de pino-encino, el cual cubre aproximadamente el 15% del área total asignada para el relleno sanitario (área aproximada 120 ha.).

Esta comunidad presenta evidencias de perturbación ocasionadas por actividades como agricultura incipiente, tala indebida para la elaboración de carbón vegetal, además del pastoreo mal organizado y orientado.

Aunado a esta problemática, en las inmediaciones del sitio propuesto se detectaron diversos tiraderos que deterioran el ambiente, por lo cual es conveniente realizar las mismas acciones recomendadas para la clausura del tiradero de Rincón Verde para la recuperación ambiental de la zona; y paralelamente, establecer un relleno sanitario que cuente con todas las obras de ingeniería y control ambiental que evite el deterioro de la zona.

Por todo lo anterior es necesario evaluar las condiciones ambientales prevalecientes en el sitio, para lo cual se realizó un diagnóstico que fue apoyado en matrices causa-efecto; en las cuales, se pueden observar los posibles impactos, tanto positivos como negativos que se generan por las diferentes etapas de desarrollo del relleno sanitario. En cada una de las etapas mencionadas se realizó la evaluación del impacto, dando a su vez diversas recomendaciones, las cuales mitigan o atenúan los impactos negativos presentes, a la vez que ayudan a mejorar los impactos positivos existentes.

Los resultados obtenidos muestran que los efectos negativos al ambiente durante las diferentes etapas del proyecto, son de carácter ligero en términos generales, especialmente fuera del relleno. Además, se cuenta con la tecnología necesaria para evitarlos, reducirlos y controlarlos.

Por lo anterior el proyecto propuesto para relleno sanitario en Las Arenillas, Tepetlaxco, Municipio de Naucalpan de Juárez es viable técnica, económica y ambientalmente, condicionado a que se realice el estudio de Impacto ambiental en donde se amplíen y detallen las recomendaciones propuestas por este dictamen. De ser esto así, el proyecto en cuestión representa una adecuada solución que mejorará de manera importante el estado actual que presenta el ambiente en esa zona.

#### 4.4 Impacto vial

Este estudio se realizó con el fin de dar atención a los aspectos de ubicación y accesos vehiculares del sitio, con el objeto de depurar las soluciones del problema y por ende reducir la problemática ambiental generada por el impacto que origina la implementación de una infraestructura como ésta.

En el análisis de vialidad se determinaron el tipo y características de las vialidades de acceso al sitio; se observó además, la carga vehicular y el tipo de transporte que circulan por estas vías, verificando si se ocasionan conflictos en la fluidez vehicular, mismos que se acentúan por la deficiencia en materia de dispositivos de control de tránsito.

Las acciones propuestas para dar solución a los conflictos de vialidad son los siguientes:

- Utilizar en forma adecuada y congruente la infraestructura vial existente.
- Elegir la o las rutas principales que deban utilizar los vehículos hasta el sitio de disposición final.
- Hacer que el proceso de transportación de los residuos sólidos, cause el menor impacto negativo tanto en la infraestructura vial existente como de imagen urbana y social.
- Elegir opciones de rutas, horarios y tipos de transporte en función de contingencias que puedan presentarse de rutina como son: eventos cívicos, políticos, deportivos, sociales y de desastre incluso.
- Evitar el incremento de insalubridad y contaminación ambiental sobre la vía pública.
- Diseñar la red vial interna en cada sitio de disposición final para permitir un mejor aprovechamiento del manejo mismo de los residuos sólidos.
- Lograr en el sitio de disposición final, el entorno ecológico más adecuado y un paisaje urbano más agradable.
- Lograr simultáneamente, mayor eficiencia en el manejo del parque vehicular utilizado, así como un incremento en la prestación de servicios al personal, tanto en talleres como en lugares de enclerco.

**5. CALCULO DEL GRADO DE CONTAMINANTES QUE  
SE GENERAN EN EL RELLENO SANITARIO**

---

## 5. CALCULO DEL GRADO DE CONTAMINANTES QUE SE GENERAN EN EL RELLENO SANITARIO

El establecimiento de un esquema de control sobre las condiciones ambientales, antes, durante y después de la implantación del relleno sanitario, es básica para el adecuado funcionamiento de la obra. De esto dependen las medidas preventivas y correctivas a desarrollarse para prevenir y controlar la posible contaminación del medio ambiente causada por la disposición final de los residuos sólidos.

De esta manera, es necesario realizar una serie de evaluaciones antes de la implantación del relleno sanitario para conocer la cantidad de contaminantes que se producen en obras de este tipo como son el lixiviado y el biogás.

### 5.1 Generación de lixiviado

Antes de desarrollar la ingeniería básica y de detalle para el relleno sanitario en cuestión, es de capital importancia evaluar y analizar la posibilidad de afectar la calidad del manto acuífero de la zona, para lo cual el primer paso es calcular la producción de lixiviados contaminantes durante su operación, así como al término de la misma cuando su vida útil haya sido totalmente agotada, para después determinar por un lado, su capacidad de infiltración, y por otro la disminución de su carga contaminante debido a la capacidad diluyente o atenuante del suelo a todo lo largo del recorrido através de él, antes de penetrar en el manto acuífero con lo cual se estará en condiciones de conocer en realidad si existe riesgo de afectarlo para que en dado caso que así fuese, se tomen las medidas a que haya lugar para evitar la ocurrencia de dicho problema.

#### 5.1.1 Balance de agua en los procesos de estabilización de los residuos sólidos

Para los residuos sólidos generados en la Cd. de México, se ha determinado que para la materia degradable contenida en la misma, la composición porcentual en peso promedio es la siguiente:

C = 43.02%  
H = 5.96%  
O = 49.09%  
N = 1.94%

Con lo cual, tomando el carbono como base, es posible obtener la siguiente fórmula mínima:

$$C : \frac{43.02}{12} = 3.59 \text{ átomo-gramo}$$

$$C : \frac{3.59}{3.59} = 1$$

$$H : \frac{5.96}{1} = 5.96 \text{ átomo-gramo}$$

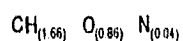
$$H : \frac{5.96}{3.59} = 1.66$$

$$O : \frac{49.09}{16} = 3.07 \text{ átomo-gramo}$$

$$O : \frac{3.07}{3.59} = 0.86$$

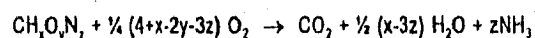
$$N : \frac{1.94}{14} = 0.14 \text{ átomo-gramo}$$

$$N : \frac{0.14}{3.59} = 0.04$$

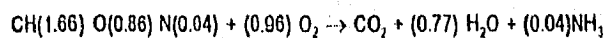
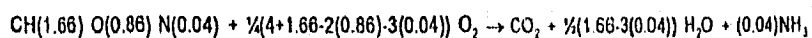


#### 5.1.1.1 Cálculo de la humedad liberada en la fase aerobia

Se obtendrá a partir de la reacción estequiométrica que gobierna la oxidación de la materia orgánica.



De tal manera, por sustitución se tiene que:





De aquí, la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar un gramo de residuos sólidos, es decir, la DBO teórica demandada por un gramo de residuos orgánicos para estabilizarse es de:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{C} : & 1 \times 12 & = 12 \text{ gr} & \text{O} : 0.96 \times (16)2 = 30.72 \\
 \text{H} : & 1.66 \times 1 & = 1.66 \text{ gr} \\
 \text{O} : & 0.66 \times 16 & = 13.76 \text{ gr} \\
 \text{N} : & 0.04 \times 14 & = 0.56 \text{ gr} \\
 & & \hline
 & & 27.98 \text{ gr}
 \end{array}$$

$$\text{CH}_{(1.66)} \text{O}_{(0.66)} \text{N}_{(0.04)} = 27.98 \text{ gr} \qquad (0.96) \text{O}_2 = 30.72 \text{ gr}$$

$$\text{Por lo tanto, DBO} = \frac{30.72 \text{ gr}}{27.98 \text{ gr}} = 1.10 \text{ gr / gr de residuos}$$

Lo anterior indica que se necesitan 1.10 gr de oxígeno para oxidar un gramo de residuos sólidos; generándose durante esta reacción una humedad de 0.77 átomo-gramo de H<sub>2</sub>O.

$$\text{H}_2\text{O} : 0.77 (1(2) + 16) = 13.86 \text{ gr}$$

$$\frac{13.86 \text{ gr}}{27.98 \text{ gr}} = 0.495 \text{ gr/gr de residuos, equivalente a 0.50 gr de H}_2\text{O por gr de residuo.}$$

Aceptando un 36% de materia orgánica en los residuos sólidos y una porosidad de 53% se tiene que en 1 m<sup>3</sup> de residuos hay 0.530 m<sup>3</sup> de aire, el peso del aire es igual a 0.99 kg/m<sup>3</sup>, por lo que en 1 m<sup>3</sup> de residuos hay 0.53 kg de aire.

Como sabemos, el oxígeno representa aproximadamente el 24% en peso del aire, por lo cual en 1 m<sup>3</sup> de residuos habrá 127 gr. de oxígeno.

Con esta cantidad de oxígeno es posible estabilizar aerobiamente la siguiente cantidad de materia orgánica.

$$\frac{127 \text{ gr O}_2}{1.10 \text{ gr O}_2 / \text{ gr residuos}} = 115 \text{ gr de residuos}$$

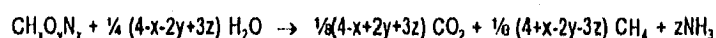
Libarándose durante esta estabilización:

$$115 \text{ gr residuos} \times 0.5 \text{ gr H}_2\text{O} / \text{ gr residuos} = 57.50 \text{ gr H}_2\text{O}$$

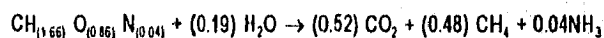
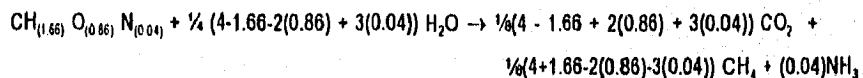
#### 5.1.1.2 Cálculo de la demanda de humedad durante la fase anaerobia

Si guiendo con el análisis de 1 m<sup>3</sup> de residuos, el cual pesa 1,000 kg y el 36% es materia orgánica, se tendrán 360 kg de materia degradable por m<sup>3</sup> de residuos, de los cuales, de acuerdo al análisis anterior, 115 gr se descompondrán aerobiamente antes de consumir el oxígeno presente, descomponiéndose mediante el proceso anaerobio los 359.885 kg restantes.

La reacción química estequiométrica que gobierna la descomposición anaerobia de la parte orgánica de los residuos domésticos, viene dada por la siguiente ecuación:



Sustituyendo los valores de los subíndices encontrados para la fórmula mínima se tiene:



$$\text{CH}_{(1.66)}\text{O}_{(0.86)}\text{N}_{(0.04)} = 27.98 \text{ gr}$$

$$\text{H}_2\text{O} : 0.19 (1(2) + 16) = 3.42 \text{ gr}$$

$$\frac{3.42 \text{ gr}}{27.98 \text{ gr}} = 0.112 \text{ gr H}_2\text{O} / \text{gr residuos}$$

De lo anterior se observa que para transformar un gramo de residuos sólidos anaerobiamente, se requieren 12 gr de agua; por lo que 1 m<sup>3</sup> de residuos, el cual contiene 359.88 kg de materia degradable demandará:

$$359.885 \text{ kg} \times 0.12 = 43.186 \text{ kg H}_2\text{O}$$

El balance entre la producción de humedad y la demanda de la misma en los procesos aerobio y anaerobio respectivamente, arroja una diferencia a favor de la demanda de agua por m<sup>3</sup> de residuos debida al proceso anaerobio de:

$$43.186 \text{ kg} - 0.058 \text{ kg} = 43.128 \text{ kg H}_2\text{O} \quad \text{demandada por m}^3 \text{ de residuos sólidos degradados.}$$

En términos de lámina de agua, la humedad requerida para estabilizar los residuos contenidos en 1 m de espesor será igual a:

$$43.128 \text{ mm H}_2\text{O} / \text{m residuos}$$

Este análisis hace la consideración de que todo el proceso, tanto aerobio como anaerobio se completa en un año, lo cual no es totalmente válido. La reacción aerobia se completa totalmente en 3 meses aproximadamente después de depositados los residuos; mientras que la reacción anaerobia, aunque en algunos casos puede durar más de 25 años, en general el 70% de la reacción se efectúa en los primeros 5 años, valor que se tomará para el diseño.

Por lo tanto, la lámina anual requerida para la estabilización de operación orgánica presente en los residuos sólidos, será de:

$$\text{Lámina anual} = \frac{43.128 \text{ mm/m residuos}}{5 \text{ años}} = 8.626 \text{ mm/m residuos / año}$$

Por lo consiguiente, la lámina mensual será:

$$\text{Lámina mensual} = \frac{8.626 \text{ mm/m residuos}}{12 \text{ meses}} = 0.719 \text{ mm/m residuos / mes}$$

Debido a lo pequeño de éste valor, y para estar dentro del margen de seguridad, esta lámina mensual no será considerada en el cálculo del balance de agua a infiltrarse en el relleno sanitario.

### 5.1.2 Balance de agua a infiltrarse en el relleno sanitario

Uno de los principales puntos que fue considerado para el correcto diseño del relleno sanitario Arenillas fue la producción de lixiviado. Esta generación fue estimada usando dos modelos: El método de balance de agua de la 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 método 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. Thornthwite y J. Mather en 1957. La infiltración se calcula a partir de la resta de los valores de escurrimiento y evapotranspiración de la precipitación en una base de análisis de mes con mes.

La información requerida para la aplicación del método, tiene que ver con las precipitaciones y temperaturas promedio mensuales de la estación climatológica más próxima, durante un periodo de observación mínimo de 25 años. La secuencia a seguir para efectuar el cálculo del balance de agua, se presenta a continuación:

- a) Determinación de las evapotranspiraciones mensuales potenciales corregidas, a partir de las temperaturas promedio mensuales empleando para ello, la siguiente formulación:

$$EP_j = 1.6 (10 T_j/I)^j K_a$$

$$ij = (T_j/5)^{1.514}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} ij$$

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$$

donde:

- EP<sub>j</sub> = Evapotranspiración potencial mensual sin corregir, en cm
- T<sub>j</sub> = Temperatura media mensual, en °C
- I = Sumatoria de los índices mensuales de calor (adimensional)
- ij = Índice mensual de calor (adimensional)
- α = Coeficiente adimensional que está en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor.
- j = Número del mes considerado
- K<sub>a</sub> = Constante que depende de la latitud y el mes del año (tabla No. 5.1.2.1)

Los valores de "EP<sub>j</sub>" calculados para cada mes, se corrigen por medio de un coeficiente mensual K<sub>a</sub>, que toma en cuenta el número de días y el número real de horas entre la salida y la puesta del sol.

- b) El cálculo de la humedad potencial de infiltración mensual se obtiene realizando el siguiente balance para cada uno de los meses del año.

$$IP_j = CP_j - (CE_j \times P_j) - EP_j$$

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

VALORES DE  $K_a$

LATITUD GRADOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.01
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.0	0.93	0.91
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70

TABLA No. 5.1.2.1

donde:

- IPj = Humedad potencial de infiltración mensual en mm
- Pj = Precipitación medio mensual en mm
- CEj = Coeficiente de escurrimiento mensual (adimensional, tabla No. 5.1.2.2)

Cabe aclarar que la infiltración corresponde al agua agregada al suelo, la evapotranspiración real representa la pérdida de humedad y la capacidad de almacenamiento de humedad (HS) la cantidad de agua que puede ser retenida en el suelo.

La humedad contenida en el suelo está formada por 2 componentes, el primero es el agua hidrosférica (va desde cero hasta el punto de marchitamiento), esta humedad está íntimamente ligada a las partículas de suelo y no puede ser aprovechable por las plantas, ni eliminado por la transpiración y nunca se removerá del suelo. El segundo, la capacidad de campo que es el máximo contenido de humedad que puede retener un suelo en un campo gravitacional sin producir percolación continua hacia abajo.

### COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

CONDICIONES DE SUELO	PENDIENTE	Ke = CEI	
		SEQUIA	LLUVIA
Suelo arenoso plano	2 %	0.05	0.10
Suelo arenoso medio	2 - 7 %	0.10	0.15
Suelo arenoso inclinado	> 7 %	0.15	0.20
Suelo arcilloso plano	2 %	0.13	0.17
Suelo arcilloso medio	2 - 7 %	0.18	0.22
Suelo arcilloso inclinado	> 7 %	0.23	0.35

TABLA No. 5.1.2.2

El agua disponible es lo que va desde el punto de marchitamiento hasta la capacidad de campo. Esta esta sujeta a las pérdidas por evapotranspiración y ganancias por infiltración, es esta la porción de agua del suelo que se toma en cuenta en el análisis de balance de agua. En la tabla No. 5.1.2.3 se muestran algunos valores de HS para diferentes tipos de suelo.

### HUMEDAD DEL SUELO

TIPO DE SUELO	CAP. DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITAMIENTO	AGUA DISPONIBLE (HS)
Arena fina	120	20	100
Barro arenoso	200	50	150
Barro limoso	300	100	200
Barro arcilloso	375	125	250
Arcilla	450	150	300

TABLA No. 5.1.2.3

c) Realización para cada uno de los meses del año de un balance de agua en la cubierta diaria y final del relleno sanitario, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Cuando la precipitación mensual es igual o superior a la evapotranspiración potencial mensual, se producirá un exceso en el aporte de agua a la cubierta del suelo, exceso que al ser absorbido alimentará la reserva de agua almacenada en el mismo.

2. Si la altura de precipitación mensual es inferior a la evapotranspiración potencial mensual, sucederá que la evapotranspiración real consumirá totalmente la precipitación, generando por tanto cierto déficit el cual es cubierto con las reservas de agua del suelo, hasta su agotamiento. Si la reserva del suelo es suficiente para satisfacer dicho déficit, la evapotranspiración real será igual a la evapotranspiración potencial, por lo que se cae dentro de la consideración anterior, mientras que si por el contrario, la reserva del suelo resulta ser insuficiente, la evapotranspiración real queda ligada a las precipitaciones mensuales, agotándose las reservas del suelo y generándose por tanto, un déficit en el almacenamiento de agua en el suelo.

$I - ET > 0$  Indica la cantidad de exceso de agua disponible en ciertos periodos del año para la recarga de humedad del suelo y la percolación.

$$\therefore ETA = ET$$

$I - ET < 0$  Representa la cantidad en mm, que la infiltración decrece para satisfacer las necesidades de humedad de la vegetación de un suelo.

$$\therefore ETA = I - \Delta HS$$

$PERC = I - \Delta HS - ETA$   $\Delta HS$  representa el cambio de humedad del suelo mes a mes.

Se aplicó el procedimiento para la cubierta diaria y la cubierta final del silo en base a los criterios antes descritos y los datos obtenidos mediante una investigación climatológica. El cálculo se inició en el mes de septiembre, después de la época de lluvia. El cálculo se presenta en las tablas Nos. 5.1.2.4 a la 5.1.2.7.

Se consideró un coeficiente de escurrimiento superficial de 0.13 en temporada de secas y de 0.17 en temporada de lluvias, con lo cual, se calcularon la precipitación (LP), el escurrimiento superficial (ES) y la infiltración (I).



**CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL AJUSTADA**

MES	TEMPERATURA °C	INDICE MENSUAL DE CALOR	EVAPOTRANSP. POT. MENSUAL	FACTOR DE CORRECCION	EVAPOTRANSP. AJUSTADA
Enero	11.9	3.717	43.34	0.95	41.17
Febrero	12.0	3.764	43.85	0.90	39.47
Marzo	15.9	5.763	65.39	1.03	67.35
Abril	14.2	4.857	55.89	1.05	58.48
Mayo	18.5	8.096	68.92	1.13	77.88
Junio	16.0	5.818	65.98	1.11	73.23
Julio	15.3	5.437	61.92	1.14	70.58
Agosto	15.7	5.654	64.23	1.11	71.29
Septiembre	15.5	5.545	63.07	1.02	64.33
Octubre	14.1	4.805	55.14	1.00	55.14
Noviembre	12.2	3.859	44.90	0.93	41.75
Diciembre	11.8	3.669	42.82	0.91	38.97
		I = 59.005			

TABLA No. 5.1.2.4

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \times 10^{-5} (59.005) - 771 \times 10^{-7} (59.005)^2 + 675 \times 10^{-9} (59.005)^3$$

$$\alpha = 0.49239 + 1.05737 - 0.26843 + 0.13898$$

$$\alpha = 1.42$$

**CALCULO DE LA HUMEDAD DE INFILTRACION**

MES	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL mm.	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO Ke.	ESCURRIMIENTO mm.	INFILTRACION mm.
Enero	7.11	0.13	0.92	6.19
Febrero	5.84	0.13	0.76	5.08
Marzo	3.05	0.13	0.40	2.65
Abril	20.32	0.13	2.64	17.68
Mayo	39.88	0.13	5.18	34.70
Junio	108.20	0.17	18.39	89.81
Julio	189.48	0.17	32.21	157.27
Agosto	92.20	0.17	15.67	76.53
Septiembre	109.73	0.17	18.53	91.20
Octubre	49.78	0.13	6.47	43.31
Noviembre	1.52	0.13	0.20	1.32
Diciembre	17.02	0.13	2.21	14.81

TABLA No. 5.1.2.5

BALANCE DE AGUA PARA CUBIERTA FINAL DE 30 cm.

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	711	584	305	2032	3988	10820	18948	9220	10973	4978	152	1702	
ES	092	076	040	264	518	1839	3231	1567	1853	647	020	221	
I-P-ES	619	508	265	768	3470	8981	15727	7653	9120	4331	132	1481	
ET	4117	3947	6735	5848	7788	7323	7058	7129	6433	5514	4175	3897	
I-ET	-3498	-3439	-6470	-5080	-4318	1658	8669	524	2687	-1183	-4043	-2416	
HS	0	0	0	0	0	1658	10327	10851	66	5417	974	0	
ΔHS	0	0	0	0	0	1658	8669	524	0	-1183	-4043	-974	
ETA	619	508	265	768	3470	7323	7058	7129	6433	5514	4175	2455	
PERC	0	0	0	0	0	0	0	0	2687	0	0	0	2687

TABLA No. 5.1.2.6

BALANCE DE AGUA PARA CUBIERTA DIARIA DE 15 cm.

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	711	584	305	2032	3988	10820	18948	9220	10973	4978	152	1702	
ES	092	076	040	264	518	1839	3231	1567	1853	647	020	221	
I-P-ES	619	508	265	768	3470	8981	15727	7653	9120	4331	132	1481	
ET	4117	3947	6735	5848	7788	7323	7058	7129	6433	5514	4175	3897	
I-ET	-3498	-3439	-6470	-5080	-4318	1658	8669	524	2687	-1183	-4043	-2416	
HS	0	0	0	0	0	1658	10327	10851	33	2117	0	0	
ΔHS	0	0	0	0	0	1658	8669	524	0	-1183	-2117	0	
ETA	619	508	265	768	3470	7323	7058	7129	6433	5514	2249	1481	
PERC	0	0	0	0	0	0	0	0	2687	0	0	0	2687

TABLA No. 5.1.2.7

Los resultados de este balance de agua indican que no se generará lixiviado en el relleno sanitario, esto debido a que los valores de percolación son mínimos y en la mayoría de los casos los datos de evaporación en el sitio igualan o exceden los valores de la precipitación. Aunque los resultados confirman las observaciones empíricas en rellenos sanitarios que fueron recientemente construidos (menos de 5 años) en la parte semiárida del oeste de los Estados Unidos de Norteamérica, de que no se ha generado

lixiviado en estos rellenos cuando fueron correctamente operados, no se puede tomar este resultado como típico para un relleno sanitario, por esta razón se realizó otro modelo como a continuación se describe.

El modelo Help fue también usado para prever un potencial de generación de lixiviado. Este modelo fue diseñado 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 datos climatológicos sobre lugares en los Estados Unidos de Norteamérica con condiciones de clima similar a las del sitio Arenillas, la base de datos fue 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 semejarsele. Basándose en esta evaluación, la base de datos para la ciudad de Tampa, Florida fue modificada con la información del sitio pudiendo obtenerse resultados que pueden reflejar la posible generación de lixiviado para el relleno sanitario Arenillas.

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 2.85 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 ( $1 \times 10^{-6}$ ) 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 No. 5.1.2.8.

CAPA	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITACION	CONTENIDO DE HUMEDAD	PERMEABILIDAD (cm/seg)
Cubierta diaria	0.342	0.21	0.22	$4.2 \times 10^5$
Residuos sólidos	0.294	0.14	0.28	$2.0 \times 10^4$
Capa protectora	0.342	0.21	0.22	$4.2 \times 10^5$
Capa de drenaje	0.045	0.02	0.02	$1.0 \times 10^{-2}$
Arcilla compactada	0.366	0.28	0.28	$1.0 \times 10^5$

**TABLA No. 5.1.2.8**

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 tuvieran una capa de residuos sólidos cubierta con el material del día, una situación conservadora para un relleno sanitario que opera correctamente y que representa la condición más desfavorable en la generación de lixiviado.

Después de obtener los parámetros de los materiales se modeló el caso del uso de la membrana sintética. De todo este análisis se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- a.- El modelo predice que un máximo de aproximadamente  $15,000 \text{ m}^3$  de lixiviado serán generados anualmente en el relleno para la condición más desfavorable. El lixiviado se distribuirá de dos formas, de acuerdo a la existencia o no de vegetación. Para una condición de vegetación se predice un volumen de lixiviado de  $8,500 \text{ m}^3$  distribuidos en el año.

Una fosa de evaporación de un tamaño razonable podría ser construida para manejar estos

volúmenes de lixiviado. 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 m<sup>3</sup> por año), es decir la percolación hacia el acuífero es mínima.

### 5.1.3 Cálculo de la interfase de suelo requerida

Este análisis se efectúa en dos partes, una para determinar el espesor de suelo requerido para remover la contaminación inorgánica (catiónica), y la otra para conocer la contaminación orgánica que se presentará a diversas profundidades del suelo, y la concentración de llegadas en términos de DBO del lixiviado al acuífero.

El análisis por carga catiónica considerará básicamente la capacidad del suelo para aceptar los cationes transportados por el lixiviado, y se apoyará en la formulación presentada para tal fin en el Manual de Rellenos Sanitarios, editado por la Subsecretaría de Ecología de la SEDUE en 1984; mientras que para el análisis por carga orgánica, se emplea el modelo de celdillas de mezclado, el cual considera los mecanismos de dispersión, advección, absorción y degradabilidad del contaminante orgánico.

#### 5.1.3.1 Análisis de la contaminación del suelo por carga catiónica

Considerando al tipo de suelo existente en el sitio como arcillo arenoso, se determinaron teóricamente los valores referentes a la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y a su peso volumétrico (P.V.). Por lo tanto, los valores que se emplearon para esta determinación son los siguientes:

C.I.C.	=	7 meq / 100 grs.
P.V.	=	1,300 kg/m <sup>3</sup>
Q	=	0.4647 l/seg.
C	=	411 meq/lt.

Con base en la producción de lixiviado y tomando en cuenta que el relleno sanitario tendrá una vida útil

aproximada de 8 años y un área de 23 ha., se determinó la humedad lixivable de los residuos sólidos en  $m^2$ -año, el valor obtenido fue de 0.528 m.

Por lo tanto tenemos que:

$$\frac{411 \text{ meq/lt.}}{7 \text{ meq/100 grs.}} = 5,871 \text{ gr de suelo/lt de lixiviado}$$

Tomando en cuenta el peso volumétrico con la finalidad de remover  $1 m^3$  de lixiviado tenemos:

$$\frac{5,871 \text{ kgs}}{1,300 \text{ kgs}/m^3} = 4.52 m^3$$

Del resultado anterior se determina que para una lámina de lixiviado, se requieren 4.52 m. de profundidad de suelo. Con este valor y la humedad lixivable de 0.528 m., calculamos el espesor de la interfase para un año.

$$0.528 m \times 4.52 = 2.39 m.$$

Considerando que al cabo de 20 años, la producción de lixiviado aumenta aproximadamente sólo 4 veces la generada en el primer año, determinamos el espesor de la interfase requerida para estos años.

$$2.39 m \times 4 = 9.56 m$$

De acuerdo a la estratigrafía, se observa que el nivel de aguas freáticas en esta zona se encuentra aproximadamente a los 100 m., por lo que no existe riesgo de contaminación por carga catiónica en las aguas subterráneas.

### 5.1.3.2 Análisis de contaminación del suelo por carga orgánica

Para este análisis se tomará la DBO como indicador de contaminación orgánica y el modelo de celdillas de mezclado para analizar el comportamiento del contaminante durante su paso a través del suelo. Para efectuar este análisis se aplicarán las ecuaciones siguientes:

$$C_j = \frac{1}{1 + \frac{BA_nG_k}{Q}} C_{j-1}$$

$$G_j = 1 + \frac{1-n}{n} K1$$

Donde:

- j = Celdilla de mezclado que se analiza
- C<sub>j</sub> = Concentración del contaminante en la celdilla que se analiza, 35,000 mg/lit de DBO
- Q = Gasto que se filtra a través del suelo por la sección transversal 'A', 0.528 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-año igual a 0.001446 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-día
- A = Sección transversal de las celdillas, 1 m<sup>2</sup>
- B = Espesor de las celdillas, 0.25 m.
- n = Porosidad del suelo, 0.40
- k = Coeficiente de decaimiento del contaminante, 0.15 día
- C<sub>j-1</sub> = Concentración del contaminante en la celdilla anterior a la que se analiza, en el sentido del flujo
- G<sub>j</sub> = Coeficiente de retardo en la celdilla que se analiza
- K1 = Coeficiente de transferencia del contaminante, de fase líquida a fase sólida, 0.05

Sustituyendo valores:

$$G_j = 1 + \frac{1 - 0.40}{0.40} 0.05 = 1.075$$

Siendo constantes B, A, n, G, K y Q.

$$\frac{B A n G j K}{Q} = \frac{0.25 \times 1 \times 0.40 \times 1.075 \times 0.15}{0.001446} = 11.15$$

Aplicando y sustituyendo valores en la primera celdilla:

$$C1 = \frac{1}{1 + 11.15} \cdot 35,000 = 2,880.6 \text{ mg/lt de DBO}$$

$$C2 = 237.09 \text{ mg/lt de DBO}$$

$$C3 = 19.51 \text{ mg/lt de DBO}$$

$$C4 = 1.60 \text{ mg/lt de DBO}$$

Del análisis anterior, se observa que cuando el contaminante recorre un metro de profundidad, tiene una concentración de DBO menor a los 10 mg/lt, por lo que se concluye que la contaminación por carga orgánica no se presentará a más de un metro de profundidad, razón por la cual no se efectúa este análisis en la zona saturada.

## 5.2 Generación de biogás

De todos es conocido que los rellenos sanitarios producen cantidades importantes de biogás, debido a la descomposición biológica de los materiales orgánicos contenidos en los desechos sólidos depositados en los rellenos sanitarios.

El proceso de degradación que ocurre en el interior del relleno es un proceso anaeróbico similar al que ocurre dentro de un digestor de lodos con proceso anaerobio, siendo la diferencia únicamente que este último es operado bajo condiciones óptimas, condición que raramente ocurre en un relleno sanitario.

Existen tres tipos de descomposición de residuos sólidos dependientes entre sí en un relleno sanitario:

- **Biológica:** consiste en mecanismos complejos que transforman biológicamente el material orgánico en material parcial o totalmente descompuesto, así como en productos finales gaseosos.

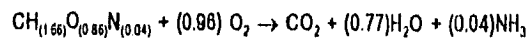


- Química: la descomposición se efectúa a través de la hidrólisis, disolución-precipitación, absorción-desorción, o intercambio iónico de los componentes, dando como resultado cambios en sus características y un gran movimiento de los diferentes constituyentes, formados a través de los estratos de los residuos sólidos.
- Física: en adición a los cambios físicos, precipitación, etc., incluye la caída o movimiento de los componentes residuales por la acción de la percolación del agua a través del relleno sanitario y a la difusión debida a los gradientes de concentración y al flujo, como resultado de los gradientes de presión.

Dentro de la descomposición biológica de los residuos depositados en un relleno sanitario existen diversas fases las cuales se describen a continuación:

#### Fase de descomposición aeróbica.

- Cuando los residuos sólidos están compactados y cubiertos en el relleno sanitario, el medio es muy poroso. Los huecos existentes están llenos de aire, en el cual el 78% es nitrógeno, 21% oxígeno y 1% de trazas de otros gases.
- La fase inicial de la descomposición microbiana de un residuo sólido en un relleno sanitario toma lugar en una atmósfera aeróbica, por lo que solamente microbios aeróbicos y facultativos son activos.
- Bajo condiciones aeróbicas, los residuos sólidos son oxidados a bióxido de carbono y agua, con liberación de energía (calor).



- La reacción genera grandes cantidades de calor, elevando la temperatura en el relleno sanitario a más de 68°C.
- Se forman grandes cantidades de bióxido de carbono, aumentando a concentraciones del 90%.

- El oxígeno es consumido durante el proceso de descomposición aeróbica y si no entra más aire (O<sub>2</sub>) al relleno sanitario, el proceso de digestión aeróbica cesará eventualmente y la digestión anaeróbica iniciará.
- La transición de la digestión aeróbica a la anaeróbica en un relleno sanitario es gradual, ocasionada por cierta cantidad de oxígeno que es suministrado a través del material de cubierta.
- La fase aeróbica puede tomar unos cuantos meses al año, dependiendo de cierto número de factores. Es relativamente rápida comparada con las diferentes fases anaeróbicas que se efectúan posteriormente.

**Fase de descomposición anaeróbica no-metanogénica.**

- La digestión anaeróbica es llevada a cabo por muchas clases de bacterias.
- Durante esta fase, la materia orgánica con altos pesos moleculares insolubles, es transformada en materiales muy simples y solubles en agua.

Celulosa      ----->Glucosa

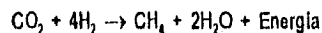
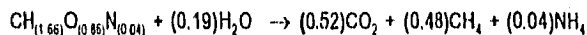
Proteínas    ----->Aminoácidos

Grasas        ----->Glicerol y Ácidos Grasos

- Se producen cantidades significativas de bióxido de carbono y algo de nitrógeno e hidrógeno.

#### Fase anaeróbica metanogénica inestable.

- Esta fase toma lugar simultáneamente con la fase anterior.
- La producción de metano comienza después de que todo el oxígeno ha sido consumido.
- Las bacterias que forman metano son necesariamente anaeróbicas. El oxígeno en cualquier cantidad inhibe su actividad, sin embargo, éstas forman esporas y cuando regresan las condiciones anaeróbicas iniciales, recuperan nuevamente su actividad normal.
- En ausencia del oxígeno, las bacterias que forman metano convierten a los ácidos orgánicos en 50% dióxido de carbono y 50% metano aproximadamente. El gas es saturado con vapor de agua. También se presentan pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y nitrógeno (N<sub>2</sub>). Las bacterias metanogénicas son también capaces de generar metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, cuando ambos están presentes.



- Una pequeña cantidad de energía es perdida en el proceso de conversión de los residuos sólidos a metano, permaneciendo el 90% de la energía de los residuos sólidos en éste. Por lo tanto, se genera menos calor que cuando la descomposición aeróbica se concluye.

#### Fase metanogénica anaeróbica en estado estable.

- Durante esta fase, las condiciones de producción y composición del gas se acercan a un estado estable.
- Las concentraciones de gas metano se estabilizan en un rango de 50 - 60% por volumen.

- Los rangos de concentración de bióxido de carbono están entre 40 y 50% por volumen.
- También están presentes trazas de otros gases (por ejemplo, ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.). Estos gases son las fuentes de olor de los rellenos sanitarios.
- El tiempo requerido para la estabilización del metano, varía de pocos meses a varios años, dependiendo de los factores que afectan la producción del metano.

### 5.2.1 Composición del biogás

La composición del biogás es muy variada y puede encontrarse en cualquier libro o publicación sobre el tema, pero el componente sobre el que fijaremos nuestra atención será el metano, ya que típicamente se le detecta en concentraciones del 40 % aproximadamente, el resto es atribuible al CO<sub>2</sub> y gases adicionales en concentraciones de partes por millón en volumen. Las propiedades de estos gases se mencionan a continuación.

#### Metano

- Peso molecular 16.04.
- No tiene olor, ni color, ni sabor.
- Más ligero que el aire, con una densidad de 0.7168 g/l.
- No es tóxico.
- Baja solubilidad en el agua y difícil de metabolizar.
- Altamente explosivo en concentraciones entre 5 - 15% por volumen en el aire.
- Una chispa o destello de una fuente de calor que exceda los 600°C, puede originar una explosión.

#### Bióxido de carbono

- No tiene olor ni color.
- Más pesado que el aire, densidad de 1.9768 g/l.

- Peso molecular de 44.01.
- Altamente soluble en agua (forma soluciones de ácidos débiles corrosivos).
- No flamable.
- Potencialmente peligroso (una concentración del 10% de  $\text{CO}_2$  en una atmósfera pura de oxígeno, puede causar un envenenamiento involuntario).

Los gases adicionales que ocurren en concentraciones de ppmv, son típicamente el  $\text{H}_2\text{S}$  formando mercaptanos y otros gases sulfurados olorosos, otros alcanos como el etano y otros compuestos orgánicos volátiles siendo los principales dentro de los hidrocarburos aromáticos el benceno, tolueno, etilbenceno, ortoxileno y algunos hidrocarburos halogenados.

#### Acido sulfhídrico

- Mayor fuente de olores - rango de olor 0.0047 ppm
- Producido por sulfatos en rellenos sanitarios bajo condiciones anaeróbicas.
- Los sulfatos pueden provenir de:
  - Residuos animales o vegetales.
  - Placas de yeso - sulfato de calcio.
  - Infiltración de agua salobre en los residuos.

#### 5.2.2 Peligrosidad del biogás

El biogás debido al metano puede ser explosivo en concentraciones entre 5 y 15 % en volumen con aire atmosférico, es corrosivo por el porcentaje de  $\text{CO}_2$  que contiene, y su condensado, también lo es por el  $\text{H}_2\text{S}$ , su olor ofende al sentido del olfato y afecta a la comunidad que vive en los alrededores del sitio creando tensiones dentro de las familias, pérdida del apetito, induciendo ira en las personas y propicia el sentimiento de no desear regresar al hogar al fin del trabajo, es tóxico y puede producir asfixia.

La mayor contribución al olor del biogás viene de dos grupos de compuestos, el primer grupo está formado por ésteres y organosulfuros incluyendo también ciertos solventes depositados con los desechos sólidos, el segundo grupo incluye alquilo y limoneno. La mayoría de los compuestos mal olientes se forman durante las etapas de descomposición no metanogénica y anaeróbica. Durante las primeras etapas de descomposición los alcoholes son particularmente notables. Los olores dulces afrutados y pútridos de estos compuestos se hacen menos potentes con el tiempo. Los gases formados en la etapa anaeróbica no son olorosos de por sí, pero la presencia de metano incrementa la percepción de otros gases mal olientes.

Existe también una cantidad muy grande de compuestos orgánicos no metánicos en el biogás, entre los que figuran el benceno, tetracloruro de carbono, cloroformo, dicloruro de etileno, cloruro de metileno, percloroetileno, tricloroetileno, cloruro de vinilo, cloruro de vinilideno calificados con identificación peligrosa, que es el paso cualitativo para determinar si la exposición a una sustancia dada está o no asociada con efectos adversos a la salud, en general se les considera como cancerígenos.

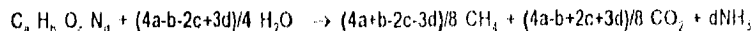
La migración subterránea del biogás desde los rellenos sanitarios hacia terrenos vecinos puede resultar en la contaminación del agua subterránea debido a los compuestos orgánicos volátiles si el biogás entra en contacto con el agua subterránea.

Por tanto las emisiones de este biogás por la superficie y la migración a través de los lados y el fondo de los antiguos y nuevos rellenos, cuando no cuentan con cubierta final y membranas flexibles, causan o contribuyen significativamente a la contaminación del suelo, y atmósfera debido a que los compuestos orgánicos no metánicos reaccionan con los rayos ultravioletas del sol generando ozono.

### 5.2.3 Tasa de Producción

Una manera de controlar dicha contaminación requiere primeramente que se conozca la cantidad y calidad del biogás generado. A continuación haremos una reflexión sobre la cantidad posible de generación.

Primeramente se ocurre encontrar un volumen de biogás posible de generarse por peso de residuos usando la estequiometría correspondiente a una digestión anaerobia como la siguiente:



Pero los resultados proporcionan valores no reales del biogás producido por masa de residuos debido a que se consideran productos finales y existen componentes de los residuos como lignina, celulosa y grasa que no se biodegradan completamente.

En los últimos años se ha medido en varios rellenos sanitarios y en lisímetros abiertos, que aparentemente proporcionan una buena generación debido a que la eficiencia en la recolección del biogás es desconocida; y en lisímetros cerrados donde se pueden medir las tasas de generación de biogás y su composición, pero no se pueden duplicar las condiciones de los rellenos sanitarios en lo que al clima en general se refiere y que usualmente proporciona muy poco o ningún contenido de metano; por esto la producción de biogás generado en ellos y los valores encontrados para la tasa de producción han sido muy variados, en un rango que fluctúa entre 0.75 a 34 litros de biogás por kilogramo de residuos húmedos por año, pero hay investigadores que llegan a valores teóricos llamados de última productividad, tan altos como 450 l/kg, y valores medidos en laboratorio de 260 l/kg. Esto obedece a los factores que afectan dicha producción como son: la composición de los desechos, la temperatura, el pH y alcalinidad y la cantidad y calidad de nutrientes principalmente nitrógeno, fósforo y potasio contenidos en los desechos sólidos, y finalmente la presencia de algunos inhibidores dentro del relleno.

Es conocido que su tasa de producción varía con el tiempo por lo que el método estequiométrico requiere de ayuda interviniendo la cinética de la reacción y también es conocido que la producción continúa por varias décadas por lo que se hace difícil predecir la cantidad de gas generado. Hay investigadores que dan "vidas medias": a los desechos rápidamente putrecibles, como los provenientes de desperdicios de comida, residuos de jardín, etc., entre medio y un año; para los desechos sólidos refractarios se les asigna una vida media teórica infinita.

### 5.2.3.1 Factores que modifican la producción de biogás

Es importante destacar que en los métodos teóricos no se consideran los factores que inciden en la producción de biogás, los cuales se detallan a continuación:

**a) pH**

La mayoría de los microorganismos se desarrollan más eficientemente en condiciones neutras, ya que en condiciones de acidez o alcalinidad pueden afectar el metabolismo al alterarse el equilibrio químico de las reacciones enzimáticas, o bien por la destrucción de enzimas, el grupo de los organismos metanogénicos es el más sensible a los valores de pH. Su desarrollo es óptimo a valores aproximados de 6.8, aunque toleran un rango que va de 6.2 a 7.6 en digestoras anaerobias, y un rango de 5.5 a 9.0 en suelos.

El pH en un relleno sanitario es influenciado por dos factores fundamentales, los ácidos que se producen durante la fase de fermentación ácida y el dióxido de carbono que se disuelve en el agua presente. Los ácidos tienden a bajar el pH, sin embargo, el dióxido de carbono, debido a su capacidad de actuar como "buffer", opone resistencia al cambio de pH. Esta situación propicia la proliferación de microorganismos metanogénicos, ya que mantienen valores de pH cercanos a la neutralidad.

**b) Temperatura**

La actividad de los microorganismos en general tiende a aumentar con la temperatura, siempre y cuando esta no exceda ciertos límites arriba de los cuales las enzimas necesarias para el metabolismo de los microorganismos son destruidas por el calor. De los microorganismos presentes durante la degradación anaeróbica, la bacteria metanogénica es la más sensible a cambios de temperatura, habiéndose establecido empíricamente que el potencial óptimo para la generación de metano es de alrededor de 45 °C para el rango mesofílico y 55 °C para el rango termofílico. La generación de metano en condiciones termofílicas es aproximadamente el doble que en condiciones mesofílicas.

**c) Nutrientes**

Los nutrientes necesarios para la degradación anaeróbica incluyen nitrógeno, fósforo, magnesio, sodio, calcio y cobalto. Por lo general, los desechos orgánicos biodegradables contienen los



nutrientes necesarios para los organismos metanogénicos en cantidades suficientes, pero el exceso de nutrientes puede tener efectos tóxicos sobre los microorganismos, especialmente en el caso del nitrógeno.

#### **Efectos tóxicos**

Existen algunos compuestos que pueden tener efectos tóxicos en los organismos productores de metano; los principales son amoníaco, ácidos volátiles y metales pesados. El amoníaco por lo general se forma rápidamente por la desaminación de compuestos proteínicos. El amoníaco libre es mucho más tóxico que el ión amonio, y su nivel debe ser mantenido por debajo de los 80 mg/l. El ión amonio por el contrario, puede tolerarse en concentraciones de 1,500 a 3,000 mg/l. Concentraciones elevadas de ácidos tales como el acético, propiónico y butírico pueden tener efectos tóxicos sobre la bacteria metanogénica, aunque no se ha podido establecer con claridad si la toxicidad es atribuible directamente a los ácidos, o si la acidez es una manifestación de toxicidad, los iones de metales pesados inhiben el metabolismo y aniquilan a los microorganismos al inhibir los grupos de sulfhidrilos particularmente en los casos que los metales se encuentran en su forma soluble. La presencia de sulfatos tiende a minimizar los efectos de los metales, ya que forma compuestos no tóxicos o precipitados insolubles con estos.

#### **d) Relación Carbón/Nitrógeno**

El nitrógeno es esencial para la síntesis de aminoácidos, enzimas y protoplasma de los microorganismos. Adicionalmente, una porción de este es convertido a amoníaco, el cual es una base fuerte y neutraliza los ácidos volátiles que se generan durante la fase de fermentación ácida, ayudando a mantener los niveles de pH requeridos para el desarrollo de microorganismos. Por otro lado, como ya ha sido mencionado, el amoníaco libre tiene efectos tóxicos sobre la bacteria metanogénica. En digestores anaeróbicos controlados, se ha encontrado que la relación óptima carbono/nitrógeno para mantener condiciones adecuadas de nutrientes y pH, y evitar un exceso en la formación de amoníaco es de 30, aunque la digestión puede darse en un rango de 10 a 90.

En el caso de rellenos sanitarios, los organismos metanogénicos no pueden establecerse hasta en

tanto el exceso de amoníaco no haya sido consumido por los microorganismos nitrificadores-denitrificadores.

Los factores que inciden sobre la producción de metano en un relleno sanitario son las siguientes:

**a) Composición de los residuos**

Los residuos orgánicos de alimentos constituyen la fracción más fácil y rápidamente degradable. El papel, cartón, trapo, residuos de jardinería y de madera se degradan más lentamente, por lo que los porcentajes relativos de estos componentes determinarán la velocidad de generación del biogás; la velocidad de la degradación anaeróbica es, en orden descendente, residuos de comida, papel, hojas y pastos, madera y hule. En rellenos sanitarios en que se han depositado residuos con un alto contenido de residuos orgánicos fácilmente degradables (mercado, granjas, restaurantes, residuos domésticos con alto contenido de materia orgánica), el biogás tiende a generarse rápidamente durante los primeros 6 años, mientras que en aquellos en que han sido depositados residuos inorgánicos (alto contenido de papel, cartón, trapo, madera y plástico), el metano será generado durante un lapso de 15 a 30 años.

**b) Humedad**

El contenido de humedad es crítico para la formación de biogás. En ensayos experimentales se encontró que el elevar la humedad de un 61 % a un 75 % puede aumentar de 10 a 20 veces la velocidad de generación de metano por periodos cortos. Esto sugiere que en un relleno sanitario el control de humedad pueda ser utilizado para regular la generación de metano.

**c) Compactación**

La compactación de residuos disminuye su porosidad y propicia el contacto de la porción biodegradable con los microorganismos. Así mismo reduce la cantidad de aire presente, por lo que puede reducir el tiempo necesario para la descomposición anaeróbica y la generación de metano.

#### d) Trituración

La trituración de residuos reduce el tamaño de partículas presentes, lo que aumenta el área de contacto entre los residuos y los microorganismos, proporcionando una degradación más rápida. En el manejo de los residuos en la Ciudad de México, nunca se han triturado, por lo que este factor no incide en los sitios análisis.

#### 5.2.4 Modelos para el cálculo de la generación de biogás

Con la finalidad de determinar las emisiones globales de metano en los sitios de disposición final, se utilizaron modelos teóricos, los cuales determinan la tasa de generación de metano por tonelada de desechos, éstos han sido aplicados por la Environmental Protection Agency, la cual identifica tres tipos de modelos. El primero de aproximaciones globales sobre estimaciones teóricas del potencial de metano de los desechos. El segundo modelo, requiere de datos de lectura en pozos sobre la producción de metano, el cual se encuentra en una etapa experimental. El tercer modelo, considera la cantidad de residuos depositados en el sitio y una tasa de generación de biogás dependiente del clima en que se localiza el relleno sanitario.

##### 5.2.4.1 Modelo cinético teórico

Con este modelo se pretende realizar un análisis de la producción teórica de metano. Es importante destacar que estos resultados deben ser tomados con reserva, ya que corresponden a un método teórico, sin embargo se consideran válidos para una primera evaluación, la cual determinará el nivel potencial de producción entre los sitios considerados.

El modelo teórico considera la generación de gas en función del potencial de metano de los desechos,  $L_0$  y una tasa constante  $K$  de producción. En la tabla No. 5.2.4.1.1, se presentan los valores reportados de producción en los últimos años de algunos sitios de disposición final en los Estados Unidos de América. Para el caso de la Ciudad de México, se decidió tomar el valor teórico reportado para rellenos sanitarios.

Para desarrollar el método cinético se estableció una clasificación de la composición promedio de los desechos que se depositarán en el sitio para realizar la clasificación por grupo en función de su velocidad de descomposición.

Este modelo permite estimar la producción de biogás en un relleno sanitario, utilizando un modelo matemático de primer grado en dos etapas para cada uno de los grupos de residuos sólidos identificados.

### POTENCIAL DE GENERACION DE METANO

TIPO DE RESIDUO	POTENCIAL ESTIMADO DE METANO		REFERENCIA
	TEORICO (m <sup>3</sup> /ton)	ACTUAL (m <sup>3</sup> /ton)	
Máximo teórico	350-400		WILLUSEN (1990)
Experimentos de laboratorio	130-300		
Residuos sólidos (global)	162		BINGEMER Y CRUTZEN (1981)
Países industrializados	180	120	ORLICH (1990)
Países de desarrollo	60	30	
Residuos occidentales	200 *	68 *	
Relleno sanitario		50-125	HAM Y BARLGZ (1992)
Residuos de E U		62-125 **	AUGENSTEIN Y PACEY (1990)

\* Calculado del total de gas estimado en rellenos conteniendo el 60 % de CH<sub>4</sub>

\*\* Extrapolado de estudios de laboratorio

TABLA No. 5.24.1.1

En cada uno de los grupos se define el  $t_{1/2}$  que es el tiempo en el que se producirá la mitad del volumen esperado de metano y  $t_{99/100}$  que es el tiempo en el que se producirá el 99 % del volumen de metano.

El promedio total esperado de metano se determina con la siguiente ecuación:

$$P = fC$$

Donde: P = Promedio total esperado de metano (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>)

f = Factor de generación de metano (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton de residuos)

C = Cantidad total de residuos depositados

Con esto y el porcentaje normalizado de cada uno de los grupos, se calcula la cantidad de metano que se espera se produzca por cada uno de ellos.

$$L_0 = P(\%)$$

Donde:  $L_0$  = Cantidad total de metano a producir por grupo de desechos.

$P$  = Promedio total esperado de metano

$\%$  = Porcentaje normalizado por cada uno de los grupos de desechos

La producción de metano con respecto al tiempo, se calculó utilizando dos fórmulas, la primera, en la que se utiliza  $t_{1/2}$  y en la segunda fórmula se emplea  $t_{3/4100}$  en la que se calcula la segunda mitad de la producción total de metano.

Primera etapa.

$$G_1 = \frac{L_0}{2} \exp(-K_1(t - t_{1/2}))$$

$$K_1 = \frac{\ln 50}{t_{1/2}}$$

Donde:  $G_1$  = Cantidad de metano producida en la primera etapa, con respecto al tiempo (años).

$L_0$  = Cantidad total de metano que se espera se produzca (por grupo de desechos) ( $m^3$ ).

$K_1$  = Constante de velocidad de producción de gas (primera etapa)

$t_{1/2}$  = Tiempo supuesto en el que se producirá la mitad del volumen de metano esperado (años).

$t$  = Tiempo que cuenta a partir del establecimiento de la etapa metanogénica (años).

Segunda etapa.

$$G_2 = L_0 - \frac{L_0}{2} \exp(-K_2(t - t_{1/2}))$$

$$K_2 = \frac{\ln 50}{t_{99/100} - t_{1/2}}$$

- Donde:  $L_0$  = Cantidad total de metano que se espera se produzca (por grupos de desechos).  
 $K_2$  = Constante de velocidad de producción de gas (segunda etapa).  
 $t_{1/2}$  = Tiempo supuesto en que se producirá la mitad de volumen de gas (años).  
 $t_{99/100}$  = Tiempo supuesto en que se producirá el 99% de volumen de gas (años).  
 $t$  = Tiempo que cuenta a partir del establecimiento de la etapa metanogénica (años).

Cálculo de la cantidad remanente de biogás

$$L_t = \frac{L_0}{2} \exp \{-K_2 (t - t_{1/2})\}$$

- Donde:  $L_t$  = Cantidad remanente de biogás por generar

- $L_0$  = Cantidad total de metano que se espera se produzca (por grupos de desechos).  
 $K_2$  = Constante de velocidad de producción de gas (segunda etapa).  
 $t_{1/2}$  = Tiempo supuesto en que se producirá la mitad de volumen de gas (años).  
 $t$  = Tiempo que cuenta a partir del establecimiento de la etapa metanogénica (años).

Cálculo de las tasas de generación de metano.

Primera etapa.

$$\text{Log } G'_1 = \frac{(\text{Log } K_1 L_0 - K_1 t_{1/2} + (K_1) t)}{2.3}$$

- Donde:  $G'_1$  = Velocidad de generación de metano  
 $k_1$  = Constante de velocidad de producción de gas  
 $L_0$  = Cantidad total de metano que se espera se produzca (por grupo de desechos)  
 $t_{1/2}$  = Tiempo en el cual se produce la mitad del volumen esperado de gas (años)  
 $t$  = Tiempo que cuenta a partir del establecimiento de la etapa metanogénica (años).

Segunda etapa.

$$\text{Log } G'_m = \frac{(\text{Log } K_d L_0 - K_d t_{1/2} + (K_d) t)}{2.3}$$

- Donde:  $G'_m$  = Velocidad de generación de metano  
 $K_d$  = Constante de velocidad de producción  
 $L_0$  = Cantidad total de metano que se espera produzca (por grupo de desechos)  
 $t_{1/2}$  = Tiempo en el cual se produce la mitad del volumen esperado de gas (años)  
 $t$  = Tiempo que cuenta a partir de la etapa metanogénica (años).

Para la aplicación del método, fué necesario contar con la composición física de los residuos que serán depositados en el sitio, para esto se utilizó la información existente para la Ciudad de México (tabla No. 5.2.4.1.2), debido a que no se cuenta con información específica de los municipios que depositarán sus residuos y que no existe gran diferencia éntre la composición física de los residuos generados en estos municipios y los generados en el Distrito Federal.





**COMPOSICION FISICA PROMEDIO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS  
MUNICIPALES GENERADOS EN LA CIUDAD DE MEXICO  
(% EN PESO)**

SUBPRODUCTOS	PROMEDIO
Abateleguas	0.09
Algodón	1.25
Cartón	9.27
Cuero	0.19
Envase de cartón	1.86
Fibra dura vegetal	0.36
Fibra sintética	0.44
Gasa	0.70
Hueso	0.21
Hule	0.66
Jeringa desechable	0.25
Lata	1.45
Loza y cerámica	0.24
Madera	1.70
Material de construcción	4.79
Material ferroso	1.03
Material no ferroso	0.70
Papel bond	7.59
Papel periódico	6.78
Papel sanitario	5.90
Pañal desechable	0.46
Placas radiológicas	0.01
Plástico de película	3.43
Plástico rígido	3.65
Poliuretano	0.18
Poliuretano expandido	0.74
Residuo alimenticio	28.08
Residuo de jardinería	3.55
Toallas sanitarias	0.25
Trapo	0.78
Vendas	0.02
Vidrio de color	2.73
Vidrio transparente	3.87
Residuo fino	2.16
Otros	4.34
Total	100.00

TABLA No. 5.2.4.1.2

Posteriormente se agruparon considerando el tiempo en que tarda en degradarse, como se muestra en las tablas Nos. 5.2.4.1.3, 5.2.4.1.4 y 5.2.4.1.5.

RAPIDAMENTE DEGRADABLES	% EN PESO
Residuo alimenticio	28.06

**TABLA No. 5.2.4.1.3**

MODERADAMENTE DEGRADABLES	% EN PESO
Abatelenguas	0.09
Algodón	1.25
Cartón	9.27
Envase de cartón	1.86
Fibra dura vegetal	0.36
Gasa	0.70
Hueso	0.21
Madera	1.70
Material ferroso	1.03
Papel	20.27
Residuos de jardinería	3.55
Toallas sanitarias	0.25
Trapo	0.78
Vendas	0.02
Total	41.34

**TABLA No. 5.2.4.1.4**

LENTAMENTE DEGRADABLES	% EN PESO
Cuero	0.19
Fibra sintética	0.44
Hule	0.66
Jeringa desechable	0.25
Lata	1.45
Loza y cerámica	0.24
Plástico	7.08
Poliuretano	0.48
Poliestireno expandido	0.74
Pañal desechable	0.48
Placas radiológicas	0.01
Total	12.00

**TABLA No. 5.2.4.1.5**

Posteriormente se procedió a normalizar los promedios como se muestra en la tabla No. 5.2.4.1.6

GRUPO DE RESIDUOS	% EN PESO	%
I. Rápidamente degradables	28.06	34.47
II. Moderadamente degradables	41.34	50.79
III. Lentamente degradables	12.00	14.74
Total	81.40	100.00

**TABLA No. 5.2.4.1.6**

Se realizó una evaluación previa de la cantidad total de metano que se espera se produzca en el sitio, para lo cual se supusieron los tiempos medios de producción y los tiempos en que se producirá el 99 % del total de metano para cada grupo de residuos (tabla No. 5.2.4.1.7).

### VALORES TÍPICOS DE LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN DE METANO

GRUPO	L	$t_{50\%}$
I Materia que se descompondrá rápidamente	1	35
II Materia que se descompondrá a mediano plazo	2	6
III Materia que se descompondrá en un tiempo mucho mayor	20	60

TABLA No. 5.2.4.1.7

Determinación del promedio total esperado de metano

$$P = f C$$

$$P = ( 125 \text{ m}^3/\text{ton} ) ( 6'708.204.79 \text{ ton} )$$

$$P = 838'525.598.75 \text{ m}^3$$

Cálculo de la cantidad de metano que se espera se produzca por cada uno de los grupos

$$L_0 = P ( \% )$$

$$L_0 = ( 838'525.598.75 ) ( 0.3474 )$$

$$L_0 = 291'303.793 \text{ m}^3$$

$$L_0 = ( 838'525.598.75 ) ( 0.5079 )$$

$$L_0 = 425'887.151 \text{ m}^3$$

$$L_0 = ( 838'525.598.75 ) ( 0.1474 )$$

$$L_0 = 123'598.673 \text{ m}^3$$

Cálculo de la constante de velocidad de producción de gas

Primera etapa

$$K_1 = \frac{\ln 50}{t_{1/2}}$$

$$K_{1I} = \frac{\ln 50}{1} = 3.91$$

$$K_{1II} = \frac{\ln 50}{2} = 1.96$$

$$K_{1III} = \frac{\ln 50}{20} = 0.196$$

Segunda etapa

$$K_{2I} = \frac{\ln 50}{t_{99/100} - t_{1/2}} = \frac{\ln 50}{3.5 - 1} = 1.57$$

$$K_{2II} = \frac{\ln 50}{6 - 2} = 0.978$$

$$K_{2III} = \frac{\ln 50}{60 - 20} = 0.098$$

CANTIDAD DE METANO QUE SE PRODUCIRA

GRUPO I RAPIDAMENTE DEGRADABLES

PRIMERA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	$L_{0I}$	$K_{1I}$	$t_{1/2I}$	$G_{1I}$
1992	1	291.303.793.00	3.91	1	145.651.896

SEGUNDA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	$L_{0I}$	$K_{2I}$	$t_{1/2I}$	$G_{2I}$
1993	2	291.303.793.00	1.57	1	261.001.617.63
1994	3	291.303.793.00	1.57	1	284.959.571.40
1995	4	291.303.793.00	1.57	1	289.992.230.07
1996	5	291.303.793.00	1.57	1	291.030.928.65
1997	6	291.303.793.00	1.57	1	291.247.024.69
1998	7	291.303.793.00	1.57	1	291.291.982.67
1999	8	291.303.793.00	1.57	1	291.301.335.92
2000	9	291.303.793.00	1.57	1	291.303.281.82
2001	10	291.303.793.00	1.57	1	291.303.686.65
2002	11	291.303.793.00	1.57	1	291.303.770.87

CALENDARIZACION	AÑO	L1	K2	M2	G2
2003	12	291,303,793.00	1.57	1	291,303,788.40
2004	13	291,303,793.00	1.57	1	291,303,792.04
2005	14	291,303,793.00	1.57	1	291,303,792.80
2006	15	291,303,793.00	1.57	1	291,303,792.96
2007	16	291,303,793.00	1.57	1	291,303,792.99
2008	17	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2009	18	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2010	19	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2011	20	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2012	21	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2013	22	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2014	23	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2015	24	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2016	25	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2017	26	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2018	27	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2019	28	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2020	29	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2021	30	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2022	31	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2023	32	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2024	33	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2025	34	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2026	35	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2027	36	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2028	37	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2029	38	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2030	39	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2031	40	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2032	41	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2033	42	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2034	43	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2035	44	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2036	45	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00

CALENDARIZACION	AÑO	L <sub>01</sub>	K <sub>21</sub>	t <sub>1/21</sub>	G <sub>21</sub>
2037	46	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2038	47	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2039	48	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2040	49	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2041	50	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2042	51	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2043	52	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2044	53	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2045	54	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2046	55	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2047	56	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2048	57	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2049	58	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2050	59	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00
2051	60	291,303,793.00	1.57	1	291,303,793.00

TABLA No. 5.2.4.1.8

CANTIDAD DE METANO QUE SE PRODUCIRA

GRUPO II MODERADAMENTE DEGRADABLES

PRIMERA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	L <sub>01</sub>	K <sub>11</sub>	t <sub>1/21</sub>	LogG <sub>11</sub>
1992	1	425,887,151.00	1.98	2	29,894,865.79
1993	2	425,887,151.00	1.98	2	212,943,575.50

SEGUNDA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	L <sub>01</sub>	K <sub>21</sub>	t <sub>1/21</sub>	LogG <sub>21</sub>
1994	3	425,887,151.00	0.98	2	345,807,063.56
1995	4	425,887,151.00	0.98	2	395,772,035.35
1996	5	425,887,151.00	0.98	2	414,561,886.16
1997	6	425,887,151.00	0.98	2	421,628,181.51
1998	7	425,887,151.00	0.98	2	424,285,512.41
1999	8	425,887,151.00	0.98	2	425,284,834.83

2000	9	425,887,151.00	0.98	2	425,660,642.49
2001	10	425,887,151.00	0.98	2	425,801,969.65
2002	11	425,887,151.00	0.98	2	425,855,117.49
2003	12	425,887,151.00	0.98	2	425,875,104.40
2004	13	425,887,151.00	0.98	2	425,882,620.73
2005	14	425,887,151.00	0.98	2	425,885,447.33
2006	15	425,887,151.00	0.98	2	425,886,510.32
2007	16	425,887,151.00	0.98	2	425,886,910.06
2008	17	425,887,151.00	0.98	2	425,887,090.3
2009	18	425,887,151.00	0.98	2	425,887,116.03
2010	19	425,887,151.00	0.98	2	425,887,138.19
2011	20	425,887,151.00	0.98	2	425,887,148.18
2012	21	425,887,151.00	0.98	2	425,887,149.19
2013	22	425,887,151.00	0.98	2	425,887,150.32
2014	23	425,887,151.00	0.98	2	425,887,150.74
2015	24	425,887,151.00	0.98	2	425,887,150.90
2016	25	425,887,151.00	0.98	2	425,887,150.96
2017	26	425,887,151.00	0.98	2	425,887,150.99
2018	27	425,887,151.00	0.98	2	425,887,150.99
2019	28	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2020	29	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2021	30	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2022	31	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2023	32	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2024	33	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2025	34	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2026	35	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2027	36	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2028	37	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2029	38	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2030	39	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2031	40	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2032	41	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2033	42	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2034	43	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00



2035	44	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2036	45	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2037	46	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2038	47	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2039	48	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2040	49	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2041	50	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2042	51	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2043	52	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2044	53	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2045	54	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2046	55	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2047	56	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2048	57	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2049	58	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2050	59	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00
2051	60	425.887.151.00	0.98	2	425.887.151.00

TABLA No. 5.2.4.1.9

CANTIDAD DE METANO QUE SE PRODUCIRA

GRUPO III LENTAMENTE DEGRADABLES

PRIMERA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	Loi	Ki	11/2i	G <sub>i</sub>
1992	1	123.598.673.00	0.20	20	1.491.664.53
1993	2	123.598.673.00	0.20	20	1.814.650.63
1994	3	123.598.673.00	0.20	20	2.207.570.59
1995	4	123.598.673.00	0.20	20	2.685.599.01
1996	5	123.598.673.00	0.20	20	3.267.066.56
1997	6	123.598.673.00	0.20	20	3.974.474.86
1998	7	123.598.673.00	0.20	20	4.835.055.60
1999	8	123.598.673.00	0.20	20	5.881.975.23
2000	9	123.598.673.00	0.20	20	7.155.561.12

2035	44	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2036	45	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2037	46	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2038	47	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2039	48	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2040	49	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2041	50	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2042	51	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2043	52	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2044	53	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2045	54	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2046	55	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2047	56	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2048	57	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2049	58	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2050	59	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00
2051	60	425,887,151.00	0.98	2	425,887,151.00

TABLA No. 5.2.4.1.9

CANTIDAD DE METANO QUE SE PRODUCIRA

GRUPO III LENTAMENTE DEGRADABLES

PRIMERA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	Lol	Kil	1172i	Gh
1992	1	123,598,673.00	0.20	20	1,491,664.53
1993	2	123,598,673.00	0.20	20	1,814,650.03
1994	3	123,598,673.00	0.20	20	2,207,570.59
1995	4	123,598,673.00	0.20	20	2,685,569.01
1996	5	123,598,673.00	0.20	20	3,267,066.96
1997	6	123,598,673.00	0.20	20	3,974,474.86
1998	7	123,598,673.00	0.20	20	4,835,055.60
1999	8	123,598,673.00	0.20	20	5,881,975.23
2000	9	123,598,673.00	0.20	20	7,155,561.12

2001	10	123,598,673.00	0.20	20	8,704,956.95
2002	11	123,598,673.00	0.20	20	10,509,814.34
2003	12	123,598,673.00	0.20	20	12,882,794.07
2004	13	123,598,673.00	0.20	20	15,672,265.60
2005	14	123,598,673.00	0.20	20	19,055,732.77
2006	15	123,598,673.00	0.20	20	23,193,976.89
2007	16	123,598,673.00	0.20	20	28,216,096.93
2008	17	123,598,673.00	0.20	20	34,325,641.08
2009	18	123,598,673.00	0.20	20	41,758,065.91
2010	19	123,598,673.00	0.20	20	50,798,810.70
2011	20	123,598,673.00	0.20	20	61,799,336.50

SEGUNDA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	Loi	K2i	11/2i	G2i
2012	21	123,598,673.00	0.10	20	67,568,372.31
2013	22	123,598,673.00	0.10	20	72,798,862.30
2014	23	123,598,673.00	0.10	20	77,541,080.32
2015	24	123,598,673.00	0.10	20	81,840,607.09
2016	25	123,598,673.00	0.10	20	85,738,768.32
2017	26	123,598,673.00	0.10	20	89,273,031.92
2018	27	123,598,673.00	0.10	20	92,477,368.15
2019	28	123,598,673.00	0.10	20	95,382,576.07
2020	29	123,598,673.00	0.10	20	98,018,579.65
2021	30	123,598,673.00	0.10	20	100,404,606.11
2022	31	123,598,673.00	0.10	20	102,569,879.28
2023	32	123,598,673.00	0.10	20	104,532,940.23
2024	33	123,598,673.00	0.10	20	106,312,747.28
2025	34	123,598,673.00	0.10	20	107,928,407.40
2026	35	123,598,673.00	0.10	20	109,389,430.57
2027	36	123,598,673.00	0.10	20	110,715,878.93
2028	37	123,598,673.00	0.10	20	111,918,501.88
2029	38	123,598,673.00	0.10	20	113,008,658.66
2030	39	123,598,673.00	0.10	20	113,997,429.43
2031	40	123,598,673.00	0.10	20	114,893,718.05
2032	41	123,598,673.00	0.10	20	115,706,333.32
2033	42	123,598,673.00	0.10	20	116,443,091.88

CALENDARIZACION	AÑO	L <sub>0</sub>	K <sub>2</sub>	11/2 <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>
2034	43	123,598,673.00	0.10	20	117,111,073.22
2035	44	123,598,673.00	0.10	20	117,716,697.77
2036	45	123,598,673.00	0.10	20	118,265,766.61
2037	46	123,598,673.00	0.10	20	118,763,617.40
2038	47	123,598,673.00	0.10	20	119,214,975.14
2039	48	123,598,673.00	0.10	20	119,624,198.14
2040	49	123,598,673.00	0.10	20	119,995,219.73
2041	50	123,598,673.00	0.10	20	120,331,606.04
2042	51	123,598,673.00	0.10	20	120,636,590.32
2043	52	123,598,673.00	0.10	20	120,913,103.99
2044	53	123,598,673.00	0.10	20	121,163,904.80
2045	54	123,598,673.00	0.10	20	121,391,102.41
2046	55	123,598,673.00	0.10	20	121,597,181.55
2047	56	123,598,673.00	0.10	20	121,784,022.97
2048	57	123,598,673.00	0.10	20	121,953,422.54
2049	58	123,598,673.00	0.10	20	122,107,006.47
2050	59	123,598,673.00	0.10	20	122,246,256.99
2051	60	123,598,673.00	0.10	20	122,372,506.51

TABLA No. 5.2.4.1.10

CANTIDAD REMANENTE DE BIOGAS

GRUPO I RAPIDAMENTE DEGRADABLES

CALENDARIZACION	AÑO	11/2 <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>t</sub>
1992	1	1.00	1.57	291,303,793.00	356,423,454.98
1993	2	1.00	1.57	291,303,793.00	74,152,182.69
1994	3	1.00	1.57	291,303,793.00	15,427,004.37
1995	4	1.00	1.57	291,303,793.00	3,209,513.94
1996	5	1.00	1.57	291,303,793.00	667,723.91
1997	6	1.00	1.57	291,303,793.00	136,916.74
1998	7	1.00	1.57	291,303,793.00	28,900.96
1999	8	1.00	1.57	291,303,793.00	6,012.71

CALENDARIZACION	AÑO	11/2i	K2i	L0i	L1
2000	9	1.00	1.57	291.303.793.00	1.250.91
2001	10	1.00	1.57	291.303.793.00	260.25
2002	11	1.00	1.57	291.303.793.00	54.14
2003	12	1.00	1.57	291.303.793.00	11.26
2004	13	1.00	1.57	291.303.793.00	2.34
2005	14	1.00	1.57	291.303.793.00	0.49
2006	15	1.00	1.57	291.303.793.00	0.10
2007	16	1.00	1.57	291.303.793.00	0.02
2008	17	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2009	18	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2010	19	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2011	20	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2012	21	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2013	22	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2014	23	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2015	24	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2016	25	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2017	26	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2018	27	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2019	28	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2020	29	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2021	30	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2022	31	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2023	32	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2024	33	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2025	34	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2026	35	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2027	36	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2028	37	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2029	38	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2030	39	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2031	40	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2032	41	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2033	42	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00

CALENDARIZACION	AÑO	11/2i	K2i	Lo	Li
2034	43	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2035	44	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2036	45	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2037	46	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2038	47	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2039	48	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2040	49	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2041	50	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2042	51	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2043	52	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2044	53	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2045	54	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2046	55	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2047	56	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2048	57	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2049	58	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2050	59	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00
2051	60	1.00	1.57	291.303.793.00	0.00

TABLA No. 5.2.4.1.11

CANTIDAD REMANENTE DE BIOGAS

GRUPO II RAPIDAMENTE DEGRADABLES

CALENDARIZACION	AÑO	11/2i	K2i	Lo	Li
1992	1	2.00	0.98	425.887.151.00	208.410.819.78
1993	2	2.00	0.98	425.887.151.00	78.375.488.11
1994	3	2.00	0.98	425.887.151.00	29.474.079.82
1995	4	2.00	0.98	425.887.151.00	11.084.095.32
1996	5	2.00	0.98	425.887.151.00	4.168.312.29
1997	6	2.00	0.98	425.887.151.00	1.567.545.82
1998	7	2.00	0.98	425.887.151.00	589.495.16
1999	8	2.00	0.98	425.887.151.00	221.687.01
2000	9	2.00	0.98	425.887.151.00	83.368.16

CALENDARIZACION	AÑO	K1	K2	L1	L2
2001	10	2 00	0 98	425.887.151 00	31.351 64
2002	11	2 00	0 98	425.887.151 00	11.790 17
2003	12	2 00	0 98	425.887.151 00	4.433 84
2004	13	2 00	0 98	425.887.151 00	1.667 40
2005	14	2 00	0 98	425.887.151 00	627 05
2006	15	2 00	0 98	425.887.151 00	235 81
2007	16	2 00	0 98	425.887.151 00	88 68
2008	17	2 00	0 98	425.887.151 00	33 35
2009	18	2 00	0 98	425.887.151 00	12 54
2010	19	2 00	0 98	425.887.151 00	4 72
2011	20	2 00	0 98	425.887.151 00	1 77
2012	21	2 00	0 98	425.887.151 00	0 87
2013	22	2 00	0 98	425.887.151 00	0 25
2014	23	2 00	0 98	425.887.151 00	0 09
2015	24	2 00	0 98	425.887.151 00	0 04
2016	25	2 00	0 98	425.887.151 00	0 01
2017	26	2 00	0 98	425.887.151 00	0 01
2018	27	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2019	28	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2020	29	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2021	30	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2022	31	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2023	32	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2024	33	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2025	34	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2026	35	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2027	36	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2028	37	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2029	38	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2030	39	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2031	40	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2032	41	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2033	42	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2034	43	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2035	44	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2036	45	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00
2037	46	2 00	0 98	425.887.151 00	0 00

CALENDARIZACION	AÑO	11/2i	K2i	Loi	Li
2038	47	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2039	48	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2040	49	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2041	50	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2042	51	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2043	52	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2044	53	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2045	54	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2046	55	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2047	56	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2048	57	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2049	58	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2050	59	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00
2051	60	2 00	0 98	425,887,151 00	0 00

**TABLA No. 5.2.4.1.12**

**CANTIDAD REMANENTE DE BIOGAS**

**GRUPO III RAPIDAMENTE DEGRADABLES**

CALENDARIZACION	AÑO	11/2i	K2i	Loi	Li
1992	1	20 00	0 10	123,598,673 00	56,571,008 02
1993	2	20 00	0 10	123,598,673 00	51,290,042 40
1994	3	20 00	0 10	123,598,673 00	46,502,060 72
1995	4	20 00	0 10	123,598,673 00	42,161,042 37
1996	5	20 00	0 10	123,598,673 00	38,225,262 85
1997	6	20 00	0 10	123,598,673 00	34,656,892 66
1998	7	20 00	0 10	123,598,673 00	31,421,633 74
1999	8	20 00	0 10	123,598,673 00	28,466,369 78
2000	9	20 00	0 10	123,598,673 00	25,828,967 36
2001	10	20 00	0 10	123,598,673 00	23,417,804 85
2002	11	20 00	0 10	123,598,673 00	21,231,727 18
2003	12	20 00	0 10	123,598,673 00	19,249,722 17
2004	13	20 00	0 10	123,598,673 00	17,452,739 51



CALENDARIZACION	AÑO	172	R2	CO	LI
2005	14	20 00	0 10	123.598.673 00	15.823.507 14
2006	15	20 00	0 10	123.598.673 00	14.346.365 40
2007	16	20 00	0 10	123.598.673 00	13.007.116 47
2008	17	20 00	0 10	123.598.673 00	11.792.887 89
2009	18	20 00	0 10	123.598.673 00	10.692.008 87
2010	19	20 00	0 10	123.598.673 00	9.693.898 12
2011	20	20 00	0 10	123.598.673 00	8.788.962 11
2012	21	20 00	0 10	123.598.673 00	7.968.502 86
2013	22	20 00	0 10	123.598.673 00	7.224.634 38
2014	23	20 00	0 10	123.598.673 00	6.550.206 84
2015	24	20 00	0 10	123.598.673 00	5.938.737 85
2016	25	20 00	0 10	123.598.673 00	5.384.350 16
2017	26	20 00	0 10	123.598.673 00	4.881.715 17
2018	27	20 00	0 10	123.598.673 00	4.426.001 71
2019	28	20 00	0 10	123.598.673 00	4.012.829 60
2020	29	20 00	0 10	123.598.673 00	3.638.227 56
2021	30	20 00	0 10	123.598.673 00	3.298.595 03
2022	31	20 00	0 10	123.598.673 00	2.990.667 56
2023	32	20 00	0 10	123.598.673 00	2.711.485 47
2024	33	20 00	0 10	123.598.673 00	2.458.365 33
2025	34	20 00	0 10	123.598.673 00	2.228.874 23
2026	35	20 00	0 10	123.598.673 00	2.020.808 38
2027	36	20 00	0 10	123.598.673 00	1.832.161 89
2028	37	20 00	0 10	123.598.673 00	1.661.127 57
2029	38	20 00	0 10	123.598.673 00	1.506.059 49
2030	39	20 00	0 10	123.598.673 00	1.366.467 18
2031	40	20 00	0 10	123.598.673 00	1.237.999 32
2032	41	20 00	0 10	123.598.673 00	1.122.430 73
2033	42	20 00	0 10	123.598.673 00	1.017.650 59
2034	43	20 00	0 10	123.598.673 00	922.651 79
2035	44	20 00	0 10	123.598.673 00	836.521 24
2036	45	20 00	0 10	123.598.673 00	758.431 06
2037	46	20 00	0 10	123.598.673 00	687.630 69
2038	47	20 00	0 10	123.598.673 00	623.439 61

CALENDARIZACION	AÑO	11/2	K2i	Log	Li
2039	48	20.00	0.10	123,598,673.00	565,240.84
2040	49	20.00	0.10	123,598,673.00	512,474.99
2041	50	20.00	0.10	123,598,673.00	464,634.89
2042	51	20.00	0.10	123,598,673.00	421,260.71
2043	52	20.00	0.10	123,598,673.00	381,935.56
2044	53	20.00	0.10	123,598,673.00	346,281.48
2045	54	20.00	0.10	123,598,673.00	313,955.70
2046	55	20.00	0.10	123,598,673.00	284,647.60
2047	56	20.00	0.10	123,598,673.00	258,075.43
2048	57	20.00	0.10	123,598,673.00	233,983.81
2049	58	20.00	0.10	123,598,673.00	212,141.16
2050	59	20.00	0.10	123,598,673.00	192,337.55
2051	60	20.00	0.10	123,598,673.00	174,382.63

TABLA No. 5.2.4.1.13

### TASA DE GENERACION DE METANO

#### GRUPO I RAPIDAMENTE DEGRADABLES

##### PRIMERA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	K1i	Log	11/2i	LogS1i
1992	1	3.91	291,303,793.00	1.00	8.76

##### SEGUNDA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	K2i	Log	11/2i	LogS2i
1993	2	1.57	291,303,793.00	1.00	7.68
1994	3	1.57	291,303,793.00	1.00	6.99
1995	4	1.57	291,303,793.00	1.00	6.31
1996	5	1.57	291,303,793.00	1.00	5.63
1997	6	1.57	291,303,793.00	1.00	4.95
1998	7	1.57	291,303,793.00	1.00	4.28
1999	8	1.57	291,303,793.00	1.00	3.58
2000	9	1.57	291,303,793.00	1.00	2.90
2001	10	1.57	291,303,793.00	1.00	2.22

CALENDARIZACION	AÑO	K2	Loi	11/2	LogS2
2002	11	1.57	291,303,793.00	1.00	1.53
2003	12	1.57	291,303,793.00	1.00	0.85
2004	13	1.57	291,303,793.00	1.00	0.17
2005	14	1.57	291,303,793.00	1.00	- 0.51
2006	15	1.57	291,303,793.00	1.00	- 1.20
2007	16	1.57	291,303,793.00	1.00	- 1.88
2008	17	1.57	291,303,793.00	1.00	- 2.56
2009	18	1.57	291,303,793.00	1.00	- 3.25
2010	19	1.57	291,303,793.00	1.00	- 3.93
2011	20	1.57	291,303,793.00	1.00	- 4.61
2012	21	1.57	291,303,793.00	1.00	- 5.29
2013	22	1.57	291,303,793.00	1.00	- 5.98
2014	23	1.57	291,303,793.00	1.00	- 6.66
2015	24	1.57	291,303,793.00	1.00	- 7.34
2016	25	1.57	291,303,793.00	1.00	- 8.02
2017	26	1.57	291,303,793.00	1.00	- 8.71
2018	27	1.57	291,303,793.00	1.00	- 9.39
2019	28	1.57	291,303,793.00	1.00	- 10.07
2020	29	1.57	291,303,793.00	1.00	- 10.75
2021	30	1.57	291,303,793.00	1.00	- 11.44
2022	31	1.57	291,303,793.00	1.00	- 12.12
2023	32	1.57	291,303,793.00	1.00	- 12.80
2024	33	1.57	291,303,793.00	1.00	- 13.48
2025	34	1.57	291,303,793.00	1.00	- 14.17
2026	35	1.57	291,303,793.00	1.00	- 14.85
2027	36	1.57	291,303,793.00	1.00	- 15.53
2028	37	1.57	291,303,793.00	1.00	- 16.21
2029	38	1.57	291,303,793.00	1.00	- 16.90
2030	39	1.57	291,303,793.00	1.00	- 17.58
2031	40	1.57	291,303,793.00	1.00	- 18.26
2032	41	1.57	291,303,793.00	1.00	- 18.95
2033	42	1.57	291,303,793.00	1.00	- 19.63
2034	43	1.57	291,303,793.00	1.00	- 20.31
2035	44	1.57	291,303,793.00	1.00	- 20.99

CALENDARIZACION	AÑO	K2i	Loi	11/2i	LogG2i
2036	45	1.57	291 303 793 00	1.00	- 21.68
2037	46	1.57	291 303 793 00	1.00	- 22.36
2038	47	1.57	291 303 793 00	1.00	- 23.04
2039	48	1.57	291 303 793 00	1.00	- 23.72
2040	49	1.57	291 303 793 00	1.00	- 24.41
2041	50	1.57	291 303 793 00	1.00	- 25.09
2042	51	1.57	291 303 793 00	1.00	- 25.77
2043	52	1.57	291 303 793 00	1.00	- 26.45
2044	53	1.57	291 303 793 00	1.00	- 27.14
2045	54	1.57	291 303 793 00	1.00	- 27.82
2046	55	1.57	291 303 793 00	1.00	- 28.50
2047	56	1.57	291 303 793 00	1.00	- 29.18
2048	57	1.57	291 303 793 00	1.00	- 29.87
2049	58	1.57	291 303 793 00	1.00	- 30.55
2050	59	1.57	291 303 793 00	1.00	- 31.23
2051	60	1.57	291 303 793 00	1.00	- 31.91

TABLA No. 5.2.1.4.14

TASA DE GENERACION DE METANO

GRUPO II RAPIDAMENTE DEGRADABLES

PRIMERA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	K1i	Loi	11/2i	LogG2i
1992	1	1.96	425 887 151 00	2.00	7.77
1993	2	1.96	425 887 151 00	2.00	8.62

SEGUNDA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	K2i	Loi	11/2i	LogG2i
1994	3	0.98	425 887 151 00	2.00	7.89
1995	4	0.98	425 887 151 00	2.00	7.47
1996	5	0.98	425 887 151 00	2.00	7.04
1997	6	0.98	425 887 151 00	2.00	6.62
1998	7	0.98	425 887 151 00	2.00	6.19

CALENDARIZACION	AÑO	K2	Lo	11/2	Log(32)
1999	8	0.98	425,887,151.00	2.00	5.77
2000	9	0.98	425,887,151.00	2.00	5.34
2001	10	0.98	425,887,151.00	2.00	4.92
2002	11	0.98	425,887,151.00	2.00	4.49
2003	12	0.98	425,887,151.00	2.00	4.07
2004	13	0.98	425,887,151.00	2.00	3.64
2005	14	0.98	425,887,151.00	2.00	3.22
2006	15	0.98	425,887,151.00	2.00	2.79
2007	16	0.98	425,887,151.00	2.00	2.37
2008	17	0.98	425,887,151.00	2.00	1.94
2009	18	0.98	425,887,151.00	2.00	1.52
2010	19	0.98	425,887,151.00	2.00	1.09
2011	20	0.98	425,887,151.00	2.00	0.66
2012	21	0.98	425,887,151.00	2.00	0.24
2013	22	0.98	425,887,151.00	2.00	-0.19
2014	23	0.98	425,887,151.00	2.00	-0.61
2015	24	0.98	425,887,151.00	2.00	-1.04
2016	25	0.98	425,887,151.00	2.00	-1.46
2017	26	0.98	425,887,151.00	2.00	-1.89
2018	27	0.98	425,887,151.00	2.00	-2.31
2019	28	0.98	425,887,151.00	2.00	-2.74
2020	29	0.98	425,887,151.00	2.00	-3.16
2021	30	0.98	425,887,151.00	2.00	-3.59
2022	31	0.98	425,887,151.00	2.00	-4.01
2023	32	0.98	425,887,151.00	2.00	-4.44
2024	33	0.98	425,887,151.00	2.00	-4.86
2025	34	0.98	425,887,151.00	2.00	-5.29
2026	35	0.98	425,887,151.00	2.00	-5.71
2027	36	0.98	425,887,151.00	2.00	-6.14
2028	37	0.98	425,887,151.00	2.00	-6.56
2029	38	0.98	425,887,151.00	2.00	-6.99
2030	39	0.98	425,887,151.00	2.00	-7.41
2031	40	0.98	425,887,151.00	2.00	-7.84
2032	41	0.98	425,887,151.00	2.00	-8.26
2033	42	0.98	425,887,151.00	2.00	-8.69

CALENDARIZACION	AÑO	K <sub>2i</sub>	L <sub>0i</sub>	11/2 <sub>i</sub>	LogG <sub>2i</sub>
2034	43	0.98	425,887,151.00	2.00	-9.12
2035	44	0.98	425,887,151.00	2.00	-9.54
2036	45	0.98	425,887,151.00	2.00	-9.97
2037	46	0.98	425,887,151.00	2.00	-10.39
2038	47	0.98	425,887,151.00	2.00	-10.82
2039	48	0.98	425,887,151.00	2.00	-11.24
2040	49	0.98	425,887,151.00	2.00	-11.67
2041	50	0.98	425,887,151.00	2.00	-12.09
2042	51	0.98	425,887,151.00	2.00	-12.52
2043	52	0.98	425,887,151.00	2.00	-12.94
2044	53	0.98	425,887,151.00	2.00	-13.37
2045	54	0.98	425,887,151.00	2.00	-13.79
2046	55	0.98	425,887,151.00	2.00	-14.22
2047	56	0.98	425,887,151.00	2.00	-14.64
2048	57	0.98	425,887,151.00	2.00	-15.07
2049	58	0.98	425,887,151.00	2.00	-15.49
2050	59	0.98	425,887,151.00	2.00	-15.92
2051	60	0.98	425,887,151.00	2.00	-16.34

**TABLA No. 5.2.4.1.15**

**TASA DE GENERACION DE METANO**

**GRUPO III RAPIDAMENTE DEGRADABLES**

**PRIMERA ETAPA**

CALENDARIZACION	AÑO	K <sub>1i</sub>	L <sub>0i</sub>	11/2 <sub>i</sub>	LogG <sub>1i</sub>
1992	1	0.20	123,598,673.00	20.00	5.46
1993	2	0.20	123,598,673.00	20.00	5.55
1994	3	0.20	123,598,673.00	20.00	5.63
1995	4	0.20	123,598,673.00	20.00	5.72
1996	5	0.20	123,598,673.00	20.00	5.80
1997	6	0.20	123,598,673.00	20.00	5.89
1998	7	0.20	123,598,673.00	20.00	5.98

1999	8	0.20	123,598,673.00	20.00	6.06
2000	9	0.20	123,598,673.00	20.00	6.15
2001	10	0.20	123,598,673.00	20.00	6.23
2002	11	0.20	123,598,673.00	20.00	6.32

SEGUNDA ETAPA

CALENDARIZACION	AÑO	K2i	Loi	11/2i	LogG2i
2003	12	0.10	123,598,673.00	20.00	7.12
2004	13	0.10	123,598,673.00	20.00	7.08
2005	14	0.10	123,598,673.00	20.00	7.04
2006	15	0.10	123,598,673.00	20.00	7.00
2007	16	0.10	123,598,673.00	20.00	6.95
2008	17	0.10	123,598,673.00	20.00	6.91
2009	18	0.10	123,598,673.00	20.00	6.87
2010	19	0.10	123,598,673.00	20.00	6.82
2011	20	0.10	123,598,673.00	20.00	6.78
2012	21	0.10	123,598,673.00	20.00	6.74
2013	22	0.10	123,598,673.00	20.00	6.70
2014	23	0.10	123,598,673.00	20.00	6.65
2015	24	0.10	123,598,673.00	20.00	6.61
2016	25	0.10	123,598,673.00	20.00	6.57
2017	26	0.10	123,598,673.00	20.00	6.53
2018	27	0.10	123,598,673.00	20.00	6.48
2019	28	0.10	123,598,673.00	20.00	6.44
2020	29	0.10	123,598,673.00	20.00	6.40
2021	30	0.10	123,598,673.00	20.00	6.36
2022	31	0.10	123,598,673.00	20.00	6.31
2023	32	0.10	123,598,673.00	20.00	6.27
2024	33	0.10	123,598,673.00	20.00	6.23
2025	34	0.10	123,598,673.00	20.00	6.19
2026	35	0.10	123,598,673.00	20.00	6.14
2027	36	0.10	123,598,673.00	20.00	6.10
2028	37	0.10	123,598,673.00	20.00	6.06
2029	38	0.10	123,598,673.00	20.00	6.02
2030	39	0.10	123,598,673.00	20.00	5.97

CALENDARIZACION	AÑO	K2i	Lot	11/2i	LogG2i
2031	40	0 10	123.598,673.00	20.00	5.93
2032	41	0 10	123.598,673.00	20.00	5.89
2033	42	0 10	123.598,673.00	20.00	5.84
2034	43	0 10	123.598,673.00	20.00	5.80
2035	44	0 10	123.598,673.00	20.00	5.76
2036	45	0 10	123.598,673.00	20.00	5.72
2037	46	0 10	123.598,673.00	20.00	5.67
2038	47	0 10	123.598,673.00	20.00	5.63
2039	48	0 10	123.598,673.00	20.00	5.59
2040	49	0 10	123.598,673.00	20.00	5.55
2041	50	0 10	123.598,673.00	20.00	5.50
2042	51	0 10	123.598,673.00	20.00	5.46
2043	52	0 10	123.598,673.00	20.00	5.42
2044	53	0 10	123.598,673.00	20.00	5.38
2045	54	0 10	123.598,673.00	20.00	5.33
2046	55	0 10	123.598,673.00	20.00	5.29
2047	56	0 10	123.598,673.00	20.00	5.25
2048	57	0 10	123.598,673.00	20.00	5.21
2049	58	0 10	123.598,673.00	20.00	5.16
2050	59	0 10	123.598,673.00	20.00	5.12
2051	60	0 10	123.598,673.00	20.00	5.08

**TABLA No. 5.2.4.1.16**

#### **5.2.4.2 Método estequiométrico**

Para llevar a cabo el método estequiométrico para conocer la generación de biogás, se requiere contar con ciertos parámetros químicos para desarrollarlo, los cuales son determinados algunos en laboratorio y otros por métodos indirectos.

Se establecen como determinaciones complementarias, simplemente porque son el complemento de las determinaciones realizadas en el laboratorio, y por que dependen principalmente del valor de materia orgánica obtenida experimentalmente para obtener los valores de carbono, hidrógeno y oxígeno, que son elementos importantes de la composición química de los residuos sólidos.



Estas determinaciones que se llevan a cabo a través de métodos indirectos se deben principalmente a que no se cuenta con ningún laboratorio que tenga el equipo necesario para llevar a cabo las técnicas específicas para cada elemento que existe en la literatura, pero si se conocen y se cuentan Normas Técnicas Mexicanas que establecen métodos indirectos para determinar los valores del carbono y del hidrógeno, y los cuales están especificados en la NOM-AA-21-1985 y en la NOM-AA-68-1986.

La norma NOM-AA-67-1985 especifica un método para la determinación del carbono, parámetro que es utilizado como control de calidad de los residuos sólidos dentro de un sistema, utilizando como base el porcentaje de materia orgánica obtenida de acuerdo a la NOM-AA-21-1985.

Para determinar el contenido de carbono se multiplica el porcentaje de materia orgánica por 0.58.

$$\% C = (\%M.O) \times 0.58$$

Donde:

%M.O = % de materia orgánica

0.58 = Constante dada por Jackson

La norma NOM-AA-68-1986, especifica un método para la determinación de hidrógeno de los residuos sólidos en función del porcentaje de materia orgánica obtenida según la norma NOM-AA-21-1985, empleando la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{\% \text{ de materia orgánica}}{15}$$

Donde:

15 = Factor de correlación que utiliza Jackson, obtenida de datos experimentales.

Para la determinación del porcentaje de oxígeno existe la Norma Técnica NOM-AA-1986, la cual es experimental. Sin embargo, no se lleva a cabo debido a lo riesgoso y complicado del montaje de la técnica, por lo que la determinación se realiza a través de un método indirecto, en el cual se involucra

la materia orgánica y en el que se está considerando que el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno sean los componentes de la materia orgánica.

Para lo cual se tiene la siguiente fórmula:

$$\% \text{ M.O.} = \% \text{C} + \% \text{H} + \% \text{O} + \% \text{N}$$

Por lo tanto:

$$\% \text{ O} = \% \text{M.O.} - (\% \text{C} + \% \text{H} + \% \text{N})$$

Donde:

- % M.O. = % de materia orgánica obtenido en la NOM-AA-21-1985
- % C = % de carbono determinado a través de la NOM-AA-67-1985
- % H = % de hidrógeno determinado a través de la NOM-AA-68-1986
- % N = % de nitrógeno obtenido con la NOM-AA-24-1984

El método estequiométrico empleado, se basa en la utilización de la composición química de los residuos, obtenidos en el laboratorio y por métodos indirectos, para determinar en forma estequiométrica, la máxima cantidad de metano obtenido bajo condiciones anaerobias óptimas en relleno sanitario, este modelo se puede considerar como una herramienta que permite estimar la generación de biogas en el tiempo a partir de una masa determinada.

Relacionando los valores obtenidos de C, H, O y N, se llega a una composición promedio para la materia degradable contenida en los residuos:

Carbono	=	% A
Hidrógeno	=	% B
Oxígeno	=	% C
Nitrógeno	=	% D

Los valores anteriores se ajustan al 100 %, pues no se involucra el azufre y las cenizas que es el porcentaje restante para que de el 100%.

Para lo cual se tiene un valor de X % de la suma de todos los valores:

$$\%A + \%B + \%C + \%D = \%X$$

Así que por regla de tres se ajusta al 100 % si:

$$\%X - 100 \%$$

$$\%A - \%A'$$

$$\%B - \%B'$$

$$\%C - \%C'$$

$$\%D - \%D'$$

Por lo tanto:

$$\%A' + \%B' + \%C' + \%D' = 100\%$$

Ahora considerando el peso atómico de cada uno de los elementos teniendo que son los siguientes valores:

$$\text{Carbono} = 12$$

$$\text{Hidrógeno} = 1$$

$$\text{Oxígeno} = 16$$

$$\text{Nitrógeno} = 14$$

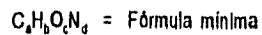
Retomando los valores de la composición promedio % en peso que fue ajustada al 100 %, se dividen entre el peso atómico correspondiente:

$$\begin{aligned} \%A/12 &= a' \\ \%B/1 &= b' \\ \%C/16 &= c' \\ \%D/14 &= d' \end{aligned}$$

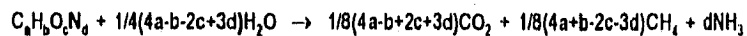
Ahora tomando el valor del carbono como base, se divide entre cada uno de los valores obtenidos en el paso anterior.

$$\begin{aligned} A/a' &= a \\ B/b' &= b \\ C/c' &= c \quad \text{Coeficientes estequiométricos} \\ D/d' &= d \end{aligned}$$

Conociendo los valores de los coeficientes estequiométricos se puede definir la fórmula mínima:



Para estimar la cantidad de metano y dióxido de carbono producido se empleará la reacción química que gobierna la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de los residuos:

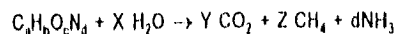


En la cual se tiene como producto metano, dióxido de carbono y material celular, el cual no se involucra en este método.

Se sustituyen los valores de los subíndices encontrados para la fórmula mínima:

$$\begin{aligned} 1/4(4a-b-2c+3d) &= X \\ 1/8(4a-b+2c+3d) &= Y \\ 1/8(4a+b-2c-3d) &= Z \end{aligned}$$

Por lo tanto:



La fórmula anterior se utiliza para la estimación de la cantidad de biogas producido en el relleno sanitario, haciendo la consideración de una completa conversión de la materia orgánica a dióxido de carbono y metano exclusivamente, efectuando el análisis para una unidad de peso 1000 kg/m<sup>3</sup> de residuos sólidos, asumiendo un contenido inicial de un porcentaje de humedad y considerando que los residuos alimenticios, residuos de jardinería, papel y cartón, son los materiales que se descomponen anaerobicamente.

En cuanto a la composición física de los residuos que se disponen en relleno sanitario, se consideran los porcentajes en pesos promedios de:

Residuo alimenticio	= RA %
Residuo de jardinería	= RJ %
Papel	= P %
Cartón	= CT %
	<hr/>
	M.O.T %

En donde puede deducirse que el peso total en base húmeda de materia orgánica en 1000 kg de residuos es igual a:

$$\text{Materia orgánica (base húmeda)} = 1000 \text{ kg (M.O.T.)} / 100 \%$$

Determinación de la materia orgánica en base seca, considerando que el contenido de humedad se asocia a los componentes orgánicos exclusivamente:

$$\text{Materia orgánica (base seca)} = \text{Materia orgánica (base húmeda) kg} - [1000 \text{ kg} ( \% \text{ humedad) } ]$$

Determinación de la cantidad de residuos orgánicos degradables asumiendo que se degradan el total de papel, cartón y residuo alimenticio y únicamente el 75% del residuo de jardinería en un período de tiempo razonable de 25 años, asumiendo también que el total de materia orgánica degradable el 5% permaneciera como cenizas.

Materia orgánica degradable (base seca) kg

$$= \frac{\left[ \frac{\%RA(1000)}{100} + \frac{\%P(1000)}{100} + \frac{\%CT(1000)}{100} + \frac{\%RJ(1000)(0.75)}{100} \right] 0.95}{\text{Materia orgánica (base húmeda)}} \text{ Materia orgánica (base seca)}$$

Estimación del peso del metano y dióxido de carbono producido retomando los valores obtenidos de la ecuación estequiométrica con los respectivos pesos moleculares del metano y dióxido de carbono y de la materia orgánica degradable.

Peso molecular metano = 16 (Z)

Peso molecular dióxido de carbono = 44 (Y)

Materia orgánica degradable = a(12) + b(1) + c(16) + d(14)

Coefficientes estequiométricos = a, b, c y d

$$\text{Metano} = \frac{\text{Peso molecular metano}}{\text{Materia orgánica degradable}} \text{ (Materia orgánica degradable, base seca)}$$

$$= \text{Metano kg/m}^3 \text{ de residuos sólidos}/0.7167$$

$$= \text{Metano m}^3/\text{m}^3 \text{ de residuos sólidos}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{\text{Peso molecular dióxido de carbono}}{\text{Materia orgánica degradable}} \text{ (Materia orgánica degradable, base seca)}$$

$$= \text{Dióxido de carbono kg/m}^3 \text{ de residuos sólidos}/1.9768$$

$$= \text{Dióxido de carbono m}^3/\text{m}^3 \text{ de residuos sólidos}$$

Como se presentó anteriormente se determina que para la materia degradable contenida en los residuos generados en la Cd. de México, (información que se considera para los presentes cálculos) la composición porcentual en peso es la siguiente:

**CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA PROMEDIO  
DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN EL D.F.**

COMPONENTE FISICOQUIMICO	PORCIENTO EN PESO
C	43.02
H	5.96
O	49.09
N	1.94
Humedad	43.93

Para el método se obtuvieron los siguientes datos:

Residuo alimenticio = 28.06%

Residuo de jardinería = 3.55%

Papel = 20.27%

Cartón = 9.27%

Materia orgánica = 61.15%

M.O. (base húmeda) = ( 1000 kg) (61.15)

100

M.O. (base húmeda) = 611.5 kg

M.O. (base seca) = 611.5 kg · (1000 kg x 0.4393)

M.O. (base seca) = 172.20 kg

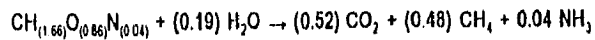
M.O. degradable (base seca) =  $\frac{\{(0.2806)(1000) + (0.2027)(1000) + (0.0927)(1000) + (0.0355)(1000)(0.75)\} 0.95 \times 172.20}{611.51}$

$$\text{M.O. degradable (base seca)} = \frac{(280.6 + 202.7 + 92.7 + 35.5 + 26.63) 0.95 \times 172.2}{611.51}$$

$$\text{M.O. degradable (base seca)} = \frac{(564.13) 0.95 \times 172.2}{611.51}$$

$$\text{M.O. degradable (base seca)} = 150.92 \text{ kg/m}^3$$

Como se mencionó en capítulos anteriores, la fórmula mínima para el cálculo de la materia orgánica degradable, queda como sigue:



$$\text{CH}_{(1.66)}\text{O}_{(0.86)}\text{N}_{(0.04)} = 27.98 \text{ gr}$$

$$\text{Metano} = \frac{(0.48 \text{ gr}) (16)}{27.98 \text{ gr}} (150,920 \text{ gr})$$

$$\text{Metano} = 41,424.79 \text{ gr/m}^3 = 41.425 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Metano} = \frac{41.425 \text{ kg/m}^3}{0.7187 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Metano} = 57.80 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$\text{Producción total del metano} = 57.80 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \times 8'001,616.82 \text{ m}^3$$

$$\text{Producción total del metano} = 462'490,549.42 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(0.52)(44)}{27.98 \text{ gr}} (150,920 \text{ gr})$$



$$\text{Dióxido de carbono} = 123,411.35 \text{ gr/m}^3 = 123.411 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{123.41 \text{ kg/m}^3}{1.9768 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = 62.43 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$\text{Producción total de dióxido de carbono} = 62.43 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \times 8'001.616.82 \text{ m}^3$$

$$\text{Producción total de dióxido de carbono} = 499'534,364.51 \text{ m}^3$$

### 5.2.4.3 Método simplificando

En un intento para conseguir una aproximación de la generación de biogás, se han venido usando modelos que consideran la cinética de orden cero, es decir que la tasa de generación de metano es independiente de la cantidad de sustrato que permanece, el modelo sería según Ham y Barlaz:

$$- dc/dt = k$$

El modelo de cinética de primer orden establece que la tasa de pérdida de materia putrecible es proporcional a la cantidad de materia putrecible que permanece y su modelo sería:

$$- dc/dt = kc$$

y finalmente el modelo de cinética de segundo orden puede escribirse como:

$$- dc/dt = kc^2$$

Sin embargo, EPA está recomendando un modelo muy simple de aplicar y que parece predecir con suficiente aproximación a la realidad la cantidad de biogás generado en los rellenos sanitarios.

La generación total de metano del sitio toma en cuenta la masa de residuos recibida anualmente aceptando la misma tasa anual en el tiempo de operación del relleno, sin embargo si se conocen las entradas de residuos con el tiempo puede establecerse un promedio anual y con estos valores, variando anualmente, correr el modelo.

El modelo es como sigue:

$$Q = L_0 R ( \exp(-kc) - \exp(-kt) )$$

- Donde:
- Q = Tasa de generación de metano con el tiempo, m<sup>3</sup>/año.
  - L<sub>0</sub> = Capacidad potencial de los residuos de generar metano, m<sup>3</sup>/ton.
  - R = Tasa de aceptación promedio de residuos durante la vida activa del relleno, ton/año.
  - k = Tasa de generación de Metano se supone constante, 1/año.
  - c = Tiempo desde la clausura del relleno, año.
  - t = Tiempo desde el inicio de colocación de los residuos en el relleno, año.

En la formulación no se ha incluido ningún término de vida media o porcentaje de desechos rápida, o moderadamente putrecibles, pero es evidente que los valores de L<sub>0</sub> y k los toman en cuenta.

El modelo acepta un tiempo de retraso durante el cual las condiciones anaeróbicas se establecen, para climas semi-áridos con baja precipitación y alta evaporación puede aceptarse 1 año como tiempo de retraso, para las condiciones de otros climas, no incluidos los áridos, con alta precipitación, alta temperatura y cualquier condición de evaporación; este tiempo tal vez no deba concederse.

La EPA indica que en ausencia de información usar 230 m/ton para L<sub>0</sub> y 0.02 1/año para k, sin embargo los últimos valores recomendados por EPA son los que se muestran en la tabla No. 5.2.4.3.1

VALORES DE  $L_0$  y  $k$  RECOMENDADOS POR LA EPA

Concepto	Climas semi-áridos	Otros climas
$L_0$	90 m <sup>3</sup> /ton	175 m <sup>3</sup> /ton
$k$	0.05 1/año	0.05 1/año

TABLA No. 5.2.4.3.1

Debe hacerse notar que el biogás generado es el doble del obtenido mediante la fórmula anterior, ya que se acepta que el metano y dióxido de carbono se encuentran en parte iguales.

Para aplicar este modelo al medio mexicano es conveniente considerar algunos criterios como los siguientes:

- La composición de los residuos en México tiene un alto contenido de desperdicios de comida pero no muy alto contenido de residuos de jardín, como es el caso donde este modelo nació.
- El agua de lluvia que se infiltra en rellenos mexicanos clausurados o en operación es muy alta debido a que pocos tienen cubierta final o diaria, o la tienen escasa.
- No existe en el medio mexicano un periodo de tiempo prolongado de contacto del agua de deshielo ocasionada por la nieve con la cubierta del relleno.
- Si bien los valores del asoleamiento en México son similares a los de Estados Unidos las temperaturas de invierno son más benignas y propician la generación de biogás.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se aplicó el método, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla No. 5.2.4.3.2.

ESTIMACION DE LA PRODUCCION DE BIOGAS EN EL RELLENO SANITARIO

AÑO	RESIDUOS SOLIDOS ton/día	RESIDUOS ACUMULADOS ton/día	C Años	T Años	L <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /Ton	k 1/Año	BIOGAS GENERADO m <sup>3</sup> /Año	TASA DE PRODUCCION m <sup>3</sup> /Ton.Año
1992	649,236.96	649,236.96	0	0	90	0.05	0	0.00
1993	672,321.12	1,321,558.08	0	1	90	0.05	5,600,783	4.39
1994	695,801.68	2,017,359.77	0	2	90	0.05	17,277,845	8.56
1995	719,685.36	2,737,045.13	0	3	90	0.05	34,312,370	12.54
1996	743,976.38	3,461,021.51	0	4	90	0.05	56,790,183	16.31
1997	768,681.63	4,249,703.14	0	5	90	0.05	84,602,791	19.91
1998	793,805.83	5,043,508.97	0	6	90	0.05	117,648,707	23.33
1999	819,357.19	5,862,866.16	0	7	90	0.05	155,823,678	26.58
2000	845,338.63	6,708,204.79	0	8	90	0.05	199,040,45	29.67
2001	0.00	6,708,204.79	1	9	90	0.05	169,333,140	28.22
2002	0.00	6,708,204.79	2	10	90	0.05	180,099,254	26.85
2003	0.00	6,708,204.79	3	11	90	0.05	171,315,710	25.54
2004	0.00	6,708,204.79	4	12	90	0.05	162,960,544	24.29
2005	0.00	6,708,204.79	5	13	90	0.05	155,012,865	23.11
2006	0.00	6,708,204.79	6	14	90	0.05	147,452,708	21.98
2007	0.00	6,708,204.79	7	15	90	0.05	140,261,440	20.91
2008	0.00	6,708,204.79	8	16	90	0.05	133,420,809	19.89
2009	0.00	6,708,204.79	9	17	90	0.05	126,913,799	18.92
2010	0.00	6,708,204.79	10	18	90	0.05	120,724,140	18.00
2011	0.00	6,708,204.79	11	19	90	0.05	114,836,355	17.12
2012	0.00	6,708,204.79	12	20	90	0.05	109,235,719	16.28
2013	0.00	6,708,204.79	13	21	90	0.05	103,908,231	15.49
2014	0.00	6,708,204.79	14	22	90	0.05	98,840,566	14.73
2015	0.00	6,708,204.79	15	23	90	0.05	94,020,055	14.02
2016	0.00	6,708,204.79	16	24	90	0.05	89,434,643	13.33
2017	0.00	6,708,204.79	17	25	90	0.05	85,072,864	12.68
2018	0.00	6,708,204.79	18	26	90	0.05	80,923,811	12.06

AÑO	RESIDUOS SOLIDOS ton/año	RESIDUOS ACUMULADOS ton/año	C Años	T Años	Lo m <sup>3</sup> /Ton	k t/Año	BIOGAS GENERADO m <sup>3</sup> /Año	TASA DE PRODUCCION m <sup>3</sup> /Ton Año
2019	0.00	6,708,204.79	19	27	90	0.05	76,977,110	11.48
2020	0.00	6,708,204.79	20	28	90	0.05	73,222,892	10.92
2021	0.00	6,708,204.79	21	29	90	0.05	69,651,770	10.38
2022	0.00	6,708,204.79	22	30	90	0.05	66,254,813	9.88
2023	0.00	6,708,204.79	23	31	90	0.05	63,023,528	9.39
2024	0.00	6,708,204.79	24	32	90	0.05	59,949,834	8.94
2025	0.00	6,708,204.79	25	33	90	0.05	57,028,046	8.50
2026	0.00	6,708,204.79	26	34	90	0.05	54,244,853	8.09
2027	0.00	6,708,204.79	27	35	90	0.05	51,599,300	7.69
2028	0.00	6,708,204.79	28	36	90	0.05	49,082,773	7.32
2029	0.00	6,708,204.79	29	37	90	0.05	46,688,978	6.96
2030	0.00	6,708,204.79	30	38	90	0.05	44,411,029	6.62
2031	0.00	6,708,204.79	31	39	90	0.05	42,245,934	6.30
2032	0.00	6,708,204.79	32	40	90	0.05	40,185,575	5.99
2033	0.00	6,708,204.79	33	41	90	0.05	38,225,702	5.70
2034	0.00	6,708,204.79	34	42	90	0.05	36,361,412	5.42
2035	0.00	6,708,204.79	35	43	90	0.05	34,588,045	5.16
2036	0.00	6,708,204.79	36	44	90	0.05	32,901,168	4.90
2037	0.00	6,708,204.79	37	45	90	0.05	31,298,558	4.67
2038	0.00	6,708,204.79	38	46	90	0.05	29,770,206	4.44
2039	0.00	6,708,204.79	39	47	90	0.05	28,318,298	4.22
2040	0.00	6,708,204.79	40	48	90	0.05	26,937,197	4.02
2041	0.00	6,708,204.79	41	49	90	0.05	25,623,454	3.82
2042	0.00	6,708,204.79	42	50	90	0.05	24,373,784	3.63
2043	0.00	6,708,204.79	43	51	90	0.05	23,185,060	3.46
2044	0.00	6,708,204.79	44	52	90	0.05	22,054,311	3.29
2045	0.00	6,708,204.79	45	53	90	0.05	20,978,710	3.13
2046	0.00	6,708,204.79	46	54	90	0.05	19,955,566	2.97
2047	0.00	6,708,204.79	47	55	90	0.05	18,982,322	2.83

AÑO	RESIDUOS SOLIDOS ton/día	RESIDUOS ACUMULADOS ton/día	C Años	T Años	Lo m <sup>3</sup> /Ton	k 1/Año	BIOGAS GENERADO m <sup>3</sup> /Año	TASA DE PRODUCCION m <sup>3</sup> /Ton-Año
2048	0.00	8,708,204.79	48	56	90	0.05	18,056,543	2.69
2049	0.00	8,708,204.79	49	57	90	0.05	17,175,915	2.58
2050	0.00	8,708,204.79	50	58	90	0.05	16,338,236	2.44
2051	0.00	8,708,204.79	51	59	90	0.05	15,541,411	2.32
2052	0.00	8,708,204.79	52	60	90	0.05	14,783,447	2.20

**TABLA No. 5.2.4.3.2**

**6. CONFIGURACION DEL PROYECTO  
DEL RELLENO SANITARIO**

---

## 6. CONFIGURACION DEL PROYECTO DEL RELLENO SANITARIO

### 6.1 Características de los residuos, áreas y volúmenes de sitio

Para el relleno sanitario Arenillas, solo se aceptarán residuos sólidos no tóxicos, el área total del sitio, es de aproximadamente 120 ha., de las cuales 23 ha. serán utilizadas para el relleno sanitario, 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 del relleno.

El sitio fue seleccionado a partir de los estudios mencionados en los capítulos anteriores y por su condición de inicio de cañada, 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 del relleno sanitario.

El volumen disponible en el sitio es de aproximadamente 7,540,000 m<sup>3</sup>, este total incluye 6,993,000 m<sup>3</sup> como volumen disponible para residuos sólidos.

La excavación será de aproximadamente 1,690,000 m<sup>3</sup>, de estos, 1,085,000 m<sup>3</sup> serán usados como material para la interfase impermeable y material para cubierta tanto diaria como final. 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.

Los materiales para drenes deberán cumplir con especificaciones de permeabilidad más que de espesor de las capas, para el caso de los drenes de recolección de lixiviado se utilizará grava controlada la cual deberá obtenerse de algunos de los bancos de material cercanos al sitio.



## 6.2 Vida útil del sitio

El sitio recibirá inicialmente 2,121.69 m<sup>3</sup> de residuos por día, estos valores tomados a partir de la población de los municipios de Naucalpan, Atizapan de Zaragoza y el 70 % de la población de Tlalnepantla, considerando una generación per-cápita de 1 kg/hab/día y un peso volumétrico en disposición final de 850 kg/m<sup>3</sup>. Considerando los índices de crecimiento anual de la población para cada uno de los municipios, 2.1 % promedio para Naucalpan, 3.4 % promedio para Atizapan de Zaragoza y 1.0 % promedio para Tlalnepantla, se realiza la proyección de generación de residuos sólidos (tabla No. 6.2.1) para un periodo de operación del relleno de 8 años se anticipa que se recibirán en el sitio 2,762.54 m<sup>3</sup> de residuos por día (tabla No. 6.2.2) y que la tasa de crecimiento continuará con el porcentaje antes mencionado lo que será base para una posible expansión del relleno hacia el este. A partir de los valores anteriores se obtiene que para este proyecto de relleno sanitario se tendrá una vida útil de 8 años.

## 6.3 Diseño del área disponible

### 6.3.1 Diseño del área de relleno y excavación

Para el diseño del área del relleno sanitario, se establece un programa de excavaciones en base a seis fases de operación. La base de desplante está configurada para la instalación de una presa provisional para colección de lixiviado en cada una de las fases, siguiendo el drenaje natural de la topografía del 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 y presa temporal, el canal de recolección de lixiviado, el plan 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.

La totalidad de la base de desplante será recubierta con una capa de 0.30 m de arcilla compactada al 95 % del peso volumétrico seco máximo, proctor estándar, método A, con una humedad correspondiente a la óptima más 4 %. Las pendientes de esta capa están configuradas de tal manera que los líquidos que

PROYECCION DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS

AÑO	POBLACION hab	GENERACION PERCAPITA kg/hab/día	GENERACION			
			ton/día	ton/mes	ton/año	ton/año acumulado
1992	1,803,436	1 00	1,803.44	54,103.08	649,236.96	649,236.96
1993	1,849,068	1 01	1,867.56	56,026.78	672,321.12	1,321,558.08
1994	1,894,699	1 02	1,932.78	57,983.47	695,801.68	2,017,359.77
1995	1,940,332	1 03	1,998.13	59,973.78	719,685.36	2,737,045.13
1996	1,985,963	1 04	2,065.60	61,958.03	743,976.38	3,481,021.51
1997	2,031,595	1 05	2,135.23	64,056.80	768,681.63	4,249,703.14
1998	2,077,225	1 06	2,206.02	66,150.49	793,805.83	5,043,508.97
1999	2,122,859	1 07	2,275.99	68,279.77	819,357.19	5,862,866.16
2000	2,168,489	1 08	2,348.16	70,444.89	845,338.63	6,708,204.79
2001	2,214,484	1 09	2,421.85	72,658.47	871,901.64	7,580,106.43
2002	2,261,243	1 10	2,497.82	74,934.57	899,214.84	8,479,321.27
2003	2,308,198	1 12	2,576.30	77,288.97	927,467.84	9,406,789.11
2004	2,358,822	1 13	2,657.98	79,739.40	956,872.80	10,363,661.71
2005	2,410,631	1 14	2,743.52	82,305.69	987,688.28	11,351,320.99
2006	2,465,192	1 15	2,833.68	85,010.25	1,020,123.00	12,371,452.99
2007	2,523,136	1 16	2,929.28	87,878.49	1,054,541.88	13,425,994.87
2008	2,585,169	1 17	3,031.31	90,939.42	1,091,273.04	14,517,267.91
2009	2,652,089	1 18	3,140.88	94,226.43	1,130,717.18	15,647,985.07
2010	2,724,809	1 20	3,259.27	97,778.22	1,173,338.64	16,821,323.71

TABLA No. 6.2.1

**DIMENSIONAMIENTO DE LA CELDA DIARIA**

AÑO	GENERACION		DISEÑO DE LA CELDA DIARIA				No DE CELDAS POR HECTAREA
	ton/día	m <sup>3</sup>	ALTURA m	FRENTE m	FONDO m	ALT TOTAL m	
1992	1,803.44	2,121.69	2.85	25.00	29.78	3.00	13.43
1993	1,867.56	2,197.13	2.85	25.00	30.84	3.00	12.97
1994	1,832.78	2,273.86	2.85	25.00	31.91	3.00	12.53
1995	1,909.13	2,351.91	2.85	25.00	33.01	3.00	12.12
1996	2,066.60	2,431.30	2.85	25.00	34.12	3.00	11.72
1997	2,135.23	2,512.03	2.85	25.00	35.26	3.00	11.35
1998	2,205.02	2,594.14	2.85	25.00	36.41	3.00	10.99
1999	2,275.99	2,677.64	2.85	25.00	37.58	3.00	10.64
2000	2,348.16	2,762.54	2.85	25.00	38.77	3.00	10.32
2001	2,421.95	2,849.35	2.85	25.00	39.99	3.00	10.00
2002	2,497.82	2,938.61	2.85	25.00	41.24	3.00	9.70
2003	2,576.30	3,030.94	2.85	25.00	42.54	3.00	9.40
2004	2,657.98	3,127.04	2.85	25.00	43.89	3.00	9.11
2005	2,743.52	3,227.87	2.85	25.00	45.30	3.00	8.83
2006	2,833.68	3,333.74	2.85	25.00	46.78	3.00	8.55
2007	2,929.28	3,446.22	2.85	25.00	48.37	3.00	8.27
2008	3,031.31	3,566.25	2.85	25.00	50.05	3.00	7.99
2009	3,140.88	3,695.15	2.85	25.00	51.86	3.00	7.71
2010	3,259.27	3,834.44	2.85	25.00	53.82	3.00	7.43

**TABLA No. 6.2.2**

puedan existir en el relleno drenarán hacia el sistema de colección de lixiviado, el cual se formará a base de un filtro de grava controlada cubierto con una fibra sintética Geotextil Polyfelt TS 700 para evitar la entrada de finos al filtro. Los caminos interiores serán construidos y cubiertos de acuerdo a lo señalado en el inciso referente a caminos de acceso.

El sistema de colección de lixiviado está formado por el filtro antes descrito, cuya permeabilidad deberá ser de  $1 \times 10^6$  cm/sag o mayor para asegurar que el sistema de colección de lixiviados drene eficientemente hacia el filtro de grava y de aquí hacia la fosa de colección y monitoreo por las presas temporales y final, por las bermas y por los caminos, todas estas obras en su funcionamiento conjunto aseguran la colección y el control de los lixiviados.

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 el cual 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. Para las fosas de colección de cada una de las etapas, se tendrá un tubo a través de la presa temporal para el drenaje por gravedad del lixiviado hacia la fosa general de captación de lixiviado.

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.

La información correspondiente a estos cálculos se presenta en las tablas Nos. 6.3.1.1 a 6.3.1.19 y se presentan además las curvas altura-volumen para cada una de las fases en las figuras asociadas con las tablas.

### **6.3.2 Etapas del relleno**

El proceso para la disposición final de los desechos se llevará a cabo en seis fases, la definición de las fases se realizó a partir de la localización de los drenajes naturales del sitio en base a su topografía. Se identificaron tres drenajes naturales en el sitio y dando una distribución de áreas, se obtuvo la definición de las fases tratando de no abrir frentes de trabajo demasiado grandes.

REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS DEL RELLENO SANITARIO

AÑO	VOLUMEN CELDA m <sup>3</sup> /DIA	SUP. HOR. CELDA m <sup>2</sup>	VOL. DIARIO MAT. CBTA m <sup>3</sup>	VOL. TOTAL CELDA m <sup>3</sup>	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS ANUALES				SUMA	
					BASURA		MATERIAL DE CUBIERTA		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
					m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
1992	2,121.69	744.45	154.03	2,285.72	774.416.64	774.416.64	59.871.47	59.871.47	834,288.06	834,288.06
1993	2,197.13	770.92	160.01	2,366.14	801,951.67	1,576,368.30	61,690.05	121,561.48	863,641.72	1,697,929.78
1994	2,273.06	797.85	174.08	2,447.94	829,959.52	2,406,327.83	63,939.92	185,101.39	893,499.44	2,391,429.22
1995	2,351.81	825.23	179.24	2,531.15	858,448.22	3,264,776.05	66,421.54	250,522.93	923,629.76	3,515,296.98
1996	2,431.30	853.09	184.48	2,615.78	887,422.81	4,152,198.86	67,335.25	317,858.18	954,758.06	4,470,057.04
1997	2,512.03	881.41	189.81	2,701.84	916,891.49	5,069,090.35	69,281.60	387,139.78	986,173.09	5,456,239.13
1998	2,594.14	910.22	195.24	2,789.37	946,859.90	6,015,950.25	71,260.95	458,400.73	1,018,120.85	6,474,350.98
1999	2,677.64	939.52	200.75	2,878.39	977,337.82	6,993,288.07	73,273.96	531,674.69	1,050,611.78	7,524,962.75
2000	2,762.54	969.31	206.36	2,968.90	1,008,328.76	8,001,616.82	75,320.85	606,995.54	1,083,649.60	8,608,612.36
2001	2,849.35	999.77	212.09	3,061.44	1,040,013.39	9,041,630.21	77,413.55	684,409.09	1,117,426.95	9,726,039.30
2002	2,938.61	1,031.09	217.99	3,156.60	1,072,592.86	10,114,223.08	79,565.36	763,974.45	1,152,158.23	10,878,197.53
2003	3,030.94	1,063.49	224.09	3,254.03	1,106,293.10	11,220,516.18	81,791.19	843,765.64	1,188,084.29	12,066,281.82
2004	3,127.04	1,097.21	230.43	3,357.47	1,141,367.88	12,361,884.06	84,107.81	929,873.45	1,225,475.69	13,291,757.52
2005	3,227.67	1,132.52	237.08	3,464.75	1,178,101.05	13,539,985.11	86,533.96	1,016,407.42	1,264,635.02	14,566,392.53
2006	3,333.74	1,169.73	244.08	3,577.82	1,216,813.38	14,756,796.50	89,000.84	1,105,498.25	1,305,904.22	15,862,296.75
2007	3,446.22	1,209.20	251.91	3,697.73	1,257,868.58	16,014,667.08	91,802.45	1,197,300.70	1,349,671.03	17,211,967.78
2008	3,565.25	1,251.32	259.44	3,825.69	1,301,681.89	17,316,348.97	94,696.23	1,291,996.93	1,396,378.12	18,608,345.91
2009	3,695.15	1,296.55	267.96	3,963.11	1,348,731.25	18,665,080.23	97,803.75	1,389,800.64	1,446,535.00	20,054,850.90
2010	3,834.44	1,345.42	277.16	4,111.60	1,399,570.60	20,064,650.83	101,161.58	1,490,962.26	1,500,732.18	21,555,613.09

TABLA No. 6.3.1.1

**CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO**  
**1a. ETAPA**

CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN		CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN	
		PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>
2591	745	745	745	2620	31,590	31,590	459,621
2592	1,983	1,983	2,728	2621	31,997	31,997	491,618
2593	3,222	3,222	5,950	2622	31,732	31,732	523,350
2594	4,460	4,460	10,410	2623	31,466	31,466	554,816
2595	5,698	5,698	16,108	2624	31,201	31,201	586,017
2596	6,937	6,937	23,045	2625	30,935	30,935	616,952
2597	8,175	8,175	31,220	2626	30,670	30,670	647,622
2598	9,414	9,414	40,634	2627	30,404	30,404	678,026
2599	10,652	10,652	51,286	2628	30,139	30,139	708,165
2600	11,890	11,890	63,176	2629	29,873	29,873	738,038
2601	12,550	12,550	75,726	2630	29,608	29,608	767,646
2602	12,631	12,631	88,357	2631	19,548	19,548	787,194
2603	12,712	12,712	101,069	2632	18,504	18,504	805,698
2604	12,793	12,793	113,862	2633	17,460	17,460	823,158
2605	12,874	12,874	126,736	2634	16,416	16,416	839,574
2606	12,955	12,955	139,691	2635	15,372	15,372	854,946
2607	13,036	13,036	152,727	2636	14,328	14,328	869,274
2608	13,117	13,117	165,844	2637	13,284	13,284	882,558
2609	13,198	13,198	179,042	2638	12,240	12,240	894,798
2610	13,279	13,279	192,321	2639	11,196	11,196	905,994
2611	21,870	21,870	214,191	2640	10,152	10,152	916,146
2612	22,950	22,950	237,141				
2613	24,030	24,030	261,171				
2614	25,110	25,110	286,281				
2615	26,190	26,190	312,471				
2616	27,270	27,270	339,741				
2617	28,350	28,350	368,091				
2618	29,430	29,430	397,521				
2619	30,510	30,510	428,031				

TABLA No. 6.3.1.2

**CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO  
1a. ETAPA**

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER DE RESIDUOS					OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION				
AÑO	POBLACION hab.	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEVACION m	CAPA No.	AREA SUP. OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO		
		DIARIOS m <sup>3</sup>	ANUALES PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PROMEDIO m <sup>2</sup>	PARCIAL m <sup>2</sup>	ACUMULADO m <sup>2</sup>
1982	1,803,439	2,285.72	834,288.06	834,288.06	2593	1	3,222	5,950	5,950
1993	1,849,068	2,368.14	863,641.72	1,697,929.78	2596	2	6,937	17,095	23,045
1994	1,894,699	2,447.94	893,499.44	2,591,429.22	2599	3	10,652	28,241	51,286
1995	1,940,332	2,531.15	923,869.76	3,515,298.98	2602	4	12,631	37,071	88,357
1996	1,985,963	2,615.78	954,758.06	4,470,057.04	2605	5	12,874	38,379	126,736
1997	2,031,595	2,701.84	986,173.09	5,456,230.13	2608	6	13,117	39,108	165,844
1998	2,077,225	2,789.37	1,018,120.85	6,474,350.98	2611	7	21,870	48,347	214,191
1999	2,122,859	2,878.39	1,050,611.78	7,524,962.75	2614	8	25,110	72,050	286,281
2000	2,168,489	2,968.90	1,083,649.60	8,608,612.36	2617	9	28,350	81,810	368,091
					2620	10	31,580	91,530	459,621
					2623	11	31,466	95,195	554,816
					2626	12	30,870	92,806	647,622
					2629	13	29,873	90,416	738,038
					2632	14	18,504	67,660	805,698
					2635	15	15,372	49,248	854,946
					2638	16	12,240	39,852	894,798

**TABLA No. 6.3.1.3**

# CAPACIDAD VOLUMETRICA

## 1a. Etapa

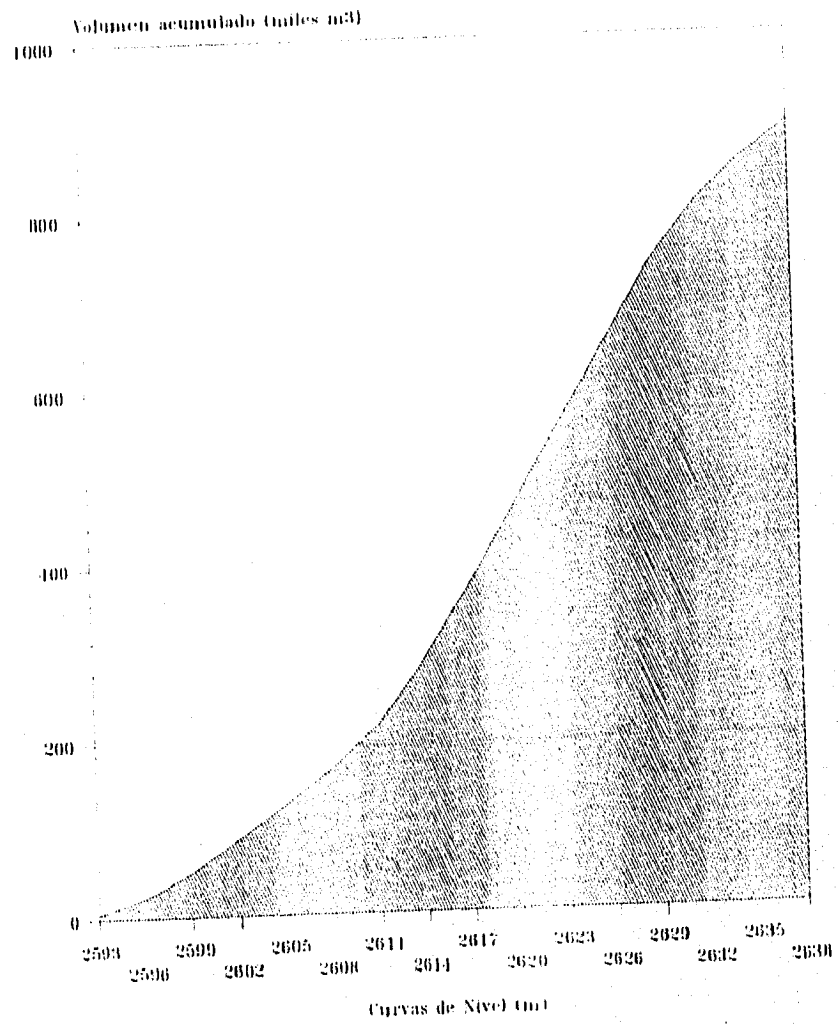


FIGURA No. 6.3.1.1



**CALENDARIZACION DEL RELLENO SANITARIO  
1a. ETAPA**

AÑO	CAPA No	CELDA DIARIAS	VOL CELDA DIARIA m <sup>3</sup>	ELEVACION m
1992	1	2 6	2,285 721	2593
1992	2	7 5	2,285 721	2596
1992	3	12 4	2,285 721	2599
1992	4	16 2	2,285 721	2602
1992	5	16 8	2,285 721	2605
1992	6	17 1	2,285 721	2608
1992	7	21 2	2,285 721	2611
1992	8	31 5	2,285 721	2614
1992	9	35 8	2,285 721	2617
1992	10	21 5	2,285 721	2620
1993	10	18 0	2,368 140	2620
1993	11	40 2	2,368 140	2623
1993	12	39 2	2,368 140	2626
1993	13	38 2	2,368 140	2629
1993	14	28 6	2,368 140	2632
1993	15	20 8	2,368 140	2635
1993	15	18 8	2,368 140	2638

**TABLA No. 6.3.1.4**

**CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO**  
**2a. ETAPA**

CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN		CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN	
		PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>
2571	3,194	3,194	3,194	2610	55,757	55,757	1,017,085
2572	4,061	4,061	7,255	2611	43,569	43,569	1,060,654
2573	4,928	4,928	12,183	2612	42,687	42,687	1,103,341
2574	5,795	5,795	17,978	2613	41,805	41,805	1,145,146
2575	6,662	6,662	24,640	2614	40,923	40,923	1,186,069
2576	7,529	7,529	32,169	2615	40,041	40,041	1,226,110
2577	8,396	8,396	40,565	2616	39,159	39,159	1,265,269
2578	9,263	9,263	49,828	2617	38,277	38,277	1,303,546
2579	10,130	10,130	59,958	2618	37,395	37,395	1,340,941
2580	10,997	10,997	70,955	2619	36,513	36,513	1,377,454
2581	11,277	11,277	82,232	2620	35,631	35,631	1,413,085
2582	10,971	10,971	93,203	2621	34,202	34,202	1,447,287
2583	10,665	10,665	103,868	2622	32,227	32,227	1,479,514
2584	10,359	10,359	114,227	2623	30,251	30,251	1,509,765
2585	10,053	10,053	124,280	2624	28,276	28,276	1,538,041
2586	9,747	9,747	134,027	2625	26,300	26,300	1,564,341
2587	9,441	9,441	143,468	2626	24,325	24,325	1,588,666
2588	9,135	9,135	152,603	2627	22,349	22,349	1,611,015
2589	8,829	8,829	161,432	2628	20,374	20,374	1,631,380
2590	8,523	8,523	169,955	2629	18,398	18,398	1,649,787
2591	27,842	27,842	197,797	2630	16,423	16,423	1,666,210
2592	29,435	29,435	227,232	2631	14,702	14,702	1,680,912
2593	31,028	31,028	258,260	2632	13,235	13,235	1,694,147
2594	32,621	32,621	290,881	2633	11,768	11,768	1,705,915
2595	34,214	34,214	325,095	2634	10,301	10,301	1,716,216
2596	35,807	35,807	360,902	2635	8,834	8,834	1,725,050
2597	37,400	37,400	398,302	2636	7,367	7,367	1,732,417
2598	38,993	38,993	437,295	2637	5,900	5,900	1,738,317
2599	40,586	40,586	477,881	2638	4,433	4,433	1,742,750
2600	42,179	42,179	520,060	2639	2,966	2,966	1,745,716
2601	43,648	43,648	563,708	2640	1,499	1,499	1,747,215
2602	44,993	44,993	608,701				
2603	46,339	46,339	655,040				
2604	47,684	47,684	702,724				
2605	49,030	49,030	751,754				
2606	50,375	50,375	802,129				
2607	51,721	51,721	853,850				
2608	53,066	53,066	906,916				
2609	54,412	54,412	961,328				

**TABLA No. 6.3.1.5**

**CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO  
2a. ETAPA**

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER DE RESIDUOS				OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION					
AÑO	POBLACION hab	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEVACION m	CAPA No	AREA SUP OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO		
		DIARIOS m <sup>3</sup>	ANUALES PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PROMEDIO m <sup>2</sup>	PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>
1992	1,603,436	2,285.72	834,288.06	834,288.06	2573	1	4,928	12,183	12,183
1993	1,849,068	2,366.14	863,641.72	1,697,929.78	2578	7	7,529	19,986	32,169
1994	1,894,899	2,447.94	893,499.44	2,591,429.22	2579	3	10,130	27,789	59,958
1995	1,940,332	2,531.15	923,869.76	3,515,298.98	2582	4	10,971	33,245	93,203
1996	1,985,963	2,615.78	954,758.06	4,470,057.04	2585	5	10,053	31,077	124,280
1997	2,031,595	2,701.84	985,173.89	5,456,230.13	2588	6	9,135	28,323	152,603
1998	2,077,225	2,789.37	1,018,120.85	6,474,350.98	2591	7	27,842	45,194	197,797
1999	2,122,859	2,878.39	1,050,811.78	7,524,962.75	2594	8	32,821	83,084	290,881
2000	2,168,489	2,968.90	1,083,649.60	8,608,612.36	2597	9	37,400	107,421	398,302
					2600	10	42,179	121,758	520,060
					2603	11	46,339	134,980	655,040
					2606	12	50,375	147,089	802,129
					2609	13	54,412	159,199	961,328
					2612	14	42,687	142,013	1,103,341
					2615	15	40,041	122,769	1,226,110
					2618	16	37,395	114,831	1,340,941
					2621	17	34,202	106,348	1,447,287
					2624	18	28,278	90,754	1,538,041
					2627	19	22,349	72,974	1,611,015
					2630	20	16,423	55,195	1,666,210
					2633	21	11,768	39,705	1,705,915
					2636	22	7,367	26,502	1,732,417
					2639	23	2,968	13,299	1,745,716

**TABLA No. 6.3.1.6**

# CAPACIDAD VOLUMETRICA

## 2a. Etapa

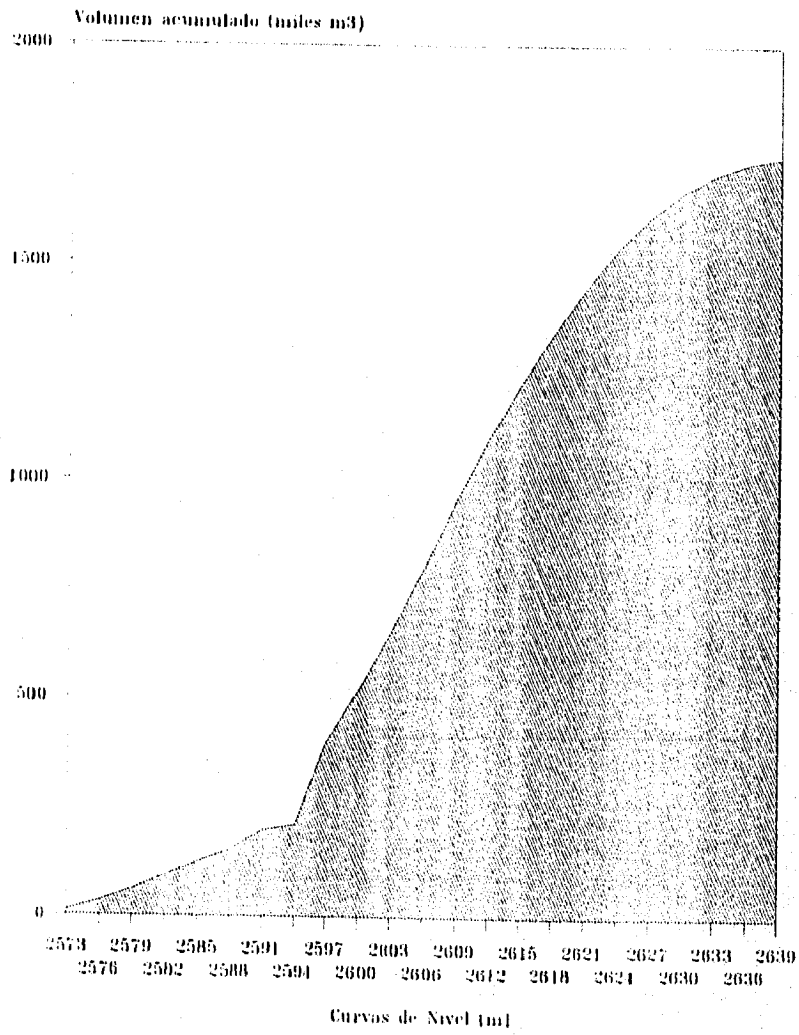


FIGURA No. 6.3.1.2

**CALENDARIZACION DEL RELLENO SANITARIO  
2a. ETAPA**

AÑO	CAPA No	CELDA DIARIAS	VOL CELDA DIARIA m <sup>3</sup>	ELEVACION m
1993	1	5.1	2.366 140	2573
1993	2	8.4	2.366 140	2576
1993	3	11.7	2.366 140	2579
1993	4	14.1	2.366 140	2582
1993	5	13.1	2.366 140	2585
1993	6	12.0	2.366 140	2588
1993	7	19.1	2.366 140	2591
1993	8	30.3	2.366 140	2594
1993	9	40.2	2.366 140	2597
1994	9	5.0	2.447 944	2597
1994	10	49.7	2.447 944	2600
1994	11	55.1	2.447 944	2603
1994	12	60.1	2.447 944	2606
1994	13	65.0	2.447 944	2609
1994	14	58.0	2.447 944	2612
1994	15	50.2	2.447 944	2615
1994	16	21.8	2.447 944	2618
1995	16	24.3	2.531 150	2618
1995	17	42.0	2.531 150	2621
1995	18	35.9	2.531 150	2624
1995	19	28.8	2.531 150	2627
1995	20	21.8	2.531 150	2630
1995	21	15.7	2.531 150	2633
1995	22	10.5	2.531 150	2636
1995	23	5.3	2.531 150	2639

**TABLA No. 6.3.1.7**

**CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO**  
**3a. ETAPA**

CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN		CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN	
		PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>
2601	12.139	12.139	12.139	2630	43.886	43.886	923.625
2602	13.466	13.466	25.605	2631	37.769	37.769	961.394
2603	14.794	14.794	40.399	2632	37.076	37.076	998.470
2604	16.121	16.121	56.520	2633	36.383	36.383	1.034.853
2605	17.449	17.449	73.969	2634	35.690	35.690	1.070.543
2606	18.776	18.776	92.745	2635	34.997	34.997	1.105.540
2607	20.104	20.104	112.849	2636	34.304	34.304	1.139.844
2608	21.431	21.431	134.280	2637	33.611	33.611	1.173.455
2609	22.759	22.759	157.039	2638	32.918	32.918	1.206.373
2610	24.086	24.086	181.125	2639	32.225	32.225	1.238.598
2611	25.504	25.504	206.629	2640	31.532	31.532	1.270.130
2612	27.011	27.011	233.640	2641	30.837	30.837	1.300.967
2613	28.519	28.519	262.159	2642	30.140	30.140	1.345.757
2614	30.026	30.026	292.185	2643	29.444	29.444	1.377.921
2615	31.534	31.534	323.719	2644	28.747	28.747	1.408.318
2616	33.041	33.041	356.760	2645	28.051	28.051	1.430.949
2617	34.549	34.549	391.309	2646	27.354	27.354	1.451.813
2618	36.056	36.056	427.365	2647	17.098	17.098	1.468.911
2619	37.564	37.564	464.929	2648	13.331	13.331	1.482.242
2620	39.071	39.071	504.000	2649	9.565	9.565	1.491.807
2621	40.039	40.039	544.039	2650	5.798	5.798	1.497.605
2622	40.466	40.466	584.505				
2623	40.894	40.894	625.399				
2624	41.321	41.321	666.720				
2625	41.749	41.749	708.469				
2626	42.176	42.176	750.645				
2627	42.604	42.604	793.249				
2628	43.031	43.031	836.280				
2629	43.459	43.459	879.739				

TABLA No. 6.3.1.8

**CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO**  
**3a. ETAPA**

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER DE RESIDUOS					OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION					
AÑO	POBLACION hab.	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEVACION m	CAPA No.	AREA SUP. OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO			
		DIARIOS m <sup>3</sup>	ANUALES PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PROMEDIO m <sup>2</sup>	PARCIAL m <sup>2</sup>	ACUMULADO m <sup>2</sup>	
1992	1,803,436	2,285.72	834,288.06	834,288.06	2603	1	14,794	40,399	40,399	
1993	1,849,068	2,366.14	863,641.72	1,697,929.78	2606	2	18,776	52,346	92,745	
1994	1,894,689	2,447.04	893,499.44	2,591,429.22	2609	3	22,759	64,294	157,039	
1995	1,840,332	2,531.15	923,869.76	3,515,298.98	2612	4	27,011	76,601	233,640	
1996	1,965,963	2,615.78	954,758.08	4,470,057.04	2615	5	31,534	90,079	323,719	
1997	2,031,595	2,701.84	986,173.09	5,456,230.13	2618	6	36,056	103,846	427,365	
1998	2,077,225	2,789.37	1,018,120.85	6,474,350.98	2621	7	40,039	116,674	544,039	
1999	2,122,656	2,878.39	1,050,611.78	7,524,962.75	2624	8	41,321	122,681	666,720	
2000	2,168,469	2,968.90	1,083,649.60	8,608,612.36	2627	9	42,604	126,529	793,249	
					2630	10	43,886	130,378	923,625	
					2633	11	36,343	111,228	1,034,853	
					2636	12	34,304	104,961	1,139,844	
					2639	13	32,225	98,754	1,238,598	
					2642	14	35,930	107,159	1,345,757	
					2645	15	24,531	85,192	1,430,949	
					2648	16	13,331	51,293	1,482,242	

TABLA No. 6.3.1.9

# CAPACIDAD VOLUMETRICA

## 3a. Etapa

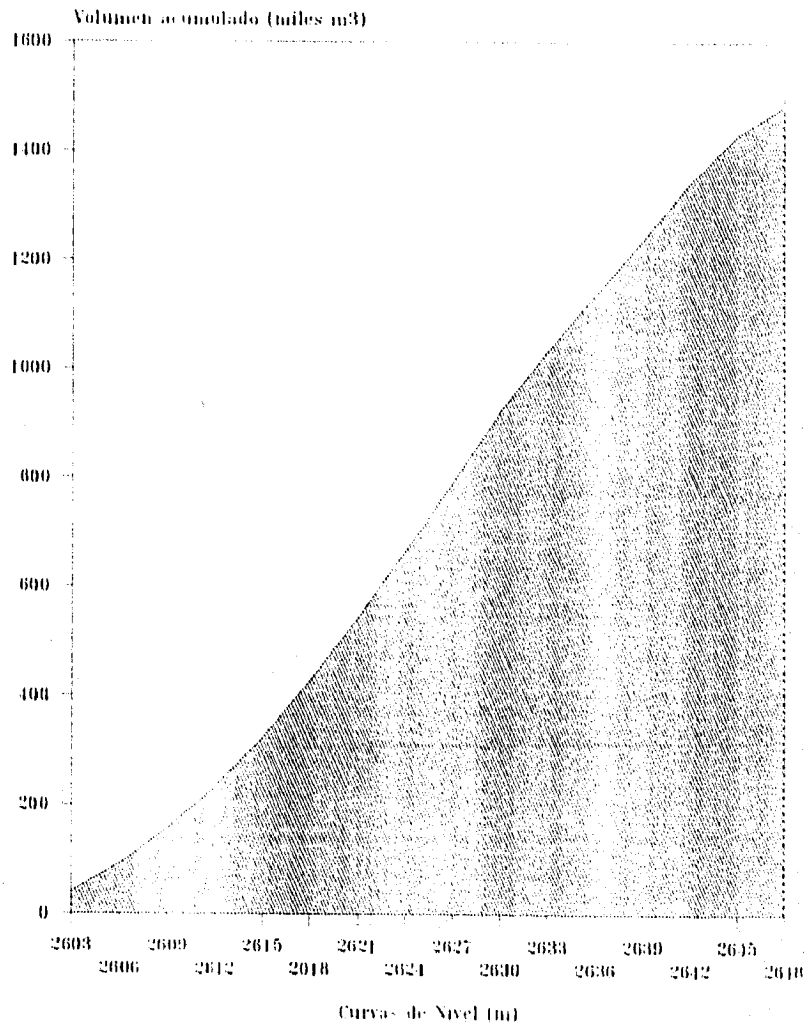


FIGURA No. 6.3.1.3



**CALENDARIZACION DEL RELLENO SANITARIO  
3a. ETAPA**

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. CELDA DIARIA m <sup>3</sup>	ELEVACION m
1995	1	18 0	2,531.150	2603
1995	2	20 7	2,531.150	2606
1995	3	25 4	2,531.150	2609
1995	4	30 3	2,531.150	2612
1995	5	35 6	2,531.150	2615
1995	6	40 9	2,531.150	2618
1995	7	12 0	2,531.150	2621
1996	7	33 0	2,615.778	2621
1996	8	46 9	2,615.778	2624
1996	9	48 4	2,615.778	2627
1996	10	49 8	2,615.778	2630
1996	11	42 5	2,615.778	2633
1996	12	40 1	2,615.778	2636
1996	13	37 8	2,615.778	2639
1996	14	41 0	2,615.778	2642
1997	15	6 9	2,701.844	2645
1997	16	19 0	2,701.844	2648

**TABLA No. 6.3.1.10**

**CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO**  
**4a. ETAPA**

CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN		CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN	
		PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>
2601	5,227	5,227	5,227	2630	21,089	21,089	551,250
2602	6,500	6,500	11,727	2631	19,694	19,694	570,944
2603	7,774	7,774	19,501	2632	18,853	18,853	589,797
2604	9,047	9,047	28,548	2633	18,011	18,011	607,808
2605	10,321	10,321	38,869	2634	17,170	17,170	624,978
2606	11,594	11,594	50,463	2635	16,328	16,328	641,306
2607	12,868	12,868	63,331	2636	15,487	15,487	656,793
2608	14,141	14,141	77,472	2637	14,645	14,645	671,438
2609	15,415	15,415	92,887	2638	13,804	13,804	685,242
2610	16,688	16,688	109,575	2639	12,962	12,962	698,204
2611	17,712	17,712	127,287	2640	12,121	12,121	710,325
2612	18,486	18,486	145,773	2641	11,363	11,363	721,688
2613	19,260	19,260	165,033	2642	10,688	10,688	732,376
2614	20,034	20,034	185,067	2643	10,013	10,013	742,389
2615	20,808	20,808	205,875	2644	9,338	9,338	751,727
2616	21,582	21,582	227,457	2645	8,663	8,663	760,390
2617	22,356	22,356	249,813	2646	7,988	7,988	768,378
2618	23,130	23,130	272,943	2647	7,313	7,313	775,691
2619	23,904	23,904	296,847	2648	6,638	6,638	782,329
2620	24,678	24,678	321,525	2649	5,963	5,963	788,292
2621	24,856	24,856	346,381	2650	5,288	5,288	793,580
2622	24,437	24,437	370,818				
2623	24,019	24,019	394,837				
2624	23,600	23,600	418,437				
2625	23,182	23,182	441,619				
2626	22,763	22,763	464,382				
2627	22,345	22,345	486,727				
2628	21,926	21,926	508,653				
2629	21,508	21,508	530,161				

TABLA No. 6.3.1.11

**CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO  
4a. ETAPA**

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER DE RESIDUOS				OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION					
AÑO	POBLACION hab.	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEVACION m	CAPA No.	AREA SUP. OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO		
		DIARIOS m <sup>3</sup>	ANUALES PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PROMEDIO m <sup>2</sup>	PARCIAL m <sup>2</sup>	ACUMULADO m <sup>2</sup>
1992	1.803.438	2.285.72	834.288.06	834.288.06	2603	1	7.774	19.501	19.501
1993	1.849.068	2.366.14	863.641.72	1.697.929.78	2606	2	11.594	30.962	50.463
1994	1.894.608	2.447.94	893.459.44	2.591.429.22	2609	3	15.415	42.424	92.887
1995	1.940.332	2.531.15	923.869.76	3.515.298.98	2612	4	18.486	52.866	145.773
1996	1.985.963	2.615.78	954.758.06	4.470.057.04	2615	5	20.808	60.102	205.875
1997	2.031.595	2.701.84	986.173.09	5.456.230.13	2618	6	23.130	67.068	272.943
1998	2.077.225	2.789.37	1.018.120.65	6.474.350.98	2621	7	24.856	73.438	348.381
1999	2.122.859	2.878.39	1.050.611.78	7.524.962.75	2624	8	23.600	72.056	416.437
2000	2.168.489	2.968.90	1.083.649.60	8.608.612.38	2627	9	22.345	68.290	486.727
					2630	10	21.089	64.523	551.250
					2633	11	18.011	56.558	607.808
					2636	12	15.467	48.985	656.793
					2639	13	12.962	41.411	698.204
					2642	14	10.688	34.172	732.376
					2645	15	8.663	28.014	760.390
					2648	16	6.638	21.939	782.329

**TABLA No. 6.3.1.12**

# CAPACIDAD VOLUMETRICA

## 1a. Etapa

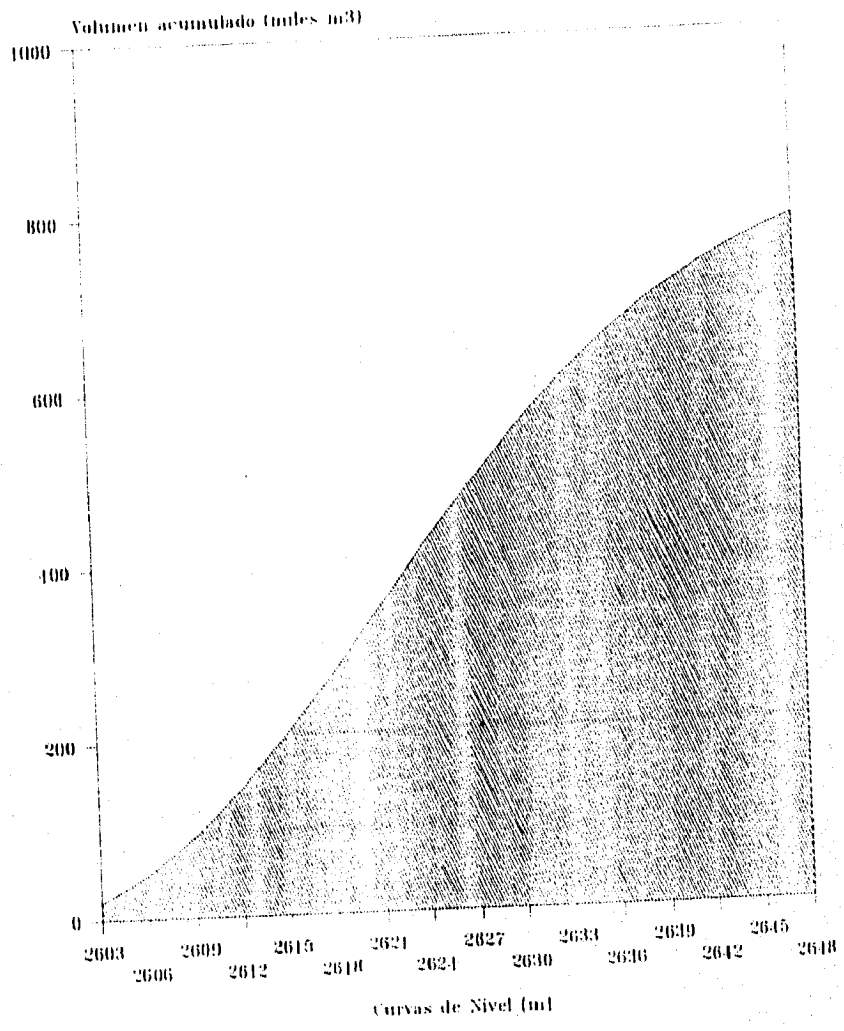


FIGURA No. 6.3.1.3

**CALENDARIZACION DEL RELLENO SANITARIO  
4a. ETAPA**

AÑO	CAPA No	CELDA DIARIAS	VOL CELDA DIARIA m <sup>3</sup>	ELEVACION m
1997	1	7.2	2,701.844	2603
1997	2	11.5	2,701.844	2608
1997	3	15.7	2,701.844	2609
1997	4	19.6	2,701.844	2612
1997	5	22.2	2,701.844	2615
1997	6	24.8	2,701.844	2618
1997	7	27.2	2,701.844	2621
1997	8	26.7	2,701.844	2624
1997	9	25.3	2,701.844	2627
1997	10	23.9	2,701.844	2630
1997	11	20.9	2,701.844	2633
1997	12	18.1	2,701.844	2636
1997	13	15.3	2,701.844	2639
1997	14	12.6	2,701.844	2642
1997	15	10.4	2,701.844	2645
1997	16	8.1	2,701.844	2648

**TABLA No. 6.3.1.13**

**CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO  
5a. ETAPA**

CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN		CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN	
		PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>
2571	12,241	12,241	12,241	2591	18,510	18,510	308,480
2572	11,528	11,528	23,769	2592	17,867	17,867	326,347
2573	10,816	10,816	34,585	2593	19,224	19,224	345,571
2574	10,103	10,103	44,688	2594	20,581	20,581	366,152
2575	9,391	9,391	54,079	2595	21,938	21,938	388,090
2576	8,678	8,678	62,757	2596	23,295	23,295	411,385
2577	7,966	7,966	70,723	2597	24,652	24,652	436,037
2578	7,253	7,253	77,976	2598	26,009	26,009	462,046
2579	6,541	6,541	84,517	2599	27,366	27,366	489,412
2580	5,828	5,828	90,345	2600	28,723	28,723	518,135
2581	13,048	13,048	103,393				
2582	14,629	14,629	118,022				
2583	16,210	16,210	134,232				
2584	17,791	17,791	152,023				
2585	19,372	19,372	171,395				
2586	20,953	20,953	192,348				
2587	22,534	22,534	214,882				
2588	24,115	24,115	238,997				
2589	25,696	25,696	264,693				
2590	27,277	27,277	291,970				

**TABLA No. 6.3.1.14**

**CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO  
5a. ETAPA**

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER DE RESIDUOS				OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION					
AÑO	POBLACION hab.	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEVACION m	CAPA No.	AREA SUP. OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO		
		DIARIOS m <sup>3</sup>	ANUALES PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PROMEDIO m <sup>2</sup>	PARCIAL m <sup>2</sup>	ACUMULADO m <sup>2</sup>
1992	1,803,438	2,285.72	834,288.06	834,288.06	2573	1	10,816	34,585	34,585
1993	1,849,088	2,366.14	863,641.72	1,697,929.78	2576	2	8,678	28,172	62,757
1994	1,894,699	2,447.94	893,499.44	2,591,429.22	2579	3	8,541	21,760	84,517
1995	1,940,332	2,531.15	923,869.78	3,515,298.98	2582	4	14,829	33,505	118,022
1996	1,985,963	2,615.78	954,758.06	4,470,057.04	2585	5	19,372	53,373	171,395
1997	2,031,595	2,701.84	986,173.09	5,456,230.13	2588	6	24,115	67,602	238,997
1998	2,077,225	2,789.37	1,018,120.85	6,474,350.98	2591	7	16,510	60,483	308,480
1999	2,122,858	2,878.39	1,050,611.78	7,524,962.75	2594	8	20,581	57,672	368,152
2000	2,168,489	2,968.90	1,083,649.60	8,608,612.36	2597	9	24,652	69,885	438,037
					2600	10	28,723	82,098	518,135

**TABLA No. 6.3.1.15**

# CAPACIDAD VOLUMETRICA

## 5a. Etapa

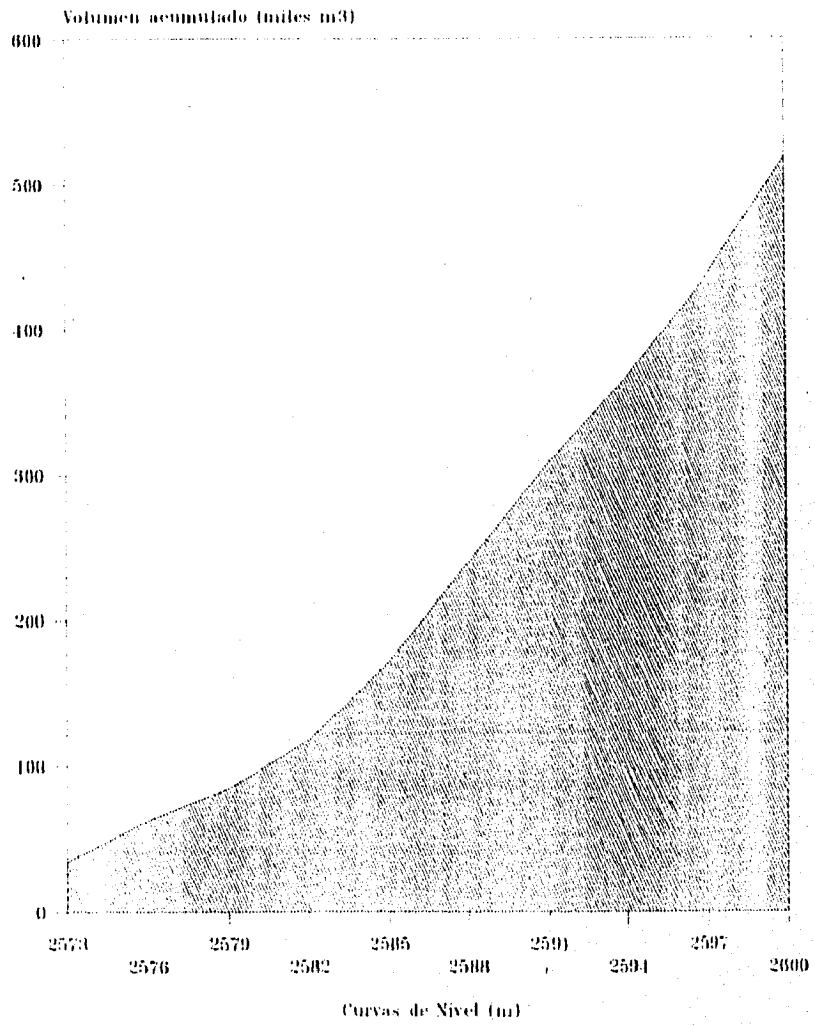


FIGURA No. 6.3.1.5



**CALENDARIZACION DEL RELLENO SANITARIO  
5a. ETAPA**

AÑO	CAPA No	CELDA DIARIAS	VOL. CELDA DIARIA m <sup>3</sup>	ELEVACION m
1997	1	12.8	2,791.654	2573
1997	2	19.4	2,791.844	2576
1997	3	8.1	2,791.844	2579
1997	4	12.4	2,791.844	2582
1997	5	5.6	2,791.844	2585
1998	5	12.8	2,790.372	2588
1998	6	24.2	2,790.372	2590
1998	7	24.8	2,790.372	2591
1998	8	19.7	2,790.372	2593
1998	9	25.1	2,790.372	2597
1998	10	21.4	2,790.372	2600

**TABLA No. 6.3.1.16**

**CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO**  
**6a. ETAPA**

CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN		CURVA DE NIVEL	AREA PROMEDIO m <sup>2</sup>	VOLUMEN	
		PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>
2581	1,150	1,150	1,150	2631	23,797	23,797	385,937
2582	1,473	1,473	2,623	2632	26,891	26,891	412,828
2583	1,796	1,796	4,419	2633	29,985	29,985	442,813
2584	2,119	2,119	6,538	2634	33,079	33,079	476,892
2585	2,442	2,442	8,980	2635	36,173	36,173	512,065
2586	2,765	2,765	11,745	2636	39,267	39,267	551,332
2587	3,088	3,088	14,833	2637	42,360	42,360	593,692
2588	3,411	3,411	18,244	2638	45,454	45,454	639,146
2589	3,734	3,734	21,978	2639	48,548	48,548	687,694
2590	4,057	4,057	26,035	2640	51,642	51,642	739,336
2591	4,076	4,076	30,111	2641	53,564	53,564	792,900
2592	3,791	3,791	33,902	2642	54,312	54,312	847,212
2593	3,506	3,506	37,408	2643	55,061	55,061	902,273
2594	3,221	3,221	40,629	2644	55,810	55,810	958,083
2595	2,936	2,936	43,565	2645	56,558	56,558	1,014,641
2596	2,651	2,651	46,216	2646	57,307	57,307	1,071,948
2597	2,366	2,366	48,582	2647	58,056	58,056	1,130,004
2598	2,081	2,081	50,663	2648	58,804	58,804	1,188,808
2599	1,796	1,796	52,459	2649	59,553	59,553	1,248,361
2600	1,511	1,511	53,970	2650	60,302	60,302	1,308,663
2601	1,313	1,313	55,283	2651	60,328	60,328	1,367,991
2602	1,203	1,203	56,486	2652	59,631	59,631	1,424,622
2603	1,093	1,093	57,579	2653	58,934	58,934	1,478,556
2604	982	982	58,561	2654	58,237	58,237	1,529,793
2605	872	872	59,433	2655	48,540	48,540	1,578,333
2606	762	762	60,195	2656	45,843	45,843	1,624,176
2607	652	652	60,847	2657	43,146	43,146	1,667,322
2608	541	541	61,388	2658	40,449	40,449	1,707,771
2609	431	431	61,819	2659	37,752	37,752	1,745,523
2610	321	321	62,140	2660	35,055	35,055	1,780,578
2611	8,347	8,347	70,487	2661	32,786	32,786	1,813,364
2612	9,034	9,034	79,521	2662	30,943	30,943	1,844,307

(CONTINUACION)

2613	9.721	9.721	89.242	2663	29.101	29.101	1.873.408
2614	10.408	10.408	99.650	2664	27.259	27.259	1.900.667
2615	11.095	11.095	110.745	2665	25.417	25.417	1.926.084
2616	11.782	11.782	122.527	2666	23.575	23.575	1.949.859
2617	12.469	12.469	134.996	2667	21.732	21.732	1.971.391
2618	13.156	13.156	148.152	2668	19.890	19.890	1.991.281
2619	13.843	13.843	161.995	2669	18.048	18.048	2.009.329
2620	14.530	14.530	176.525	2670	16.206	16.206	2.025.535
2621	15.217	15.217	191.787	2671	14.705	14.705	2.040.240
2622	15.904	15.904	207.747	2672	13.546	13.546	2.053.786
2623	16.591	16.591	224.464	2673	12.387	12.387	2.066.173
2624	17.278	17.278	241.919	2674	11.229	11.229	2.077.402
2625	17.965	17.965	260.112	2675	10.070	10.070	2.087.472
2626	18.652	18.652	279.042	2676	8.911	8.911	2.096.383
2627	19.339	19.339	298.710	2677	7.752	7.752	2.104.135
2628	20.026	20.026	319.116	2678	6.593	6.593	2.110.728
2629	20.713	20.713	340.259	2679	5.434	5.434	2.116.162
2630	21.400	21.400	362.140	2680	4.275	4.275	2.120.437

TABLA No. 6.3.1.17

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO 6a. ETAPA

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER DE RESIDUOS				OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION					
AÑO	POBLACION hab.	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEVACION m	CAPA No.	AREA SUP. OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO		
		DIARIOS m <sup>3</sup>	ANUALES PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PROMEDIO m <sup>2</sup>	PARCIAL m <sup>2</sup>	ACUMULADO m <sup>2</sup>
1992	1,803,436	2,285.72	834,288.06	834,288.06	2583	1	1,766	4,419	4,419
1993	1,849,068	2,368.14	863,641.72	1,697,929.78	2586	2	2,765	7,326	11,745
1994	1,894,699	2,447.94	893,499.44	2,591,429.22	2589	3	3,734	10,233	21,978
1995	1,940,332	2,531.15	923,869.78	3,515,298.98	2592	4	3,791	11,924	33,902
1996	1,985,963	2,615.78	954,758.06	4,470,057.04	2595	5	2,938	9,663	43,565
1997	2,031,595	2,701.84	986,173.09	5,456,230.13	2598	6	2,081	7,098	50,663
1998	2,077,225	2,789.37	1,018,120.85	6,474,350.98	2601	7	1,313	4,620	55,283
1999	2,122,859	2,878.39	1,050,611.78	7,524,962.75	2604	8	982	3,278	58,561
2000	2,168,489	2,968.90	1,083,649.60	8,608,612.36	2607	9	652	2,286	60,847
					2610	10	321	1,293	62,140
					2613	11	9,721	27,102	89,242
					2616	12	11,782	33,285	122,527
					2619	13	13,843	39,468	161,995
					2622	14	15,980	45,752	207,747
					2625	15	18,193	52,365	260,112
					2628	16	20,406	59,004	319,116
					2631	17	23,797	66,821	385,937
					2634	18	33,079	89,955	475,892
					2637	19	42,360	117,800	593,692
					2640	20	51,642	145,644	739,336
					2643	21	55,061	162,837	902,273
					2646	22	57,307	169,875	1,071,948
					2649	23	59,553	178,413	1,248,361
					2652	24	56,631	176,261	1,424,622
					2655	25	48,540	153,711	1,578,333
					2658	26	40,449	129,438	1,707,771
					2661	27	32,788	105,593	1,813,364
					2664	28	27,259	87,303	1,900,667
					2667	29	21,732	70,724	1,971,391
					2670	30	16,206	54,144	2,025,535
					2673	31	12,387	40,638	2,066,173
					2676	32	8,911	30,210	2,098,383
					2679	33	5,434	19,779	2,116,182

TABLA No. 6.3.1.18

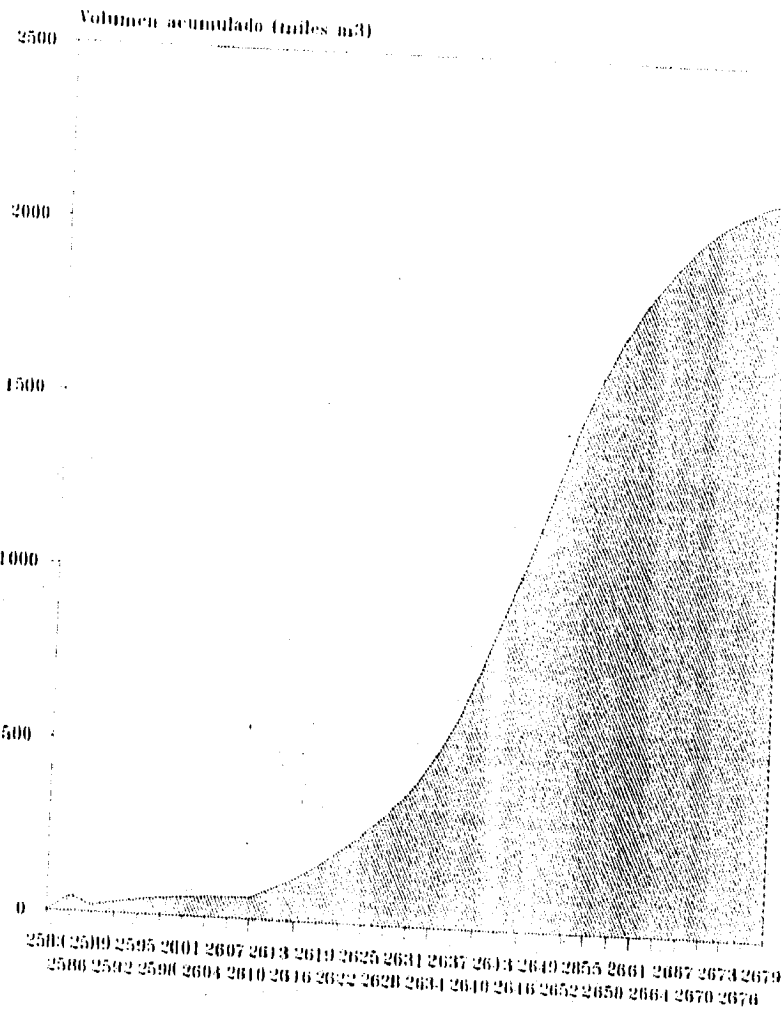
**CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO 6a. ETAPA**

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER DE RESIDUOS				OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION					
AÑO	POBLACION hab.	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEVACION m	CAPA No	AREA SUP. OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO		
		DIARIOS m <sup>3</sup>	ANUALES PARCIAL m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>			PROMEDIO m <sup>2</sup>	PARCIAL m <sup>2</sup>	ACUMULADO m <sup>2</sup>
1992	1,803,436	2,285.72	834,288.06	834,288.06	2583	1	1,796	4,419	4,419
1993	1,849,068	2,368.14	863,641.72	1,697,929.78	2586	2	2,765	7,326	11,745
1994	1,894,699	2,447.94	893,499.44	2,591,429.22	2589	3	3,734	10,233	21,978
1995	1,940,332	2,531.15	923,869.76	3,515,298.98	2592	4	3,791	11,924	33,902
1996	1,985,963	2,615.78	954,758.06	4,470,057.04	2595	5	2,938	9,663	43,565
1997	2,031,595	2,701.84	986,173.09	5,456,230.13	2598	6	2,081	7,098	50,663
1998	2,077,225	2,789.37	1,018,120.85	6,474,350.98	2601	7	1,313	4,620	55,283
1999	2,122,859	2,878.39	1,050,611.78	7,524,962.75	2604	8	982	3,278	58,561
2000	2,168,489	2,968.90	1,083,649.60	8,608,612.36	2607	9	652	2,286	60,847
					2610	10	321	1,293	62,140
					2613	11	9,721	27,102	89,242
					2616	12	11,782	33,285	122,527
					2619	13	13,843	39,468	161,995
					2622	14	15,980	45,752	207,747
					2625	15	18,193	52,365	260,112
					2628	16	20,406	59,004	319,118
					2631	17	23,797	66,821	385,937
					2634	18	33,079	89,955	475,892
					2637	19	42,360	117,800	593,692
					2640	20	51,642	145,644	739,336
					2643	21	55,061	162,937	902,273
					2646	22	57,307	169,875	1,071,848
					2649	23	59,553	178,413	1,248,361
					2652	24	58,631	178,261	1,424,622
					2655	25	48,540	153,711	1,578,333
					2658	26	40,449	129,438	1,707,771
					2661	27	32,788	105,593	1,813,364
					2664	28	27,259	87,303	1,900,667
					2667	29	21,732	70,724	1,971,391
					2670	30	16,206	54,144	2,025,535
					2673	31	12,387	40,638	2,066,173
					2676	32	8,911	30,210	2,096,383
					2679	33	5,434	19,779	2,116,162

**TABLA No. 6.3.1.18**

# CAPACIDAD VOLUMETRICA

## 6a. Etapa



Curvas de Nivel (m)

FIGURA No. 6.3.1.6

**CALENDARIZACION DEL RELLENO SANITARIO  
6a. ETAPA**

AÑO	CAPA No	CELDAS DIARIAS	VOL CELDA DIARIA m <sup>3</sup>	ELEVACION m
1998	1	1.6	2,789.372	2583
1998	2	2.6	2,789.372	2586
1998	3	3.7	2,789.372	2589
1998	4	4.3	2,789.372	2592
1998	5	3.5	2,789.372	2595
1998	6	2.5	2,789.372	2598
1998	7	1.7	2,789.372	2601
1998	8	1.2	2,789.372	2604
1998	9	0.8	2,789.372	2607
1998	10	0.5	2,789.372	2610
1998	11	9.7	2,789.372	2613
1998	12	11.9	2,789.372	2616
1998	13	14.1	2,789.372	2619
1998	14	16.4	2,789.372	2622
1998	15	18.8	2,789.372	2625
1998	16	21.2	2,789.372	2628
1998	17	24.0	2,789.372	2631
1998	18	32.2	2,789.372	2634
1998	19	42.2	2,789.372	2637
1998	20	14.4	2,789.372	2640
1999	20	36.6	2,878.388	2640
1999	21	56.6	2,878.388	2643
1999	22	58.9	2,878.388	2646
1999	23	61.3	2,878.388	2649
1999	24	81.2	2,878.388	2652
1999	25	53.4	2,878.388	2655
1999	26	38.9	2,878.388	2658
2000	26	7.8	2,968.903	2658
2000	27	35.6	2,968.903	2661
2000	28	29.4	2,968.903	2664
2000	29	23.8	2,968.903	2667
2000	30	18.2	2,968.903	2670
2000	31	13.7	2,968.903	2673
2000	32	10.2	2,968.903	2676
2000	33	6.7	2,968.903	2679

TABLA No. 6.3.1.19

Se diseñó el plan de excavación en base a la topografía del sitio y conservando las pendientes hacia los drenajes naturales con un 10 % de pendiente para asegurar la conducción del lixiviado hacia las fosas de captación. 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, bermas y presas.

El relleno se iniciará en la parte suroeste en dirección noreste hasta completar la etapa 1. 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 etapa 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.

Sobre la interfase impermeable se depositarán los desechos en capas promedio de 0.60 m. de espesor compactadas de acuerdo a lo especificado, 95 % de psvm, y hasta alcanzar la altura de la celda diaria (2.85 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 compactando también según lo especificado.

### **6.3.3 Diseño de la celda de control y frente de trabajo**

En base al número de viajes que llegarán al sitio del relleno, se determinó la frecuencia de llegada de vehículos; de esto se obtuvo que las horas pico se presentan entre las 10 y las 13 hrs. alcanzando un porcentaje de 16.5 %.

Con lo anterior se elaboró un histograma de frecuencia de llegadas al sitio el cual muestra la distribución por hora (figura No. 6.3.3.1). De éste y tomando como base la hora pico se obtiene el número máximo de vehículos que llegan en una hora en un día de trabajo, al dividir este número entre 60 se obtiene el número de vehículos por minuto. Este valor se multiplica por 2.50 m. que es la distancia que forma el ancho del vehículo se obtiene así la longitud del frente de trabajo.



# FRECUENCIA DE LLEGADAS AL SITIO NAUCALPAN

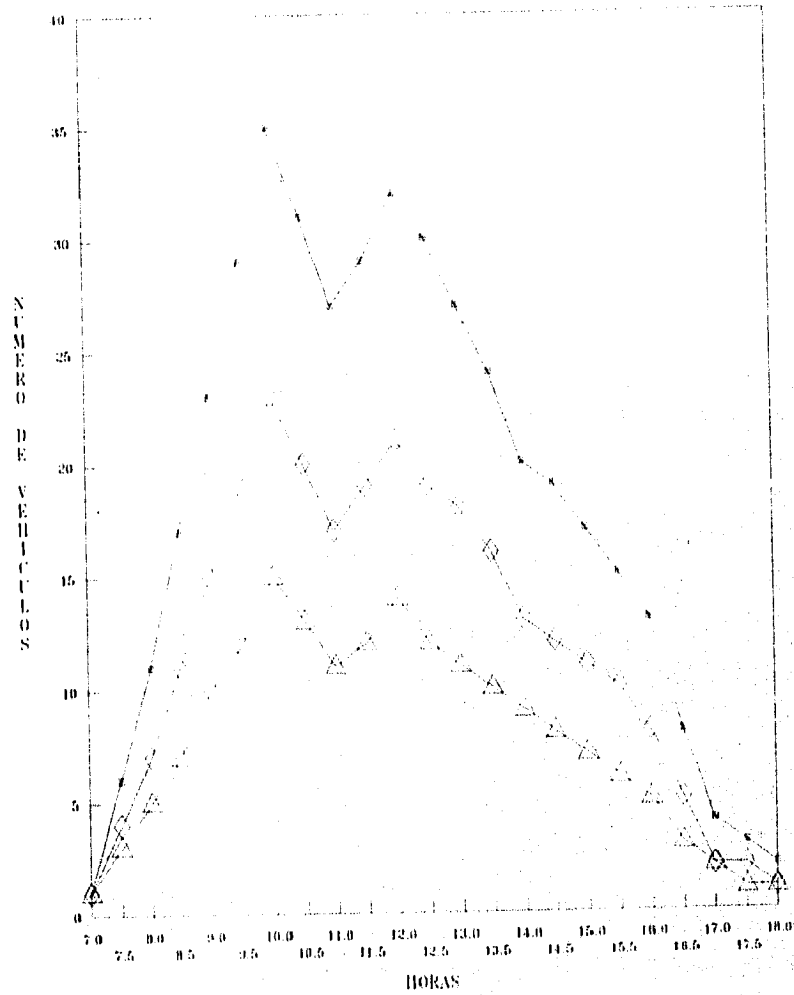


FIGURA No. 6.3.3.1

Considerando el evento crítico antes mencionado así como distancia de maniobras por vehículo de 0.50m tenemos como resultado un frente de trabajo de 50 m., teniendo la capacidad de atender hasta 128 unidades por hora.

La forma de operación propuesta es por dos frentes, uno de los dos ubicado al pie del talud y el otro en la parte alta con lo que se logrará reducir el frente de trabajo a 25 m.

#### **6.3.4 Construcción de la capa impermeable**

Una vez alcanzado el fondo de la excavación, se escarificará en una profundidad mínima de 0.15 m. y se compactará al 95 % del peso volumétrico seco máximo del material, proctor estándar, método A, con la humedad correspondiente a la óptima más 4 % y con un mínimo de 0.30 m. de espesor. La toba arcillo arenosa y arena limosa existente en el sitio y producto de la excavación es apropiada para usarse como interfase impermeable y se le incorporará un 5 % mínimo de bentonita cálcica.

Para el tendido de esta capa deberán cuidarse las características de permeabilidad del material y la correcta compactación del mismo durante la construcción. Esta capa impermeable deberá construirse para alcanzar una permeabilidad de  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg y para asegurar esto se realizarán pruebas de campo. El propósito de estas pruebas de campo es desarrollar la base de datos que dirija la correcta construcción de la capa impermeable.

Para lograr una correcta compactación de la capa impermeable ésta deberá tenderse en capas no mayores de 0.20 m. las cuales serán compactadas de acuerdo a la especificación antes mencionada.

Una vez compactada una capa, se deberá proteger contra la desecación, a fin de evitar su agrietamiento. Esta protección se puede dar con polietileno negro, que se removerá para colocar la siguiente capa. En la temporada de lluvias, se deberá dejar dicha protección durante la noche.

Sobre la capa de revestimiento de 0.30 m. se colocará una capa de 0.15 m. de espesor de suelo compactado al 95 % pvs, proctor estándar, método A, con la humedad correspondiente a la óptima más de 4 %.

La impermeabilización de la superficie, debe efectuarse en sitios en donde los estratos que estructuran el suelo sean permeables. En nuestro caso, de acuerdo a los análisis de contaminación que se efectuaron y a que en esta zona los mantos acuíferos se localizan a grandes profundidades, la impermeabilización se puede limitar a la colocación del material controlado con baja permeabilidad.

### 6.3.5 Control de agua superficial

#### 6.3.5.1 Ecurrimientos

Como se presenta en el Plano 4 serán necesarias en el sitio estructuras permanentes para el desvío del agua superficial en los lados sur y oeste del área del relleno. La topografía natural permite el drenaje del sitio hacia el norte y el este, canales permanentes de colección serán construidos en cada una de las fases de acuerdo a la operación de cada una de ellas en el relleno.

Dentro de los límites del área del relleno no se necesitan canales de desvío ya que toda el agua superficial drena naturalmente hacia afuera de las etapas del relleno.

Todos los canales de desvío fueron diseñados para asegurar el correcto manejo del escurrimiento para una tormenta de 24 hrs. para un periodo de retorno de 25 años. Es necesario que los canales sean recubiertos con grava o pasto para ayudar al control de la erosión.

Para el cálculos de los drenajes se utilizo la formula de Burkle-Ziegler para determinar el gasto de diseño.

$$Q = 27.73 C I S^{1/4} A^{3/4}$$

donde:

- Q = Gasto máximo en l/seg.
- C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)
- I = Intensidad de lluvia cm/hr.
- S = Pendiente en milésimas
- A = Area por drenar en hectáreas

El coeficiente C depende de la clase de terreno que forma la cuenca o área tributaria y tiene los valores que se presentan en la tabla No. 6.3.5.1.1

TERRENO	C
Áreas densamente construidas	0.70 - 0.75
Zonas residenciales comunes	0.50 - 0.65
Zonas suburbanas	0.30 - 0.45
Campos de cultivo	0.20 - 0.30
Parques y jardines	0.15 - 0.25

TABLA No. 6.3.5.1.1

Para este caso se consideran los siguientes datos:

$$C = 0.30$$

$$i = 40 \text{ cm/hr}$$

$$A = 23 \text{ ha.}$$

$$S = 1.41$$

$$Q = 27.73 (0.30) (40) (1.41)^{1/4} (23)^{3/4}$$

$$Q = 332.76 (1.09) (10.50)$$

$$Q = 3,809.37 \text{ l/seg} = 3.8 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Dando esto como resultado un flujo máximo de 3.8 m<sup>3</sup>/seg para el área de drenaje más grande (al sur Plano 9). Este flujo fue usado para dimensionar el canal que será usado como desvío a partir de la utilización de la ecuación de Manning. El Plano 24 muestra una sección típica de los canales; en la tabla No. 6.3.5.1.2 se muestran los cálculos antes mencionados. La localización final del sistema permanente de canales de desvío se muestra en el Plano 9.

DISEÑO DEL CANAL DE DESVIO

b	k	S	y	A	P	R	Q
<b>Tramo 1</b>							
2.5	3	0.1	1	5.50	8.82	0.62	55.09
2.5	3	0.1	0.8	3.92	7.56	0.52	34.71
2.5	3	0.1	0.5	2.00	5.66	0.35	13.69
2.5	3	0.1	0.2	0.62	3.76	0.16	2.55
2.5	3	0.1	0.25	0.81	4.08	0.20	3.79
<b>Tramo 2</b>							
2.5	3	0.16	1	5.50	8.82	0.62	69.68
2.5	3	0.16	0.8	3.92	7.56	0.52	43.91
2.5	3	0.16	0.5	2.00	5.66	0.35	17.32
2.5	3	0.16	0.2	0.62	3.76	0.16	3.22
2.5	3	0.16	0.22	0.70	3.89	0.18	3.81
<b>Tramo 3</b>							
2.5	3	0.08	1	5.50	8.82	0.62	49.27
2.5	3	0.08	0.8	3.92	7.56	0.52	31.05
2.5	3	0.08	0.5	2.00	5.66	0.35	12.25
2.5	3	0.08	0.3	1.02	4.40	0.23	4.71
2.5	3	0.08	0.267	0.88	4.19	0.21	3.81
<b>Tramo 4</b>							
2.5	3	0.07	1	5.50	8.82	0.62	46.09
2.5	3	0.07	0.8	3.92	7.56	0.52	29.04
2.5	3	0.07	0.5	2.00	5.66	0.35	11.46
2.5	3	0.07	0.3	1.02	4.40	0.23	4.41
2.5	3	0.07	0.25	0.81	4.08	0.20	3.17
2.5	3	0.07	0.277	0.92	4.25	0.22	3.81
<b>Tramo 5</b>							
2.5	3	0.09	1	5.50	8.82	0.62	52.26
2.5	3	0.09	0.8	3.92	7.56	0.52	32.93
2.5	3	0.09	0.5	2.00	5.66	0.35	12.99
2.5	3	0.09	0.3	1.02	4.40	0.23	5.00
2.5	3	0.09	0.25	0.81	4.08	0.20	3.59
2.5	3	0.09	0.258	0.84	4.13	0.20	3.80
<b>Tramo 6</b>							
2.5	3	0.4	1	5.50	8.82	0.62	110.18
2.5	3	0.4	0.8	3.92	7.56	0.52	69.42
2.5	3	0.4	0.5	2.00	5.66	0.35	27.39

2.5	3	0.4	0.1	0.28	3.13	0.09	1.53
2.5	3	0.4	0.169	0.51	3.57	0.14	3.79
Tramo 7							
2.5	3	0.12	1	5.50	8.82	0.62	60.35
2.5	3	0.12	0.8	3.92	7.56	0.52	38.02
2.5	3	0.12	0.5	2.00	5.66	0.35	15.00
2.5	3	0.12	0.2	0.62	3.76	0.16	2.79
2.5	3	0.12	0.238	0.76	4.01	0.19	3.80
Tramo 8							
2.5	3	0.13	1	5.50	8.82	0.62	62.81
2.5	3	0.13	0.8	3.92	7.56	0.52	39.58
2.5	3	0.13	0.5	2.00	5.66	0.35	15.61
2.5	3	0.13	0.2	0.62	3.76	0.16	2.90
2.5	3	0.13	0.233	0.75	3.97	0.19	3.81
Tramo 9							
2.5	3	0.14	1	5.50	8.82	0.62	65.18
2.5	3	0.14	0.8	3.92	7.56	0.52	41.07
2.5	3	0.14	0.5	2.00	5.66	0.35	16.20
2.5	3	0.14	0.2	0.62	3.76	0.16	3.01
2.5	3	0.14	0.228	0.73	3.94	0.18	3.80
Tramo 10							
2.5	3	0.27	1	5.50	8.82	0.62	90.52
2.5	3	0.27	0.8	3.92	7.56	0.52	57.04
2.5	3	0.27	0.5	2.00	5.66	0.35	22.50
2.5	3	0.27	0.2	0.62	3.76	0.16	4.18
2.5	3	0.27	0.189	0.58	3.70	0.16	3.79
Tramo 11							
2.5	3	0.24	1	5.50	8.82	0.62	85.34
2.5	3	0.24	0.8	3.92	7.56	0.52	53.77
2.5	3	0.24	0.5	2.00	5.66	0.35	21.21
2.5	3	0.24	0.2	0.62	3.76	0.16	3.94
2.5	3	0.24	0.196	0.61	3.74	0.16	3.81

**TABLA No. 6.3.5.1.2**

Los caminos generados dentro del relleno sanitario, serán utilizados como bermas de desvío del agua superficial.

#### **6.3.5.2 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 tanto en el origen de la cañada como 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. Todas las zonas de concentración de flujo serán rellenadas y revegetadas y se buscará la no concentración de agua en el sitio.

Una de las principales razones para controlar la erosión es asegurar que la capa final del relleno mantendrá su integridad y minimizará el potencial de 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.

#### **6.3.5.3 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, 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.

### **6.3.6 Topografía final**

Para el diseño de la topografía final del sitio se tuvo la necesidad de cumplir con pendientes promedio de 3:1 en todas las direcciones (relación de horizontal a vertical), la topografía final se muestra en el Plano 9, 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 2,680 msnm y la mínima dentro del área del terreno será de 2,580 msnm.

Se realizaron estudios preliminares con diferentes pendientes para la cubierta final del sitio siendo el primer diseño en función de pendientes de 4:1, el resultado de este primer diseño fue que la volumetría disponible del sitio solo permitía una vida útil de 5 años, se realizó una segunda alternativa teniendo como meta la obtención de 10 años de vida útil para el sitio, obteniéndose un área para el relleno de 38 ha., lo que se consideró como opción para una expansión del relleno. La tercera opción, que se diseñó en base a pendientes finales de 2:1, cumplió con los requerimientos de volumetría y vida útil que se pretendían para el sitio; debido a los grandes problemas de erosión que presenta la zona y a la dificultad de poder manejar el equipo de operación del relleno con estas pendientes fue necesario llegar a la cuarta opción de diseño que se basa en pendientes finales de 3:1 que es el motivo de este proyecto. Esta opción cumple con las necesidades de volumetría en una vida útil de 8 años.

## **6.4 Obras de apoyo**

### **6.4.1 Caminos de acceso**

El acceso hacia el relleno sanitario será a través del camino de terracería existente que serpentea por el lomerío desde el actual tiradero de Rincón Verde hasta el sitio, el cual deberá garantizar la circulación durante todo el año y para cualquier tipo de clima, se recomienda el estudio de viabilidades y el mejoramiento de este camino.



Los caminos interiores o temporales dentro del relleno deberán construirse de tal manera que permitan la circulación hasta el frente de trabajo.

El planteamiento de los caminos interiores, se basa en el aprovechamiento de la topografía actual y las excavaciones requeridas en cada etapa. De tal forma de sectorizar de manera longitudinal cada macrocelda mediante la conformación de taludes y construcción de caminos, que tendrán el propósito de dar acceso a los frentes de trabajo, y mediante su sobreelevación proteger estas áreas del efecto de escurrimiento por efectos pluviales, conduciéndolos a las áreas de captación y canalización posterior.

Su ubicación se consideró en función de las etapas de excavación, topografía del sitio procedimientos de operación, efectos de precipitación pluvial, así como su interrelación y efectos con los sistemas de control de lixiviados, captación de biogás, control de precipitación pluvial y uso final.

Estos caminos principales (P) se complementan con el establecimiento de caminos secundarios (S) que darán acceso a los frentes de trabajo, y formarán circuitos que mejoran la vialidad interior, evitando congestión, y acelerando los tiempos de circulación interior en el relleno sanitario y cuyo posicionamiento se establece de acuerdo a la programación definida en el proceso de operación.

El dimensionamiento del camino considera como condicionantes las progresiones en altura de que será objeto, así como las elevaciones a las que dará acceso; esto significa que algunos caminos; en particular los dos centrales CP-2 y CP-3, tendrán que sobreelevarse a cotas mayores a las que de origen tienen.

Esta altura de sobreelevación determinará el ancho del arroyo del camino, así como las dimensiones en su base producto de las pendientes que desarrolla a fin de generar la estabilidad en el talud.

De aquí se establece el ancho de camino en su primera fase hasta llegar a la altura deseada con las condiciones de dimensiones requeridas a fin de lograr una circulación adecuada, considerando las características geométricas entre los vehículos de recolección que depositan actualmente sus desechos, debido a esta situación se partió del concepto de tender los caminos de acceso a las cotas finales en un

circuito continuo, que genera vialidades de un solo sentido con dimensiones de ancho de carril de 6 m.; se considera en su determinación que la dimensión máxima del ancho de los vehículos recolectores es de 2.50 m con tránsito máximo por hora de 105 vehículos (con un 100 % de capacidad con respecto a la sección óptima) pendiente máxima en ascenso del 10 % y la ocurrencia de alguna falla mecánica o efecto de obstrucción externa, que pudiera interferir el acceso en la etapa crítica del llenado de celda.

La formación de estos caminos se genera en una etapa inicial con los cortes, producto de la excavación de las etapas planteadas, ya que la ubicación de ellos será en los límites de las etapas, sin excavar, esto se puede observar en el Plano 9 y subsecuentes para cada una de las fases.

Su estructuración se hará mediante el desmonte de la capa superior retirando el estrato de tierra vegetal, escarificación de 0.15 m. de terreno y compactación del mismo, posterior a él se colocará un revestimiento de suelo compactado al 95 % de su pvs<sub>m</sub> con las especificaciones señaladas en el proceso de impermeabilización de la interfase.

Se adicionará un capa de 0.30 m. de material del lugar, incorporándole 5 % de bentonita cálcica, compactandola al 95 % pvs<sub>m</sub>, protegiéndose de la desecación con una capa adicional de 0.15 m. del mismo material, con un grado de compactación también del 95 %.

También se considera una impermeabilización de los taludes de los caminos mediante la implementación de un recubrimiento con membrana sintética, con espesor de 60 mils, a fin de prevenir cualquier migración del lixiviado que se pudiera conducir en forma vertical bajo los caminos.

Este procedimiento es válido hasta alcanzar el relleno la elevación de la rasante del camino, en cuanto se eleve la disposición de desechos, será necesario el elevar las cotas de camino generando progresiones ascendentes.

Estas progresiones consisten en el tendido de 2.85 m. de desechos sobre el camino conformando la celda, posteriormente se dará el tratamiento de cobertura diaria mediante el tendido de una capa de 0.15

m. compactada al 95 % y sobre ella en el ancho del camino anterior más 1.00 m. a cada lado, se tendrá una base de 0.40 m. de ancho compactada por capas del 95 % de su pvs.m.

Para la época de lluvias, se revestirá esta base con grava controlada o tezontle a fin de tener caminos transitables en toda época del año.

En adición a estos caminos se tendrá en la etapa final de llenado durante la conformación de la cúpula piramidal, caminos que se estructuraran sobre los desechos depositados.

En este caso la solución planteada es dar un área de sustentación amplia en la base inicial del camino, con el fin de reducir los esfuerzos transmitidos. Esto se logrará mediante el tendido de una capa de 0.30 m. de espesor de grava controlada y posteriormente una capa de 0.15 m. de espesor del material del sitio compactado al 95 % de su pvs.m.

En caso de sobreelevación de este camino, se seguirá el mismo procedimiento descrito con anterioridad, después de depositar la capa de desecho en una altura de 2.85 m., por lo cual se seguirá la secuencia hasta alcanzar las cotas requeridas.

En época de lluvias se incrementará en 0.10 m. la capa de grava controlada, sin recubrimiento posterior a fin de lograr la tracción suficiente previniendo el problema de falta de tracción y atascamiento de vehículos.

#### **6.4.2 Cerca perimetral**

El relleno sanitario es una obra de ingeniería que requiere de un adecuado manejo, por lo cual, éste 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 él.

La puerta de acceso estará anclada en columnas de concreto armado de 2.80 x 0.20 x 0.20 m., tendrá

una longitud de 8.0 m. y estará compuesta de dos hojas construidas con malla ciclónica de 2' x 2' (51 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 relleno sanitario. Por tal motivo se instalará una cerca de alambre de púas de calibre 12.5 m., con 4 púas a cada 76 mm. colocando hilos espaciados a cada 0.20 m., soportados en postes de concreto armado de 2.10 x 0.20 x 0.10 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.

7. OPERACION

---

## 7. OPERACION

### 7.1 Preparación del sitio

Para este tipo de obra de ingeniería 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.

De una manera general, se puede decir que las actividades correspondientes a la etapa de construcción, se puede 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.

#### 7.1.1 Acondicionamiento del terreno

Para esta actividad se sugiere el uso del equipo mecánico con hoja topadora o Bulldozer cuyas actividades serán:

- Quitar maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras.
- Retirar y estibar el producto del desmonte al lugar que se indique dentro del propio relleno sanitario, 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 la báscula 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 escavación correspondiente.

## **7.2 Administración**

### **7.2.1 Horario de operación**

El relleno sanitario Arenillas será operado por la entidad o empresa que designe el Municipio de Naucalpan, deberá existir un supervisor general del relleno que será quien tendrá la responsabilidad de la operación correcta y que será llamada la persona contacto en el relleno sanitario y que 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. Actualmente, se lleva la operación de las 7:00 a las 18:00 horas, se recomienda seguir empleando este horario.

### **7.2.2 Selección de maquinaria y equipo**

Además de la maquinaria utilizada en el acomodo, compactación y cobertura de los residuos sólidos, en este relleno sanitario se van a efectuar otras actividades que permitan lograr una operación más eficiente. A continuación se presentan las actividades a desarrollar, así como la maquinaria empleada para llevarlas a cabo.

#### **7.2.2.1 Empuje, compactación y cobertura de los residuos sólidos**

Para efectuar estas actividades, en los rellenos sanitario de la ciudad de México se han empleado con éxito tractores sobre orugas, por lo que para la operación en este relleno sanitario se recomienda utilizar tractores sobre orugas de los tipos D8 o similares en capacidad.

El número de tractores para emplearse en la operación, está supeditado a la cantidad de residuos que se van a recibir. En nuestro caso, se esperan recibir aproximadamente 1,803 toneladas diarias. Si consideramos un rendimiento de 600 toneladas en una jornada de ocho horas o sea 75 toneladas por hora, tenemos que:

$$\frac{1,803 \text{ tons./día}}{75 \text{ tons./hr}} = 24.04 \text{ horas/día}$$

Estableciendo jornadas de trabajo para la maquinaria de nueve horas, tenemos que requerimos de tres tractores sobre orugas con hoja topadora D8 o similares para estas actividades.

#### **7.2.2.2 Corte de material**

De acuerdo al tipo de suelo existente en este sitio y a las grandes cantidades de materiales que tendrán que cortarse, se recomienda emplear un tractor sobre orugas para esta actividad. Este tractor, también puede emplearse como emergente cuando uno de los tractores utilizados en la operación de residuos sólidos llegase a fallar. Por lo anterior, este tractor debe ser también un D8 o similar.

#### **7.2.2.3 Carga de material de cubierta**

Para desarrollar estas actividades se recomienda emplear un cargador frontal. De acuerdo a los volúmenes diarios que se manejarán, se requiere solamente uno.

#### **7.2.2.4 Construcción de drenajes exteriores e interiores**

La construcción de drenajes en este relleno sanitario es de suma importancia, por lo que antes de iniciar operaciones, estos deben ser construidos. Para llevar a cabo estas tareas se requiere de una retroexcavadora, la cual también servirá para posteriormente darles un continuo mantenimiento.



#### **7.2.2.5 Mantenimiento de caminos**

Tanto los caminos interiores como exteriores deben de recibir un constante mantenimiento, ya que debido al constante tránsito de vehículos la superficie de rodamiento sufre deterioros. Para llevar a cabo estas tareas se necesita contar con una motoconformadora.

#### **7.2.2.6 Compactación del material de cobertura**

Una vez que los tractores han efectuado la cobertura de residuos, esta debe recibir una compactación adicional, la cual puede efectuarse con un compactador tipo Pata de Cabra, el cual puede utilizarse también en la compactación de desechos.

#### **7.2.2.7 Riego**

Cuando se lleve a cabo la compactación del material de cubierta, es necesario que se cuente con una pipa de agua, la cual debe mojar este material y pueda obtenerse una mayor compactación. Cuando se realice la captación de lixiviados, estos deberán ser bombeados hacia una pipa la cual debe transportarlos hacia la laguna de evaporación. Así mismo, en época de estiaje es recomendable un riego constante a los taludes y caminos interiores con el propósito de evitar la erosión. Para llevar a cabo las tareas anteriores, se requiere contar con tres pipas con capacidad de 22,000 litros.

#### **7.2.2.8 Cantidad total de maquinaria**

De acuerdo a lo anterior, para llevar a cabo todas las actividades en el relleno sanitario se debe contar con el siguiente equipo y material:

**4 Tractores sobre orugas**

**1 Retroexcavadora**

**1 Motoconformadora**

**1 Cargador Frontal**

**1 Compactador Pata de Cabra**

3 Pipas de 22,000 litros c/u

4 Camiones de Volteo

### 7.2.3 Control

El encargado de la caseta llevará un control de los vehículos que accedan al sitio y será el responsable de verificar el tipo de desecho sólidos que ingrese al relleno. Estos encargados deberán ser entrenados para familiarizarlos con los tipos de desechos permitidos en el relleno 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 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:

- Inspección cuatrimestral por parte de un ingeniero independiente, es decir, no relacionado de ninguna forma con la operación.
- Reportes de la limpieza en la periferia del sitio y zona de amortiguamiento.
- Volúmenes y tipo de desechos aceptados.
- Resultados de monitoreo de gas y calidad de agua.
- Desechos especiales aceptados.
- Documentación sobre el control de calidad.
- Documentación de colección de lixiviado y disposición del mismo.

- Copia de todos los reportes anuales.
- Registro de los números de placas de todos los vehículos que están descargando.

En cualquier momento toda la información anteriormente mencionada quedará a disposición de cualquier persona responsable o involucrada en la operación del relleno sanitario Arenillas.

#### **7.2.4 Seguridad**

La seguridad en el relleno sanitario será responsabilidad del supervisor. Las medidas normales de seguridad serán observadas mientras haya gente cerca o se esté operando el equipo del relleno. Cuando menos 2 empleados en el sitio serán entrenados en técnicas de primeros auxilios. Se deberá tener en todo momento en la oficina del relleno sanitario un botiquín de primeros auxilios bien equipado. Se deberá contar en la oficina del relleno 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 del relleno sanitario se preverá mediante la colocación de una cerca en todo el perímetro del área como se señaló en los puntos anteriores.

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

El operador del relleno no permitirá el acceso de ninguna cantidad de desecho que este considerada como tóxica.

#### **7.2.5 Servicios**

El agua potable y no potable es requerida en el sitio y deberá ser suministrada para la correcta operación del relleno.

Se requiere agua para la compactación de la interfase impermeable, del material de cubierta y para el 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, ésta deberá ser utilizada en el sitio.

Las necesidades sanitarias de los empleados, deberán satisfacerse mediante instalaciones adecuadas en el área de mantenimiento del relleno. 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, se contemplará también la instalación de luminarias que permitan la operación del relleno 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.

#### **7.2.6 Báscula**

Como actividad importante para llevar a cabo un adecuado control sobre la cantidad de residuos sólidos que ingresarán a este relleno sanitario, es necesario efectuar un registro del peso de los vehículos de recolección que arriban y salen de este sitio, 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:

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

Para el presente proyecto se propone una báscula con las siguientes características:

**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

#### **7.2.7 Señalamientos**

Dentro del relleno sanitario deberán existir los señalamientos tanto temporales como definitivos que indiquen entre otras cosas:

- La circulación dentro de los caminos interiores y hacia el frente de trabajo
- La indicación de operación de los diferentes equipos
- La ubicación de los sistemas de control de biogás y de lixiviado
- La indicación de equipo de seguridad para los casos que sea necesario
- La ubicación y distribución de los servicios y oficinas dentro del relleno
- Indicaciones de límites de velocidad en los caminos interiores

El señalamiento dentro del relleno sanitario permite que se tenga un mejor funcionamiento en el sistema de disposición final, ya que se proporciona seguridad tanto al personal como a los vehículos de recolección que transitan por los caminos interiores.

Se ha diseñado un sistema de señalamientos que sirvan para facilitar la operación y para prevenir posibles accidentes. Este sistema está basado en simbología aprobada nacional e internacionalmente, los cuales incluyen figuras y colores estándar.

Los señalamientos deben colocarse en lugares estratégicos cuidando que no afectan la operación del relleno sanitario.

En el Plano 27 se muestran los datos para la elaboración de algunos de los señalamientos.

#### **7.2.8 Acomodo y descarga de los vehículos**

A todas horas debe existir en el frente de trabajo personal responsable que dirija las operaciones de acomodo y descarga de los vehículos de recolección. Estas personas reciben el nombre de acomodadores y son los que guían a los choferes para el acomodo y descarga de los vehículos.

#### **7.2.9 Metodología para efectuar la operación**

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

##### **7.2.9.1 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:

- Los tractores deben de empujar en capas de 0.60 a 0.80 m, los residuos sólidos de arriba hacia abajo hasta alcanzar el nivel deseado
- Posteriormente los residuos deben ser bandeados como mínimo tres veces para lograr una mayor compactación y prepararlos para su cobertura

- Ya compactados los residuos sólidos, estos deben ser cubiertos con el material extraído del mismo sitio, en capas de 0.15 a 0.25 m
- 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 compactador
- Se recomienda utilizar una pipa de agua para humedecer el material de cubierta y lograr una mayor compactación
- Las operaciones de compactación y cobertura de residuos sólidos son recomendables para llevarse a cabo, al iniciar y finalizar operaciones

#### **7.2.9.2 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 caída. La compactación y cobertura de los residuos sólidos se lleva a cabo de igual forma que en el método de zanja.

### **7.3 Control de afectaciones**

#### **7.3.1 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:

- 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

- Se limitarán las dimensiones del frente de trabajo durante los periodos de viento
- Se utilizará una cerca inmovible para contener los desechos durante los días de viento
- 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, éstos deberán ser recolectados y regresados al frente de trabajo por el trabajador general o algún empleado temporal en caso de ser necesario.

### 7.3.2 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 biogás que se genera al presentarse la descomposición contiene sustancias que provocan los olores, como los mercaptanos.

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 estudio, aunque se presentarán variaciones con las distintas épocas del año.

### 7.3.3 Polvos

El polvo y las partículas originadas por viento, tránsito vehicular y operación del equipo serán controlados



por el supervisor. Los caminos de acceso serán regados según las necesidades de minimizar la generación de polvos. Durante los periodos de sequias 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 al clausurarse, deberán ser revegetadas lo más pronto posible; desde el punto de vista de generación de polvos, este periodo de revegetación no excederá de 6 meses.

#### **7.3.4 Fuego y explosiones**

No se permitirá la quema de desechos dentro del relleno sanitario. 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 éste 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 éste.

#### **7.3.5 Control de biogás**

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 la baja permeabilidad del material en los lados y el fondo. 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 11 pozos de monitoreo de gas en la periferia del sitio.

### 7.3.6 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 Av. San Mateo Nopala. Asimismo, se estableció una mayor influencia de los vehículos de transporte colectivo tipo combi con sistemas de escape directo, 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 que deben subir una pendiente del camino interior hacia los sitios de descarga de sus residuos sólidos.

### 7.3.7 Operación en época de lluvia

Durante la época de lluvias el operador del relleno 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 periodo 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:

- Para la desviación de las aguas pluviales, deben de construirse los drenajes propuestos en este documento, los cuales deben de tener un mantenimiento periódico.
- 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.

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

#### **7.3.8 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 ésta con alguna que este 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.

#### **7.3.9 Bardeado, limpieza y vigilancia**

El relleno sanitario debe estar bardeado a su alrededor con malla ciclónica; lo anterior sirve para restringir la entrada de animales, personal y vehículos a este sitio. Esta malla 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 del relleno y dentro del relleno sanitario. La vigilancia de este relleno sanitario 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.

#### **7.4 Manual de operación**

El propósito de este manual es el describir los procedimientos y acciones necesarias para el desarrollo de los trabajos operativos dentro del relleno sanitario.

Como acciones previas al proceso de operación, se hace necesario el establecimiento de las áreas administrativas, de control, y mantenimiento a fin de tener la infraestructura que requiere el relleno en su organización.

Una vez desmontada el área de trabajo en función de las etapas planteadas, se iniciarán los trabajos relativos al movimiento de tierras, las cuales tienen como actividades principales el excavar, acarrear y colocar los materiales que han sido atacados en su estado natural.

El concepto que se ha establecido para la ejecución de este movimiento de tierras esta basado en el equilibrio funcional y económico de las tres actividades antes descritas, ya que el propósito es efectuar el menor manejo del material, evitando de esta forma el tener sobreacarreos o movilizaciones adicionales de sitios de almacenamiento; por esta razón se programan las fases de excavación, sitio de almacenamiento del material, así como selección del equipo de excavación, carga y transportación.

#### **7.4.1 Preliminares**

Dentro de este rubro se considera la formación de caminos internos de acceso al sitio de trabajo, los cuales según el procedimiento de formación de los mismos se conforman mediante la excavación en las etapas secuenciales.

Posterior a los trabajos de excavación, formación de caminos y conformación del terreno, se iniciará la escarificación del terreno en la fase planteada, con el fin de proveer al sitio de la impermeabilización requerida. Esto se logrará adicionando las capas de material controlado y compactado que define el sistema de sello, debiendo realizarse estos trabajos de acuerdo a los procedimientos y especificaciones definidas en la sección relativa a la impermeabilización del sitio; es importante el considerar el aspecto de verificación de calidad de estos trabajos, ya que con ello se pueda tener la plena certeza de la ejecución adecuada de los trabajos de impermeabilización.

Simultáneamente se realizará la protección de los taludes de los caminos con la membrana sintética proyectada.

Una vez preparado el sitio de trabajo y protegidos los taludes, se dará inicio al procedimiento de recepción, disposición y control de los desechos sólidos.

#### **7.4.2 Operación**

La fase operativa en cuanto a la disposición de los desechos se han conceptualizado, considerando las condiciones topográficas, el movimiento de tierras, la captura de lixiviados, así como el efecto de escurrimientos pluviales principalmente.

De tal forma que para la etapa 1, que es representativa de la secuencia operacional del resto de las etapas, se describe la operación.

Se excavará en primer término la fase 1 y 2 simultáneamente, esto con el fin de tener la mitad sur de la macro-celda sin excavar ya que por sus condiciones topográficas vertirá sus escurrimientos a la canalización pluvial natural que se genere.

Estas fases (1 y 2) estarán limitadas por el camino secundario (S-1), que servirá de acceso al sitio de trabajo y que además protegerá a la fase 1 del efecto pluvial, y en el futuro canalizará los lixiviados de los desechos dispuestos hasta nuestro dren de lixiviados.

El equipo requerido para efectuar la excavación se ha seleccionado considerando las características del terreno, en cuanto a su dureza, pendientes longitudinales y transversales así como desniveles máximos, por la cual se ha elegido un tractor sobre orugas que por su peso y potencia no deberá ser menor a un D7 en Caterpillar con 270 hp en el volante y un peso de 22,700 kg. o su equivalente, tendrá los beneficios de generar un mayor rendimiento con una mejor operación.

El material producto de la excavación será depositado en las proximidades del camino principal por el tractor en distancias menores a los 30 metros, en distancias mayores de acarreo, se recomienda hacerlo en camiones tipo volteo, ya que hacerlo con el tractor incrementa los costos en forma desfavorable.

En el límite entre la fase 2 y 3 así como entre la 1 y 3 se depositará material a fin de cubrir con el las

etapas sucesivas de depositación de desechos y se protegerá de esta forma el frente de trabajo de los escurrimientos pluviales, el material excedente se depositará en los caminos laterales para su sobreelevación de 50 cm y su acomodo exterior formando bancos de material.

El depósito de desechos se iniciará en la parte superior de la fase 1 mediante la descarga de los recolectores en el término del camino propuesto y creando una isleta inicial para el retorno de los vehículos recolectores con el espacio suficiente de operación.

Estos desechos se verterán hacia ambos lados del camino debiendo los tractores acomodar los residuos de abajo hacia arriba, tomando como respaldo el talud del camino y creando capas de 0.60 a 0.80 metros hasta alcanzar la altura de celda deseada de 2.85 metros, debiendo bandear los residuos como mínimo tres veces a fin de lograr la mayor compactación posible.

Ya en estado compacto se deberán cubrir con el material depositado en los costados, en capas de 0.15 m y se esparcirá este material en el área expuesta de trabajo tratando de lograr una buena uniformidad en el tendido y generando una pendiente en este material de cobertura para drenar el agua en forma lateral sobre el terreno natural.

El procedimiento de compactación de la capa de cobertura diaria se efectuará mediante el empleo de un compactador del tipo pata de cabra, ya que por sus puntas de tipo trapezoidal permiten la total penetración en el material suelto, se ha considerado el empleo de un compactador 825 C de Caterpillar con potencia de 310 hp, en el volante y un peso de 32.4 tons. equipado con hoja recta, siendo posible el realizar funciones de extendido del material con gran maniobrabilidad debido a su dirección articulada, así como de compactación. Se ha considerado este equipo con rendimiento de extendido de 700 m<sup>3</sup>/hora y de compactado de 240 m<sup>3</sup>/hora.

Se requiere para el desarrollo de este proceso el empleo de una pipa de agua para humedecer el material de cubierta y lograr una mayor compactación.

En la fase 2 el depósito se efectuará en forma ascendente hasta alcanzar el nivel en el cual se reduce la pendiente de la excavación, para que a partir de dicha cota se ejecute la disposición en forma

descendente una vez conformado los niveles inferiores. La operación se realizará en la forma definida con anterioridad.

Una vez alcanzados los niveles de los caminos con desechos, se abrirá la fase 3 de excavación, la cual se iniciará de la parte más alta cubriendo la pendiente de la fase anterior y encauzando los escurrimientos a las áreas libres inferiores para su canalización en forma natural.

El producto de la excavación de la fase tres se depositará una parte sobre la frontera entre fases para aislar la zona de trabajo y tener material de cobertura próximo, y el resto reforzando los bancos de material exteriores.

En el aspecto de caminos se dará continuidad al camino secundario S-2 a medida que progrese con la fase 3, a fin de manejar franjas en anchos máximos de 50 metros, estos caminos se estructurarán sobre los residuos con el procedimiento señalado en el inciso correspondiente.

Las fases de llenado se ejecutarán formando los domos parciales, mediante el método de área consistiendo en depositar los desechos de abajo hacia arriba conformando la topografía planteada en la etapa respectiva.

La operación de las etapas siguientes se realizará en forma similar a la planteada, trabajando la mitad de la macro-celda y depositando los desechos en forma descendente, canalizando siempre los escurrimientos pluviales a las conducciones naturales, y los lixiviados a los drenes proyectados.

Se recomienda el trabajar en franjas con anchos promedio de 50 metros para su fácil interconexión con las caídas diarias subsecuentes.

### **7.4.3 Extracción de biogás**

Durante el proceso de depósito de desechos se ha considerado el instrumentar el sistema de extracción de biogás, estos se lograrán mediante el establecimiento, en los puntos donde se localizarán los pozos de extracción, de una estructura que formará el ducto vertical de extracción, esta estructura será compuesta

por un armazón metálico de 1.00 m de diámetro y una longitud de 3.50 m, el cual se forrará con una georred y su interior se rellenará con tezontle en greña o balasto.

El proyecto considera el desplantar este sistema de extracción a una altura de 2.00 m arriba del nivel de impermeabilización, y a medida que se incremente la altura de la celda se colocará el tramo subsecuente del ducto, llevándolo en intervalos ascendentes.

Deberá señalizarse mediante banderolas la ubicación de estos puntos, con el propósito de que sean visualizados por el operador y no los afecten en su estabilidad durante la operación en esa zona de trabajo.

#### **7.4.4 Control de lixiviados**

En el aspecto de control de lixiviados durante la etapa 1, se ha considerado el construir un cárcamo para captar los percolados, el proceso de operación considera que el camino secundario S-1 en su primera etapa termine en el dren de lixiviados, con el propósito de conducir hacia esa conducción los escurrimientos que se generen de los desechos que se encuentren aguas arriba.

De tal forma que el proceso de disposición se inicie en la parte superior, guiando los lixiviados al dren general o a las presas temporales que se pretenden ubicar, y continuar con el relleno hacia las partes bajas.

Con ello se consigue canalizar muy bien los lixiviados en los estratos inferiores, y el efecto de precipitación pluvial se controla mediante pendientes en la conformación de la cobertura diaria en la superficie, que conducirá el agua hacia los canales preparados expresos.

Cuando exista el caso de estar muy alejadas del sitio donde se ubica el cárcamo de captación de lixiviados, se proyecta el situar sobre el dren general aguas abajo, un contenedor plástico removible con capacidad de 1000 litros, logrando con ello la separación del agua producto de lluvia en la cuenca inferior cuando aun no se trabaje esa zona.



Para crear la circulación de lixiviados entre celdas se pretende el abrir ventanas de comunicación entre celdas al iniciar los trabajos de depósito de la celda adyacente inferior, de tal forma de conducir los lixiviados hasta los cárcamos donde se podrá regular su conducción hasta la laguna de evaporación.

#### **7.4.5 Control de escurrimientos pluviales**

El planteamiento de la operación del relleno sanitario considera en forma importante el efecto de la precipitación pluvial, sobre todo por su vinculación con la topografía del sitio, razón por la cual se optó por efectuar la disposición de los desechos en forma descendente.

En la etapa de excavación y disposición número 1, se protege la celda de trabajo mediante la sobreelevación de caminos en la parte alta de la cuenca, así como en los laterales dejando libre la topografía inferior la cual, en su encauzamiento natural drenará el área en forma eficiente.

De tal forma los caminos crean un bordo al sobreelevarse 0.50 m, cumpliendo la doble función de protección pluvial, así como acceso a los sitios de trabajo, tal es la función también del camino secundario S-1.

Esos caminos llevarán en sus extremos cunetas en el caso de que en esa fase se tenga terreno natural lateral a cotas muy próximas a la del camino, así con la cuneta se conduce la precipitación pluvial además de proteger el terraplen de una posible socavación y humedecimiento.

La protección dentro del área de la celda se efectuará mediante la programación de las fases de excavación, ya que se trabaja bajo el principio de encauzar la lluvia hacia su conducción natural mediante pendientes del terreno natural, así como pendientes de las áreas cubiertas.

En el caso de escasa pendiente o áreas de contribución de gran tamaño, se establece la construcción de canales, además de proteger estas áreas con el acomodo de material producto de excavación que a la vez servirá de material de cubierta.

## **7.5 Clausura del sitio**

### **7.5.1 Revegetación**

El relleno sanitario Arenillas 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 es excavada y preparada para ser rellenada. La capa final de 15 a 30 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 0.67 m de espesor, una capa de 0.45 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 fertilizantes, los cuales serán aplicados al momento de la siembra.

### **7.5.2 Monitoreo**

Una vez terminada la vida útil del relleno sanitario Arenillas, 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 éste período de post-clausura, y los análisis del agua, serán idénticos a los obtenidos durante la vida del sitio.

### **7.5.3 Inspección y mantenimiento**

El mantenimiento en la post-clausura, no deberá ser necesario para el trabajo terminado, sin embargo,

## **7.5 Clausura del sitio**

### **7.5.1 Revegetación**

El relleno sanitario Arenillas 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 es excavada y preparada para ser rellenada. La capa final de 15 a 30 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 0.67 m de espesor, una capa de 0.45 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 fertilizantes, los cuales serán aplicados al momento de la siembra.

### **7.5.2 Monitoreo**

Una vez terminada la vida útil del relleno sanitario Arenillas, 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.

### **7.5.3 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 técnicas correctas 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.

#### **7.5.4 Uso del suelo**

El uso del suelo al final de 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 SEMARNAP para estos casos.

### **7.6 Gerenciamiento**

La operación, control y mantenimiento del relleno sanitario, requiere de una plantilla de personal perfectamente estructurada y bien definida en cuanto a sus funciones, de manera tal que las actividades que diariamente deben efectuarse, se hagan de manera eficiente, con lo cual dicho relleno 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 relleno sanitario.

#### **7.6.1 Residente del relleno sanitario**

##### **7.6.1.1 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 relleno sanitario. También se encarga de concentrar la información y elaborar informes semanales para el jefe inmediato, además de acatar y cumplir con las ordenes que este último emita.

### 7.6.1.2 Funciones

El residente del relleno sanitario es el principal responsable de la buena o mala operación del relleno sanitario, 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 en el relleno sanitario conforme a lo planeado y establecido en la calendarización del mismo; así como llevar un control del costo real de la tonelada de residuos que en promedio se dispone diariamente, de manera tal que pueda dar tal información cuando le sea solicitada por sus superiores; sin olvidar que será la persona más indicada para establecer los horarios de funcionamiento del relleno sanitario.

En coordinación con el encargado del control del relleno sanitario y en segunda instancia con el operador 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.

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 relleno sanitario. 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 encargado del control del relleno sanitario.

Solicitará a sus superiores y proporcionará a sus subordinados y colaboradores en el trabajo diario del relleno sanitario 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.

## **7.6.2 Secretaría del residente del relleno sanitario**

### **7.6.2.1 Actividad**

Es la encargada de reproducir en máquina, con buena ortografía y limpieza, escritos, cartas y otro tipo de documentos. Manejar archivo mediante registros y realizar además, todas aquellas labores propias de una oficina, como son por ejemplo, las de recepción, registro y entrega de documentos.

### **7.6.2.2 Funciones**

Esta empleada se ubicará en las oficinas del residente del relleno sanitario, 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 relleno; así como contestar toda la correspondencia referente a las actividades propias que se llevarán a cabo diariamente, con relación al control, operación y mantenimiento de dicha obra.

## **7.6.3 Chofer adjudicado al residente del relleno sanitario**

### **7.6.3.1 Actividad**

Es el trabajador que operará un vehículo (preferentemente camioneta pick-up), para el servicio del relleno sanitario. Verificará el funcionamiento del vehículo y lo conducirá hasta el lugar donde deba recoger una cierta carga, operará la camioneta hasta su destino, donde entregará correctamente dicha carga y presentará la documentación que la ampara.

Este trabajador deberá tener el tipo de licencia que requieran las disposiciones legales vigentes, que lo acredite como calificado para conducir este tipo de vehículos. Realizará pequeñas reparaciones al vehículo, además de reportarlo y/o conducirlo al taller mecánico para su reparación.

### **7.6.3.2 Funciones**

Será el encargado de abastecer de combustible, refacciones, aceites y agua para la correcta operación y mantenimiento de los equipos mecánicos del relleno sanitario.

También transportará personal que trabaja en el relleno, desde las oficinas hasta la zona de trabajo, ya que será enlace directo entre ambas instalaciones. Así mismo, desarrollará actividades complementarias de mensajería.

### **7.6.4 Encargado del control del relleno sanitario**

#### **7.6.4.1 Actividad**

Este trabajador es el responsable directo del buen funcionamiento del relleno sanitario, controlará las entradas y salidas de materiales, productos, 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 del relleno sanitario.

#### **7.6.4.2 Funciones**

Se puede decir que este empleado es el brazo derecho del residente del relleno sanitario, en lo que se refiere al control de la operación del relleno sanitario, porque cualquier otro personal que labore dentro de las instalaciones del relleno estará bajo su mando.

Deberá reportar las fallas de la báscula al residente del relleno sanitario 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 vigilante del relleno sanitario.

También tendrá a su cargo todos los trámites administrativos del personal que trabaja en la operación del relleno tales como: control de las tarjetas de asistencia, establecimiento de jornadas de trabajo, etc.; para lo cual contará con un escritorio dentro de la caseta de vigilancia.

A través de este trabajador se hará la petición de los suministros necesarios para el correcto funcionamiento del relleno sanitario.

#### **7.6.5 Operador de la maquinaria pesada**

##### **7.6.5.1 Actividad**

Es el trabajador que operará un compactador especial para relleno sanitario, o bien un tractor sustentado en orugas, provisto de hoja topadora para mover tierra, piedras y otros materiales a distancias cortas. Revisará el funcionamiento del equipo y en caso de que este sea un tractor de orugas, podrá operando los mandos y controles correspondientes, realizar actividades de desmonte, excavación de canales, afine de superficie y taludes, preparación y nivelación de terrenos, acarreo a distancias cortas (menores a 80 m.); 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 de residuos, sin faltar el esparcido, distribución y compactación del material de cubierta del relleno. Podrá realizar algunas reparaciones sencillas a la maquinaria, o bien, cuando el caso así lo amerite, solicitará al residente del relleno sanitario, a través del encargado de dicha obra, las reparaciones que requiera dicha maquinaria para su correcto funcionamiento.



#### 7.6.5.2 Funciones

Este trabajador que es parte fundamental en la operación del relleno sanitario, inicialmente realizará 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.

También a través de su ayudante indicará a los choferes de los camiones de recolección el lugar en donde deben descargar los residuos sólidos de acuerdo al frente o frentes de trabajo que se estén atacando.

A continuación, procederá 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 deberá extender y compactar sobre la celda formada con los residuos de un día, el material de cubierta tanto en los taludes como en el respaldo. Esta operación se debe realizar diariamente. El operador podrá retirarse hasta que haya dejado perfectamente cubierta la celda del día.

Como actividad complementaria, junto con su ayudante, cumplirá funciones de vigilancia y control del tiro clandestino y/o indiscriminado de residuos sólidos fuera de la zona establecida según los frentes de trabajo.

## **7.6.6 Ayudante del operador de la maquinaria**

### **7.6.6.1 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 su función con herramientas propias del oficio.

### **7.6.6.2 Funciones**

Dentro de la operación del relleno sanitario, este trabajador ayuda al operador a llenar el tanque de combustible; 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.

Recibe las instrucciones del operador para indicarle a los choferes de los camiones recolectores y de volteo, el sitio exacto (no muy lejos del frente de trabajo), en donde deben descargar los residuos sólidos o el material de cubierta, de manera tal que no se tengan que realizar demasiados movimientos con la maquinaria pesada para el cumplimiento del trabajo asignado.

## **7.6.7 Vigilante del relleno sanitario**

### **7.6.7.1 Actividad**

Es el trabajador que 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 del relleno 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 rinda un informe de las irregularidades observadas al encargado del control del relleno sanitario. Así mismo, será el encargado del pesaje de los vehículos recolectores, cumpliendo también labores de vigilancia dentro y fuera del sitio para evitar el tiro clandestino y/o indiscriminado de residuos en zonas donde no debe hacerse.

Para poder desarrollar este trabajo es necesario contar con dos personas para cubrir el turno matutino y vespertino, tratando de abarcar el horario asignado a la operación del relleno sanitario.

### **7.6.7.2 Funciones**

Deberá 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 tanto de los municipios a los que se les permitirá el tiro de residuos dentro del relleno, como de particulares o concesionarios que lo soliciten, permitiendo el paso a los que transporten únicamente residuos sólidos de los considerados como municipales. También controlará las entradas y salidas de los vehículos que transporten al sitio el material de cubierta.

Solamente permitirá el paso de personas ajenas a la operación del relleno cuando presenten una autorización por parte del residente del relleno sanitario, o de algún otro jefe superior.

No permitirá la descarga de residuos sólidos de manera indiscriminada dentro de las instalaciones del

relleno sanitario, 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, el operador de la maquinaria pesada y de su ayudante, depositen los residuos que transportan.

Será el encargado de cumplir con la función del pesaje de todo vehículo que penetre en las instalaciones del relleno sanitario, que transporte residuos sólidos o material de cubierta.

#### **7.6.8 Velador del relleno sanitario**

##### **7.6.8.1 Actividad**

Es el trabajador que realiza las labores de vigilancia durante la noche. Recorre las diferentes áreas del relleno para detectar irregularidades y evitar el tiro clandestino de residuos 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 al inicio y al término de su jornada, rinde un informe de su trabajo al encargado del control del relleno sanitario.

##### **7.6.8.2 Funciones**

La función de este trabajador dentro de la operación del relleno sanitario, será únicamente la de reportar los vehículos particulares que descarguen sus residuos sólidos en las áreas próximas al relleno sanitario, cuando no pueda prohibir tal irregularidad.

No permitirá el acceso al sitio a ninguna persona ajena a la operación del relleno, ni tampoco a ningún vehículo que transporte desechos, sea particular o de alguno de los municipios a los que se les permitirá el tiro de residuos dentro de dicho relleno.

## 8. MONITOREO DEL SITIO

---

## 8. MONITOREO DEL SITIO

Los resultados de los programas de monitoreo de lixiviado, aguas subterráneas y biogás 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.

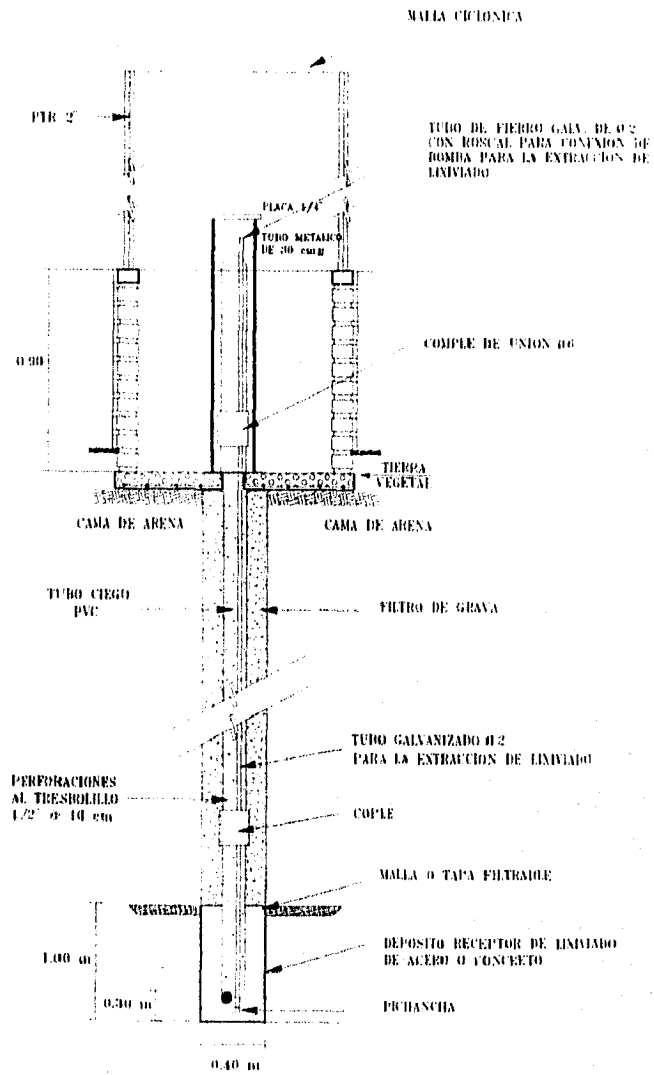
### 8.1 Monitoreo de lixiviado

En el relleno sanitario Arenillas se espera muy poca generación de lixiviado, se puede decir esto como resultado de lo siguiente:

- La pequeña cantidad de líquidos que puedan introducirse dentro del relleno.
- Procedimientos de control para evitar el acceso al sitio de desechos líquidos.
- Obras de control del agua superficial desviando el escurrimiento hacia afuera del sitio.
- Mantenimiento del área máxima expuesta.
- 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 figura No. 8.1.1. El sistema de extracción de lixiviado será construido cuando sean iniciadas e impermeabilizadas cada una de las seis etapas. Las especificaciones de la geomembrana para la impermeabilización, se presentan en la tabla No. 8.1.1. El monitoreo del sistema de colección de lixiviado se realizará cuando menos cada dos meses, se tomarán muestras del lixiviado para su análisis (tabla No. 8.1.2) y determinar el proceso de tratamiento, esto formará parte del programa de monitoreo.

**POZO PARA MONITOREO Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS**



**FIGURA No. 8.1.1**

**CARACTERISTICAS DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO  
DE ALTA DENSIDAD (80 MIL)**

PROPIEDAD	METODO DE PRUEBA	VALOR
Calibre (nominal)	-	80
Espesor mínimo en "mils" + 10%	ASTM D1593	72
Gravedad específica (mínima)	ASTM D792 método A	0.940
Propiedades mínimas de tensión (en cada dirección)	ASTM D638	
- Resistencia a la tensión a punto cedente (lb/pulg. De ancho)	-	180
- resistencia a la tensión a punto de ruptura (lb/pulg. De ancho)	-	300
- Elongación a punto cedente (%)	-	10
- Elongación a punto de ruptura	-	650
- Modulo de elasticidad (lb/pulg <sup>2</sup> )	-	80,000
Resistencia al desgarro (mínima lb)	ASTM D1004	50

**TABLA No. 8.1.1**

El lixiviado será bombeado de la fosa de colección 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 en la base de la fosa de colección y 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.



PROGRAMA DE MONITOREO DE LIXIVIADO

CONCEPTO
Parámetros de campo en lixiviados con mediciones por muestra de temperatura, pH, y conductividad
Muestreo de lixiviados para análisis de: <i>v. Cholerae</i>
Orofosfatos en laboratorio por el método colorimétrico. Según norma NOM-AA-29-1981
Determinaciones de los siguientes parámetros físico-químicos: Cloruros Sólidos en todas sus formas
Análisis microbiológico, de: <i>Bacillus sp</i> <i>Clostridium sp</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella sp</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Salmonella sp</i> <i>Shigella sp</i> <i>Pseudomona sp</i> Coliformes totales Coliformes fecales Estreptococos fecales Levaduras
Determinación de plomo total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de plomo soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de cadmio total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de cadmio soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de cromo total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de cromo soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de arsénico total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de arsénico soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de cobre total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de cobre soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.

CONCEPTO
Determinación de hierro total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de hierro soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de manganeso total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de manganeso soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de mercurio total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de mercurio soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de plata total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de plata soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de zinc total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de zinc soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de aluminio total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de aluminio soluble por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de sodio total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Determinación de potasio total por espectrofotometría de absorción atómica, en laboratorio.
Demanda química de oxígeno (DQO) total en laboratorio por el método de refluo cerrado.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) total en laboratorio por el método de dilución según norma NOM-AA-28-1981
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) soluble en laboratorio por el método de dilución/filtración
Nitrogeno total en laboratorio por el método Kjeldhal.

TABLA No. 8.1.2

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.

## **8.2 Monitoreo del Acuífero**

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

- El área donde se construirá el relleno sanitario, se ubica al poniente de la Cuenca de México, en una zona donde afloran las formaciones Tarango y Las Cruces, así como otras rocas lávicas más antiguas a la formación Las Cruces.
- Se identificaron tres unidades hidrogeológicas en la región. Los estudios realizados indican que el acuífero significativo se encuentra en la unidad IIIa, a una profundidad entre 120 y 160 m debajo del sitio del relleno.
- Se realizaron tres sondeos a una profundidad promedio de 35 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 uniformes para los diferentes estratos.
- En ninguno de los sondeos se encontró saturación del material, con excepción de una zona entre 6.10 y 7.70 m de profundidad, en una arcilla llmosa.

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 (figuras Nos. 8.2.1 y 8.2.2).

## DISPOSICION DE POZOS PARA MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS

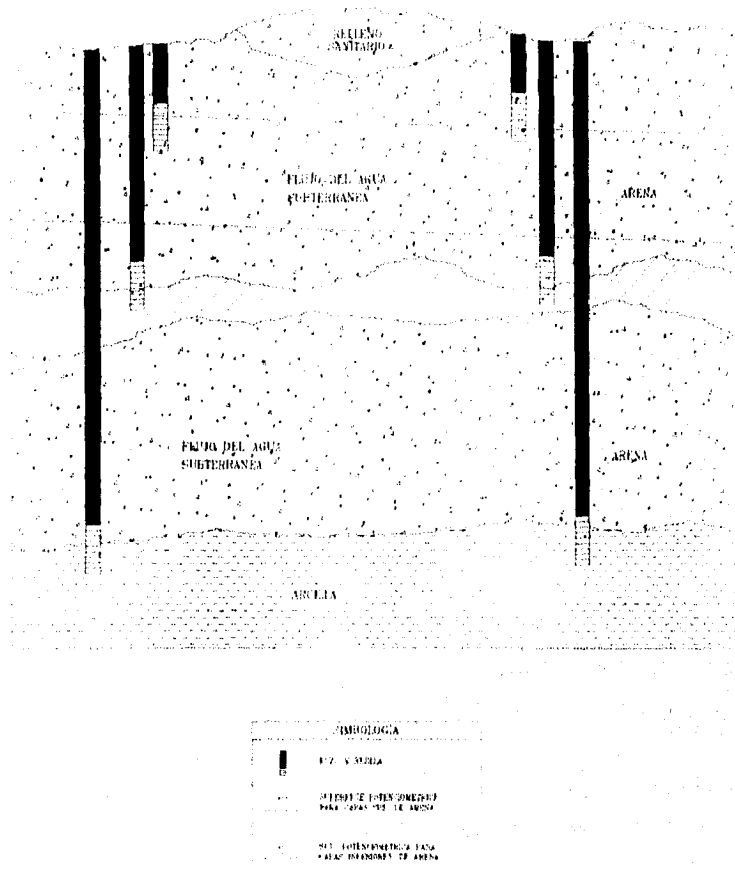
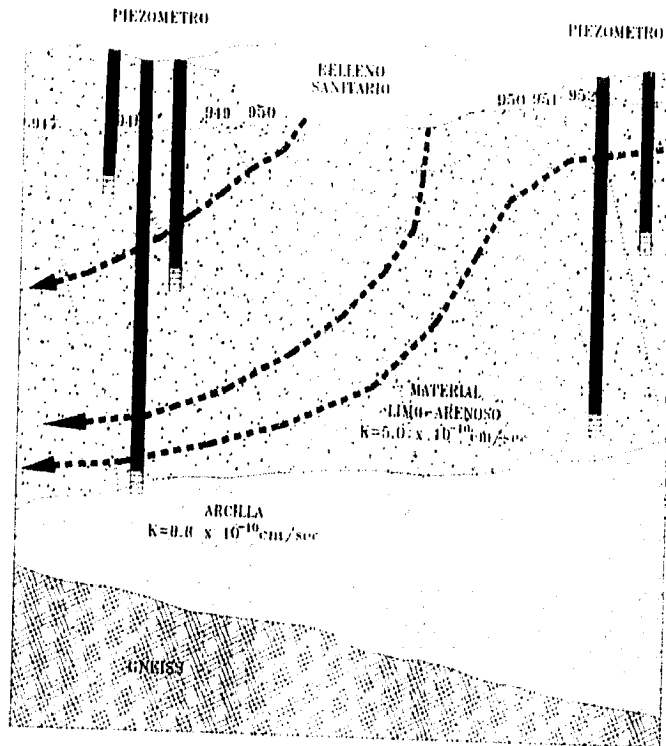


FIGURA No. 8.2.1

FLUJO NETO DERIVADO DE DATOS PIEZOMETRICOS



SIMBOLOGIA





-  POZO Y REJILLA
-  LINEA DE FLUJO
-  SUPERFICIE POTENCIOMETRICA
-  LINEA EQUIPOTENCIAL

FIGURA No. 8.2.2

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

Se construirán 11 pozos de este tipo y se localizarán aproximadamente a 175 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 IIIa, 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 IIIa, por lo que el pozo A-1, deberá monitorear el gradiente aguas arriba y los pozos A-2 y A-3 interceptarán el agua subterráneas bajo el relleno sanitario.

Durante la construcción de los pozos se redefinirá si es necesaria la instalación de los pozos A-4 y A-5, 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 la tabla No. 8.2.1.

**PROGRAMA DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRANEA**

CONCEPTO
Calidad del agua y parámetros de campo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Conductancia específica</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Profundidad con respecto a la superficie</li> </ul>
Aniones <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfatos</li> <li>• Bicarbonatos</li> <li>• Carbonatos</li> <li>• Cloruros</li> </ul>
Cationes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnesio</li> <li>• Potasio</li> <li>• Sodio</li> <li>• Calcio</li> </ul>
Orgánicos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toc</li> <li>• Tox</li> <li>• Voc</li> </ul>
Otros <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitratos/nitritos</li> <li>• Amoniacos</li> </ul>
Balanza catión-anión
Metales (disueltos) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsenico</li> <li>• Bario</li> <li>• Cadmio</li> <li>• Cromo</li> <li>• Hierro</li> <li>• Plomo</li> <li>• Manganeso</li> <li>• Mercurio</li> <li>• Selenio</li> <li>• Plata</li> </ul> Pesticidas sustancias radioactivas

**TABLA No. 8.2.1**

### 8.3 Monitoreo del biogás

Dentro de los gases que se producen en un relleno sanitario, se encuentra el metano el cual es muy explosivo, y que se convierte en peligroso si migra hacia zonas habitadas o construidas. Con el fin de determinar si el gas está saliendo del sitio, se instalarán 11 pozos de monitoreo en toda la periferia del sitio. Los análisis que se realizarán se presentan en la tabla No. 8.3.1. Los pozos se construirán con tubería de 1" de PVC como se muestra en los planos, en la figura No. 8.3.1 se muestra un pozo tipo para el monitoreo de biogás.

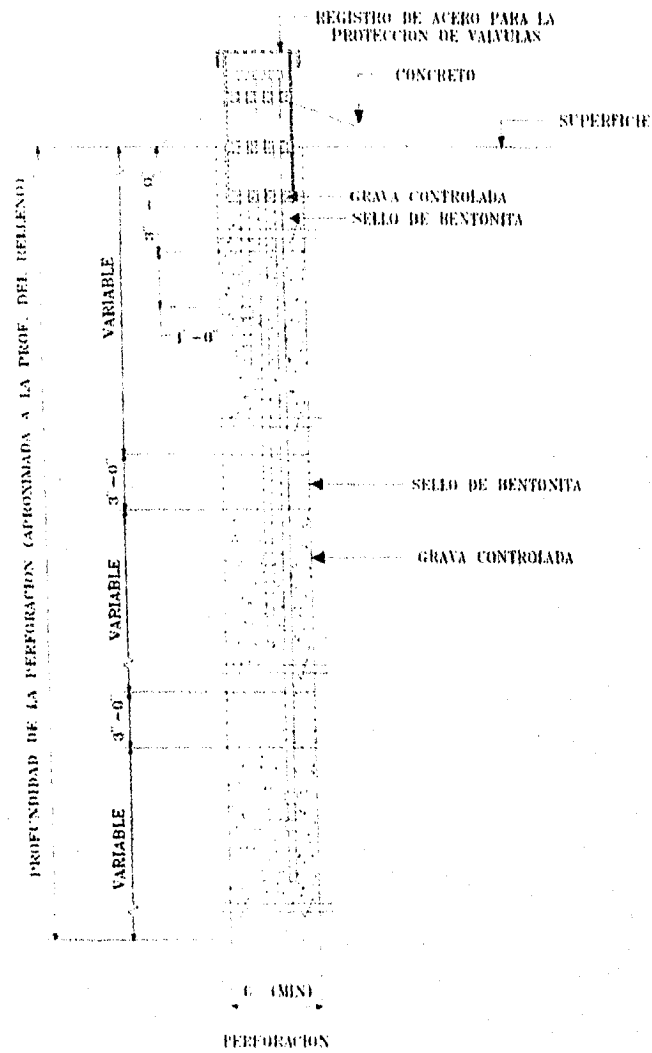
#### PROGRAMA DE MONITOREO DE BIOGAS

CONCEPTO
Análisis con cromatógrafo, determinaciones por muestra:
Metano
Dioxido de carbono
Nitrógeno
Oxígeno
Temperatura de biogás
Determinación de los siguientes parámetros:
Humedad relativa
Temperatura ambiente
Radioactividad
Explosividad

**TABLA No. 8.3.1**



**ESTRUCTURA TIPICA DEL POZO DE TRES NIVELES PARA  
MONITOREO DE MIGRACION DE BIOGAS**



**FIGURA No. 8.3.1**

El objetivo de un sistema de control de gas, es el removerlo del silio, 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 ésto 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 77 pozos de extracción de biogás (figura No. 8.3.2), 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 trabajo, 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 el D.F. Se asume que el 70% de la generación teórica de gas, será utilizable y que esta generación se presentará en un periodo mucho mayor, se tomó la base de 10 años para el programa de producción. Basado en ésto, se obtuvo la producción de metano durante la vida del relleno.

Como parte del proyecto, se recomienda el convertir el biogás 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 biogás dentro del relleno. El gas natural comprimido, podrá servir como combustible anticontaminante, 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.

#### **8.4 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:

5 pozos de monitoreo del acuífero

11 pozos de monitoreo de biogás

1 sistema de colección y detección de lixiviado

77 pozos de extracción de biogás

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 o sea 3 años, 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.

#### **8.5 Operación de 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:

- Procedimiento de relleno y secuencias
- Técnicas de compactación
- Revisión de los registros de entrada
- Control de afectaciones
- Colocación de la cubierta diaria
- 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 relleno sanitarios.

Los balances deberán ser calculados y usados por el operador para determinar la volumetría usada en el momento, material de cubierta utilizado y cantidad de desechos dispuestos en el sitio.

**BIBLIOGRAFIA**

---

## BIBLIOGRAFIA

1. Tchobanoglous, G. Theisen Hilary "Desechos Sólidos, Principios de Ingeniería y Administración". Volumen 1, Traducción Armando Cubillas. Ed. CIDINT Mérida-Venezuela, 1982.
2. Tchobanoglous, G. Theisen Hilary "Desechos Sólidos, Principios de Ingeniería y Administración". Volumen 2, Traducción Armando Cubillas. Ed. CIDINT Mérida-Venezuela, 1982.
3. "Manual de Rellenos Sanitarios". Dirección General de Contaminación Ambiental. Secretaría de Ecología. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
4. Curso de Relleno Sanitario. OPS/OMS. San José Costa Rica, Diciembre 1992.
5. "Estudio de factibilidad para establecer las acciones necesarias para prevenir la contaminación ambiental, evitar los riesgos a la salud pública y disminuir el impacto a la actividad urbana, debido a la disposición final de los residuos sólidos generados en el Municipio de Naucalpan, Edo. de Mex. DGSU/DTDS, México 1992.
6. "Estudio de actualización topográfica en zonas de operación del sitio Rincon Verde, en Naucalpan, Edo. de Mex." Construcciones Itzel, S.A. de C.V. DDF/DGSU/DTDS, México 1992.
7. "Proyecto para la construcción de drenes de captación de lixiviados y estanque de tratamiento en el tiradero denominado Rincon Verde, ubicado en la carretera a San Mateo Nopala, Naucalpan, Edo. de Mex." Promotora Integral de Ingeniería, S.A. de C.V. DDF/DGSU/DTDS, México 1992.
8. "Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Intermedia del Proyecto Relleno Sanitario Naucalpan en el Edo. de Mex." Ingeniería del Medio Ambiente, S.A. de C.V. DDF/DGSU/DTDS, México 1992
9. Ven Te Chow "Hidráulica de los Canales Abiertos" Ed. Diana 1990.

10. Aparicio Mijares Francisco J. "Apuntes de Hidrología de Superficie" UNAM. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Civil, Topografía y Geodesica. Departamento de Ingeniería Hidráulica.
11. "La AMCRESPAC y los Residuos Sólidos y Peligrosos", Notas de los Residuos Sólidos y Peligrosos. Tomo I, Vol. 4 Enero-Febrero 1994.
12. "La AMCRESPAC y los Residuos Sólidos y Peligrosos", Notas de los Residuos Sólidos y Peligrosos. Tomo I, Vol. 9 Noviembre-Diciembre 1994.
13. "La AMCRESPAC y los Residuos Sólidos y Peligrosos", Notas de los Residuos Sólidos y Peligrosos. Tomo I, Vol. 8 Septiembre-Octubre 1994.
14. "Aprovechamiento del biogás generado en los sitios de disposición final del Distrito Federal. Proyectos Luminicos y Representaciones S.A. de C.V. DDF/DGSU/DTDS 1992.
15. "Indicadores cuantitativos y cualitativos de los residuos generados en la Ciudad de México" DGSU/DTDS, 1995.



**ANEXO I MEMORIA DE CALCULO DE LAS MATRICES DE PAGOS Y  
APLICACION DE METODO SIMPLEX**

---

### SISTEMA INICIAL DE RESTRICCIONES

#### NAUCALPAN I

$$\begin{array}{r}
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.138 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.1 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.1035 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.25 x_6 + 0 x_7 + 0.25 x_8 + 0 x_9 + 0 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.15 x_2 + 0.1035 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0.1 x_8 + 0 x_9 + 0.075 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.1725 x_3 + 0 x_4 + 1 x_5 + 0.1 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.2 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.1725 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.15 x_6 + 0 x_7 + 0.15 x_8 + 0 x_9 + 0.125 x_{10} \geq \tau \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} = 1 \\
 \forall x_i \geq 0
 \end{array}$$

Restando variables de holgura no negativas

$$\begin{array}{r}
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.138 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.1 x_{10} - x_{11} = \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.1035 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.25 x_6 + 0 x_7 + 0.25 x_8 + 0 x_9 + 0 x_{10} - x_{12} = \tau \\
 0 x_1 + 0.15 x_2 + 0.1035 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0.1 x_8 + 0 x_9 + 0.075 x_{10} - x_{13} = \tau \\
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.1725 x_3 + 0 x_4 + 1 x_5 + 0.1 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.2 x_{10} - x_{14} = \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.1725 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.15 x_6 + 0 x_7 + 0.15 x_8 + 0 x_9 + 0.125 x_{10} - x_{15} = \tau \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} = 1 \\
 \forall x_i \geq 0
 \end{array}$$

Restando la primera ecuación, de la segunda, tercera, cuarta y quinta ecuación, se encuentra el problema de programación lineal consistente en maximizar.

$$\begin{array}{rcccccccccccccccc}
 Z = 0 & x_1 + & 0.1875 x_2 + & 0.138 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0 x_8 + & 0 x_9 + & 0.1 x_{10} - & x_{11} & & & = 0 \\
 0 & x_1 - & 0.075 x_2 - & 0.0345 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0.25 x_6 + & 0 x_7 + & 0.25 x_8 + & 0 x_9 - & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{12} & & = 0 \\
 0 & x_1 - & 0.0375 x_2 - & 0.0345 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0.1 x_8 + & 0 x_9 - & 0.025 x_{10} + & x_{11} - & x_{13} & & = 0 \\
 0 & x_1 + & 0 x_2 + & 0.0345 x_3 + & 0 x_4 + & 1 x_5 + & 0.1 x_6 + & 0 x_7 + & 0 x_8 + & 0 x_9 + & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{14} & & = 0 \\
 0 & x_1 - & 0.075 x_2 + & 0.0345 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0.15 x_6 + & 0 x_7 + & 0.15 x_8 + & 0 x_9 + & 0.025 x_{10} + & x_{11} - & x_{15} & & = 0 \\
 & x_1 + & & x_2 + & & x_3 + & & x_4 + & & x_5 + & & x_6 + & & x_7 + & & x_8 + & & x_9 + & & x_{10} & & = 1
 \end{array}$$

$\forall x_i \geq 0$

**SISTEMA INICIAL DE RESTRICCIONES**

**NAUCALPAN II**

$$\begin{array}{r}
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.098 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.1 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.0735 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.25 x_6 + 0 x_7 + 0.15 x_8 + 0 x_9 + 0 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.15 x_2 + 0.0735 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0.06 x_8 + 0 x_9 + 0.075 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.1225 x_3 + 0 x_4 + 0.5 x_5 + 0.1 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.2 x_{10} \geq \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.1225 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.15 x_6 + 0 x_7 + 0.09 x_8 + 0 x_9 + 0.125 x_{10} \geq \tau \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} = 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

**Restando variables de holgura no negativas**

$$\begin{array}{r}
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.098 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.1 x_{10} - x_{11} = \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.0735 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.25 x_6 + 0 x_7 + 0.15 x_8 + 0 x_9 + 0 x_{10} - x_{12} = \tau \\
 0 x_1 + 0.15 x_2 + 0.0735 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0 x_6 + 0 x_7 + 0.06 x_8 + 0 x_9 + 0.075 x_{10} - x_{13} = \tau \\
 0 x_1 + 0.1875 x_2 + 0.1225 x_3 + 0 x_4 + 0.5 x_5 + 0.1 x_6 + 0 x_7 + 0 x_8 + 0 x_9 + 0.2 x_{10} - x_{14} = \tau \\
 0 x_1 + 0.1125 x_2 + 0.1225 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 + 0.15 x_6 + 0 x_7 + 0.09 x_8 + 0 x_9 + 0.125 x_{10} - x_{15} = \tau \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} = 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

Restando la primera ecuación, de la segunda, tercera, cuarta y quinta ecuación, se encuentra el problema de programación lineal consistente en maximizar.

$$\begin{array}{rcccccccccccccccc}
 Z = & 0 & x_1 + & 0.1875 & x_2 + & 0.098 & x_3 + & 0 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.1 & x_{10} - & x_{11} & & & = & 0 \\
 & & 0 & x_1 - & 0.075 & x_2 - & 0.0245 & x_3 + & 0 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0.25 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0.15 & x_8 + & 0 & x_9 - & 0.1 & x_{10} + & x_{11} - & x_{12} & & = & 0 \\
 & & 0 & x_1 - & 0.0375 & x_2 - & 0.0245 & x_3 + & 0 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0.06 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.025 & x_{10} + & x_{11} - & x_{13} & & = & 0 \\
 & & 0 & x_1 + & 0 & x_2 + & 0.0245 & x_3 + & 0 & x_4 + & 0.5 & x_5 + & 0.1 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.1 & x_{10} + & x_{11} - & x_{14} & & = & 0 \\
 & & 0 & x_1 - & 0.075 & x_2 + & 0.0245 & x_3 + & 0 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0.15 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0.09 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.025 & x_{10} + & x_{11} - & x_{15} & & = & 0 \\
 & & x_1 + & & x_2 + & & x_3 + & & x_4 + & & x_5 + & & x_6 + & & x_7 + & & x_8 + & & x_9 + & & x_{10} & & & & & = & 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

SISTEMA INICIAL DE RESTRICCIONES

NAUCALPAN III

$$\begin{array}{rcccccccccc}
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.05 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.1 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.0375 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0.15 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.15 & x_2 & + & 0.0375 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0.06 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.075 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.0625 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.2 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.0625 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0.09 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.125 & x_{10} & \geq & \tau \\
 & x_1 & + & & x_2 & + & & x_3 & + & & x_4 & + & & x_5 & + & & x_6 & + & & x_7 & + & & x_8 & + & & x_9 & + & & x_{10} & = & 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

Restando variables de holgura no negativas

$$\begin{array}{rcccccccccccc}
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.05 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.1 & x_{10} & - & x_{11} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.0375 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0.15 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0 & x_{10} & - & x_{12} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.15 & x_2 & + & 0.0375 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0.06 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.075 & x_{10} & - & x_{13} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.0625 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.2 & x_{10} & - & x_{14} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.0625 & x_3 & + & 0 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0.09 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.125 & x_{10} & - & x_{15} & = & \tau \\
 & x_1 & + & & x_2 & + & & x_3 & + & & x_4 & + & & x_5 & + & & x_6 & + & & x_7 & + & & x_8 & + & & x_9 & + & & x_{10} & = & 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

Restando la primera ecuación, de la segunda, tercera, cuarta y quinta ecuación, se encuentra el problema de programación lineal consistente en maximizar.

$$\begin{array}{rcccccccccccccccc}
 Z = & 0 & x_1 + & 0.1875 x_2 + & 0.05 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0 x_8 + & 0 x_9 + & 0.1 x_{10} - & x_{11} & & & & & & & & = 0 \\
 & & 0 x_1 - & 0.075 x_2 - & 0.0125 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0.15 x_8 + & 0 x_9 - & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{12} & & & & & & & = 0 \\
 & & 0 x_1 - & 0.0375 x_2 - & 0.0125 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0.06 x_8 + & 0 x_9 - & 0.025 x_{10} + & x_{11} - & x_{13} & & & & & & & = 0 \\
 & & 0 x_1 + & 0 x_2 + & 0.0125 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0 x_8 + & 0 x_9 + & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{14} & & & & & & & = 0 \\
 & & 0 x_1 - & 0.075 x_2 + & 0.0125 x_3 + & 0 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0.09 x_8 + & 0 x_9 + & 0.025 x_{10} + & x_{11} - & x_{15} & & & & & & & = 0 \\
 & & x_1 + & & & & & & & & & & & & & & & & & & & = 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

SISTEMA INICIAL DE RESTRICCIONES

NAUCALPAN IV

$$\begin{array}{rcccccccccc}
 0 & x_1 + & 0.1875 & x_2 + & 0.162 & x_3 + & 0.15 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.1 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.1125 & x_2 + & 0.1215 & x_3 + & 0.075 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0.225 & x_7 + & 0.25 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.15 & x_2 + & 0.1215 & x_3 + & 0.025 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0.125 & x_7 + & 0.1 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.075 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.1875 & x_2 + & 0.2025 & x_3 + & 0.125 & x_4 + & 1 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.2 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.1125 & x_2 + & 0.2025 & x_3 + & 0.125 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0.15 & x_7 + & 0.15 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.125 & x_{10} & \geq & \tau \\
 & x_1 + & & x_2 + & & x_3 + & & x_4 + & & x_5 + & & x_6 + & & x_7 + & & x_8 + & & x_9 + & & x_{10} & = & 1 \\
 & 
 \end{array}$$

$\forall x_i \geq 0$

Restando variables de holgura no negativas

$$\begin{array}{rcccccccccccc}
 0 & x_1 + & 0.1875 & x_2 + & 0.162 & x_3 + & 0.15 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.1 & x_{10} & - & x_{11} & = & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.1125 & x_2 + & 0.1215 & x_3 + & 0.075 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0.225 & x_7 + & 0.25 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0 & x_{10} & - & x_{12} & = & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.15 & x_2 + & 0.1215 & x_3 + & 0.025 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0.125 & x_7 + & 0.1 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.075 & x_{10} & - & x_{13} & = & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.1875 & x_2 + & 0.2025 & x_3 + & 0.125 & x_4 + & 1 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0 & x_7 + & 0 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.2 & x_{10} & - & x_{14} & = & \tau \\
 0 & x_1 + & 0.1125 & x_2 + & 0.2025 & x_3 + & 0.125 & x_4 + & 0 & x_5 + & 0 & x_6 + & 0.15 & x_7 + & 0.15 & x_8 + & 0 & x_9 + & 0.125 & x_{10} & - & x_{15} & = & \tau \\
 & x_1 + & & x_2 + & & x_3 + & & x_4 + & & x_5 + & & x_6 + & & x_7 + & & x_8 + & & x_9 + & & x_{10} & & & & = & 1 \\
 & 
 \end{array}$$

$\forall x_i \geq 0$



Restando la primera ecuación, de la segunda, tercera, cuarta y quinta ecuación, se encuentra el problema de programación lineal consistente en maximizar.

$$\begin{array}{rcl}
 Z = 0 x_1 + & 0.1875 x_2 + & 0.162 x_3 + & 0.15 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0 x_8 + & 0 x_9 + & 0.1 x_{10} - & x_{11} & & = 0 \\
 0 x_1 - & 0.075 x_2 - & 0.0405 x_3 - & 0.075 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0.225x_7 + & 0.25x_8 + & 0 x_9 - & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{12} & = 0 \\
 0 x_1 - & 0.0375 x_2 - & 0.0405 x_3 - & 0.125 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0.125x_7 + & 0.1 x_8 + & 0 x_9 - & 0.025x_{10} + & x_{11} - & x_{13} & = 0 \\
 0 x_1 + & 0 x_2 + & 0.0405 x_3 - & 0.025 x_4 + & 1 x_5 + & 0 x_6 + & 0 x_7 + & 0 x_8 + & 0 x_9 + & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{14} & = 0 \\
 0 x_1 - & 0.075 x_2 + & 0.0405 x_3 - & 0.025 x_4 + & 0 x_5 + & 0 x_6 + & 0.15x_7 + & 0.15x_8 + & 0 x_9 + & 0.25x_{10} + & x_{11} - & x_{15} & = 0 \\
 x_1 + & x_2 + & x_3 + & x_4 + & x_5 + & x_6 + & x_7 + & x_8 + & x_9 + & x_{10} & & & = 1 \\
 & & & & & & \forall x_i \geq 0 & & & & & & & 
 \end{array}$$

### SISTEMA INICIAL DE RESTRICCIONES

#### NAUCALPAN V

$$\begin{array}{rcccccccccccc}
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.122 & x_3 & + & 0.15 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.1 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.0915 & x_3 & + & 0.075 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0.225 & x_7 & + & 0.25 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.15 & x_2 & + & 0.0915 & x_3 & + & 0.025 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0.125 & x_7 & + & 0.1 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.075 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.1525 & x_3 & + & 0.125 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.2 & x_{10} & \geq & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.1525 & x_3 & + & 0.125 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0.15 & x_7 & + & 0.15 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.125 & x_{10} & \geq & \tau \\
 & x_1 & + & & x_2 & + & & x_3 & + & & x_4 & + & & x_5 & + & & x_6 & + & & x_7 & + & & x_8 & + & & x_9 & + & & x_{10} & = & 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

Restando variables de holgura no negativas

$$\begin{array}{rcccccccccccccccc}
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.122 & x_3 & + & 0.15 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.1 & x_{10} & - & x_{11} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.0915 & x_3 & + & 0.075 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0.225 & x_7 & + & 0.25 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0 & x_{10} & - & x_{12} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.15 & x_2 & + & 0.0915 & x_3 & + & 0.025 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0.125 & x_7 & + & 0.1 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.075 & x_{10} & - & x_{13} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1875 & x_2 & + & 0.1525 & x_3 & + & 0.125 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0 & x_7 & + & 0 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.2 & x_{10} & - & x_{14} & = & \tau \\
 0 & x_1 & + & 0.1125 & x_2 & + & 0.1525 & x_3 & + & 0.125 & x_4 & + & 0 & x_5 & + & 0 & x_6 & + & 0.15 & x_7 & + & 0.15 & x_8 & + & 0 & x_9 & + & 0.125 & x_{10} & - & x_{15} & = & \tau \\
 & x_1 & + & & x_2 & + & & x_3 & + & & x_4 & + & & x_5 & + & & x_6 & + & & x_7 & + & & x_8 & + & & x_9 & + & & x_{10} & = & 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

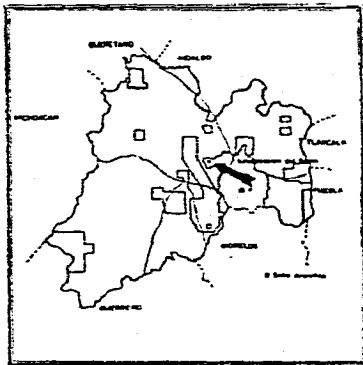
Restando la primera ecuación, de la segunda, tercera, cuarta y quinta ecuación, se encuentra el problema de programación lineal consistente en maximizar.

$$\begin{array}{rcccccccccccccccc}
 Z = & 0 & x_1+ & 0.1875 x_2 + & 0.122 x_3 + & 0.15 x_4+ & 0 x_5+ & 0 x_6 + & 0 x_7+ & 0 x_8 + & 0 x_9+ & 0.1 x_{10} - & x_{11} & & & & & & & & = 0 \\
 0 & x_1 - & 0.075 x_2 - & 0.0305 x_3- & 0.075x_4+ & 0 x_5+ & 0 x_6 + & 0.225x_7+ & 0.25 x_8+ & 0 x_9 - & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{12} & & & & & & & & = 0 \\
 0 & x_1 - & 0.0375 x_2 - & 0.0305x_3 - & 0.125x_4+ & 0 x_5+ & 0 x_6 + & 0.125x_7+ & 0.1 x_8 + & 0 x_9 - & 0.025x_{10}+ & x_{11} - & x_{13} & & & & & & & & = 0 \\
 0 & x_1+ & 0 x_2 + & 0.0305 x_3- & 0.025x_4+ & 0 x_5+ & 0 x_6 + & 0 x_7+ & 0 x_8 + & 0 x_9+ & 0.1 x_{10} + & x_{11} - & x_{14} & & & & & & & & = 0 \\
 0 & x_1 - & 0.075 x_2 + & 0.0305 x_3- & 0.025x_4+ & 0 x_5+ & 0 x_6 + & 0.15 x_7+ & 0.15 x_8 + & 0 x_9+ & 0.025x_{10}+ & x_{11} - & x_{15} & & & & & & & & = 0 \\
 & & x_1 + & & x_2 + & & x_3 + & & x_4 + & & x_5+ & & x_6 + & & x_7 + & & x_8 + & & x_9 + & & x_{10} & & = 1
 \end{array}$$

$$\forall x_i \geq 0$$

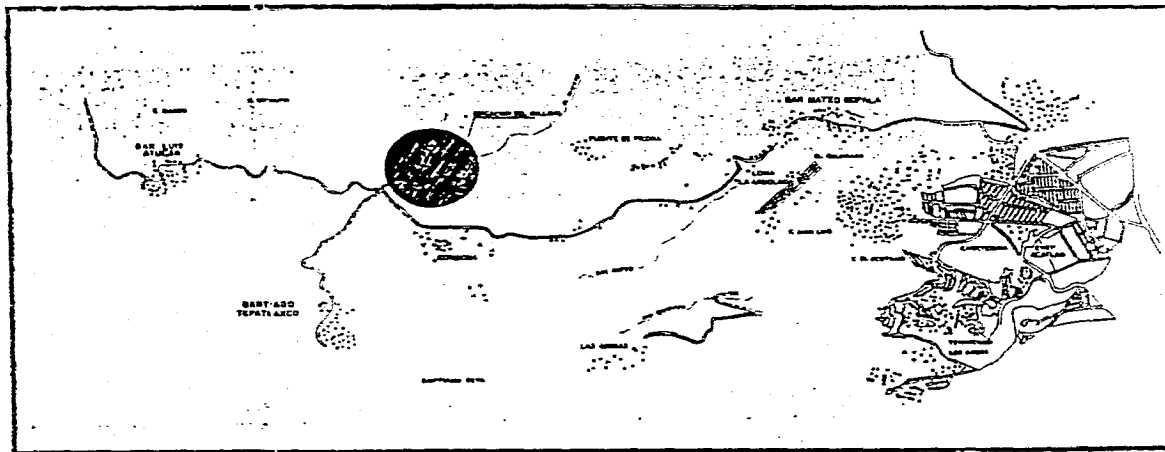
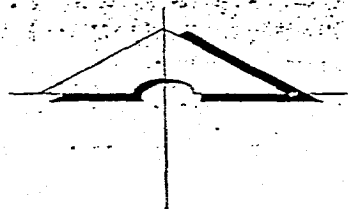
ANEXO II PLANOS

---

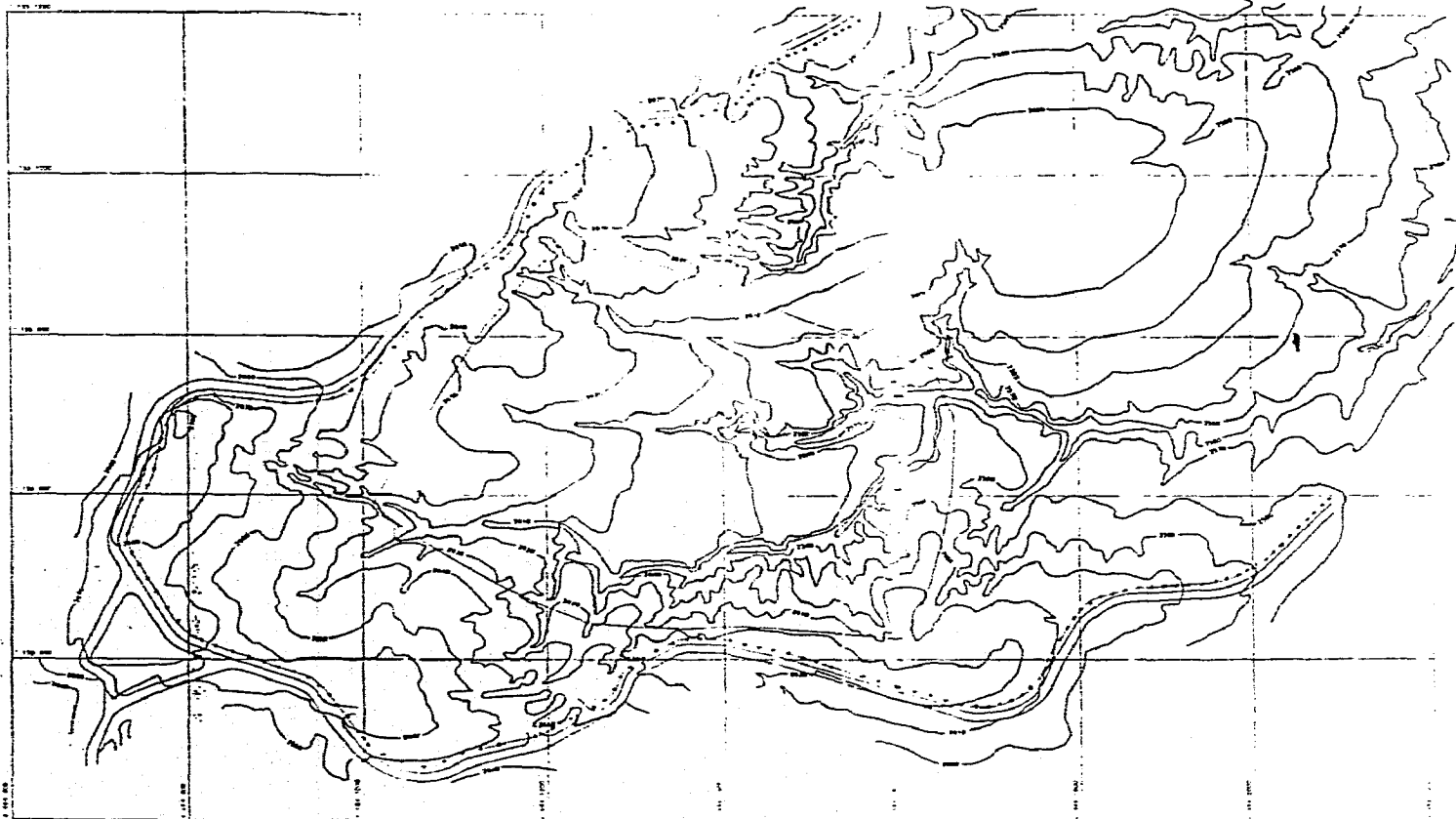


LOCALIZACION DEL RELLENO SANITARIO ARENILLAS

LISTA DE PLANOS	
No.	NOMBRE
01	LOCALIZACION DEL SITIO
02	TOPOGRAFIA METAL
03	PLANTA GENERAL DE CONFINADO
04	ETAPA No. 1 DE RELLENO
05	ETAPA No. 2 DE RELLENO
06	ETAPA No. 3 DE RELLENO
07	ETAPA No. 4 DE RELLENO
08	ETAPA No. 5 DE RELLENO
09	ETAPA No. 6 DE RELLENO
10	FINALES
11	TOPOGRAFIA FINAL
12	SECCIONES TRANSVERSALES DEL RELLENO POR ETAPAS
13	SECCIONES TRANSVERSALES DEL RELLENO POR ETAPAS
14	SECCIONES TRANSVERSALES DEL RELLENO POR ETAPAS
15	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
16	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
17	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
18	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
19	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
20	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
21	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
22	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
23	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
24	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
25	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
26	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
27	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
28	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
29	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS
30	SECCIONES LONGITUDINALES DEL RELLENO POR ETAPAS



Plan. No.	CAMBIO	Coord. Plan.	Fecha	NOTAS	Plan. No.	PLANOS DE REFERENCIA	OPORTUNIDAD DEL SITIO	TIPO DE SITIO	H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ	
									PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENO SANITARIO DEL SITIO ARENILLAS	
									PLAN DE LOCALIZACION	

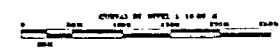
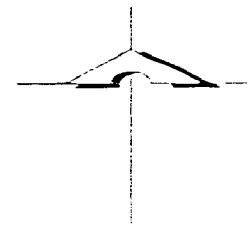
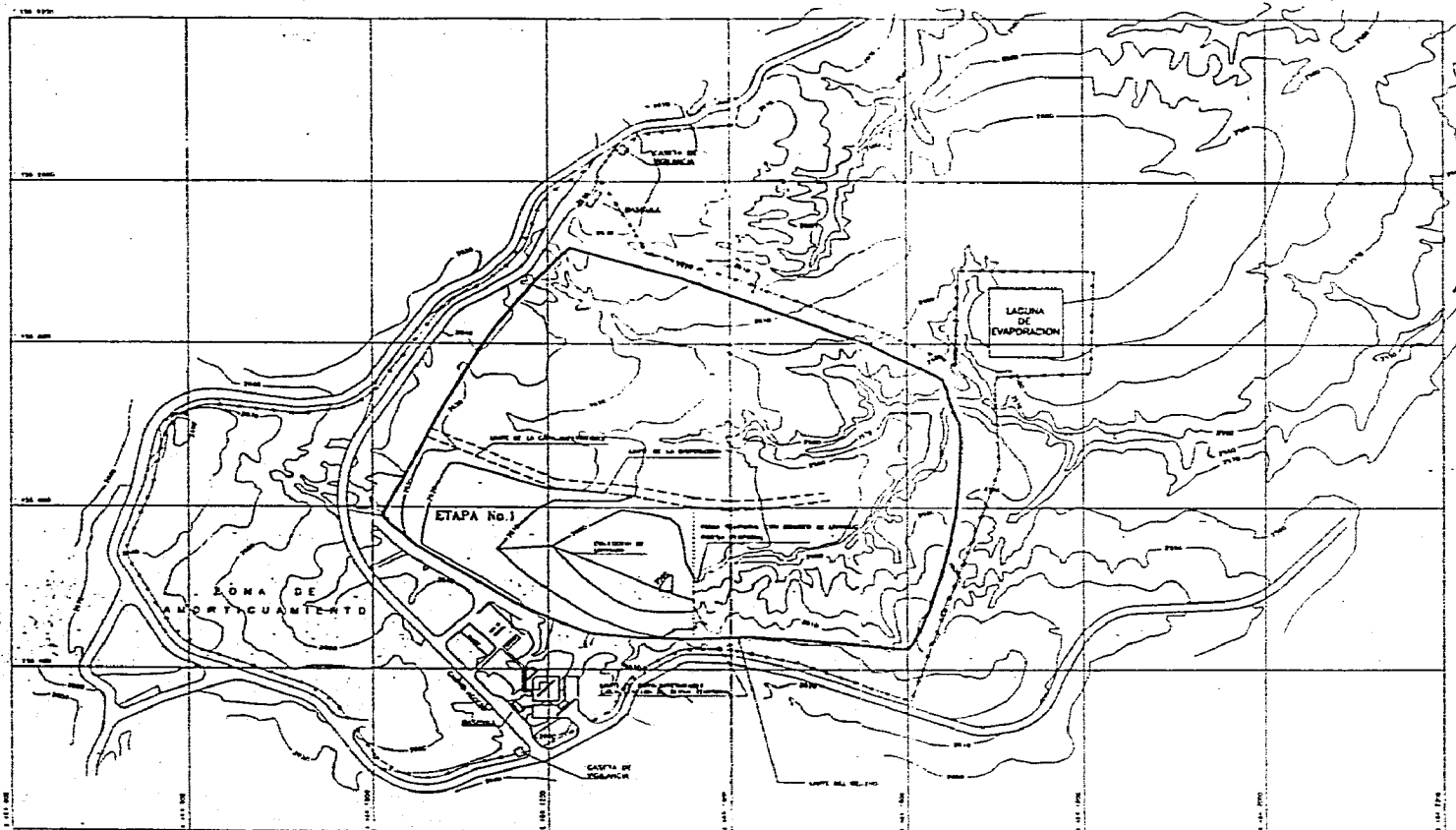


Escala de 1:1000  
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000  
 metros

LEYENDA	
(Symbol)	(Description)
(Symbol)	(Description)
(Symbol)	(Description)

DATOS GENERALES		LUGAR		FECHA		PROYECTO		Escala		MATERIAL		OTRO	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ</b> <b>PROYECTO EJECUTIVO DEL RELENTE</b> <b>SANITARIO DEL SITIO ARENILLAS</b>												TIPO: 1:2000 MATERIAL: Y.P. OTRO:	
TEMPOGRAFIA ACTUAL												02	





LEGENDA	
(---)	límite del relleno
(---)	acceso
(---)	círculo perimetral
(---)	límites de relleno
(---)	límites de segregación
(---)	topografía natural
(---)	camino de acceso al relleno sanitario
(---)	límite del área de segregación

Rev. No.	COMPRO	Conto. Part.	Fecha	NOTAS	Plano No.	PLANTAS DE REFERENCIA	PROYECTO DE REVISIÓN	FECHA DE REVISIÓN	H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ	
									PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENO SANITARIO DEL SITIO ARENAL	
									H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS URBANOS DIRECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS URBANOS SECCIÓN DE PROYECTOS DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS URBANOS	
									04	

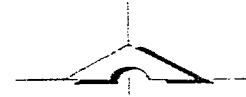
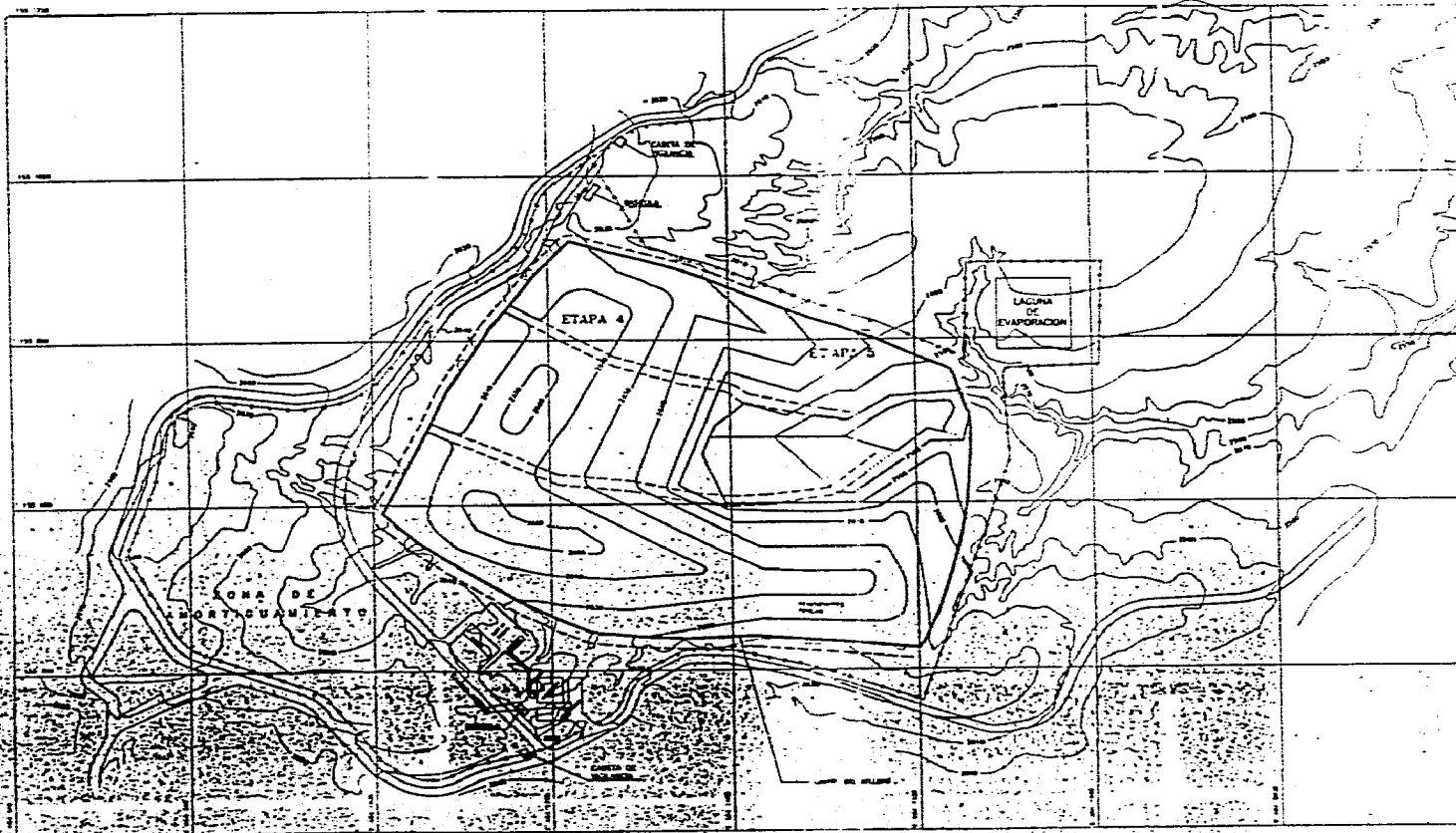












ESPECIFICACIONES

---	LINTE DEL RELLENO
---	ACCESOS
---	CEMERA PERIMETRICA
---	ETAPAS DE RELLENO
---	ETAPAS DE EXCAVACION
---	CONDICIONES SANITARIAS
---	CAMPO DE RETENCION
---	AL RELLENO SANITARIO
---	LINTE DE AREA DE EXCAVACION

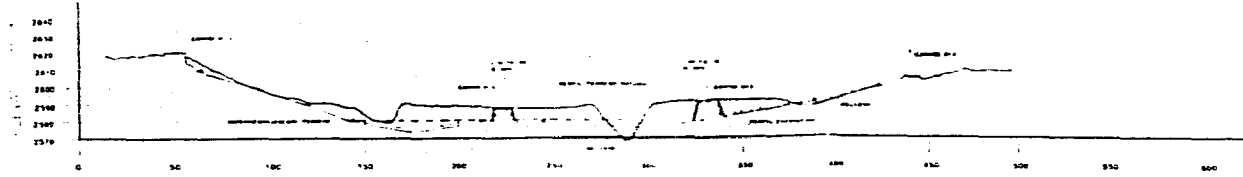
<b>COBIS</b> COMISIÓN DE OBRAS PÚBLICAS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS URBANOS SECRETARÍA DE SALUBRIDAD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL		<b>PROYECTO DE REFERENCIA</b> RELLENO SANITARIO AÑO DE OBRAS: 2000		<b>AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ</b> PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENO SANITARIO DEL SITIO ARENILLAS ESCALA: 1:5000 FECHA: 09	
---	--	--	--	--	--



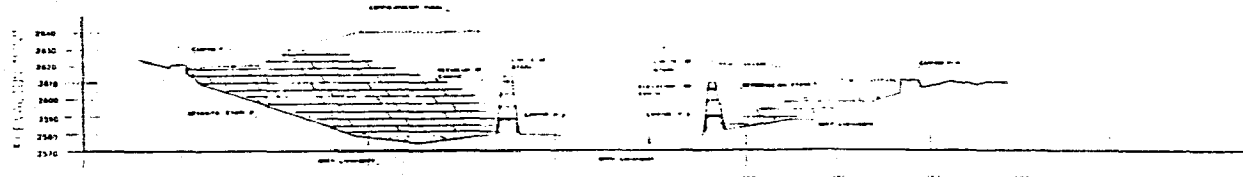




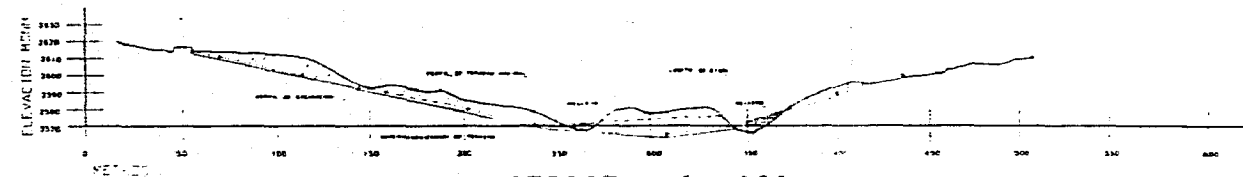




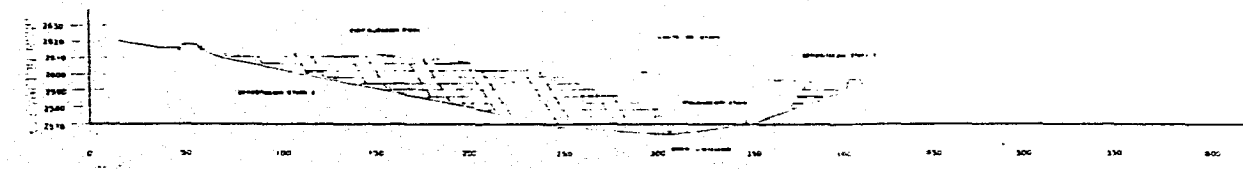
SECCION 464+500



SECCION 464+500



SECCION 464+600



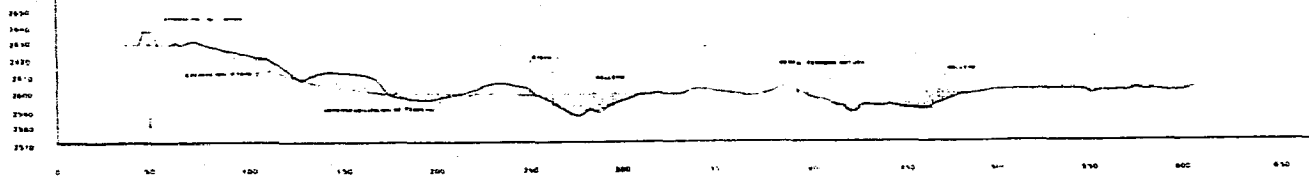
SECCION 464+600

SIMBOLOGIA	
(Dashed line)	LIMITE DE RELLENDO
(Solid line)	PERFIL DE TERRENO NATURAL
(Dashed line)	PERFIL ENCAJAST
(Dotted line)	EDIFICIO
(Hatched area)	RELLENDO
(Dotted line)	CONMEMORACION FINA

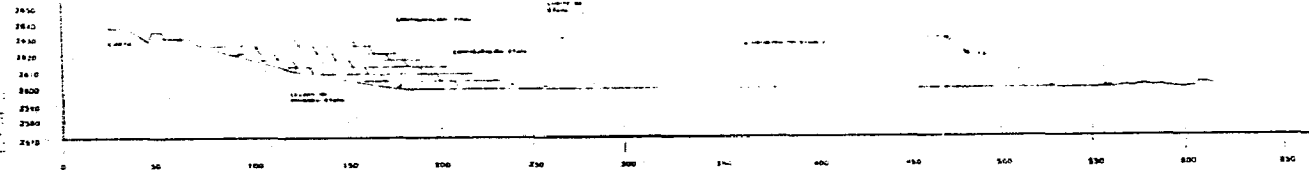
IMPERMEABILIZACION  
 EN LA BASE  
 CON MATERIAL DEL CIELO  
 COMPACTADO AL 90% P.U.M.  
 RECTOR ESTANDAR CON H. 1000.  
 LOCAL A LA OPTIMA MAS 1

NO. DE PLAN	DESCRIPCION	FECHA	PROYECTO	PLAZA DE REFERENCIA	PROYECTO	FECHA	PROYECTO

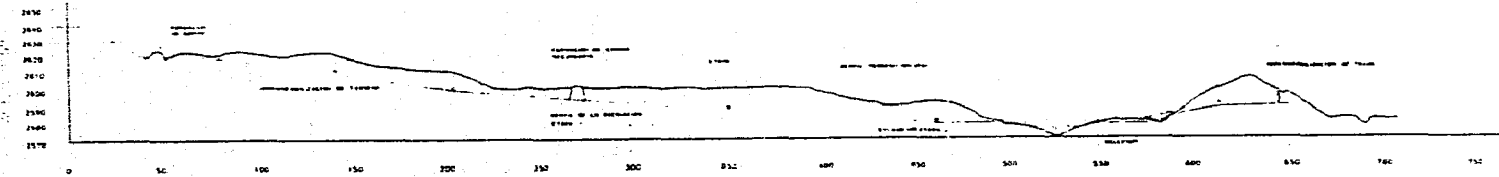
H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUARZ  
 PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENDO  
 SANITARIO DEL CIELO AERIAL  
 SECCIONES TRANSVERSALES



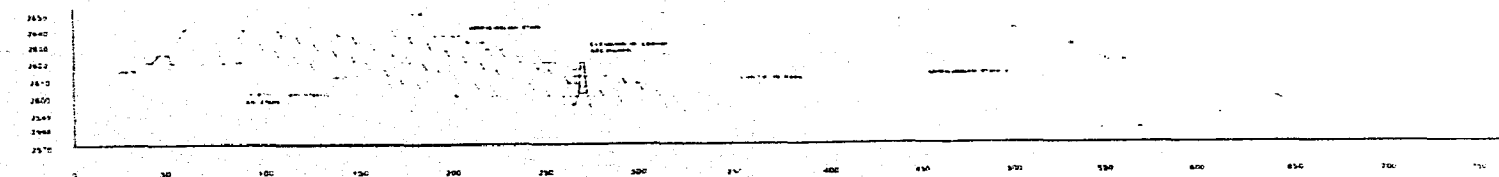
SECCION 155+500



SECCION 155+500



SECCION 155+550



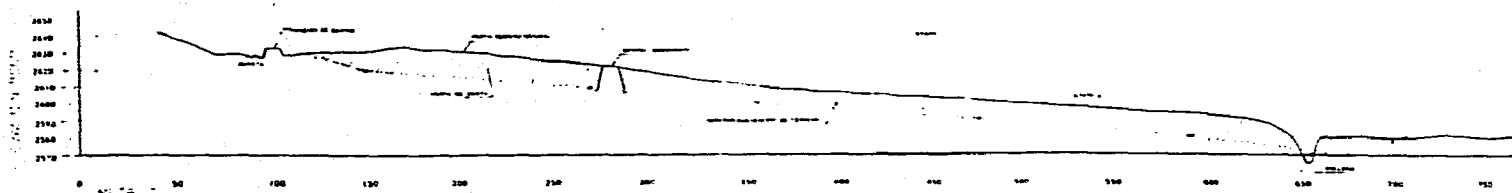
SECCION 155+550

SIMBOLOGIA	
	LIMITE DE PROYECTO
	PLANO DE TERMINOS NATALES
	PERFIL EXCAVADO
	PROYECTO
	ACTUAL
	TERMINACIONES

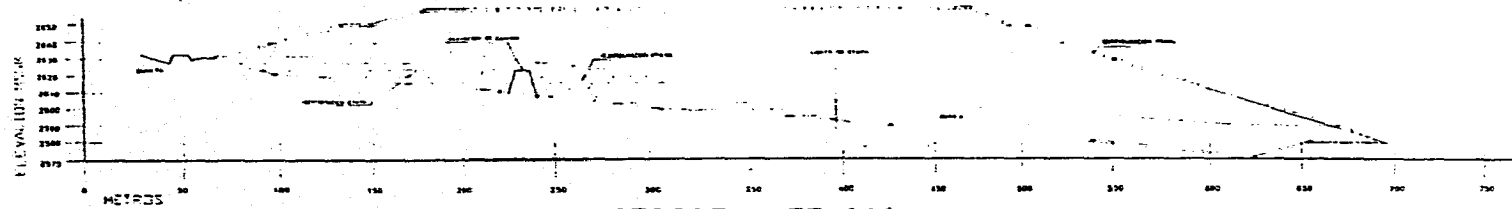
IMPERMEABILIZACION:  
 (1) ...  
 (2) ...  
 (3) ...  
 (4) ...

PROYECTO	FECHA	ESTADO	PROYECTO	FECHA	ESTADO

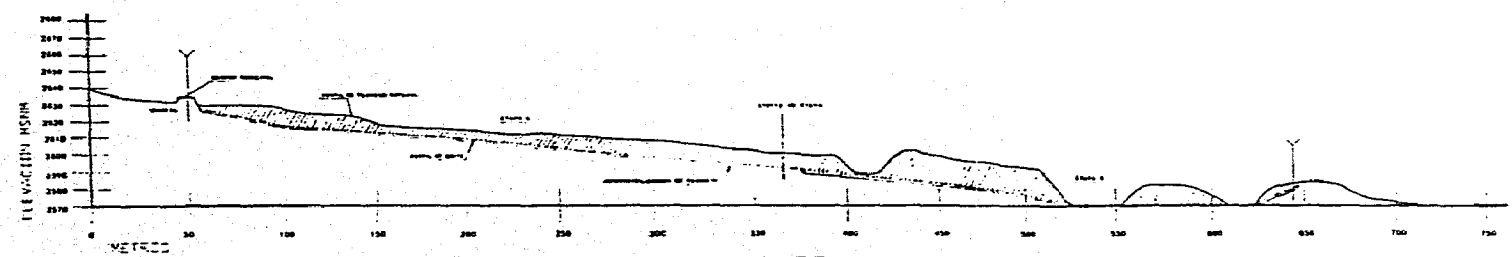
M. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ  
 PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENO  
 SANITARIO DEL CIEPO AREMILLAGA  
 SECCION LONGITUDINAL  
 DEL RELLENO SANITARIO 15  
 POR ETAPAS



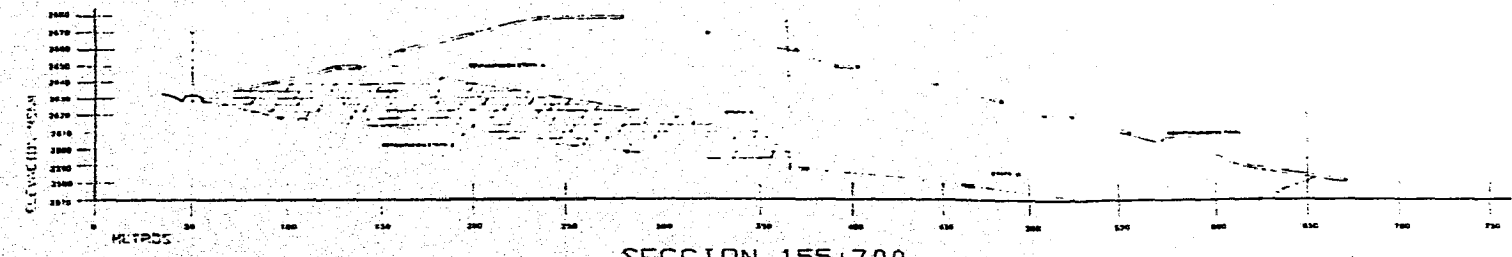
SECCION 155+600



SECCION 155+600



SECCION 155+700



SECCION 155+700

SIMBOLOGIA	
	LIMITE DE RELLENO
	PERFIL DE TERRENO NATURAL
	PERFIL EXCAVADO
	CORTE
	RELLENO
	CONFIGURACION FINAL

**IMPERMEABILIZACION**  
 EN LA BASE:  
 CON MATERIAL DEL SITIO  
 COMPACTADO AL 95% P.V.M.  
 PROCTER ESTANDAR CON HUMEDAD  
 IGUAL A LA OPTIMA MAS 4%

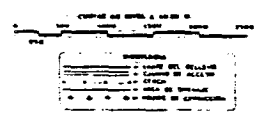
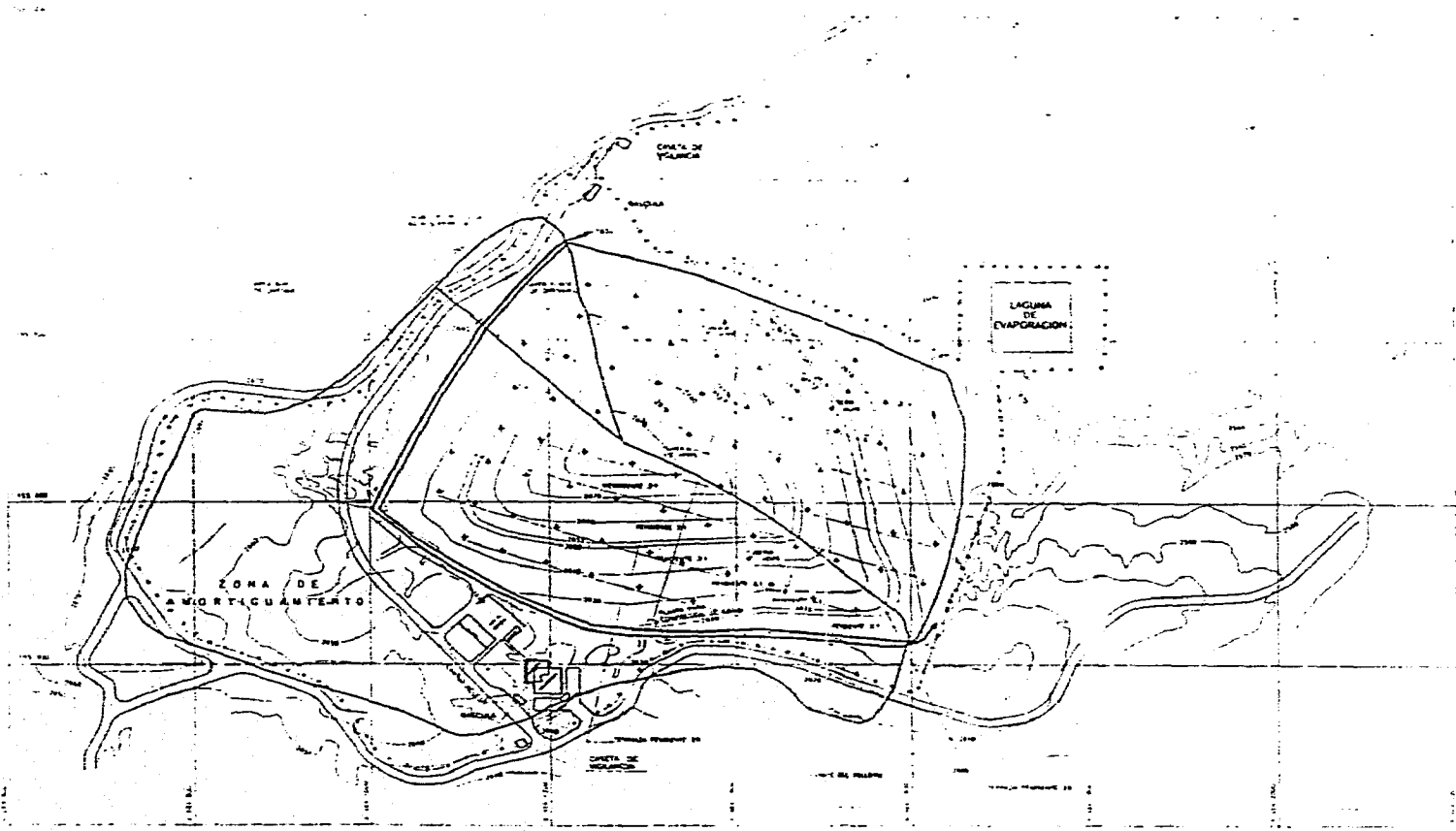
Rev. No.	DESCRIPCION	Coord. Plan	Fecha	NOTAS	Plano No.	Plano de Referencia	Coord. Plan	Fecha











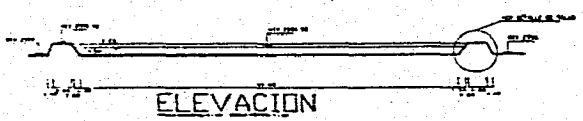
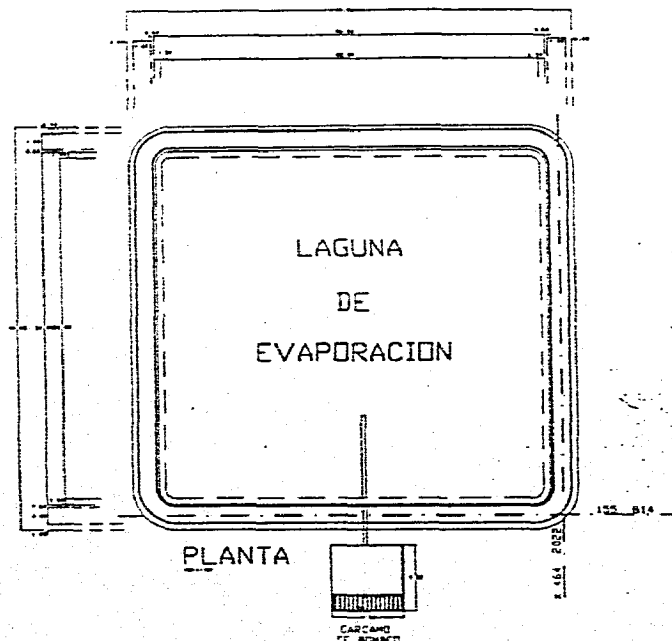
NO. DE HOJA	FECHA	PROYECTO	ESCALA	PROYECTANTE	REVISOR	APROBADO



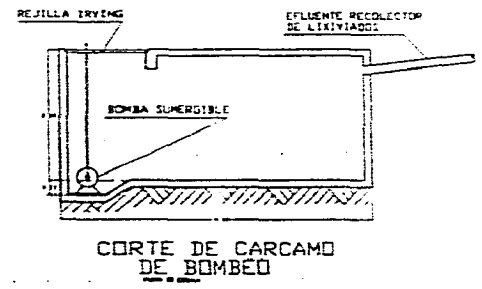
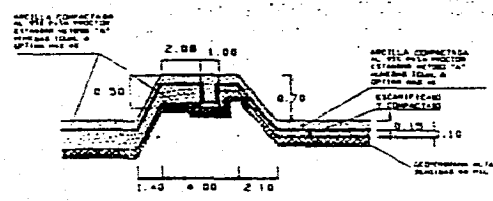


## DISEÑO DE LAGUNA

MESES	FILTRACION DE ANILLOS	FILTRACION DE TUBOS	PROMEDIO DE TUBOS	SUPERFICIE AGUADA (M <sup>2</sup> )	SISTEMA DE LA LAGUNA		EXCESO DE FILTRACION (LITROS)
					CANTIDAD DE ALMOZARONES	CAPACIDAD DE ALMOZARONES (LITROS)	
ENERO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
FEBRERO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MARZO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ABRIL	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MAYO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
JUNIO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
JULIO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
AGOSTO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
SEPTIEMBRE	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
OCTUBRE	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
NOVIEMBRE	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
DICIEMBRE	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
TOTAL	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000



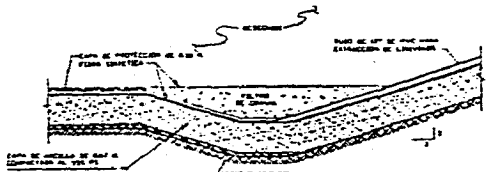
DISEÑO DE LA LAGUNA DE EVAPORACION	
PROYECTO	PROYECTO
FECHA	FECHA
PROYECTISTA	PROYECTISTA
REVISOR	REVISOR
APROBADO	APROBADO
FECHA DE APROBACION	FECHA DE APROBACION



NO. DE PLAN	TITULO	FECHA	NOTAS	PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	FECHA DE APROBACION

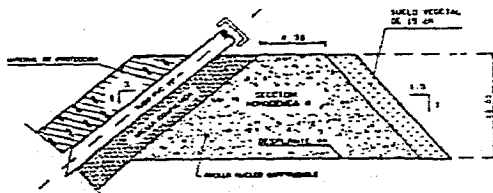
**H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ**  
**PROYECTO EJECUTIVO DEL BLENDO SANITARIO DEL SITIO ARENITAS**  
**LAGUNA DE EVAPORACION 23**





**SECCION TIPICA DE FOZO DE CAPTACION**  
PLAN DE OBRAS

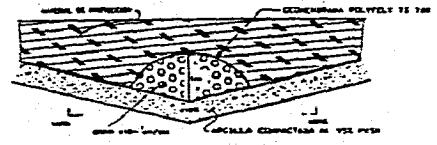
VER LA VISTA SUPERIOR EN LA BASE DEL TUBO DE COLECCION EN EL PLAN DE LOS LÍMITES DE LA VIGA DE COLECCION.



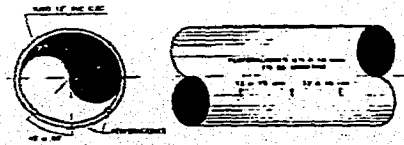
**DETALLE DE PRESA Y EXTRACCION DE LIXIVIADO**  
PLAN DE OBRAS

SE CONECTA CON LA VIGA DEL SISTEMA, CONECTANDOLA AL VEC PROYECTO EXISTENTE, CON BARRAS EQUIVALENTE A LA OBTENIDA DEL AN.  
SE DEBEN RECONSTRUIR LOS FRENTES EXISTENTES SUPERIORES Y CONECTARLOS AL VEC PROYECTO EXISTENTE, CON BARRAS EQUIVALENTE A LA OBTENIDA DEL AN.

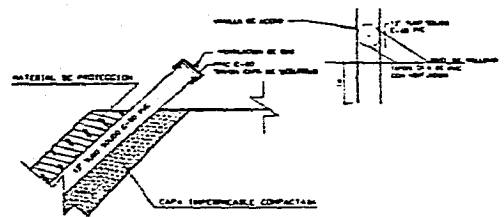
**DESECHOS**



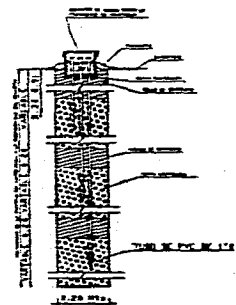
**SECCION TIPICA DEL SISTEMA DE COLECCION DE LIXIVIADO**  
PLAN DE OBRAS



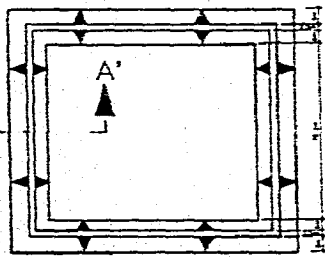
**TUBO DE COLECCION DE LIXIVIADO Y DETALLE DE PERFORACIONES**  
PLAN DE OBRAS



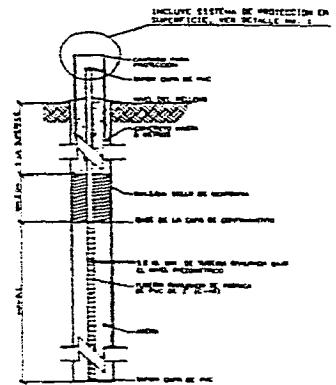
**TUBO DE EXTRACCION DE LIXIVIADO**  
PLAN DE OBRAS



**POZO DE TRES NIVELES PARA MONITOREO DE MIGRACION DE BIOGAS**

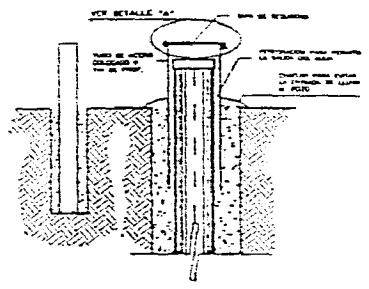


**DETALLE TIPICO DE LAGUNA CON EVAPORACION**  
PLAN DE OBRAS

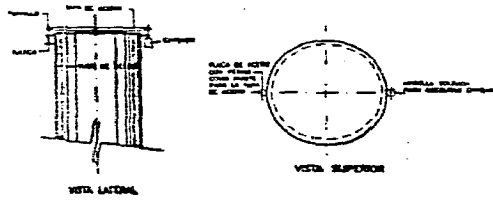


**SECCION TIPICA DEL POZO DE MONITOREO DE LIXIVIADO**  
PLAN DE OBRAS

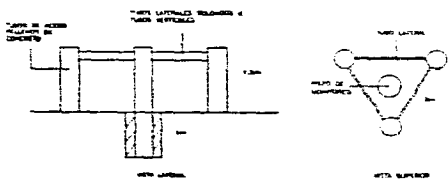
**NOTA:**  
LAS BARRAS DEBEN SER DE ACERO INOXIDABLE O ALUMINIO ANODIZADO PARA RESISTIR EL AMBIENTE DE COLECCION.



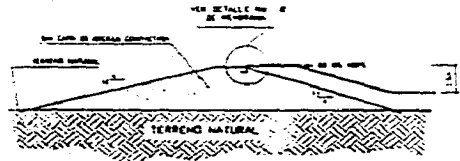
**DETALLE No. 1 PROTECCION SUPERFICIAL PARA POZOS DE MONITOREO**  
PLAN DE OBRAS



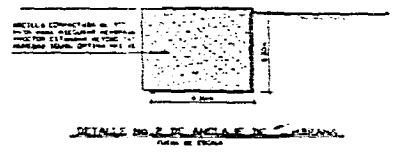
**DETALLE "A" TAPA DE SEGURIDAD**  
PLAN DE OBRAS



**SISTEMA DE PROTECCION A POZOS**  
PLAN DE OBRAS



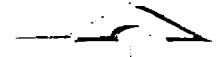
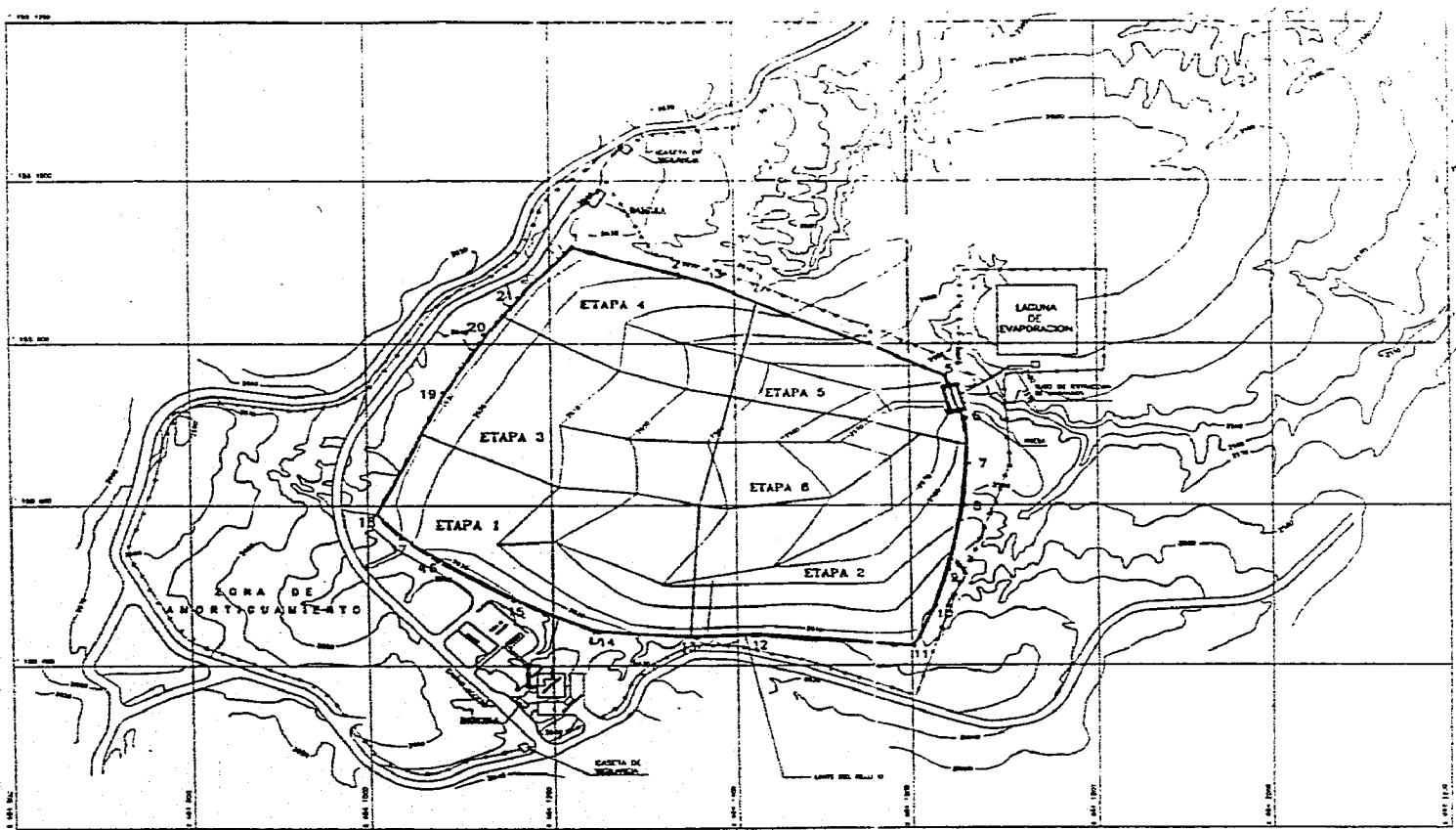
**SECCION TIPICA DE LA CONSTRUCCION DE LAGUNA LIXIVIADO CORTE A-A**  
PLAN DE OBRAS



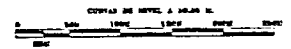
**DETALLE No. 2 DE CONSTRUCCION DE LAGUNA**  
PLAN DE OBRAS

1. MATERIAL DE REVELLO DEBEN SER DE TIPO GRUESO Y DEBEN SER DE TIPO INOXIDABLE O ALUMINIO ANODIZADO.  
2. CAPA DE COLECCION DEBEN SER DE TIPO GRUESO Y DEBEN SER DE TIPO INOXIDABLE O ALUMINIO ANODIZADO.  
3. MATERIAL DE REVELLO DEBEN SER DE TIPO GRUESO Y DEBEN SER DE TIPO INOXIDABLE O ALUMINIO ANODIZADO.  
4. MATERIAL DE REVELLO DEBEN SER DE TIPO GRUESO Y DEBEN SER DE TIPO INOXIDABLE O ALUMINIO ANODIZADO.

<table border="1"> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANTIDAD</th> <th>UNIDAD</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD					<table border="1"> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANTIDAD</th> <th>UNIDAD</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD					<table border="1"> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANTIDAD</th> <th>UNIDAD</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD					<table border="1"> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANTIDAD</th> <th>UNIDAD</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD																																												
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD																																												
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD																																												
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD																																												
<p>H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENISAN SANITARIO DEL SITIO ARENILES</p>																																															
<p>DETALLES 25</p>																																															

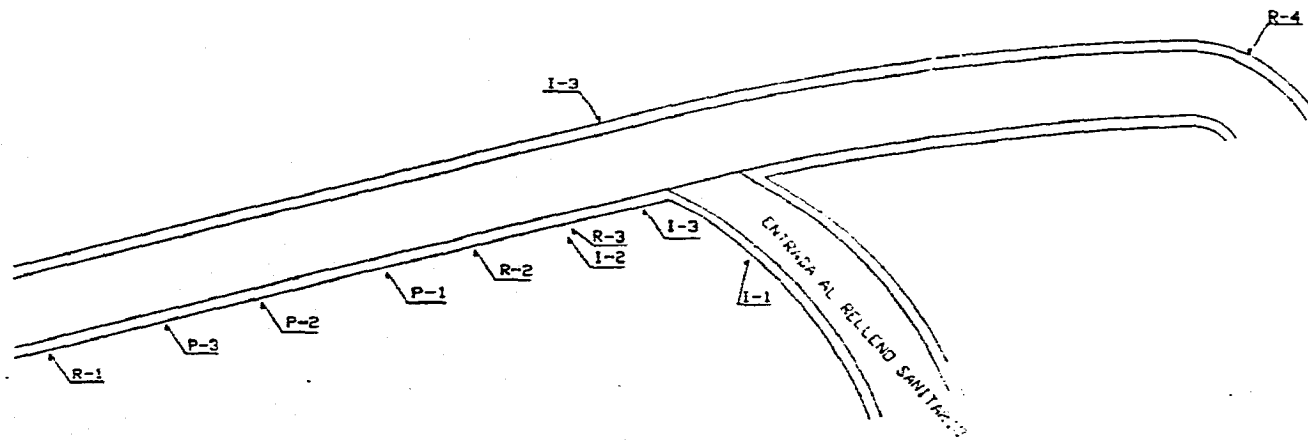


CUADRO DE CONSTRUCCION		
VERTICE	COORDENADAS	
	X	Y
V 1	1225	523
V 2	1339	823
V 3	1376	847
V 4	1576	807
V 5	1640	757
V 6	1661	707
V 7	1651	657
V 8	1658	607
V 9	1642	557
V 10	1623	477
V 11	1602	427
V 12	1425	437
V 13	1355	437
V 14	1247	447
V 15	1156	487
V 16	1076	537
V 17	1047	557
V 18	1068	587
V 19	1062	787
V 20	1131	817
V 21	1165	857
S =		232,750 m <sup>2</sup>
S =		23,2750 Ha.



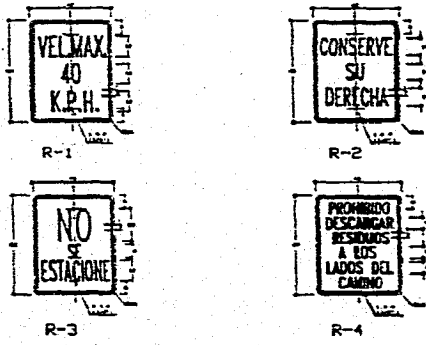
LEGENDA	
(Symbol: Dashed line)	LINIA DEL RELLENO
(Symbol: Solid line)	ACCESO
(Symbol: Dotted line)	CONEXION PERIMETRAL

NO. DE HOJA	TITULO	FECHA	NOTAS	PLANO DE REFERENCIA	ESCALA	PROYECTO	CLIENTE
						PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENO SANITARIO DEL SITIO ARENILLA	H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUARIZ

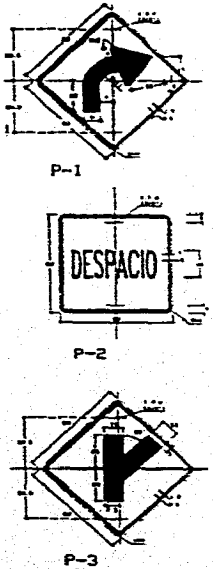


SIMBOLOGIA	
<b>R</b>	<b>RESTRICTIVAS</b>
R-1	Velocidad máxima permitida en un determinado lugar del camino. Se debe observar la velocidad permitida en el momento de pasar por dicho punto del camino. No debe haber un exceso de velocidad.
R-2	Prohibido estacionarse en un determinado lugar del camino. Se debe observar el lugar prohibido de estacionarse.
R-3	Prohibido estacionarse en un determinado lugar del camino. Se debe observar el lugar prohibido de estacionarse.
R-4	Prohibido estacionarse en un determinado lugar del camino. Se debe observar el lugar prohibido de estacionarse.
<b>P</b>	<b>PREVENTIVAS</b>
P-1	Se debe observar con especial cuidado al pasar por un determinado punto del camino. Se debe observar el lugar de especial cuidado.
P-2	Se debe observar con especial cuidado al pasar por un determinado punto del camino. Se debe observar el lugar de especial cuidado.
P-3	Se debe observar con especial cuidado al pasar por un determinado punto del camino. Se debe observar el lugar de especial cuidado.
<b>I</b>	<b>INFORMATIVAS</b>
I-1	Se debe observar con especial cuidado al pasar por un determinado punto del camino. Se debe observar el lugar de especial cuidado.
I-2	Se debe observar con especial cuidado al pasar por un determinado punto del camino. Se debe observar el lugar de especial cuidado.
I-3	Se debe observar con especial cuidado al pasar por un determinado punto del camino. Se debe observar el lugar de especial cuidado.

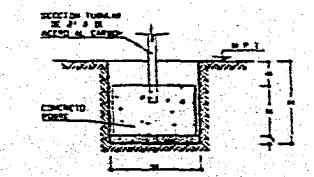
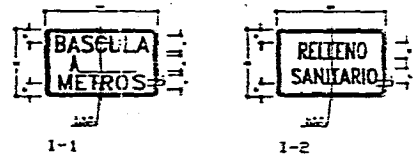
SENALES RESTRICTIVAS



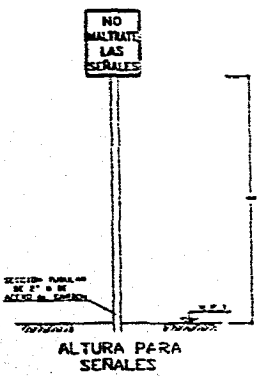
SENALES PREVENTIVAS



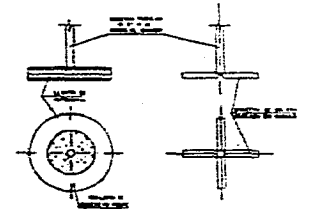
SENALES INFORMATIVAS



DETALLE No. 1  
(ANCLAJE PARA LETREROS FIJOS)



ALTURA PARA SENALES

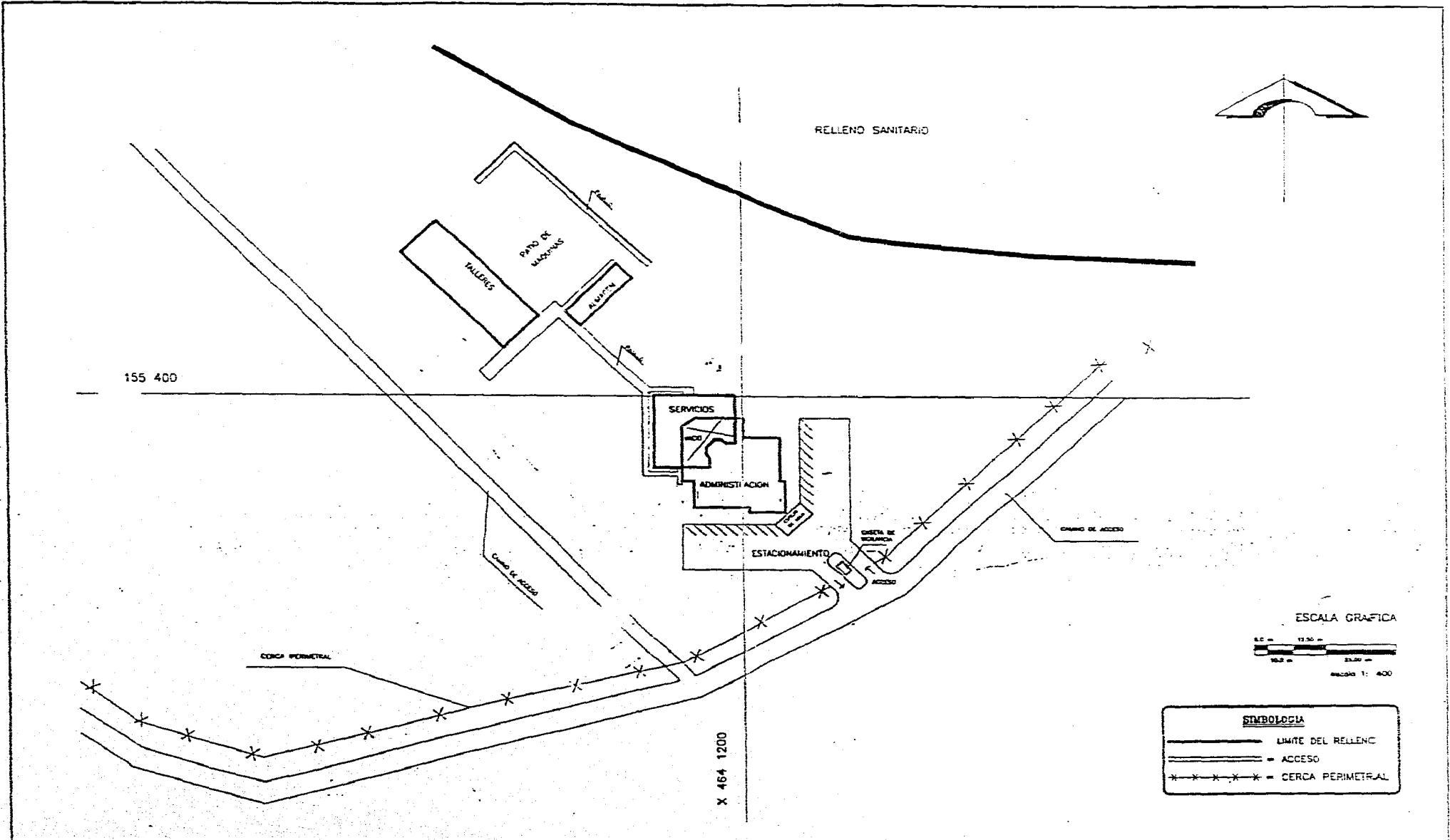


BASE TIPO I BASE TIPO II  
DETALLE No. 2  
(ANCLAJE PARA LETREROS MOVILES)

NOTAS

- 1.- Todas las dimensiones que figuran en los planos deben ser en milímetros.
- 2.- Los modelos de letreteros I-1, I-2 deben tener como referencia el Catálogo de Construcción Urbana de la Secretaría de Obras Públicas, S.O.P., etc.
- 3.- El anclaje para letreteros fijos, en hormón macizo concreto deberá tener como referencia el No. 11, según como especificaciones de construcción y ejecución de obras de concreto.
- 4.- El anclaje para letreteros móviles de tipo móvil, deberá tener como referencia el No. 12, según como especificaciones de construcción y ejecución de obras de concreto.

Rev. No.	Descripción	Elaboró	Revisó	Fecha	Notas	Rev. No.	Plantel de Referencia	Elaboró	Revisó	Fecha	Notas

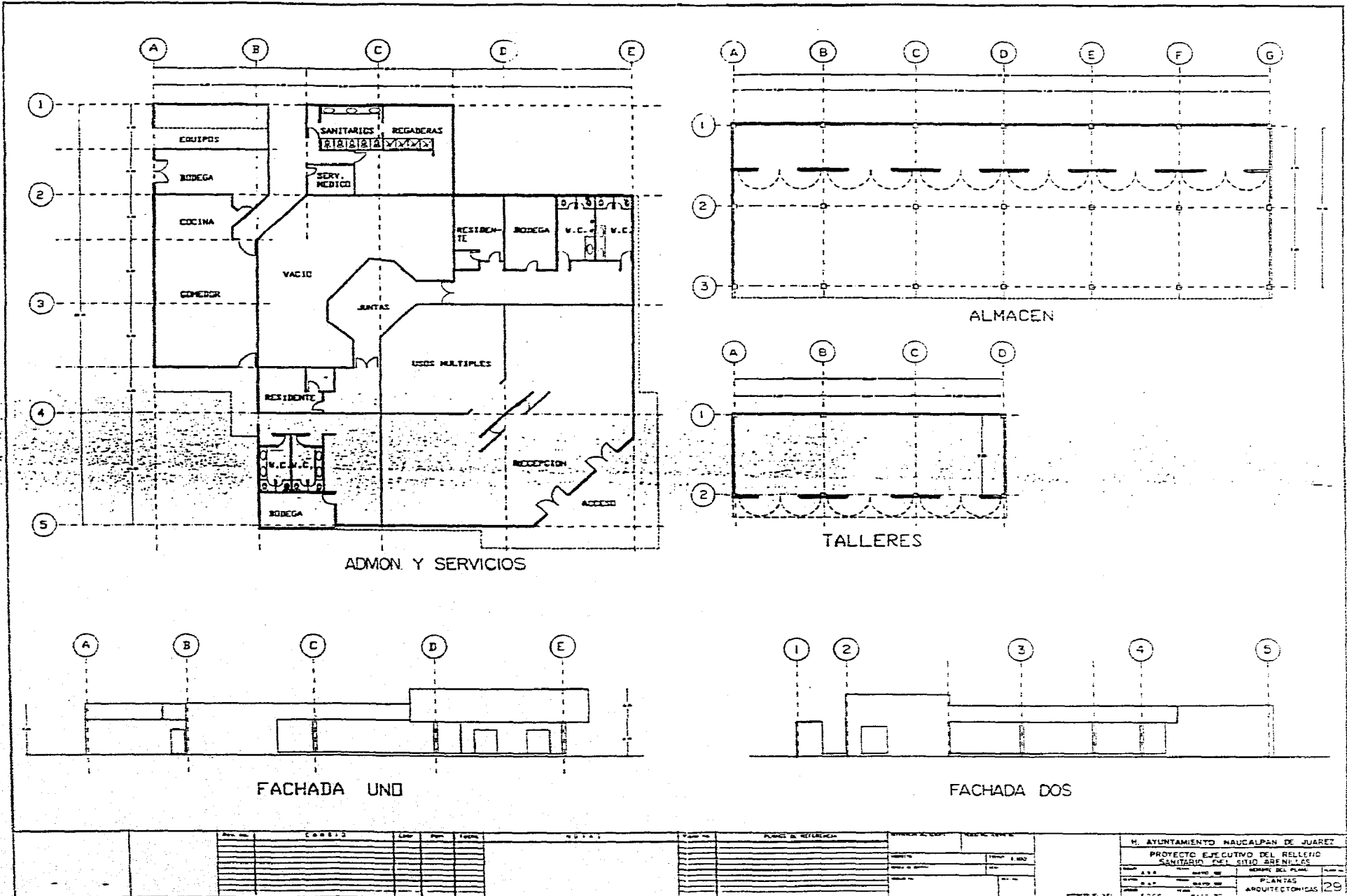


ESTE DISEÑO Y TODA LA INFORMACION CONTENIDA EN EL MISMO SON DE PROPIEDAD DE LA SECRETARIA DE SALUD Y PROTECCION AMBIENTAL DEL ESTADO DE GUJARAT. SE PROHIBE SU REPRODUCCION O USO SIN EL CONSENTIMIENTO PREVIO POR ESCRITO DE LA SECRETARIA DE SALUD Y PROTECCION AMBIENTAL DEL ESTADO DE GUJARAT.

NO. DE DISEÑO	FECHA	MODIFICACIONES	REVISADO POR	FECHA	REVISADO POR

PLANO DE REFERENCIA	FECHA	REVISADO POR	FECHA	REVISADO POR

H. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ  
 PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENO SANITARIO DEL SITIO ARENILLAS  
 PLANTA GENERAL DEL RELLENO



M. AYUNTAMIENTO NAUCALPAN DE JUAREZ	
PROYECTO EJECUTIVO DEL RELLENO SANITARIO POR SITIO SEÑALADOS	
FECHA: 2010	ESCALA: 1:100
PROYECTADO POR: [ ]	REVISADO POR: [ ]
APROBADO POR: [ ]	PLANTAS ARQUITECTONICAS
29	



