

## 7.6 Selección de los Proyectos Prioritarios

Los proyectos que están planeados para construirse en el corto plazo (Fase I: año 1999 al 2001), como la expansión vertical de la Etapa IV, el establecimiento de la Etapa V y una nueva planta de compostaje, deben ser seleccionados como proyectos primordiales del Estudio.

## 7.7 Análisis Inicial del Ambiente

### 7.7.1 Bosquejo y Objetivo del AIA

Este capítulo muestra el AIA (Análisis Inicial del Ambiente) de los tres proyectos propuestos, es decir, el establecimiento de Bordo Poniente Etapa V, la expansión vertical de la Etapa IV y la introducción de una planta de compostaje.

El AIA es un proceso encaminado a determinar (i) si se requiere la EIA (Evaluación de Impacto Ambiental) detallada, e (ii) si es necesaria, qué tipo de impactos deben estudiarse más detalladamente. El primero se le conoce como *screening* (filtraje) y el segundo como *scoping* (delimitación del alcance). Generalmente, el filtraje lo lleva a cabo una autoridad competente de acuerdo con las leyes y reglamentos concernientes. Por lo tanto, el filtraje que se muestra en este capítulo debe ser interpretado como el proceso mediante el cual el equipo de estudio va a analizar en qué proyecto debe concentrarse el estudio de EIA durante el segundo período de trabajo. Por lo tanto, el AIA tiene como objetivo destinar los recursos disponibles a temas problemáticos seleccionados y entregar el estudio de la manera más eficiente posible.

### 7.7.2 Proceso del AIA

En México, se dispone de las directrices emitidas por el INE para preparar una MIA, con base en el Artículo 9 y 10 del reglamento de la EIA<sup>13</sup>. Aunque tales artículos se enfocan en los proyectos sujetos a un proceso de MIA a nivel nacional, se asume que la mayor parte de las dependencias gubernamentales a nivel local siguen las mismas directrices, incluso menos estrictas.

La EIA de México cuenta con tres modalidades: general, moderada y especial. Los informes de EIA moderados y/o especiales son requeridos únicamente cuando la autoridad considera, al revisar una MIA general, que se necesita una MIA más precisa. Empero, en la actualidad la SEMARNAP está modificando esta estructura. Bajo estas condiciones, en este momento es suficiente hacer referencia a la EIA de la modalidad general.

Esta guía especifica la estructura del informe de MIA tal y como se muestra a continuación, sin embargo no está adaptada necesariamente para un proyecto de MRS.

Capítulo 1: Datos Generales

Capítulo 2: Descripción General de las Actividades Proyectadas

Capítulo 3: Aspectos Generales del Medio Natural y Socioeconómico

Conclusiones

<sup>13</sup> El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Material de Impacto Ambiental

Respecto a la "Evaluación del Impacto", el Capítulo 3 es un aspecto primordial para la EIA del equipo y se considera que el método instruido por la Guía de JICA<sup>14</sup> puede ser utilizado para el AIA. Éste utiliza un procedimiento matricial en el que se enlistan 23 aspectos ambientales, para que se le preste atención a todos desde la etapa inicial. Los conceptos mencionados anteriormente que están comprendidos dentro del Capítulo 3 son globales. Utilizando la guía de JICA, se siguen los siguientes pasos.

**Paso 1:** Para cada aspecto enlistado se considera la posibilidad del impacto ambiental tanto como sea posible con la información disponible en esta etapa. La evaluación tiene un rango que va de A a D de la siguiente manera.

Rango A: Se pueden ocasionar impactos severos.

Rango B: Se pueden ocasionar algunos impactos.

Rango C: Se desconoce el alcance del impacto debido a que no existe suficiente información y/o ésta depende de la ubicación del proyecto.

Rango D: No habrá impacto.

**Paso 2: (Filtraje):** Se consideraron qué proyectos se requiere de EIA.

**Paso 3 (Delimitación de alcance):** A partir de los aspectos clasificados como A, B o C, se eligen aquellos que deben ser estudiados a detalle durante el segundo estudio en México y se definen los contenidos del trabajo.

### 7.7.3 Evaluación de Factores Ambientales (Paso 1)

Los factores ambientales de la Guía de JICA se muestran en la primera columna del Cuadro 7-42. En la segunda y tercera columnas, se explican los posibles efectos en términos generales que pudieran tener lugar durante las etapas de construcción y operación de un proyecto para el MRS. Durante la fase de construcción, la adquisición de terreno, la ocupación del mismo, el uso de equipo para construcción y el tráfico de las vías para la construcción serán las principales causas de los impactos. Durante la siguiente etapa de operación, actividades tales como el transporte de residuos con vehículos y la operación de la instalación involucrada son los factores que determinan las causas. Debe notarse que la "etapa de operación" no significa únicamente una fase operación en concreto sino que incluye una etapa en la que cualquier influencia causada por el proyecto permanece igual después de terminado el proyecto.

La parte derecha del cuadro muestra la evaluación a través de los rangos A-D de cada aspecto ambiental para los tres proyectos de E/F, junto con las razones para la evaluación.

<sup>14</sup> *Environmental Guidelines for Infrastructure Projects No. VI, Solid Waste Management*, JICA, Septiembre de 1992.

### Cuadro 7-42: Evaluación de Factores Ambientales

Notas:

- Las actividades "durante la construcción" incluyen la adquisición del terreno, ocupación del terreno, uso de equipo para construcción y tráfico de vías para construcción.
- Las actividades "durante la operación" incluyen el tráfico de vehículos con residuos y las operaciones de la instalación involucrada (relleno y compostaje por ejemplo).
- Evaluación de los posibles impactos ambientales se expresa en los rangos de A a D.

Rango A: Se pueden ocasionar impactos severos.

Rango B: Se pueden ocasionar algunos impactos.

Rango C: Se desconoce el alcance del impacto debido a que no existe suficiente información y/o ésta depende de la ubicación del proyecto.

Rango D: No habrá impacto.

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones
Ambiente social								
Reubicación	Reubicación de la gente que vive en el terreno propuesto o sobre la ruta de acceso.		D	No existen necesidad de reubicar a ningún habitante.	D	La misma que para BP V	D	La misma que para BP V
Actividades Económicas.	Disturbios en las actividades económicas.		D	No existen actividades económicas que puedan ser afectadas por el proyecto.	D	La misma que para BP V	D	Incluso puede haber un impacto positivo en la economía local, ya que el compostaje es una actividad económica para recuperar recursos.
Transporte	Incremento de tráfico y accidentes.	Incremento de tráfico y accidentes.	D	El cambio al tráfico debe ser mínimo ya que el sitio está cerca del actual.	D	No hay cambios en el tráfico	D	Ya que la planta de compostaje estará cerca de BP V y BP IV, no habrá cambios mayores en la ruta de transporte de residuos.
Instalaciones Públicas.	Impacto en escuelas, hospitales, etc. debido al tráfico y ruido.	Impacto en escuelas, hospitales, etc. debido al tráfico y ruido.	D	No se afecta a instalaciones públicas.	D	La misma que para BP V	D	Las mismas que para BP IV.
División de la Comunidad.	Separación geográfica de la comunidad o interrupción de sus comunicaciones.		D	El sitio está en zona federal en la cual no hay comunidades.	D	La misma que para BP V	D	La misma que para BP V

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones
Herencia Histórica/ propiedad cultural.	Pérdida o devaluación de éstos, tales como iglesias, restos arqueológicos y activos históricos.	Devaluación de éstos por el tráfico de vehículos con residuos.	D	No se afecta a alguna herencia histórica o propiedad cultural.	D	La misma que para BP V.	D	La misma que para BP IV.
Derechos del agua/ derechos a vías de acceso.	Obstrucción a derechos de pesca, derechos al agua y derechos de acceso a las vías comunes.		D	El sitio es propiedad de la federación y ni los derechos del agua ni de vías de acceso están asociados a él.	D	Se ha utilizado este sitio para el relleno de residuos por parte del GDF.	D	La misma que para BP IV.
Salud Pública		Degradación de la salud pública debido a los residuos que se caen de los vehículos, a la existencia de una gran cantidad de residuos en un área limitada y la proliferación de insectos/agentes patógenos en el lugar.	B	Los residuos son transportados en vehículos y cubiertos con lonas para reducir la cantidad de residuos que caen. La práctica de operación de relleno debe planearse adecuadamente para que el sitio no atraiga insectos o agentes patógenos en demasía.	B	La misma que para BP V.	B	La misma que para BP V.
Residuos (del proyecto)	Generación de residuos de la construcción y escombros.		D	No está planeada la excavación, por lo que los residuos generados de la construcción son mínimos.	D	La misma que para BP V.	D	Los residuos serán transportados a BP IV ó V, y ambos se encuentran cerca de la planta de compostaje.
Accidentes/Riesgos		Explosión del gas (CH <sub>4</sub> ) del relleno, penetración del CO <sub>2</sub> en hogares, incendios, deslaves, presión lateral sobre la tierra.	B	El sitio recibe solamente residuos no peligrosos, por lo que no se generarán reacciones químicas. El diseño y la práctica del relleno reducirán los riesgos posibles. Una distancia pertinente de cualquier estructura física reducirá el efecto causado sobre la misma debido a la presión lateral.	B	La misma que para BP V.	B	La instalación sólo recibe residuos orgánicos separados. El diseño de la planta debe permitir la descomposición aeróbica para que la generación de gas sea mínima.
Ambiente Natural								
Topografía y Geología.	Cambios en la topografía y geología debido a las excavaciones.	Cambios en la topografía y geología valiosos debido a los trabajos de relleno.	D	El cambio topográfico es inevitable, pero la topografía y geología del sitio no son de particular valor.	D	La misma que para BP V.	D	La misma que para BP V.

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango
Erosión del suelo.	Incremento de la erosión de la tierra por la preparación del suelo o deforestación.		Si existe vegetación se quitará para preparar las celdas del relleno, por lo que es improbable que se cause erosión del suelo.	D	Ya se aplicó la cubierta de tierra al sitio y el trabajo esencialmente es apilar los residuos.	D	Ya se aplicó la cubierta de tierra al sitio y no se hizo mayor modificación al terreno.	D
Acuífero del subsuelo		Cambios en los niveles y calidad del acuífero subterráneo debido a los lixiviados.	El nivel del acuífero superficial es casi el mismo que el subterráneo y el agua es demasiado salina para utilizarse. Pero existe otro acuífero más profundo. Se deben prever las prácticas y la tecnología hidrológica del acuífero subterráneo para el sitio.	B	Se debe utilizar una técnica apropiada para el manejo de los lixiviados.	B	Cuando llueve demasiado, el agua con contenido de lixiviados puede rezumar de los residuos, por lo que tiene que manejarse apropiadamente.	B
Condiciones hidrológicas.	Cambios en las descargas en los ríos y en los lechos.		No existen cuerpos de agua superficiales que puedan ser afectados.	D	No existen cuerpos de agua superficiales que puedan ser afectados.	D	No existen cuerpos de agua superficiales que puedan ser afectados.	D
Zona costera	Impacto en la zona costera.	Impactos en las zonas costeras.	No existe una costa cerca del sitio.	D	La misma que para BP V.	D	La misma que para BP V.	D
Flora y Fauna	Obstrucción en la reproducción de especies naturales y/o su extinción por la interrupción o pérdida de sus hábitats.		Debe examinarse si existen especies importantes de flora y/o fauna que deban ser protegidas, cuál es su importancia y la distancia entre el sitio y su hábitat.	C	Ya que el terreno está ocupado por el relleno, no existe vida silvestre importante.	D	No existe vida silvestre importante.	D
Meteorología	Cambios en la temperatura, dirección del viento, y/o intensidad, etc.	Cambios en la temperatura, dirección del viento intensidad, etc.	La escala del proyecto no es lo suficientemente grande como para afectar la meteorología.	D	Se prevé cualquier cambio meteorológico.	D	La misma que para BP IV.	D
Paisaje/Estética	Cambio del paisaje.	Disminución del valor estético debido a la existencia de rellenos.	El trabajo de relleno puede resultar en cambios al paisaje.	B	La misma que para BP V.	B	Se prevé cualquier cambio importante en el paisaje.	D
Contaminación								
Contaminación del Aire.	Deterioro de la calidad del aire debido al creciente tráfico.	Deterioro de la calidad del aire debido al creciente tráfico y polvo de los residuos de caminos; a los gases del relleno y/o humo/polvo por la operación del sitio.	El tráfico no aumenta más del nivel actual, pero la modalidad del mismo puede cambiar dependiendo de la ubicación de BP V. El polvo de las obras de relleno debe reducirse. Se debe considerar el control de los gases del relleno.	B	El tráfico no aumenta más del nivel actual. El polvo de las obras de relleno debe reducirse. Se debe considerar el control de los gases del relleno.	B	El tráfico no aumenta más del nivel actual. El polvo de las obras de relleno debe reducirse.	B

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones
Contaminación del agua.	Deterioro de la calidad del agua superficial y/o acuífero subterráneo, debido a la afluencia de arena/limo de las obras de preparación del terreno.	Deterioro de la calidad del agua superficial y/o acuífero subterráneo debido a la afluencia de arena/limo y lixiviados del sitio.	B	Se debe examinar la unión hidrológica entre el agua de la superficie y las medidas de control de lixiviados.	B	Se debe utilizar una técnica apropiada de manejo de lixiviados.	B	Cuando llueve demasiado, el agua con contenido de lixiviados puede rezumar de los residuos, por lo que tiene que manejarse apropiadamente.
Contaminación del suelo.		Contaminación del suelo por filtraciones de lixiviados.	B	Se deben examinar las características del suelo y las medidas de control de lixiviados.	B	Se debe utilizar una técnica apropiada de manejo de lixiviados.	B	Cuando llueve demasiado, el agua con contenido de lixiviados puede rezumar de los residuos, por lo que tiene que manejarse apropiadamente.
Ruido y Vibraciones.	Ruido y vibraciones causadas por las operaciones de construcción y/o vías de construcción.	Ruido y vibraciones causadas por los vehículos con residuos y/o el equipo del sitio para relleno.	D	Existe una distancia suficiente del sitio a la población adyacente.	D	El nivel del ruido y de la vibración debe ser el mismo que el actual.	B	La volteadora y el molino de cuchillas pueden causar un ruido fuerte.
Hundimientos del terreno.	Hundimientos del terreno por deformación del mismo.		D	El hundimiento sólo se limita al área de relleno. (Se vigila la presión lateral en el aspecto de "Riesgo" mencionado anteriormente).	D	La misma que para BP V.	D	El hundimiento sólo se limita al área de la instalación.
Olores penetrantes		Olores causados por los residuos esparcidos por los vehículos y/o residuos del relleno del sitio.	B	Los residuos son transportados y cubiertos con lona; después del relleno se cubren con tierra. Se debe examinar la dirección del viento y áreas de vivienda.	D	No habrá cambios en el efecto del olor.	B	La instalación estará localizada y diseñada para minimizar el efecto del olor.

#### 7.7.4 Paso 2: Screening (Filtraje)

Examinando las dos columnas del cuadro correspondientes a los proyectos de Bordo Poniente Etapa V y Bordo Poniente Etapa IV y además comprendiendo la similitud de sus características, es razonable considerar que el estudio de impacto ambiental del primero dará una implicación suficiente acerca del impacto ambiental del último. Por lo tanto, el equipo de estudio de JICA concluyó que no se llevará a cabo el estudio de EIA exclusivo para el proyecto de la expansión vertical de la Etapa IV.

#### 7.7.5 Paso 3: Scoping (Delimitación Del Alcance)

En el paso 3 se consideraron con atención específica los trabajos que serían necesarios durante el siguiente proceso de EIA. Éstos se resumen en el Cuadro 7-43.

Tal y como muestra el cuadro, existen dos tipos de trabajos. Uno es la recopilación de información y el análisis de la misma para entender de manera clara las posibles causas y efectos y elaborar las medidas para contrarrestarlas, si es necesario (indicadas con viñetas oscuras). El otro tipo es la elaboración de diseños de instalaciones para mitigar los impactos ambientales calculados por adelantado (indicados con viñetas blancas y letras cursivas).

Si se considera la restricción de recursos disponibles y de tiempo durante el segundo trabajo de estudio, es razonable recomendar el poner especial cuidado en los temas que necesitan del primer tipo de trabajos, es decir la recopilación de información y entendimiento del problema. Se incorporará el segundo tipo de trabajo a los trabajos de diseño técnico, posteriormente se hará una revisión final y un dictamen de viabilidad como parte de la EIA.

Se debe recalcar que la delimitación del alcance arriba descrita no describe estrictamente el rango del estudio. No obstante, implica una asignación razonable de recursos dentro de los puntos de relativa importancia.

Cuadro 7-43: Delimitación del Alcance

Aspectos de Evaluación	BP V		Planta de Compostaje	
	Rango	Descripción del trabajo	Rango	Descripción del trabajo
Salud Pública	B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurar una operación apropiada del relleno para evitar la proliferación de insectos y/o agentes patógenos.</li> </ul>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurar una operación apropiada de la planta para evitar la proliferación de insectos y/o agentes patógenos.</li> </ul>
Accidentes/ Riesgos	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la distancia del sitio al área de vivienda.</li> <li>• Examinar el área de influencia de la presión lateral de la tierra y si se encuentran instalaciones dentro de esa área.</li> <li><input type="checkbox"/> Asegurar una operación eficiente del relleno para reducir los posibles riesgos</li> </ul>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurar la descomposición aeróbica para minimizar la generación de gas</li> </ul>
Acuífero subterráneo	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examinar la hidrología subterránea.</li> <li>• Obtener datos de referencia de la calidad del acuífero subterráneo.</li> <li><input type="checkbox"/> Asegurarse de que la tecnología para el relleno sea apropiada para la hidrología subterránea.</li> </ul>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurar un drenaje apropiado de la superficie.</li> </ul>
Flora y Fauna	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilar información acerca de la vida silvestre en el área.</li> <li>• Estudiar el nivel de impacto del proyecto sobre éstos si existen especies importantes dentro del área de influencia.</li> </ul>		
Paisaje/ estética	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examinar el cambio en el paisaje y evaluar su impacto.</li> </ul>		
Contaminación del aire	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilar información acerca de la ruta para transporte de residuos.</li> <li>• Estudiar la meteorología.</li> <li><input type="checkbox"/> Asegurar que la práctica de relleno reduzca el polvo en los residuos y que controle la emanación de gases del mismo.</li> </ul>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurar que la operación de la planta reduzca el polvo en los residuos y que controle la emanación de gases del mismo.</li> </ul>
Contaminación del agua	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilar información acerca de la hidrología del agua superficial.</li> <li>• Obtener información de referencia acerca de la calidad del agua superficial.</li> <li><input type="checkbox"/> Asegurarse que el diseño del relleno controle los lixiviados.</li> </ul>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurarse que el diseño del relleno controle los lixiviados.</li> </ul>
Contaminación del suelo	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilar información acerca de las características del suelo.</li> <li>• Obtener datos de referencia de la calidad del suelo.</li> <li><input type="checkbox"/> Asegurarse de que se utilicen medidas para el control de lixiviados.</li> </ul>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurar un drenaje apropiado.</li> </ul>
Ruido y Vibración			B	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Analizar el nivel de ruido en el sitio y en la periferia</li> </ul>
Olores penetrantes	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilar información acerca de la dirección del viento y la ubicación del área de vivienda.</li> <li>• Evaluar los impactos sobre el área de vivienda si se encuentra dentro del área de influencia.</li> </ul>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilar información acerca de la dirección del viento y la ubicación del área de vivienda.</li> <li>• Evaluar los impactos sobre el área de vivienda si se encuentra dentro del área de influencia.</li> <li><input type="checkbox"/> Asegurar una operación apropiada para minimizar el efecto del olor.</li> </ul>

Notas:

- denota los aspectos que deben llevarse a cabo para entender las posibles causas y efectos.
- denota los aspectos que deben llevarse a cabo para elaborar el diseño de la instalación para mitigar el impacto.



1

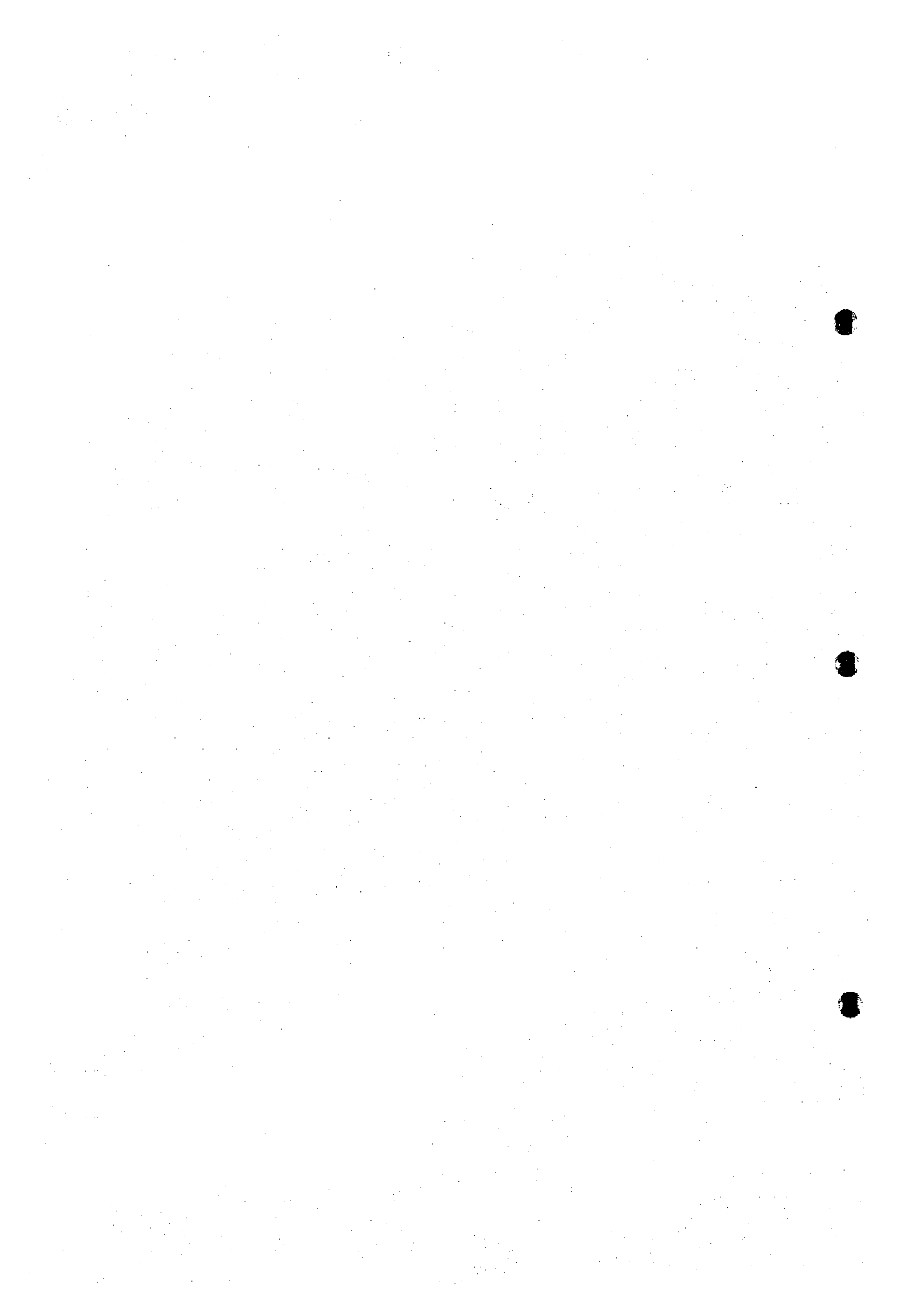
2

3

# Capítulo 8

---

*Estudio de Factibilidad para los  
Proyectos Prioritarios*



## 8 Estudio de Factibilidad para los Proyectos Prioritarios

### 8.1 Delineamiento de los Proyectos

#### 8.1.1 Meta

Los sitios de disposición final son componentes indispensables del manejo de residuos sólidos del GDF para proporcionar servicios de limpieza a los ciudadanos. Sin embargo, debido a la urbanización dentro y alrededor del DF, cada año se dificulta para el GDF reservar terrenos para utilizarlos como sitios de disposición final. Lo que es más, los sitios de disposición final existentes cuentan con una capacidad bastante limitada, por lo que representan un tema crítico y urgente dentro del MRS del DF (la vida útil de servicio es hasta inicios del año 2001.).

Por lo tanto, el GDF requiere de acciones como las siguientes:

- reducción de la cantidad de disposición final; y
- establecimiento de un nuevo sitio para disposición final.

para cumplir con su misión de manejo de residuos sólidos. Además, para facilitar las acciones requeridas para la “reducción de la cantidad de disposición final” y resolver el tema crítico del “establecimiento de un nuevo sitio para disposición final”, se seleccionaron proyectos prioritarios; así como su diseño preliminar, costo estimado y viabilidad.

En la práctica, los proyectos prioritarios comprenden los siguientes:

- **una planta de compostaje** para procesar los residuos orgánicos que se entregan de manera separada a partir del subsistema y cuyo objetivo principal es prolongar la vida útil de los sitios de disposición final; y
- **la expansión vertical** del sitio existente de disposición final (BP-IV) y la construcción de un **nuevo sitio de disposición final (BP-V)**.

La Figura 8-1 muestra la ubicación de estos proyectos prioritarios.

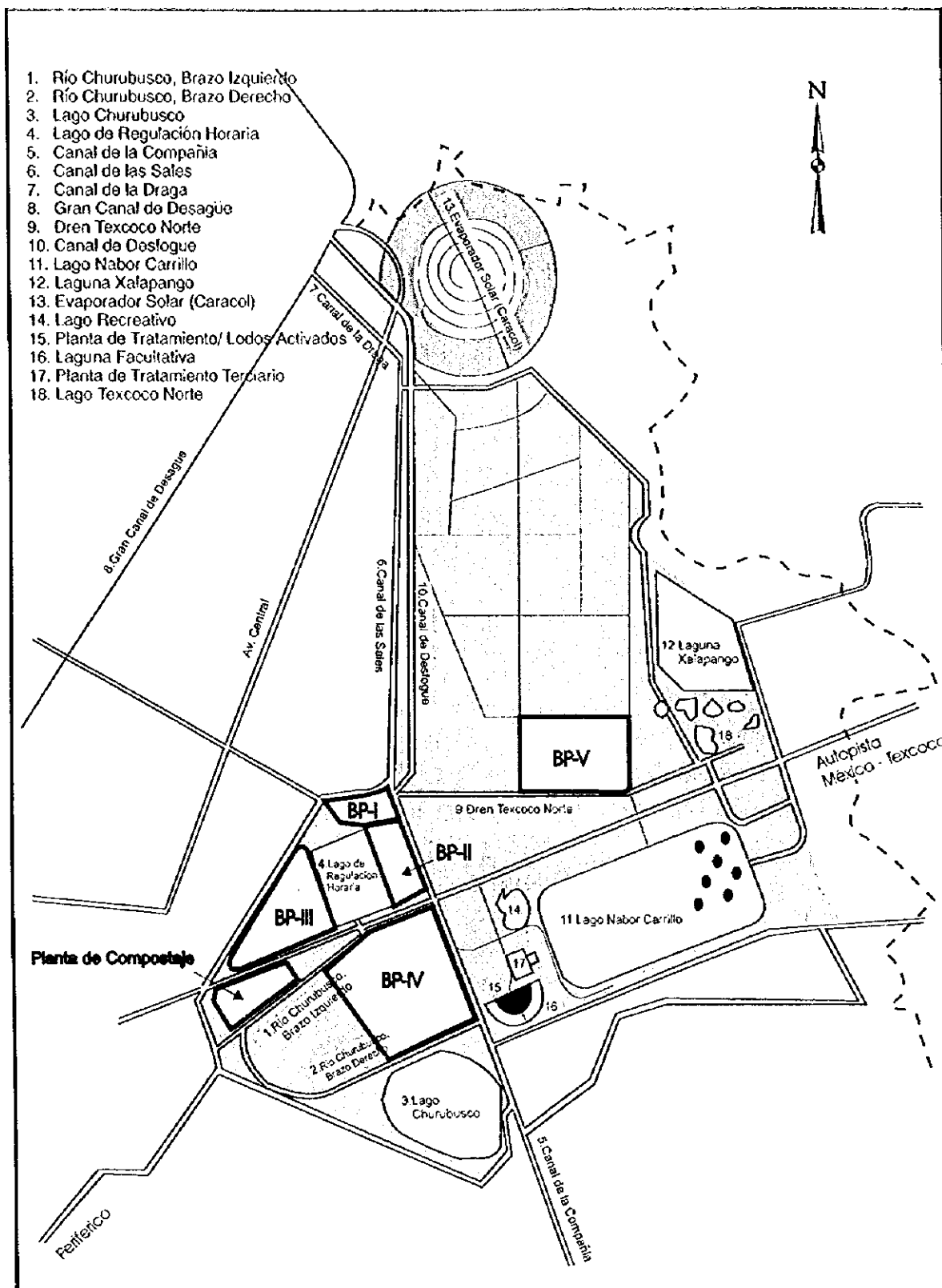


Figura 8-1:  
Ubicación de los  
Proyectos Prioritarios

KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.

## 8.1.2 Delineamiento de los Proyectos

El Cuadro 8-1 muestra el delineamiento de los proyectos.

Cuadro 8-1: Delineamiento de los Proyectos

	*Actual	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>Población</b>	8,610,000	8,654,000	8,698,000	8,747,000	8,796,000	8,846,000	8,896,000
<b>Cantidad Generada de residuos (ton/año)</b>							
Domiciliarios	1,925,000	1,946,000	1,956,000	1,967,000	1,976,000	1,989,000	1,999,000
Comerciales	1,210,000	1,217,000	1,221,000	1,225,000	1,230,000	1,234,000	1,238,000
Servicios	636,000	639,000	641,000	645,000	647,000	650,000	657,000
Especiales	133,000	135,000	135,000	135,000	137,000	137,000	137,000
Otros	265,000	267,000	269,000	269,000	272,000	273,000	274,000
<b>Total</b>	<b>4,169,000</b>	<b>4,204,000</b>	<b>4,222,000</b>	<b>4,241,000</b>	<b>4,262,000</b>	<b>4,283,000</b>	<b>4,302,000</b>
<b>Compostaje</b>							
**Calendario de construcción y operación	E/F	D/B, P/P (1)	P/P (2), D/D, S/V	CON(3/5)	OP(3/5)	OP(4/5)	OP(5/5)
					CON(1/5)	CON(1/5)	
Capacidad de tratamiento (ton/día)	-	-	-	-	750	1,000	1,250
Cantidad tratada (ton/año)	-	-	-	-	253,000	338,000	424,000
<b>Disposición Final</b>							
**Calendario de construcción y operación	BP-IV	E/F	D/B	D/D, CON	OP	-	-
	BP-V		D/B	D/D	CON	OP	OP
Sitio que será utilizado	BP-IV	BP-IV	BP-IV	BP-IV	BP-V	BP-V	BP-V
Cantidad de disposición (ton/año)	3,751,000	3,903,000	3,889,000	3,876,000	3,609,000	3,493,000	3,385,000

\* : Datos de 1997/1998 ,

\*\* E/F : Estudio de factibilidad, D/B : diseño básico, D/D : diseño detallado, CON : construcción, OP : operación, P/P : proyecto piloto

## 8.2 Diseño Preliminar del Sistema Técnico

### 8.2.1 Planta de Compostaje

#### a. Análisis de las Condiciones de Diseño

##### a.1 Capacidad de Diseño

Se delineó la capacidad de la planta de compostaje bajo el supuesto de que se entregará e introducirá en la planta la cantidad total de residuos orgánicos generados en el subsistema.

Se planea introducir la recolección separada en el subsistema a partir del año 2000, alcanzando su difusión total (100%) en el año 2004. El Cuadro 8-3 muestra el cálculo de la cantidad de residuos orgánicos que ingresarán hasta el año 2010.

Se calcula que la operación de la planta de compostaje iniciará en el año 2002 y la separación de residuos orgánicos en ese año será de 60%, y la planta tendrá que recibir 100% de los residuos orgánicos separados del subsistema para el año 2004. Por lo tanto, la planta deberá construirse del año 2001 al 2003 para mejorar su capacidad de manera gradual, y así controlar el aumento en la tasa de separación de residuos orgánicos.

Cuadro 8-2: Plan de Descarga y Recolección Separada

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Plan de Descarga y Recolección Separada		Descarga Mezclada				100%			Descarga Separada			

Cuadro 8-3: Cantidad de recolección de residuos orgánicos

unidad: 1,000 ton/año

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Residuos orgánicos	0	84	168	253	338	424	425	426	428	429	430	431

### a.2 Composición de los Residuos

El Cuadro 8-4 muestra la composición de los residuos orgánicos que se utilizó para el diseño de la planta, con base en la cantidad proyectada de residuos y las tendencias de composición previstas en el marco del P/M. Se calculó en 90% la tasa efectiva de separación en la fuente, teniendo como base el nivel de 92% alcanzado en los proyectos pilotos de la DGSU para la separación en fuente.

Se estima que el contenido de humedad es el siguiente:

- cerca de 78%, calculado a partir de los datos empíricos de la DGSU para los componentes respectivos y a partir de una serie de datos también empíricos registrados en Japón; y
- cerca de 68%, que es la cantidad de humedad que el equipo obtuvo de las investigaciones de campo para la composición de residuos.

Por lo tanto, el contenido de diseño de humedad se encuentra entre un **máximo de 78%** y un **mínimo de 68%**.

Cuadro 8-4: Composición de los Residuos Orgánicos

Composición	Contenido de materia orgánica (%)	Contenido de humedad de cada componente (%)	Contenido de humedad (%)
<b>Residuos orgánicos</b>			
Fibra dura vegetal	2.29	*68	1.56
Hueso	1.02	*68	0.69
Residuo alimenticio	78.38	**90	70.54
Residuo de jardinería	8.3	***40	3.32
<b>Total orgánicos (a)</b>	<b>90</b>		<b>76.11</b>
<b>Residuos reciclables</b>			
Cartón	0.99	***24	0.24
Fibra sintética	0.19	***17	0.03
Hule	0.04	***17	0.01
Latas	0.27	***4	0.01
Metal	0.41	***4	0.02
Metal no ferroso	0.05	***4	0
Papel	0.46	***24	0.11
Periódico	0.83	***24	0.2
Plástico de película	0.77	***17	0.13

Composición	Contenido de materia orgánica (%)	Contenido de humedad de cada componente (%)	Contenido de humedad (%)
Plástico rígido	0.67	***8	0.05
Vidrio de color	0.34	***8	0.03
Vidrio transparente	0.58	***8	0.05
<b>Total reciclables (b)</b>	<b>5.58</b>	.	<b>0.88</b>
<b>Residuos no reciclables</b>			
Abatelenguas	0	-	-
Algodón	0.23	***19	0.04
Piel	0.01	***9	0
Envase de cartón	0.43	***24	0.1
Gasa	0	-	-
Jeringa desechable	0	-	-
Loza y cerámica	0.05	***8	0
Madera	0.33	***24	0.08
Material de construcción	0.38	***8	0.03
Papel sanitario	1.09	***24	0.26
Pañal desechable	0.25	***80	0.2
Placas radiológicas	0	-	-
Poliuretano	0.02	***17	0
Poliuretano expandido	0.12	***17	0.02
Toalla sanitaria	0	-	-
Tropos	0.23	***19	0.04
Vendas	0	-	-
Residuo fino	0.92	***24	0.22
Otros	0.35	***24	0.08
<b>Total de no reciclables (c)</b>	<b>4.42</b>	.	<b>1.07</b>
<b>Total (a+b+c)</b>	<b>100</b>	.	<b>78.06</b>

\*: resultados del sondeo de composición de residuos

\*\* : Harina Vegetal a Partir de Residuos Orgánicos, LUGARDA ARACELI SANTOS PEREZ, MARGARITA GUTIERREZ ROJAS, VICTOR MANUEL FLORES VALENZUELA, DGSU

\*\*\*: Lineamiento de diseño para las plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales en Japón, 1978 (supervisión editorial del Ministerio de Salud y Bienestar de JAPÓN)

### a.3 Condiciones Geológicas

No existen datos de muestreo geológico del sitio candidato para la planta de compostaje; sin embargo, este lugar se encuentra cerca de Bordo Poniente Etapa IV, cuya información geológica se utilizó (ver Figura 8-2) para analizar el diseño de la planta de compostaje.



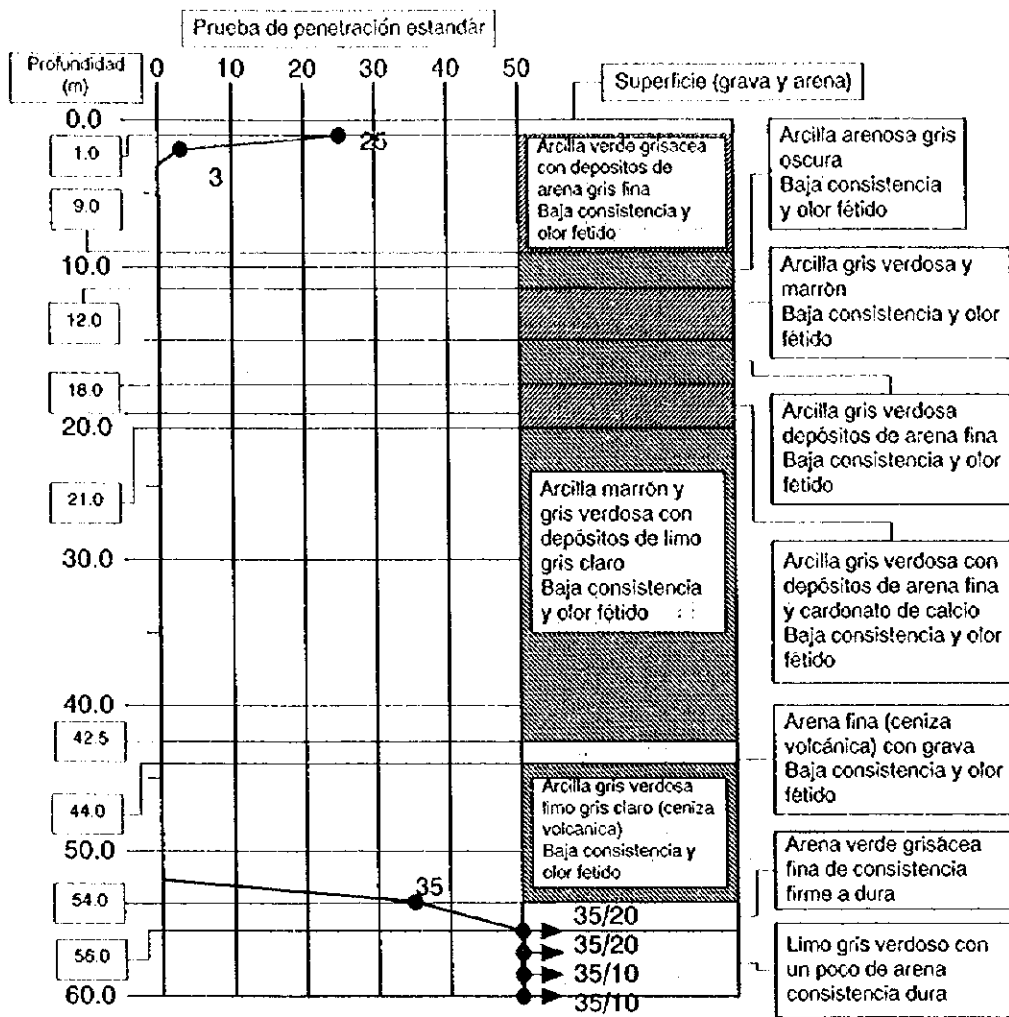


Figura 8-2: Resultados de la Muestra de Perforación en la "Etapa IV" (SM-8)

b. Análisis de la Alternativa Técnica

b.1 Alternativa Básica

Existen dos tipos básicos para el proceso de fermentación de los materiales orgánicos finos presentes en los residuos sólidos municipales: el "proceso aeróbico" y el "anaeróbico". El Cuadro 8-5 muestra la comparación entre los dos procesos.

Cuadro 8-5: Comparación de Fermentación Aeróbica y Anaeróbica para el Material Orgánico Fino de los RS Municipales

Características	Proceso aeróbico	Proceso anaeróbico
Uso de energía	Consumidor neto de energía	Productor neto de energía
Producto final	Humus, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Lodo, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
Reducción en volumen	Hasta 50%	Hasta 50%
Tiempo de procesamiento	20 a 30 días	20 a 40 días
Tiempo de maduración	30 a 90 días	30 a 90 días
Objetivo principal	Reducción de volumen	Producción de energía
Segundo objetivo	Producción de composta	Reducción de volumen, estabilización de residuos

Fuente: Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill

Ya que la planta de compostaje es uno de los proyectos prioritarios en el Estudio con el propósito de "reducir la cantidad de disposición final", se seleccionó al proceso aeróbico para el diseño de este proyecto.

### b.2 Análisis de la Alternativa Técnica

La fermentación aeróbica puede llevarse a cabo de las siguientes maneras: en pilas; fermentación en pilas estáticas; o dentro de digestores. Incluso la fermentación en pilas se sub - divide en dos: las pilas con tecnología mínima y las pilas de alto desempeño. El Cuadro 8-6 muestra la comparación entre estos métodos de fermentación.

En virtud de la situación presente se diseñará este proyecto de acuerdo con el método de pilas de alto desempeño, ya que la DGSU cuenta con la experiencia práctica y el conocimiento para este método, adquirido a través del proyecto en marcha para producir composta a partir de residuos de poda, y el terreno disponible en el sitio candidato es lo suficientemente extenso para establecer este método.

Cuadro 8-6: Comparación de los Métodos de Fermentación

	Pila con tecnología mínima	Pila de alto desempeño	Pila estática	Dentro de digestor
Bosquejo	El enfoque de este método consiste en formar pilas largas (aprox. 3.5m de altura por 7.3m de ancho) que son volteadas una sola vez al año con un cargador frontal.	Este sistema emplea pilas con una sección transversal más pequeña, generalmente de 1.5 a 2.0 m de altura por 4 a 5m de ancho. Las dimensiones de las pilas dependen del tipo de equipo que se utilizará para voltear los residuos para fermentación. Los residuos se voltean dos veces por semana y la temperatura se mantiene a unos 55 grados centígrados.	Este sistema de pilas estáticas aireadas consiste en una rejilla de aireación o tubería de escape sobre la cual se colocan los residuos finos orgánicos procesados. La altura común de las pilas es de 2 a 2.5 m. Generalmente se coloca una capa de composta cribada sobre las filas recién formadas para controlar la insolación y los olores.	Esta fermentación está formada por un digestor cerrado. Este sistema puede sub - dividirse en dos categorías: flujo tipo pistón y dinámico (capa con agitación). En el primero, la proporción entre las partículas en la masa de fermentación permanece igual durante todo el proceso, y el sistema opera con base en el principio primeras entradas - primeras salidas. En el sistema dinámico se mezcla el material para fermentación de manera mecánica durante el proceso.
Olores	Probablemente se despidan olores desagradables	Generalmente se despiden olores penetrantes (al voltearlos)	Controlable	Menos que los de pilas estáticas y controlables
Período para descomposición	Tres a cinco años	Tres a cuatro semanas (fermentación) Tres a cuatro meses (maduración)	Tres a cuatro semanas (fermentación) Tres a cuatro meses (maduración)	Una a dos semanas (fermentación) Cuatro a doce semanas (maduración)
Espacio requerido	Muy grande	Grande	Grande	Pequeño
Costo de construcción	Muy barato	Barato	Mediano	Alto
Costo de O & M	Muy barato	Barato	Mediano	Alto

Fuente: Integrated Solid Waste Management, McGrawHill.

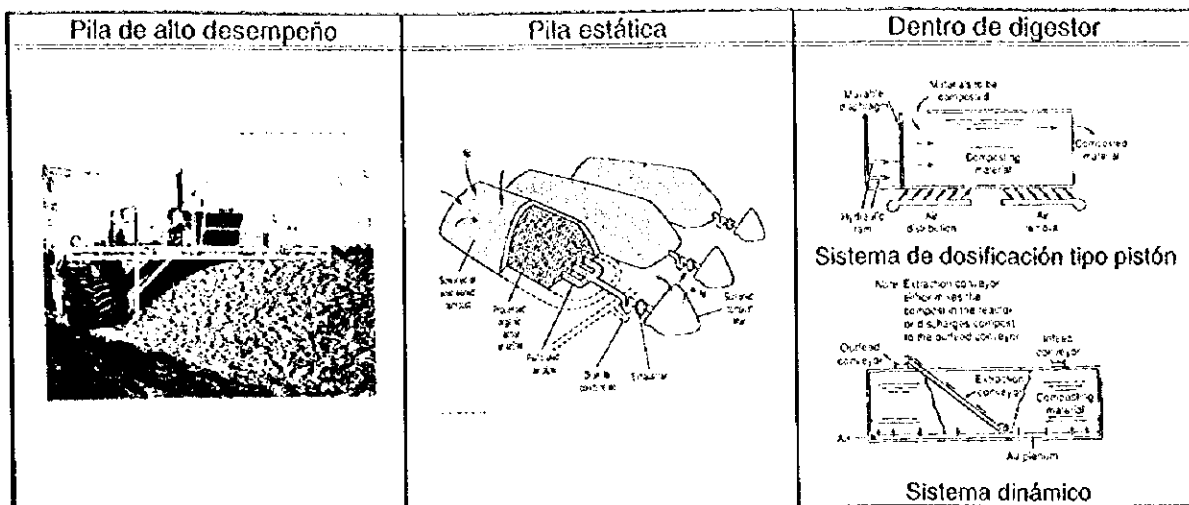


Figura 8-3: Sistemas Principales para Fermentación

### c. Diseño Conceptual y Estimación de Costos

#### c.1 Delineamiento

Se planea ubicar la planta de composta en el área triangular de aproximadamente 85 ha y delimitado por (ver Figura 8-6):

- un canal denominado Brazo Izquierdo del Río Churubusco y cercano al sitio de disposición final Bordo Poniente Etapa IV;
- la autopista México-Texcoco; y
- el Anillo Periférico.

Se determinó que la capacidad de tratamiento de la planta será de 1,250 ton/día, de acuerdo con los siguientes factores:

- 431,000 ton/año de residuos orgánicos que serán tratados para el año meta 2010; y
- 350 días/año como días laborales para la planta.

Por otro lado, se calcula que la producción de composta será de 166 ton/día, es decir, aproximadamente 58,000 ton/año.

Los procesos de la planta de compostaje comprenden principalmente los siguientes pasos (ver Figura 8-6):

- fermentación;
- maduración; y
- separación.

El tiempo del proceso, para propósitos del diseño preliminar, es de 28 días para la fermentación y 120 días para la maduración.

Las instalaciones auxiliares para la planta son las siguientes:

- báscula;
- lugar para recepción de los residuos;
- lugar para almacenamiento;
- taller de mantenimiento para maquinaria/equipo; y

- oficina y laboratorio.

## c.2 Definición de Términos para el Compostaje

- **Materia prima:** material que va a introducirse a la planta de compostaje, representado por los residuos orgánicos del subsistema para este proyecto.
- **Fermentación:** descomposición biológica controlada de los materiales orgánicos bajo condiciones aeróbicas. El producto resultante de este proceso se conoce como **composta fresca**.
- **Período de maduración:** tiempo durante el cual se descompone la materia prima. Se calcularon **28 días** para este diseño preliminar.
- **Volteo:** revolver la pila para mantener las condiciones aeróbicas dentro de la pila.
- **Maduración:** proceso para madurar la composta fresca. El producto resultante de este proceso es la **composta madura**.
- **Período de maduración:** tiempo de estabilización de la materia orgánica, es decir, **120 días**.
- **Separación:** proceso de eliminar los materiales no compostables voluminosos (como plásticos, vidrio, latas, metal, etc.) y los materiales que aún no se descomponen (como el papel). La composta madura pasa por el separador (la criba o trommel) para eliminar las partículas grandes, y posteriormente se recuperan materiales ferrosos por medio de un separador magnético.
- **Composta:** producto final obtenido de los procesos de fermentación, maduración y separación.

## c.3 Parámetro de Diseño de la Planta de Compostaje

### c.3.1 Principios de Diseño

- Se planea que la planta de composta inicie operaciones en el año 2002, cuando se alcance en el subsistema una recolección separada de alrededor de 60%, por lo que la capacidad requerida para compostaje en esas fechas será de 750 ton/día. Está calculado que esta recolección separada aumentará a 80% en el año 2003 y 100% en el año 2004.
- La instauración del proyecto comprende lo siguiente: la fase 1 (sitio para las pilas con una capacidad de 750 ton/día y un área para la maduración con capacidad de 240 ton/día en el año 2001); y la fase 2 y 3 en el año 2002 y 2003, respectivamente (cada sitio para las pilas con una capacidad de 250 ton/día y un lugar para la maduración con capacidad de 80 ton/día). Se planea que la capacidad total para compostaje será de 1,250 ton/día a partir del año 2004 y se mantenga hasta el 2010.
- Ya que no se puede poner en práctica el mejoramiento gradual de la instalación para la separación, ésta se construirá a 100% de su capacidad en el año 2001.
- Si se considera que el sitio para el proyecto se encuentra sobre un terreno suave muy compresible (en la región del antiguo lago de Texcoco), se tiene estipulado

que la maquinaria/equipo a incorporarse en las instalaciones sea tipo móvil, para que así se eviten los problemas de asentamiento del suelo durante la operación de la planta.

### c.3.2 Parámetros de Diseño Principales

El Cuadro 8-7 resume los parámetros de diseño basados en los factores de compostaje.

Cuadro 8-7: Parámetros de Diseño

<b>Sección de fermentación</b>		
Materia prima (residuos orgánicos)	Cantidad	431,000 ton/año
	Cont. a ser compostado	16.6 % peso - 26.6 % peso
	Contenido de humedad	68 % peso - 78 % peso
	Peso volumétrico	280 kg/m <sup>3</sup>
	C/N	20 - 27
Operación		350 días/año 20 horas/día
Capac. de tratamiento	Total	1,250 ton/día
	Año 2002	750 ton/día
	Año 2003	1,000 ton/día
	Año 2004 y adelante	1,250 ton/día
Pila		Trapezoide *1
	Ancho (Parte inferior)	5.0 m *1
	Ancho (Parte superior)	3.0 m *1
	Altura	1.5 m *1
	Área de Sección transversal	6.0 m <sup>2</sup> *1
Período de fermentación		28 días
Frecuencia de volteo		1 vez/5 - 6 días
Temperatura de pila		55°C
<b>Sección de maduración</b>		
Operación		350 días/año 20 horas/día
Capac. de tratamiento	Total composta fresca	400 ton/día (max.) *2
	Año 2002	240 ton/día
	Año 2003	320 ton/día
	Año 2004 y adelante	400 ton/día
	Contenido de humedad	45 %
	Peso volumétrico	600 kg/m <sup>3</sup>
Período de maduración		120 días
<b>Separación</b>		
Operación		350 días/año 16 horas/día
Capac. de tratamiento	Composta madura	300 ton/día (max.) *2
	Contenido de humedad	30 %
	Peso volumétrico	600 kg/ m <sup>3</sup>

\*1 : Estas cifras se refieren a la especificación de la máquina de volteo utilizada por la DGSU para la fermentación de residuos verdes (pasto, ramas podadas) de parques y jardines.

\*2 : Estas cifras se calculan a partir del \*1 con base en las condiciones proporcionadas en la sección c.5 "Balance de materiales".

### c.3.3 Cantidad y Calidad de la Composta

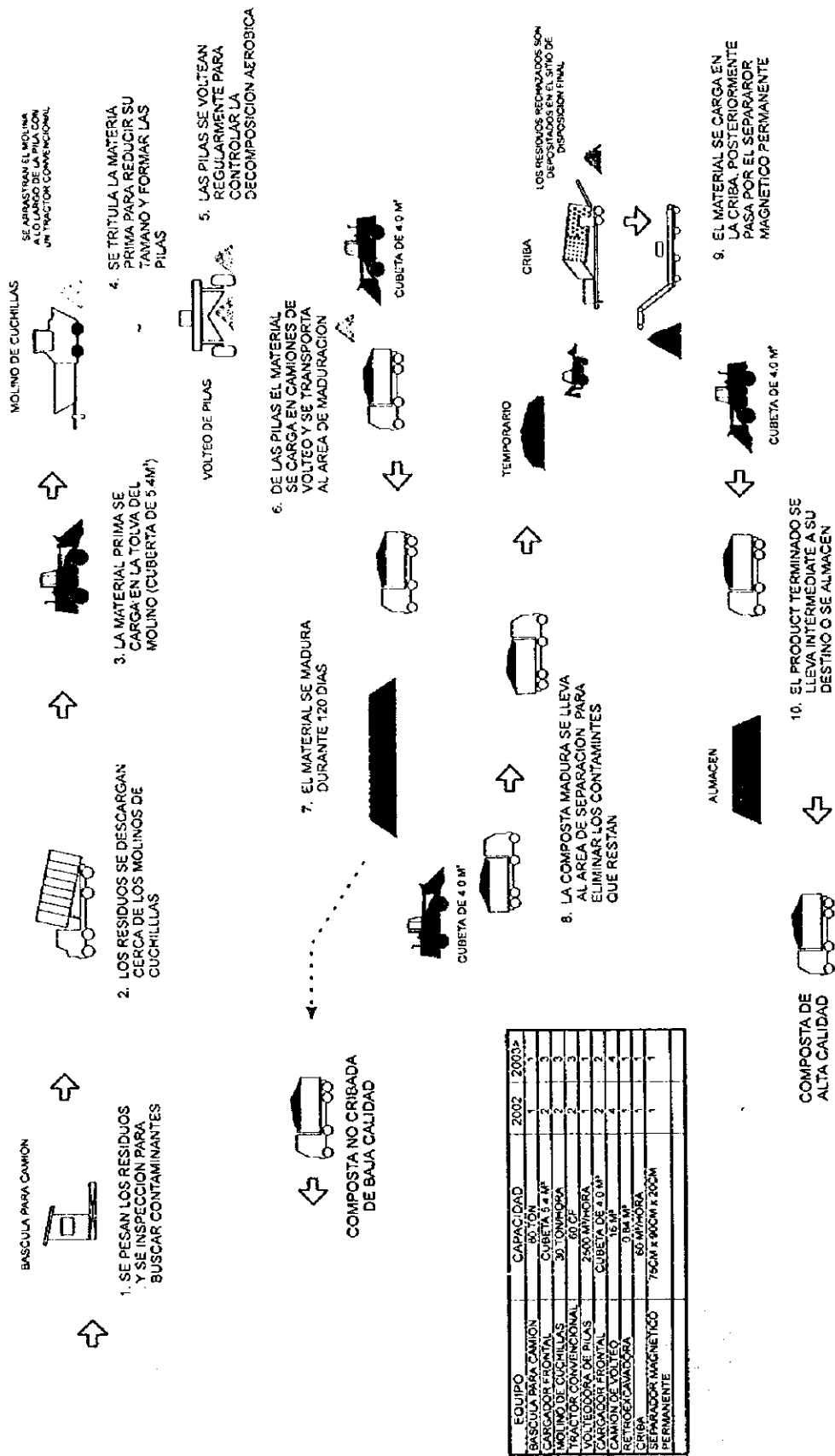
El Cuadro 8-8 muestra la calidad y cantidad de la composta enfocada para el diseño preliminar.

**Cuadro 8-8: Cantidad y Calidad de la Composta**

Cantidad		166 ton/día
		58,000 ton/año
Calidad	Contenido de Humedad	30 % peso
	Peso volumétrico	600 kg/m <sup>3</sup>
	Proporción C/N	< 15

**c.4 Flujo de Proceso de la Planta de Compostaje**

La Figura 8-4 muestra el flujo de la planta de compostaje.



EQUIPO	CAPACIDAD	2002	2003*
BASCULA PARA CAMION	80 TON	1	1
CARGADOR FRONTAL	CUBIERTA 5.4 M <sup>2</sup>	2	3
MOLINO DE CUCHILLAS	30.0 MW/300 HP	2	3
TRACTOR CONVENCIONAL	60 HP	2	3
VOLTEADORA DE PILAS	2500 MW/300 HP	2	2
CARGADOR FRONTAL	CUBIERTA DE 4.0 M <sup>2</sup>	2	2
CAMION DE VOLTEO	15 M <sup>3</sup>	4	4
RETROCARGADORA	3.0 M <sup>3</sup>	1	1
CRIBA	80 MW/300 HP	1	1
SEPARADOR MAGNETICO PERMANENTE	750W X 900W X 200M	1	1

Figura 8-4: Diagrama de Flujo de la Planta de Compostaje Propuesta

### c.5 Balance de Materiales

La Figura 8-5 muestra el balance de materiales en la planta de compostaje para el caso de un contenido de humedad de 73%.

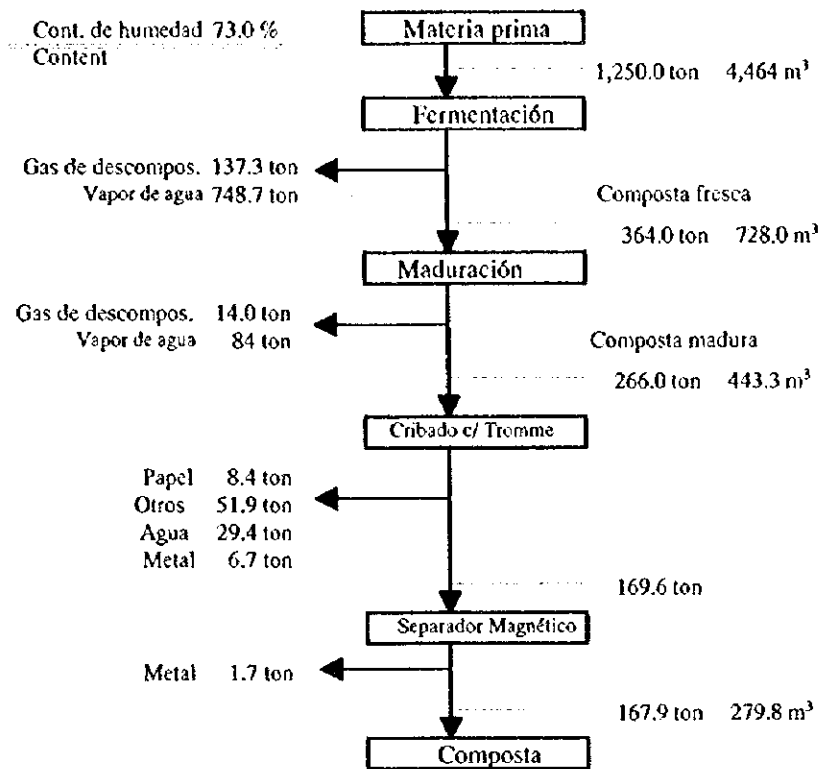


Figura 8-5: Balance de Materiales de la Planta de Compostaje

### c.6 Plano de la Planta de Compostaje

Se preparó la propuesta del plano de la planta de compostaje considerando los siguientes aspectos.

- Para evitar la influencia sobre las estructuras de los canales, la planta estará separada del margen del canal por lo menos 60 metros a partir del margen del brazo izquierdo de Río Churubusco.
- El área para fermentación de las pilas representa una porción muy grande del área total de la planta. Por lo tanto, el plano considera el trazado del dibujo para las pilas y en consecuencia las áreas para maduración y el sitio de separación, para tener un transporte eficiente dentro del sitio.
- El sitio propuesto para la planta de compostaje está ubicado cerca del sitio de disposición Bordo Poniente Etapa IV y la planta de selección. Para establecer rutas de transporte directas se hace necesario la construcción de puentes ya que ambos sitios (planta de compostaje y el sitio de disposición/planta de selección) se encuentran divididos por el Río Churubusco. Sin embargo, se estima que los costos para construcción de puentes son sumamente caros. Pero favorablemente, el sitio de la planta de compostaje está unido al Anillo Periférico, cuyo camino



puede ser utilizado para el transporte de residuos y composta sin realizar grandes gastos en construcción puentes.

- Para poder mitigar los olores y el ruido ocasionados principalmente al estar formando las pilas y volteándolas, se propone una zona de amortiguamiento de más de 100 metros entre las pilas y las vías principales más cercanas.
- Ya que algunas veces se presentan ventarrones en los alrededores, el plano incorpora una cortina arbórea que funcionará para mitigar el ruido generado y, además, mejorará la apariencia de la planta..

La Figura 8-6 ilustra el plano propuesto de la planta de compostaje, y la Figura 8-7 muestra el corte transversal de la misma.

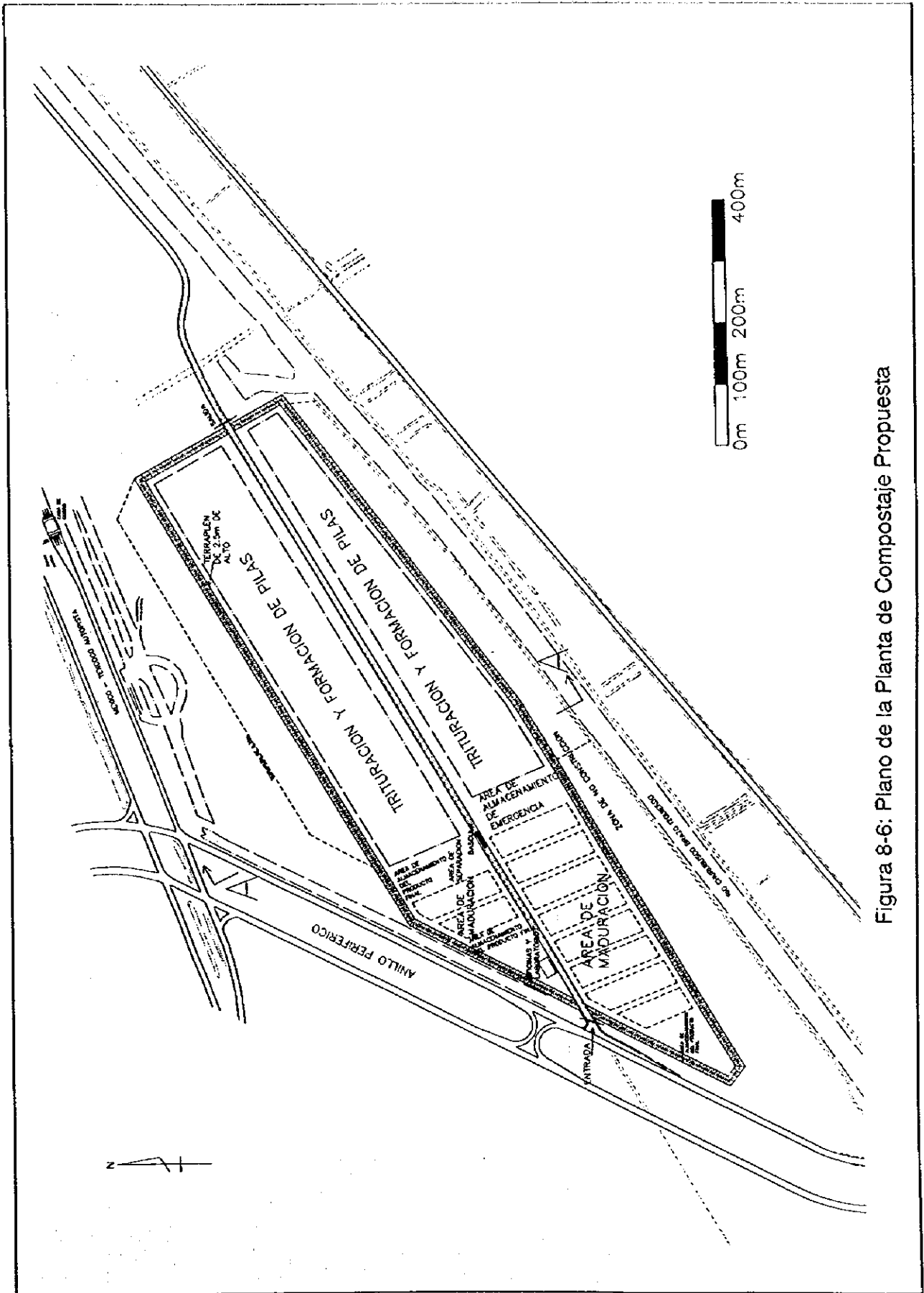


Figura 8-6: Plano de la Planta de Compostaje Propuesta

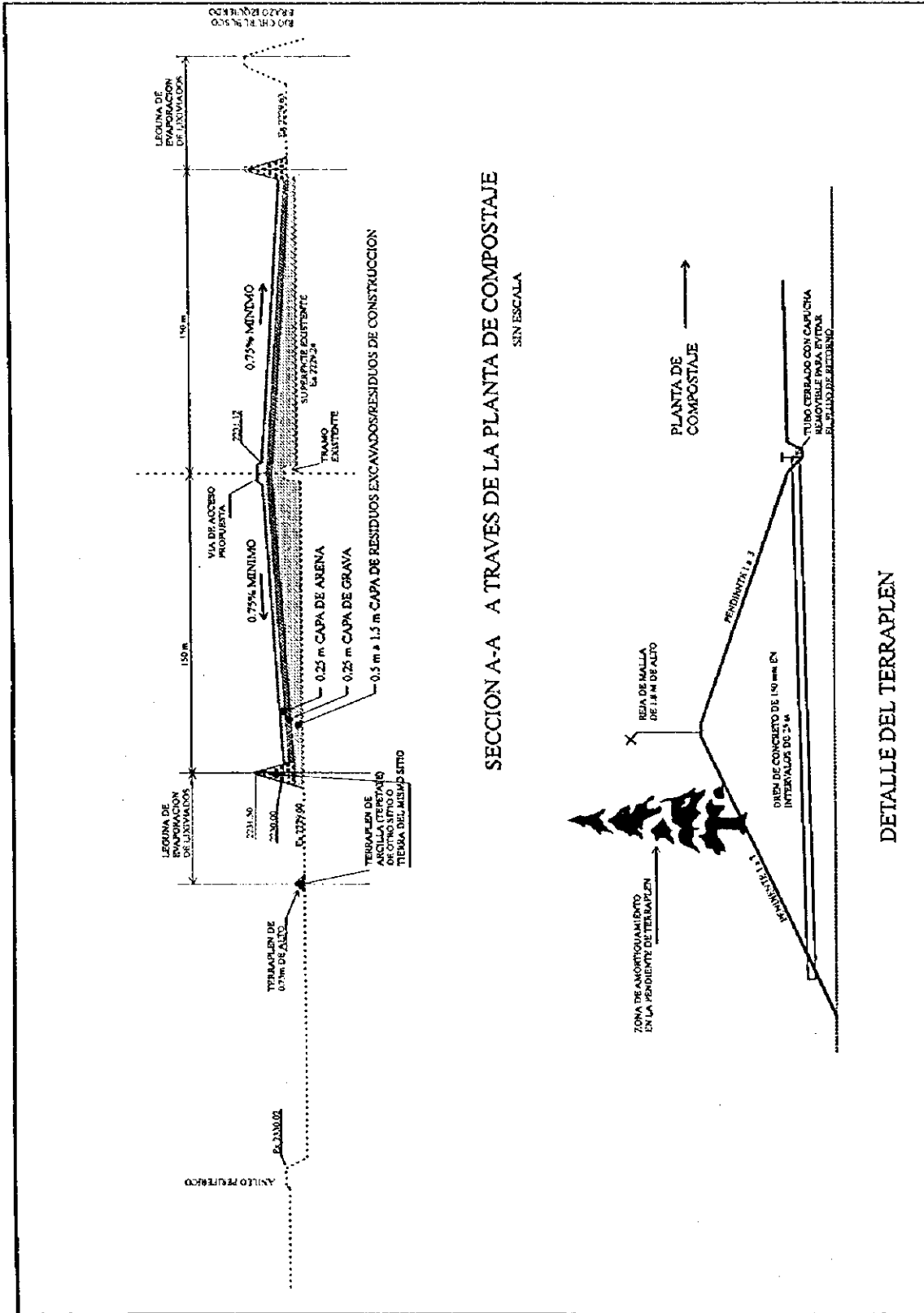


Figura 8-7: Corte Transversal A-A de la Planta de Compostaje Propuesta

### c.7 Calendario de Construcción

El Cuadro 8-9 muestra el calendario de construcción para la planta de compostaje.

Cuadro 8-9: Calendario de Construcción de la Planta de Compostaje

Año	2001	2002	2003	2004	2010
Capacidad requerida (ton/día)	---	750	1,000	1,250	1,250
Sección de fermentación (ton/día)	750	250	250	---	---
Sección de maduración (ton/día)	240	80	80	---	---
Sección de Separación (ton/día)	300	---	---	---	---

### c.8 Plan de Operación

El plan de operación propuesto es el siguiente.

#### c.8.1 Báscula para Camiones

Esta báscula pesa las cantidades de materia prima que entran, la composta producida que abandona el sitio, los materiales ferrosos recuperados y el rechazo.

#### c.8.2 Sección de Fermentación

- Un ingreso de residuos orgánicos de 1,250 ton/día da una longitud total para las pilas de 800 metros por día.

#### c.8.3 Sección de Maduración

Si se considera la cantidad de composta fresca que se va a manejar diariamente y la eficiencia esperada en el trabajo, se debe contar con dos áreas para maduración.

#### c.8.4 Sección de Separación

- Se debe introducir la composta madura que se descarga (con un cargador frontal compacto) de un camión de volteo a una tolva con una banda transportadora, la cual acarrea la composta madura a la criba o trommel. Debe haber personal para controlar la alimentación, dar mantenimiento y limpieza al área de separación.
- Después de la criba, la composta se transporta a un patio para almacenamiento por medio de una banda transportadora con un separador magnético, el cual extrae los metales ferrosos de la composta. Los fragmentos metálicos que se recuperan son almacenados en el patio.

### c.9 Calendario del Personal

El Cuadro 8-10 ilustra el calendario de la mano de obra para esta planta de fermentación. Este calendario se calculó a partir del volumen del material procesado y la capacidad de operación de la planta. Se planea conservar a toda la mano de obra para el año 2003, cuando aumente la capacidad de la planta a 80% de la capacidad total de diseño. Se estima que a partir del año 2003 en adelante trabajarán 93 personas en la planta propuesta. El laboratorio de San Juan de Aragón y/o otros realizarán los análisis biológicos, físicos y químicos de la composta para controlar el proceso y la calidad del producto.

Cuadro 8-10: Calendario del Personal

Puesto	2002				2003 -			
	Turno			Total	Turno			Total
	1	2	3		1	2	3	
<b>ADMINISTRACIÓN</b>								
Gerente del sitio	1	-	-	1	1	-	-	1
Finanzas y promoción del producto	1	-	-	1	1	-	-	1
Secretaria	2	-	-	2	2	-	-	2
Ayudante en general	1	-	-	1	1	-	-	1
Conductor	2	-	-	2	2	-	-	2
subtotal	7	0	0	7	7	0	0	7
<b>OPERACIÓN</b>								
Subdirector del proceso	1	-	-	1	1	-	-	1
Supervisor de triturado	1	1	1	3	1	1	1	3
Supervisor de volteo y maduración	1	-	-	1	1	-	-	1
Operadores del triturador	2	2	2	6	3	3	3	9
Operadores del cargador	4	4	2	10	5	5	3	13
Conductores del tractor	2	2	2	6	3	3	3	9
Oper. del cargador de menor tamaño	1	1	-	2	1	1	-	2
Operador de la máquina de volteo	1	-	-	1	1	-	-	1
Conductores de camiones de volteo	3	3	-	6	4	4	-	8
Inspectores de residuos	1	1	-	2	1	1	-	2
Controladores de tránsito	3	3	-	6	3	3	-	6
Obreros en general	9	6	2	17	10	7	3	20
Trabajador en báscula de camiones	1	1	-	2	1	1	-	2
Conductor del camión cisterna	1	-	-	1	1	-	-	1
Seguridad	2	2	2	6	2	2	2	6
subtotal	33	26	11	70	38	31	15	84
<b>MANTENIMIENTO</b>								
Mecánicos	1	1	-	2	1	1	-	2
subtotal	1	1	0	2	1	1	0	2
<b>Totales</b>	<b>41</b>	<b>27</b>	<b>11</b>	<b>79</b>	<b>46</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>93</b>

**c.10 Estimación de Costos**

El Cuadro 8-11 presenta la estimación preliminar de costo. Este cálculo está dividido en dos secciones; mejoras al sitio y equipo.

Cuadro 8-11: Estimación Preliminar del Costo de la Planta de Compostaje

Concepto	Detalles	Unidad	Costo unitario US\$	Cantidad	Costo US\$	Costo pesos P9.1=\$1
MEJORAS AL SITIO Terraplenos	Aplicación de capa de 1.0m de residuos de construcción	m <sup>2</sup>	1.04	370,000	385,000	3,504,000
	Grava para base, grosor = 0.25 m., A=33 ha	m <sup>3</sup>	4.2	91,000	382,000	3,476,000
	Aplicación de arena, grosor = 0.25, A=33	m <sup>3</sup>	5.35	94,000	503,000	4,577,000
	Apianado de superficie para drenaje	m <sup>2</sup>	0.23	330,000	76,000	692,000
Mejoras en general	Terraplenado, construcción de camino de salida, drenaje, enrejado, conexión de electricidad, alumbrado, mejoras a accesos, tanque de combustible, cisternas, construcciones portátiles				599,000	5,451,000
Total de mejoras al sitio					1,945,000	17,700,000
<b>EQUIPO</b>						
Báscula p/camión	80 ton + cimentaciones, etc.	Unidad	60,000	1	60,000	546,000
Cargador frontal (A)	Máquina con cucharón de 5.4m <sup>3</sup>	Unidad	125,400	3	376,000	3,422,000
Cargador frontal (B)	Máquina con cucharón de 5.4m <sup>3</sup>	Unidad	100,320	2	201,000	1,829,000
Cargador compacto	Retroexcavadora, cucharón de 2.36m/0.84m <sup>3</sup>	Unidad	34,320	1	34,000	309,000
Camión de volteo	16m <sup>3</sup> , 10 ton	Unidad	33,660	4	135,000	1,229,000
Tractor convencional	60 hp (total máquina)	Unidad	33,000	3	99,000	901,000
Camión cisterna	8,000 litros	Unidad	28,380	1	28,000	255,000
Molino de cuchillas	Cap. de 30 ton/hora, 175 hp	Unidad	99,000	3	297,000	2,703,000
Máquina de volteo	Cap. de 2,500 ton/hora	Unidad	180,000	1	180,000	1,638,000
Trommel o criba	Tamiz de 8mm y transportadoras	Unidad	201,600	1	202,000	1,838,000
Separador magnético	Imán permanente y marco p=600, ángulo = 25%	Unidad	7,200	2	14,000	127,000
Banda transp. (separación)	Capacidad de 2 ton	Unidad	15,000	3	45,000	410,000
Equipo p/recolección		Unidad	22,500	2	45,000	410,000
Total de equipo					1,716,000	15,617,000
Subtotal (1)					3,661,000	33,617,000
Varios 10%					367,000	3,332,000
Costos directos					4,028,000	36,649,000
Gastos generales 30%					1,209,000	10,995,000
Costo de const. total					5,237,000	47,644,000
Contingencias físicas 10%					524,000	4,764,000
IVA 15%					785,000	7,147,000
Costo total					6,546,000	59,555,000

Las mejoras al sitio se basan en la hipótesis que una vez que se decida que este sitio se utilizará para la planta de compostaje, se depositarán residuos de construcción para formar la plataforma sobre la que se ubicará la instalación.

Se propone que este material se compacte en capas de 0.5 m a 1.0 metros de grosor. Sobre ésta base inferior se colocará una capa de grava de 0.25 m de grosor, y sobre ésta una capa superficial de arena, también de 0.25 m. Se propone que haya un terraplén alrededor de la plataforma, elevándose 2.5 m por encima de la superficie existente. Este terraplén tiene un propósito doble: primero, proporcionará una barrera contra inundaciones que resulten del sobreflujo del Brazo Izquierdo de Río Churubusco. En segundo lugar, se formará una zona de amortiguamiento mediante la plantación de árboles en el terraplén. Esta zona reducirá el polvo, olor y ruidos provenientes del sitio. También mejorará el aspecto visual a los transeúntes.

Los costos unitarios para el abastecimiento y transporte de tierra y grava y otras obras civiles se basan en datos de la DGSU.

La mayor parte de los costos unitarios del equipo se obtuvieron de distribuidores locales. Algunos de los equipos seleccionados para el estudio de factibilidad no se distribuyen en México (como los molinos de cuchillas), por lo que se contactaron fabricantes en los EU.

El tipo de cambio utilizado para la estimación de costos en el diseño preliminar es de 9.1 pesos por dólar estadounidense<sup>1</sup>.

#### c.11 Costo del Proyecto Prioritario (Planta de Compostaje)

El Cuadro 8-13 muestra los costos del proyecto de compostaje de 1999 al 2010 de manera anual. Los dos casos de abajo aquí muestran la estimación de costos.

- Caso 1: Inversión y operación por parte de la DGSU
- Caso 2: Inversión por parte de la DGSU y contratar la operación

En el caso 1, la DGSU invierte en toda la construcción, proporciona todo el equipo y opera la planta de composta directamente, mientras que en el caso 2 la DGSU invierte en toda la construcción, proporciona algunos de los equipos y una empresa privada abastece el resto de equipo y opera la planta de compostaje mediante un contrato con la DGSU.

Cuadro 8-12: Abastecimiento de Equipo en el Caso 2

DGSU		Compañía privada	
Báscula para camión:	1	Cargador frontal (A):	3
Molino de cuchillas:	3	Cargador frontal (B):	2
Máquina de volteo de pilas:	1	Cargador compacto:	1
Trommel o criba:	1	Camión de volteo:	4
Separador magnético:	2	Tractor de granja:	3
Banda transportadora:	3	Camión cisterna:	1
		Equipo de recolección:	2

<sup>1</sup> Tipo de cambio basado en el promedio de tasas recientes.

Cuadro 8-13: Costo de Proyecto Prioritario (Planta de Compostaje)

unidad : US\$ 1.000

Caso	Año	Diseño Básico		Proyectos Piloto		Diseño Detallado + supervisión		Construcción		Equipo		O & M (contratado)		O & M (directo)		Renta del terreno		Total		
		Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local + foráneo
Caso 1	1999	50	-	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	2	60
	2000	-	-	8	2	164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	172	2	174
	2001	-	-	-	-	99	2,376	2,548	-	2,548	-	-	-	-	-	-	-	2,508	2,548	5,056
	2002	-	-	-	-	33	551	520	-	520	-	530	132	-	1,147	652	-	1,147	652	1,799
	2003	-	-	-	-	33	551	-	-	-	-	556	164	-	1,273	164	-	1,273	164	1,437
	2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	556	164	-	589	164	-	589	164	853
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	556	164	-	589	164	-	589	164	853
	2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	556	164	-	589	164	-	589	164	853
	2007	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	556	164	-	589	164	-	589	164	866
	2008	-	-	-	-	2	-	-	-	2,441	-	556	164	-	589	164	-	589	164	3,296
	2009	-	-	-	-	-	-	-	-	520	-	556	164	-	589	164	-	589	164	1,373
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	556	164	-	589	164	-	589	164	853	
Total	50	-	16	4	344	-	3,478	-	6,029	-	5,778	1,444	-	330	330	-	9,996	7,477	17,473	
	50	-	20	-	344	-	3,478	-	6,029	-	7,222	-	-	330	-	-	-	-	-	-
Caso 2	1999	50	-	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	2	60
	2000	-	-	8	2	164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	172	2	174
	2001	-	-	-	-	99	2,376	1,250	-	1,250	-	-	-	-	33	-	-	2,508	1,250	3,758
	2002	-	-	-	-	33	551	177	-	177	-	81	20	-	33	-	-	1,749	197	1,946
	2003	-	-	-	-	33	551	-	-	-	-	99	25	-	33	-	-	1,902	25	1,927
	2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	25	-	33	-	-	1,318	25	1,343
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	25	-	33	-	-	1,318	25	1,343
	2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	25	-	33	-	-	1,318	25	1,343
	2007	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	99	25	-	33	-	-	1,318	25	1,343
	2008	-	-	-	-	2	-	-	-	1,142	-	99	25	-	33	-	-	1,318	1,167	2,487
	2009	-	-	-	-	-	-	-	-	177	-	99	25	-	33	-	-	1,318	202	1,520
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	25	-	33	-	-	1,318	25	1,343	
Total	50	-	16	4	344	-	3,478	-	2,746	-	873	220	-	330	330	-	15,630	2,970	18,600	
	50	-	20	-	344	-	3,478	-	2,746	-	1,093	-	-	330	-	-	-	-	-	-



## 8.2.2 Sitios de Disposición Final

Varias alternativas fueron analizadas tomando en consideración que la vida útil remanente del relleno, que se utiliza actualmente (Etapa IV), es limitada. La contraparte mexicana estima que se completará la altura del relleno a 8 metros hasta febrero del año 2001. En virtud de esto, para poder ampliar y/o asegurar una disposición sustentable de los residuos, las alternativas que se analizaron son el reaprovechamiento de los rellenos, compostaje, plantas de incineración, construcción de un nuevo sitio para relleno, etc.

Finalmente, se eligieron a la expansión vertical del relleno existente (Etapa IV) y el desarrollo de un nuevo relleno (Etapa V) como dos de los tres proyectos prioritarios. En esta sección se evalúan las condiciones de diseño y las alternativas de los dos proyectos; además, se realizaron los diseños conceptuales y las estimaciones de costos para ambos.

### 8.2.2.1 Plan de Expansión Vertical de la Etapa IV

La Etapa IV es un relleno que se encuentra todavía en operación. Sin embargo, su vida útil es limitada, como se mencionó con anterioridad. La expansión vertical propone disponer residuos hasta una altura de 24 m., con el fin de extender su vida útil.

#### a. Análisis de las Condiciones de Diseño

Existen algunas restricciones importantes respecto a este plan de expansión vertical de la Etapa IV. Éstas son las siguientes:

- el acuerdo con la CNA;
- la NOM-083-ECOL-1996; y
- restricciones técnicas.

El acuerdo con la CNA, que restringe la altura del relleno a 8m, necesita modificarse para realizar este plan.

La NOM-083 es una de las Norma Oficiales Mexicanas que establecen los requerimientos que se aplican para desarrollar nuevos rellenos para los residuos sólidos municipales. La NOM-083-ECOL-1996 no se aplicaba todavía cuando se completó el diseño del relleno de la Etapa IV en 1992. Sin embargo, el diseño tomó en cuenta algunos criterios de regulación de la US EPA, tales como la distancia mínima a un aeropuerto. Dichos criterios al final fueron incluidos en los requisitos de la norma; de hecho, el relleno actualmente cumple con ellos, en general.

Otras restricciones que se presentan están relacionadas con requisitos técnicos acerca del diseño del relleno. Los principales requerimiento técnicos tienen que ver con la evaluación de:

- impactos físicos (asentamiento del subsuelo, etc.) ocasionados por la carga del relleno;
- mejoras para la disposición de lixiviados; y
- cantidad de disposición de residuos.

### a.1 Impactos Físicos derivados de la Expansión Vertical Propuesta

El área de Bordo Poniente se encuentra sobre una capa arcillosa altamente compresible de 60 metros de grosor del antiguo lago de Texcoco. La Etapa IV se localiza sobre dicho terreno. La carga de los residuos causa el asentamiento de los suelos debajo del relleno debido a las características de los mismos. En el plan de expansión vertical se prevé que si se continúa colocando residuos en ese relleno, el asentamiento del subsuelo será mayor. Considerando lo anterior, se anticipa que un mayor asentamiento del sub-suelo podría dañar el canal de drenaje (Canal de la Compañía) que corre a lo largo del relleno, el cual es uno de los mayores canales de drenaje del área; además, este asentamiento causaría un estiramiento de la geomembrana.

También se espera que la expansión vertical causará inestabilidad de los taludes.

En esta sección, se evalúan aspectos que tienen que ver con los impactos físicos de la expansión vertical; estos puntos se enumeran a continuación:

- Estudio Geológico;
- Influencia sobre el Canal (Canal de la Compañía);
- Influencia sobre la geomembrana; y
- Efecto en la estabilidad de los taludes del relleno

#### a.1.1 Estudio Geológico

##### i. Aspectos del Estudio

El estudio se llevó a cabo en Bordo Poniente Etapa IV. El Cuadro 8-14 muestra el número de perforaciones y aspectos del estudio.

Cuadro 8-14: Trabajos del Estudio del Suelo en Etapa IV

Aspectos	Contenidos del Estudio
Sondeo	2 pozos de sondeo (0 a 40m de profundidad, y 0 a 60m de profundidad)
Pruebas realizadas a los suelos	límite de fluidez, límite de plasticidad, peso unitario, consolidación, granulometría, contenido de agua, compresión tri - axial

##### ii. Resultados del Estudio

El Cuadro 8-15 muestra los niveles del agua subterránea, mientras que las características del suelo derivadas del estudio se resumen en el Cuadro 8-16.

Cuadro 8-15: Nivel del Agua Subterránea de la Etapa IV

Sitio	Código de la perforación	Nivel del agua subterr. (m.)
Etapa IV	SM-7	0.03
	SM-8	0.35

Cuadro 8-16: Resultados del Estudio de los Suelos en la Etapa IV

Ubicación	SM-7		SM-8		
	8.0-9.0m	15.0-16.0m	16.0-17.0m	32.0-33.0m	42.0-43.0m
Características					
Tipo de suelo (observación visual)	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla
Peso específico	2.48	2.632	2.52	2.54	2.54
Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	1.13	1.26	1.18	1.18	1.67
Proporción de vacíos	4.037	5.139	10.399	6.28	4.837
Grado de saturación (%)	102.996	97.7	102.1	100	98.6
Contenido de agua (%)	167.7	238	421.3	247.7	187.2
Límite de fluidez (%)	256	158.3	365.3	270	169.4
Límite de plasticidad (%)	126.7	35	175.9	94.7	76.8
Índice de plasticidad (%)	129.3	112.6	189.4	175.3	92.6
C tri-axial sin drenar (ton/m <sup>2</sup> )	0.3	0.2	1.4	0.9	1.1
Ángulo de fricción interno (grados)	2	9	4	0	11
Compresión simple (ton/m <sup>2</sup> )	0	2.3	2.03	1.73	8.4
Valor N	0	0	0	0	0
Consolidación (índice de compresión)	1.456	3.825	6.395	5.033	3.392

### iii. Hallazgos

El estrato superficial en Etapa IV está formado por un depósito lacustre arcilloso de más de 50m de grosor. Casi todos los valores N del estrato son cero. Existe una capa estable a partir de los 55 m., cuyo valor N es más de 50. El depósito lacustre presenta un contenido alto de agua que va de 160 a 420% y con un bajo peso unitario de aproximadamente 1.20 ton/m<sup>3</sup>. Por lo tanto, de los resultados del estudio de los suelos, se concluye que el depósito es esencialmente arcilla suave.

#### a.1.2 Influencia de la Expansión Vertical sobre el Canal

##### i. Condiciones para la Estimación de esta Influencia

Se emplearon los datos de las capas de suelo extraídas del pozo de perforación SM-8 para hacer el cálculo. Para los propósitos de la estimación, la capa lacustre se ha subdividido en 10 capas, como lo muestra el Cuadro 8-17. Además, se ha supuesto que la carga de residuos será aquella ejercida por residuos dispuestos hasta una altura de 24m.; y el peso unitario de estos residuos, después de su compactación inicial en el relleno, sería de 0.8 ton/m<sup>3</sup>. Además, se han estudiado dos casos, que dependen de la inclusión ó no de la fuerza ascensional que produce el agua subterránea. El Caso 1 ignora esta fuerza ascensional; mientras que el Caso 2 la toma en consideración.

Cuadro 8-17: Condiciones del Subsuelo

Capa	Grosor de la capa (m)	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )
1	1.0	1.80
2	5.5	1.13
3	1.0	1.80
4	8.5	1.26
5	5.0	1.18
6	5.0	1.18
7	6.0	1.18
8	10.0	1.18
9	2.0	1.67
10	10.0	1.18

Nota: Se asume que el nivel del agua tiene una profundidad de 0m, ya que el nivel de esta agua subterránea en el SM-7 fue de 0.03m y en el SM-8 de 0.35m.

## ii. Resultados de la Estimación

Los resultados se esquematizan en la Figura 8-8. El resultado del caso 1, sin considerar la fuerza ascensional, muestra que el asentamiento final de subsuelo (el máximo hipotético) es de 19.6 m en el centro del relleno, lo cual puede provocar un hundimiento de 8cm en el canal de drenaje que se encuentra a una distancia de 80 metros de dicho centro. Por otra parte, si se considera la fuerza ascensional, como en el caso 2 (el mínimo hipotético), el hundimiento es de 12.6m en el centro del relleno, lo que puede ocasionar un asentamiento de 4cm en el canal de drenaje a una distancia de 80 metros del mencionado centro.

## iii. Influencia sobre el Canal (Canal de la Compañía)

En resumen, el cálculo sólo muestra un asentamiento de 8cm del canal de drenaje, cuando ocurre el máximo asentamiento teórico que pueda ocasionar la expansión vertical. Por lo tanto, se puede afirmar que el plan de expansión vertical no causará un problema serio para la estructura del canal de drenaje.

### a.1.3 Influencia de la Expansión Vertical sobre la Geomembrana

La Figura 8-9 esquematiza el asentamiento del subsuelo. Tal y como lo muestra la Figura 8-9, la membrana debajo del talud de la primera capa de relleno, sufrirá el esfuerzo de tensión más pronunciado. Este esfuerzo se puede representar como alrededor de 3.0%, en términos de elongación. Sufriendo un estiramiento de 1.5% si se considera el caso unidimensional ( $32.47 \text{ m}/32 \text{ m}=1.015$ ) y de 3.0 % si se considera el estiramiento por área de membrana o sea el caso bidimensional ( $32.47^2/32^2=1.030$ ). Se estima que esta elongación puede ser asimilada por la geomembrana, de acuerdo con sus propiedades mecánicas.

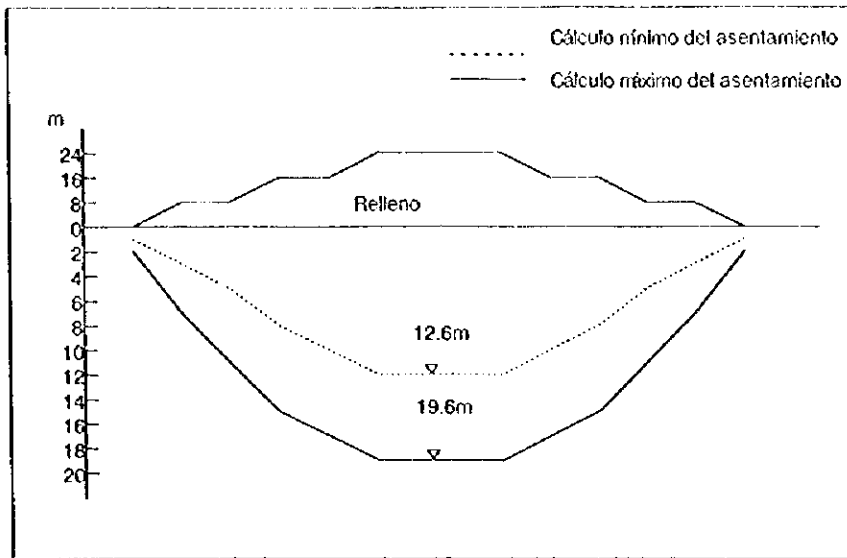


Figura 8-8: Asentamiento del Subsuelo

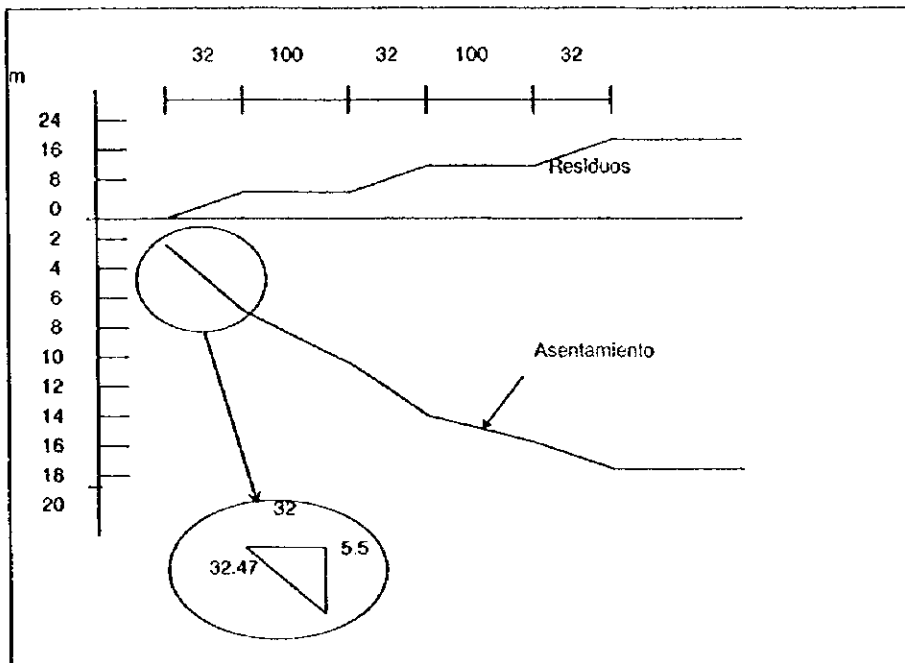


Figura 8-9: Asentamiento del Subsuelo y la Membrana

#### a.1.4 Influencia de la Expansión Vertical sobre la Estabilidad del Talud del Relleno

Los datos mostrados en el Cuadro 8-16 se emplean para evaluar la estabilidad del talud utilizando el método Bishop. El relleno existente tiene una pendiente de 1 a 4, y esta misma pendiente deberá ser utilizada para lograr la expansión de 8 a 16 m., y de 16 a 24 m. El menor factor de seguridad (0.948) se presenta para el talud formado entre los 0 a 8 m. Un factor de seguridad menor que 1.0 significa que, teóricamente, falla en la estabilidad del talud podría ocurrir; sin embargo, esto no ha ocurrido en la realidad. Por otra parte, para otros taludes formados entre 8 a 16 m. y 16 a 24 m., los factores de seguridad exceden 1.0, por lo tanto, la expansión vertical resulta viable desde la perspectiva de estabilidad de taludes.

Cuadro 8-18: Resultado de los Cálculos sobre la Estabilidad de Taludes (Etapa IV)

Talud	Altura del Relleno	Factor Mínimo de Seguridad	Coordenadas del Talud de Deslizamiento		Radio del Deslizamiento Giratorio (m)	Momento de Resistencia (ton-m)	Momento de Deslizamiento (ton-m)
			X	Y			
1	0 a 8m	0.948	10.00	15.00	30.13	2,001.15	2,111.67
2	8 a 16m	1.077	146.00	16.00	51.00	8,584.00	7,968.72
3	16 a 24m	1.313	280.00	25.00	60.00	11,634.95	11,149.46

#### a.2 Manejo de Lixiviados

##### i. Condiciones Actuales

Actualmente los lixiviados drenan algunas veces del talud inferior de las celdas al camino circundante. Se han excavado zanjas alrededor de las celdas para recolectar dichos lixiviados (es posible que estén diluidos con agua subterránea). Una parte de éstos son recolectados por camiones cisterna y transportados a una laguna de evaporación, localizada al este de Etapa III. Se evalúa que el manejo actual de lixiviados en la Etapa IV es insignificante, considerando la cantidad estimada de generación de lixiviados. Esta cantidad resulta ser ineficiente e inefectiva en virtud de la gran posibilidad de dilución con el agua subterránea y la capacidad limitada de la laguna de evaporación.

##### ii. Cálculo Existente sobre la Generación de Lixiviados

El cálculo existente sobre la generación de lixiviados<sup>2</sup> en el relleno indica que alcanzaría 61 mm/año, si se sigue el proceso de rellenado actual. Sin embargo, es muy probable que los lixiviados producidos sean mucho mayores que la cifra sugerida anteriormente, aunque no se ha realizado una investigación cuantitativa en este sentido. Pero, vale la pena mencionar, que otro cálculo en el mismo informe muestra que se producirán 182 mm/año de lixiviados.

La diferencia entre ambos cálculos se atribuye a los datos de precipitación utilizados y la forma de calcular. El primer cálculo utilizó una cifra de precipitación de 347 mm/año en Bordo Poniente y para un solo año. Por otro lado, el segundo cálculo

<sup>2</sup> Geo Ingenier Internacional, *Operación de las celdas de evaporación y experimentación ubicadas en las Etapas III y IV de Bordo Poniente, 1997*

utilizó los datos de precipitación de 617 mm/año del aeropuerto cercano al área de relleno, y la duración fue de 5 años.

Cuadro 8-19: Cálculo Existente sobre la Generación de Lixiviados

Estación	Precipitación (mm/año)	Lixiviados generados (mm/año)
Bordo Poniente	347	61
Aeropuerto	617	182

### iii. Estimación de la Cantidad de Generación de Lixiviados

La estimación de la cantidad de lixiviados generados, que ocurre bajo las condiciones actuales, fue realizada utilizando datos de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Benito Juárez. Los resultados muestran que 101 mm/año de precipitación se infiltrará en el suelo; subsecuentemente, el contenido de agua de los residuos y suelos, bajo la cubierta de suelo aplicada, alcanzarán su capacidad de campo en 3 años. Finalmente, 101 mm/año de lixiviados se producirán en el fondo del relleno a partir del 4<sup>to</sup> año (ver la Figura 8-10). Detalles de las estimaciones se describen en el Anexo H.

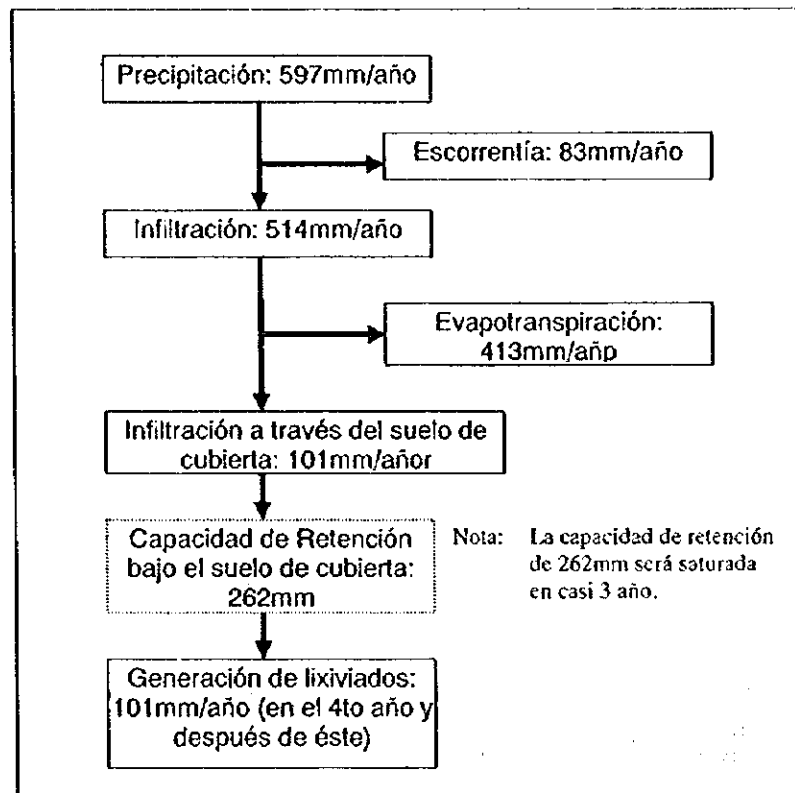


Figura 8-10: Generación de Lixiviados

### a.3 Cantidad de Disposición de Residuos

De acuerdo con el Plan Maestro, los rellenos de la Etapa IV y V deben contar con la capacidad suficiente para asegurar una disposición final para los residuos del año 2001 al 2010. La proyección de la cantidad de residuos que será dispuesta durante el período de 10 años se muestra en el Cuadro 8-20.

Cuadro 8-20: Cantidad de Disposición de Residuos del año 2001 al 2010

Año	Disposición de Residuos					
	Total		Etapa IV		Etapa V	
	1000t ton	1000 m <sup>3</sup>	1000 ton	1000 m <sup>3</sup>	1000 ton	1000 m <sup>3</sup>
2001	3,876	4,845	3,876	4,845		
2002	3,609	4,511			3,609	4,511
2003	3,493	4,366			3,493	4,366
2004	3,385	4,231			3,385	4,231
2005	3,373	4,216	3,373	4,216		
2006	3,358	4,198	3,358	4,198		
2007	3,340	4,175			3,340	4,175
2008	3,321	4,151			3,321	4,151
2009	3,300	4,125	3,300	4,125		
2010	3,278	4,098	3,278	4,098		
Total	34,333	42,916	17,185	21,482	17,148	21,434

Nota: la densidad volumétrica de los residuos en el relleno está calculada en 800kg/m<sup>3</sup>.

### b. Análisis de las Alternativas Técnicas

Las causas principales para el impacto severo sobre el medio ambiente en el desarrollo de un relleno son los lixiviados y el biogas. Por estas razones, las medidas de atenuación en contra de éstas vuelven a la construcción, mantenimiento, operación e incluso cierre de los rellenos, algo costoso. Por lo tanto, los aspectos técnicos de mitigación son considerados con mucho detenimiento; estos aspectos técnicos pueden ser la membrana para el fondo del relleno, la cubierta intermedia, la cubierta final, drenaje en la superficie, recolección y disposición de lixiviados, disposición de biogas, etc. Aunque no se pueden modificar algunas situaciones porque la Etapa IV es un relleno ya existente, los aspectos presentados en el Cuadro 8-21, son evaluados desde la perspectiva técnica, ambiental y de costos.

Cuadro 8-21: Aspectos a Analizarse como Alternativas Técnicas

Lixiviado/gas	Propósito	Aspectos a analizarse
Lixiviado	Cómo reducir la cantidad generada de lixiviados	Durante la operación - cubierta intermedia Después del cierre - cubierta final
	Cómo deshacerse del lixiviado	- Aspersado - Recirculación - Laguna de evaporación - Planta de tratamiento
Biogas	Cómo deshacerse del biogas	- Control pasivo - Control activo



### **b.1 Cubierta Intermedia**

Para rellenar la Etapa IV, la cubierta diaria de tierra funcionará como una cubierta intermedia de tierra que se coloca a una altura de 8m. La tierra para cubierta intermedia es costosa (cerca de 20 pesos/m<sup>3</sup>) y no está disponible en el área de relleno. Por lo tanto, la colocación de una cubierta intermedia afecta considerablemente los costos de operación; en consecuencia, se han analizado dos aspectos para reducir los costos: i) grosor del suelo de cobertura y ii) utilización de composta a partir de la planta de "compostaje". Finalmente, se recomienda un grosor de 30 cm. del suelo de cobertura que es similar al utilizado en la actualidad (ver Anexo II).

### **b.2 Cubierta Final**

Se debe utilizar la cubierta final cuando se cierren los rellenos, para atenuar la influencia nociva de los rellenos sobre sus alrededores. Los principales propósitos de la cubierta final son i) mitigar la generación de lixiviados, ii) controlar la emisión de gases y iii) mejorar el paisaje. Tomando en consideración los propósitos anteriores, se recomienda un grosor de 50 cm. para la cubierta final (ver Anexo H).

### **b.3 Disposición de Lixiviados**

Las condiciones actuales del relleno requieren de un sistema apropiado para disposición de lixiviados. Algunas alternativas que se analizan en esta sección son las siguientes:

- aspersado sobre el relleno
- recirculación dentro del relleno,
- laguna de evaporación y
- tratamiento de lixiviados.

En primer lugar, se debe notar que los lixiviados no pueden extraerse del relleno por medio de gravedad, debido a lo parejo del área y el asentamiento del suelo. Por lo tanto, todas las alternativas necesitan bombas para sacar el lixiviado del relleno.

Los pozos para extracción de lixiviados deben construirse no cerca de la periferia sino dentro del relleno, ya que la parte interna es más profunda por el asentamiento y el lixiviado se concentrará en la parte interna. Debido a esta característica del relleno, la recirculación, la laguna de evaporación y el tratamiento de lixiviados requieren un mayor número de instalaciones que el método de aspersado. Por lo tanto, el método de aspersado resulta más barato; y además, utiliza las ventajas climáticas (escasa precipitación y gran evaporación) para la disposición de lixiviados, como lo muestra el Cuadro 8-22. En consecuencia, el método de aspersado es recomendable para la disposición de lixiviados.

Cuadro 8-22: Comparación de las Alternativas para Disposición de Lixiviados

Alternativas	Instalación necesaria	Ventajas	Desventajas
Aspersado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bombas</li> <li>- pozos</li> <li>- boquillas (para aspersado)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- menor costo</li> <li>- uso más eficiente de la evaporación (el lixiviado está más en contacto con el aire)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- olor desagradable sobre la superficie del relleno</li> </ul>
Recirculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bombas</li> <li>- pozos</li> <li>- tubería (a los pozos de extracción de biogas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- el segundo menor costo (tubos para conectar los pozos de extracción de biogas, se requieren como equipo adicional a los requeridos en el método de aspersado)</li> <li>- atenuación de la calidad de lixiviados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- precauciones para el control del biogas (éste tiende a ser mayor en los sistemas de recirculación de lixiviados)</li> <li>- no eficiente para reducir la cantidad de lixiviados</li> <li>- tal vez requiere mayor tratamiento de lixiviados</li> </ul>
Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bombas</li> <li>- pozos</li> <li>- tubería (a una laguna de evaporación)</li> <li>- laguna de evaporación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- operación simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- requiere un área grande</li> <li>- olor desagradable en la laguna de evaporación</li> <li>- se necesita la disposición de los lodos</li> </ul>
Tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bombas</li> <li>- pozos</li> <li>- tubería (a las instalaciones de tratamiento)</li> <li>- instalaciones para tratamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- se puede controlar la calidad del agua de descarga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- inversión muy grande y costos de operación altos</li> <li>- necesita un alto grado de técnica para la construcción, operación y mantenimiento</li> </ul>

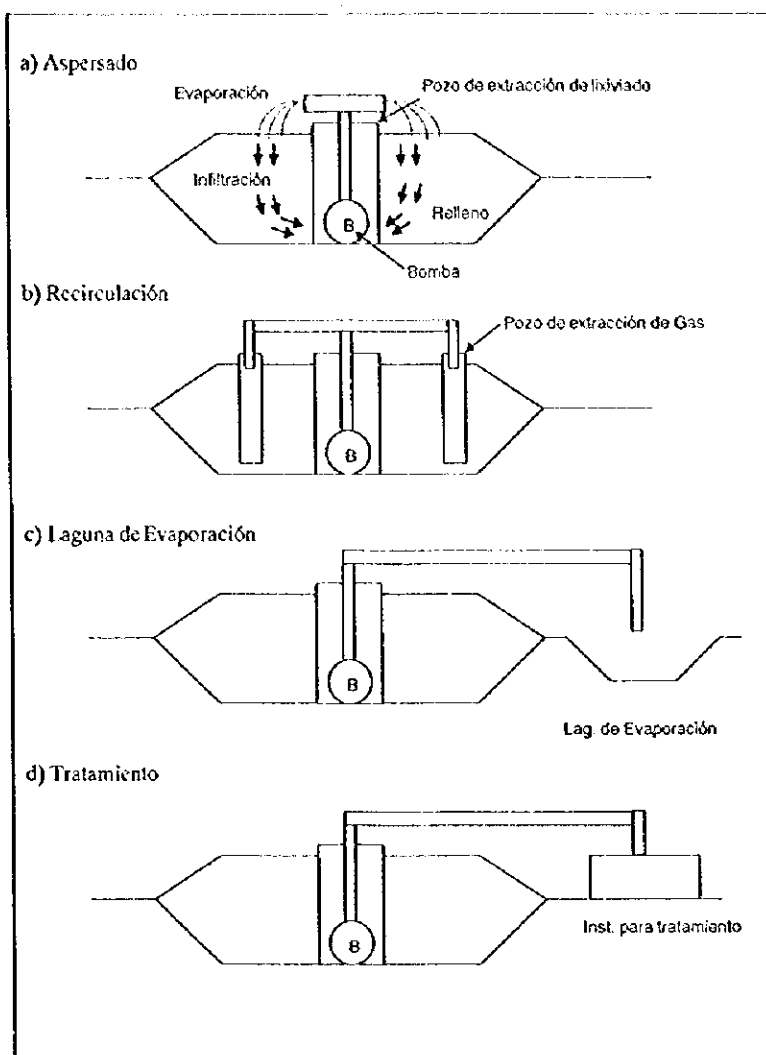


Figura 8-11: Alternativas para Disposición de Lixiviados

#### b.4 Disposición del Biogas

El biogas se genera por la descomposición del material biodegradable. Está compuesto de diversos elementos y sus gases principales son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que se producen por la descomposición anaeróbica.

Existen dos clases de control para el biogas: el pasivo y el activo. El control pasivo utiliza la presión del biogas generado en el relleno para extraerlo por medio de válvulas de gas. Por otro lado, el control activo usa energía para sacarlo. Por lo tanto, el control activo es generalmente más costoso que el pasivo. Cuando es preferible la recuperación del gas para energía o las circunstancias requieren un estricto control del biogas, se puede optar por el control activo.

Tal y como se mencionó anteriormente, el método de aspersado es la manera recomendada para la disposición de lixiviados. Este sistema no propicia tanto la generación de biogas como el método de recirculación. Además, no existen áreas residenciales ni comerciales alrededor del relleno como es el caso del relleno de Prado de la Montaña que está equipado con instalaciones modernas para extracción de biogas. Por lo tanto se recomienda el control pasivo para el relleno Etapa IV.

### c. Diseño Conceptual y Estimaciones de Costos

Esquema del diseño conceptual para el Plan de Expansión Vertical se presenta en el Cuadro 8-23.

Cuadro 8-23: Esquema del Diseño Conceptual para el Plan de Expansión Vertical

Aspectos	Instalaciones
Capacidad del Relleno	25,849,000m <sup>3</sup> (20,679,000ton) se encuentran disponibles para la disposición de residuos.
Acceso	a 0 m. de elevación camino externo: 8,285m (existente) camino interno: 26,675m (existente) a 8 m. de elevación camino externo: 7,075m camino interno: 19,623m a 16 m. de elevación camino externo: 5,160m camino interno: 6,453m
Manejo de Lixiviados	Pozos para extracción de lixiviados tubería de concreto de 600mm de diámetro: 24 unidades Bomba para la extracción de lixiviados: 24 unidades Tubería para recolección de lixiviados a 0m de elevación: 26,675m a 8m de elevación: 26,708m a 16m de elevación: 11,613m
Manejo de gas generado en el relleno	Pozos para la extracción de gases tubería de concreto de 600mm de diámetro: 198 unidades Tubería para la extracción de gases - PVC200 a 8m de elevación: 141 unidades a 16m de elevación: 102 unidades
Manejo de Aguas Superficiales	Diaria/cubierta intermedia de suelo: 30cm (Composta también está disponible.)
Monitoreo	Puntos a monitorearse: -asentamiento del relleno -calidad del lixiviado -calidad del gas extraído
Diseño Estético	Reja móvil Cubierta intermedia diaria de suelo: 30cm ("Composta" también está disponible)
Clausura y post-clausura	Cubierta final del suelo: 60cm Crear área verde por medio de la siembra de pasto
Equipo para el Relleno	Bulldozer (de 300hp): 4 unidades Camiones cisternas (de 15,000litros): 2 unidades Excavadora (85hp class): 2 unidades

#### c.1 Parámetros Claves para Diseño

Los parámetros claves para el diseño fueron establecidos de la manera siguiente:

- Densidad del residuo después de compactar el relleno: 800 kg./m<sup>3</sup>
- Cronograma de operación del relleno: 24 hrs./día  
365 días/año
- Vida útil de los camiones y equipo pesado: 7 años
- Vida útil de los edificios y las obras civiles: 30 años

- Tasa de cambio: 1.0 USD=9.1 pesos
- Cubierta diaria de tierra (intermedia): 30 cm
- Elevación final del relleno: 24 m

### c.2 Capacidad del Relleno

La capacidad de la expansión vertical que va de los 8 a los 24 m. es de 26,926,000 m<sup>3</sup>. De esta capacidad disponible, 25,849,000 m<sup>3</sup> serán ocupados por residuos y 1,077,000 m<sup>3</sup> serán ocupados por suelos (ver Anexo H).

Todo el residuo dispuesto en el los años 2001, 2005 y 2006, y parte de los residuos en el 2009 serán colocados en el nivel que va de 8 a 16 metros. El resto de los residuos dispuestos en el 2009 y todos los del 2010 serán dispuestos en el nivel que va de 16 a 24 m. La capacidad remanente de el relleno después de año 2010 será de 4,368,000 m<sup>3</sup>, lo que representa 3,494,000 toneladas de residuos (ver Cuadro 8-24).

Se debe recalcar que para los cálculos sobre la capacidad del relleno, no se ha tomado en consideración el asentamiento del subsuelo y los residuos.

Cuadro 8-24: Cantidad de Residuo Dispuesta en la Etapa IV

Unidad: 1,000m<sup>3</sup>

Elevación	Capacidad del Relleno	Cantidad de Residuo Dispuesta					Total	Capacidad remanente
		2001	2005	2006	2009	2010		
8-16m	16,447	4,845	4,216	4,198	3,188		16,447	0
16-24m	9,402				937	4,098	5,035	4,367
Total	25,849	4,845	4,216	4,198	4,125	4,098	21,482	4,367

### c.3 Acceso

Caminos internos y externos a 8 m y 16 m de elevación serán construidos con el fin de asegurar la accesibilidad al sitio. Los caminos externos serán utilizados para monitorear y proveer mantenimiento una vez que se haya completado la colocación de los residuos. Las dimensiones de los caminos se muestran a continuación:

- ancho de rodamiento: 9.0 m.
- ancho de acotamiento: 0.5 m. a ambos lados
- pavimentación: roca volcánica o su equivalente

### c.4 Manejo de los Lixiviados

La cubierta diaria (intermedia), ya sea suelo nativo ó "composta", debe ser colocada apropiadamente para minimizar la infiltración debido a la precipitación. La parte superior del relleno deberá tener una inclinación adecuada para mejorar las condiciones de escurrimiento.

El lixiviado generado en el relleno deberá ser aspersado por medio de bombas sumergibles colocadas en pozos construidos para extracción de lixiviados. Las bombas son necesarias para extraer lixiviado debido a la naturaleza del sitio (terreno plano y asentamiento del subsuelo). Además, al aspersar el lixiviado, se está tomando ventaja de las características climáticas de la zona (baja precipitación y alta evaporación).

Durante la operación, se prevé que 101 mm/año de lixiviado serán generados. Lo anterior resultará en un total de 331,000 m<sup>3</sup>/año de lixiviado generado. Esta cantidad de lixiviados sería extraído utilizando 24 bombas sumergibles. El lixiviado presentaría características ácidas durante cierta etapa de la descomposición de los residuos y contendría una gran cantidad de sólidos en suspensión. Por lo tanto, se estima que ese tipo de lixiviados reducirá la vida útil de las bombas. Se supone que la vida útil de las bombas será de dos años; aunque ésta dependerá de la cantidad y calidad reales del lixiviado.

#### **c.5 Manejo del Gas Generados en el Relleno**

Para el manejo del gas generado en el relleno, se propone emplear un sistema pasivo. Una dispersión sin control de los gases en la superficie del relleno pretende ser minimizada por medio de la instalación de una tubería para remoción de gases. Tubos PVC de 200 mm de diámetro serán instalados a lo largo de los caminos perimetrales y externos; por otra parte, tubería de concreto de 600 mm de diámetro será instalada en las partes internas del relleno. Tubería de concreto también será utilizada para los pozos de extracción de lixiviados.

#### **c.6 Manejo de la Escorrentía Superficial**

Como se mencionó anteriormente, la parte superior del relleno deberá ser construida con cierta pendiente para inducir un apropiado escurrimiento. Se recomienda una pendiente de 2%.

#### **c.7 Monitoreo**

La calidad del lixiviado y de los gases generados ha sido monitoreada hasta la fecha y esta tarea deberá continuarse. A continuación se presentan recomendaciones sobre la manera actual de monitoreo:

- la muestra para el análisis de calidad de lixiviados deberá tomarse de un pozo de extracción de lixiviados que deberá instalarse; y
- la manera de tomar muestras de gas generado por el relleno debe ser mejorada con el fin de no mezclar el gas con aire en el exterior del relleno.

Además, el monitoreo de la elevación del relleno deberá ser realizada con el propósito de:

- conocer las condiciones de la descomposición de los residuos; y
- conocer el avance del asentamiento, tanto de los residuos como del sub-suelo.

#### **c.8 Consideraciones Estéticas**

Con el fin de prevenir que los residuos livianos sean transportados por el viento, se recomienda el uso de rejas móviles cerca del área de operación. Una adecuada cobertura diaria (intermedia) debe ser realizada con el fin de controlar la presencia de aves, animales y vectores, así como prevenir que los residuos sean esparcidos por el viento.

#### **c.9 Medidas de Clausura y Post-clausura**

Una cobertura final de 60 cm. será empleada cuando haya finalizado la operación del relleno. Los propósitos principales de la cubierta final son i) reducir la generación

de lixiviados, ii) prevenir una difusión sin control de los gases generados por el relleno, y iii) mejorar apariencia externa.

La creación de un área verde en la superficie del relleno debe ser efectiva con el propósito de mejorar la evapotranspiración sobre la superficie, y esto conllevaría a la reducción de la generación de lixiviados. Además, tendría un efecto positivo sobre la apariencia del lugar.

### c.10 Equipo del Relleno

El equipo recomendado para el relleno sanitario comprende lo siguiente:

- cuatro (4) bulldozers (de 300 hp) para esparcir y compactar tanto los residuos como el material de cubierta;
- dos (2) camiones cisterna (con capacidad de 15,000 litros) para controlar el polvo; y
- dos (2) excavadoras (de 85 hp) para darle mantenimiento a los caminos y los taludes del relleno.

Los bulldozers deben ser equipados apropiadamente para las tareas de rellenamiento, por ejemplo, cuchilla para esparcir residuos, medidas para prevenir que el radiador no se obstruya con residuos, etc. El número de bulldozers fue calculado de la siguiente manera:

#### i. Productividad de los Bulldozers (de 300 hp)

Tiempo probable de un ciclo (Cm)

Movimiento frontal: 20 m/60m/min	= 0.33 min
Reversa: 20 m/80m/min	= 0.25 min
Otros (carga y cambio de los engranes)	= 0.32 min
<b>Tiempo Total del Ciclo</b>	<b>= 0.90 min</b>

Desempeño

$$Qh = \frac{60 \times q \times f \times E}{Cm}$$

Qh: Desempeño por hora	(m <sup>3</sup> /h)
q: Capacidad de la cuchilla	(8 m <sup>3</sup> )
f: factor de conversión del residuo	1.0
E: Eficiencia de operación	0.6

Por lo tanto, el Qh es de 320 m<sup>3</sup>/h.

#### ii. Numero Requerido de Bulldozers

Peso de los residuos dispuestos por día:	:10,000 ton/día
Volumen de los residuos dispuestos por día: (con una proporción volumétrica de 0.8 para los residuos)	:10,000/0.8 = 12,500 m <sup>3</sup> /día
Horas de operación de un bulldozer	:10 horas
Volumen del residuo dispuesto por hora:	:12,500/10 = 1,250 m <sup>3</sup> /día

Numero requerido de bulldozers: :1,250/320 = 3.91, lo que implica  
4 unidades

### c.11 Operación

El relleno Etapa IV ha estado operando de manera satisfactoria, por ejemplo, se le ha colocado una geomembrana, se le provee de cobertura diaria de suelo (intermedia), se registra la cantidad dispuesta por medio del uso de básculas. A lo único que se le debe de prestar mayor atención es al método de disposición de los lixiviados y al plan de relleno para los diferentes niveles. El método recomendado para la disposición de lixiviados es propuesto en la sección sobre el Manejo de lixiviados; mientras que la metodología sobre apilamiento de los residuos es descrita en la próxima sección denominada Secuencia de la Expansión Vertical.

### c.12 Secuencia de la Expansión Vertical de BP-IV

Actualmente el lixiviado está escurriendo de la parte inferior del talud de la celda y hacia el camino adyacente. Esto causa en la actualidad problemas de operación y a corto plazo se deteriorará el camino, especialmente cuando llueva.

Para poder implementar la "Expansión Vertical de BP-IV" se deben llevar a cabo los siguientes componentes en una secuencia apropiada:

- a. Impermeabilización de los caminos (nivel de 0.0 metros)
  - b. Instalar la parte horizontal del sistema de recolección de lixiviados (nivel de 0.0 metros)
  - c. Construcción de una rampa (nivel de 0.0 metros a 8.0 metros)
  - d. Construcción de caminos (a un nivel de 8.0 metros)
  - e. Construcción de una tubería vertical (para la recolección/bombeo de lixiviados, eliminación del biogas)
  - f. Rellenado de los valles en los caminos (de un nivel de 0.0 metros a 8.0 metros)
  - g. Bombeo y aspersado (y/o represado) de lixiviados a un nivel de 8.0 metros
- 
- h. Relleno (de 8.0 metro a 16.0 metros)
  - b'. Proporcionar un sistema de recolección de lixiviados horizontal (en caminos a una altura nivel de 8.0 metros)
  - c'. Construcción de un camino de acceso (de un nivel de 8.0 metros a 16.0 metros)
  - d'. Construcción de caminos (a un nivel de 16.0 metros)
  - e'. Expansión de la tubería vertical (de 8.0 metros a 16.0 metros)
  - f'. Rellenado de los valles en los caminos (de un nivel de 8.0 metros a 16.0 metros)
  - g'. Bombeo y aspersado (y/o represado) de lixiviados a un nivel de 16.0 metros
- 
- h'. Relleno (de 16.0 metros a 24.0 metros)
  - b". Proporcionar un sistema de recolección de lixiviados horizontal (en caminos a una altura nivel de 16.0 metros)
  - c". Construcción de un camino de acceso (de un nivel de 16.0 metros a 24.0 metros)
  - d". Construcción de caminos (a un nivel de 24.0 metros)
  - e". Expansión de la tubería vertical (de 16.0 metros a 24.0 metros)
  - f". Rellenado de los valles en los caminos (de un nivel de 16.0 metros a 24.0 metros)
  - g". Bombeo y aspersado (y/o represado) de lixiviados a un nivel de 24.0 metros



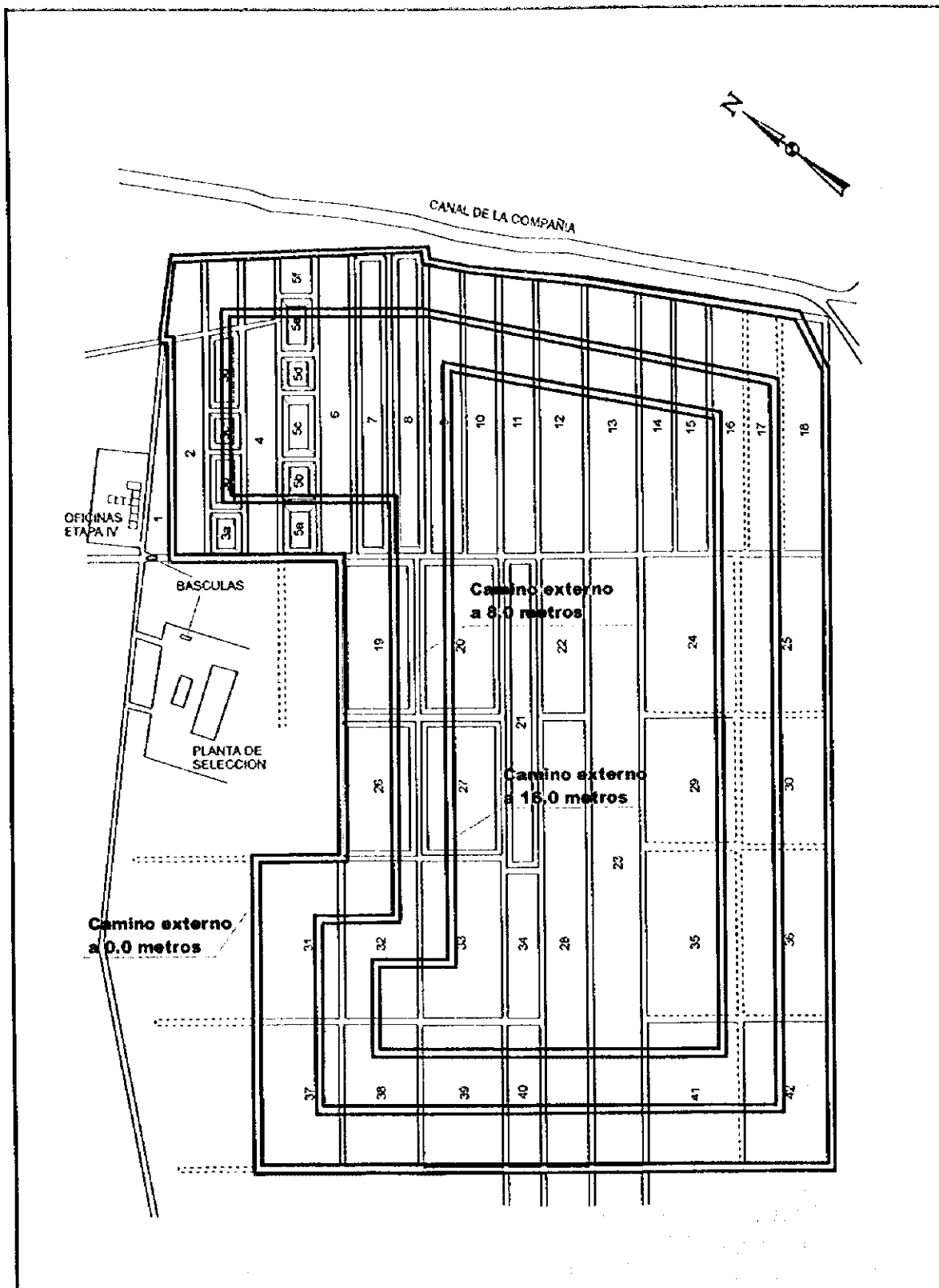


Figura 8-12:  
Camino Externos en el Primer,  
Segundo, y Tercer Nivel

Escala 1 : 150,000

KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.

Cuadro 8-25: Cronograma Constructivo Conceptual para el Rellenado de los Valles

Valle No.*	c			d																																								
	a	b	e	f	a	b	e	f	a	b	e	f	a	b	e	f	a	b	e	f	a	b	e	f	a	b	e	f																
Extensión Sur																																												
1	19-20	a	b	e	f																																							
2	20-21		a	b	e	f																																						
3	21-22			a	b	e	f																																					
4	22-23				a	b	e	f																																				
5	20-27					a	b	e	f																																			
6	27-21						a	b	e	f																																		
7	21-28							a	b	e	f																																	
8	22-28								a	b	e	f																																
9	28-23									a	b	e	f																															
10	21-34										a	b	e	f																														
11	20-10											a	b	e	f																													
12	21-11												a	b	e	f																												
13	22-12													a	b	e	f																											
14	11-12														a	b	e	f																										
15	12-13															a	b	e	f																									
16	23-13																a	b	e	f																								
Extensión Este																																												
17	19-6							a	b	e	f																																	
18	19-7								a	b	e	f																																
19	19-8									a	b	e	f																															
20	20-8										a	b	e	f																														
21	20-9											a	b	e	f																													
22	7-6												a	b	e	f																												
23	7-8													a	b	e	f																											
24	6-5														a	b	e	f																										
25	8-9															a	b	e	f																									
26	5-5																a	b	e	f																								
27	9-10																	a	b	e	f																							
28	5-4																		a	b	e	f																						
29	10-11																			a	b	e	f																					
30	4-3																				a	b	e	f																				
31	3-3																					a	b	e	f																			
32	3-2																							a	b	e	f																	
Extensión Oeste																																												
33	19-26																					a	b	e	f																			
34	26-27																						a	b	e	f																		
35	26-32																						a	b	e	f																		
36	27-33																							a	b	e	f																	
37	32-31																							a	b	e	f																	
38	32-33																							a	b	e	f																	
39	33-34																								a	b	e	f																
40	34-28																									a	b	e	f															
41	32-38																									a	b	e	f															
42	33-39																										a	b	e	f														
43	34-40																											a	b	e	f													
44	31-37																												a	b	e	f												
45	38-37																													a	b	e	f											
46	38-39																														a	b	e	f										
47	39-40																															a	b	e	f									
48	40-28																																a	b	e	f								

Nota: \*El número de valle, por ejemplo el 19-20, representa el valle entre la celda No. 19 y la celda No. 20.

### c.13 Estimación de Costos

Dos casos son examinados para la operación del relleno. Estos son los siguientes:

- Caso 1: Inversión y Operación por parte de la DGSU; y
- Caso 2: Inversión y contratación de servicios por parte de la DGSU.

Teniendo en cuenta que el estimado de los costos se torna diferente para los dos casos, los cálculos se realizaron para ambos por separado.

La diferencia entre los dos casos radica en si la operación del relleno es realizada directamente por la DGSU ó por compañía(s) privada(s) bajo la supervisión de la DGSU. La principal diferencia se ve reflejada en el desembolso para la obtención del equipo del relleno. En otras palabras, el desembolso para el equipo en el Caso 1 presenta picos para los años 2000 y el año 2007, que se deben a la obtención del equipo. Sin embargo, esos picos no se observan para el Caso 2 debido a que el equipo será obtenido por la(s) compañías privada(s).

El Cuadro 8-26 y el Cuadro 8-27 resumen los costos para el Plan de Expansión Vertical. Los costos estimados para el Caso 1 fueron de 28,677,000 USD, mientras que para el Caso 2 fueron de 29,860,000 USD.

**Cuadro 8-26: Resumen de los Costos para el Plan de Expansión Vertical  
(Caso 1)**

Unidad: 1,000 USD

Año	D/B	D/D	Con.(I)	Con.(Rec.)	Equip.	O&M	Alq. Terr.	Total
1999	33							33
2000		298	7,902		2,777			10,977
2001				2,164		728	425	3,317
2002						111	425	536
2003						21	425	446
2004						111	425	536
2005				1,883		728	425	3,036
2006				1,874		818	425	3,117
2007						21	425	446
2008						111	425	536
2009				1,773		728	425	2,926
2010				1,528		818	425	2,771
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>298</b>	<b>7,902</b>	<b>9,222</b>	<b>2,777</b>	<b>4,195</b>	<b>4,250</b>	<b>28,677</b>

- D/B: Diseño básico para construcción y equipo  
D/D: Diseño detallado para la construcción y equipo. La cantidad incluye también los costos de supervisión.  
Con.(I): Inversión inicial para la construcción  
Con.(Rec.): Inversión recurrente para la construcción  
Equip.: Equipo para el relleno  
O&M: Operación y mantenimiento  
Alq. Terr.: Precio por el alquiler del terreno

Cuadro 8-27: Resumen de los Costos para el Plan de Expansión Vertical  
(Caso 2)

Unidad: 1,000 USD

Año	D/B	D/D	Con.(i)	Con. (Rec)	Equip.	O&M	Alq. Terr.	Total
1999	33							33
2000		298	7,902					8,200
2001				2,164	901	619	425	4,109
2002						111	425	536
2003						21	425	446
2004						111	425	536
2005				1,883	901	619	425	3,828
2006				1,874	901	709	425	3,909
2007						21	425	446
2008						111	425	536
2009				1,773	901	619	425	3,718
2010				1,528	901	709	425	3,563
Total	33	298	7,902	9,222	4,505	3,650	4,250	29,860

D/B: Diseño básico para construcción y equipo  
D/D: Diseño detallado para la construcción. La cantidad incluye también los costos de supervisión.  
Con.(i): Inversión inicial para la construcción  
Con.(Rec): Inversión recurrente para la construcción  
Equip.: Equipo para el relleno  
O&M: Operación y mantenimiento  
Alq. Terr.: Precio por el alquiler del terreno

### 8.2.2.2 Desarrollo de un Nuevo Relleno (Etapa V)

La capacidad de la expansión vertical de la Etapa IV no es suficiente para recibir los residuos a ser dispuestos hasta el año 2010. Por lo tanto, es crucial el desarrollo de un nuevo terreno para continuar con la disposición de residuos dentro del área de estudio. Después de que la contraparte mexicana especificó un sitio candidato para el relleno, se llevaron a cabo investigaciones del suelo, aéreas y ambientales durante el 2do. trabajo de estudio en México; estos estudios son necesarios para la planeación del relleno. En esta sección se van a discutir los siguientes aspectos.

- análisis de las condiciones de diseño
- análisis de las alternativas técnicas
- diseño conceptual y estimación de costos

#### a. Análisis de las Condiciones de Diseño

Tal y como se mencionó anteriormente existe la norma NOM-083-ECOL-1996, la cual establece los requisitos que aplican para el desarrollo de rellenos para los residuos sólidos municipales. El desarrollo del relleno en la Etapa V debe seguir esta norma.

En esta sección se analizan esencialmente las condiciones de diseño de acuerdo con la norma. Además, se presentan otras condiciones tales como la ubicación y área del mismo.

#### a.1 Ubicación y Área

El sitio para la Etapa V se localiza en el área del antiguo lago de Texcoco, así como de la Etapa IV, ésta última a 6km al sudoeste del primero. El sitio tiene un área de 256

ha y sus coordenadas son 19°29'N (latitud 19 grados 29 minutos al norte) y 98°58'W (longitud 98 grados 58 minutos al oeste). El área habitada más cercana se encuentra a 2.2km del límite oeste del sitio. El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se encuentra a 10 km. al sudoeste del sitio. La ubicación del sitio se muestra en la Figura 8-13.

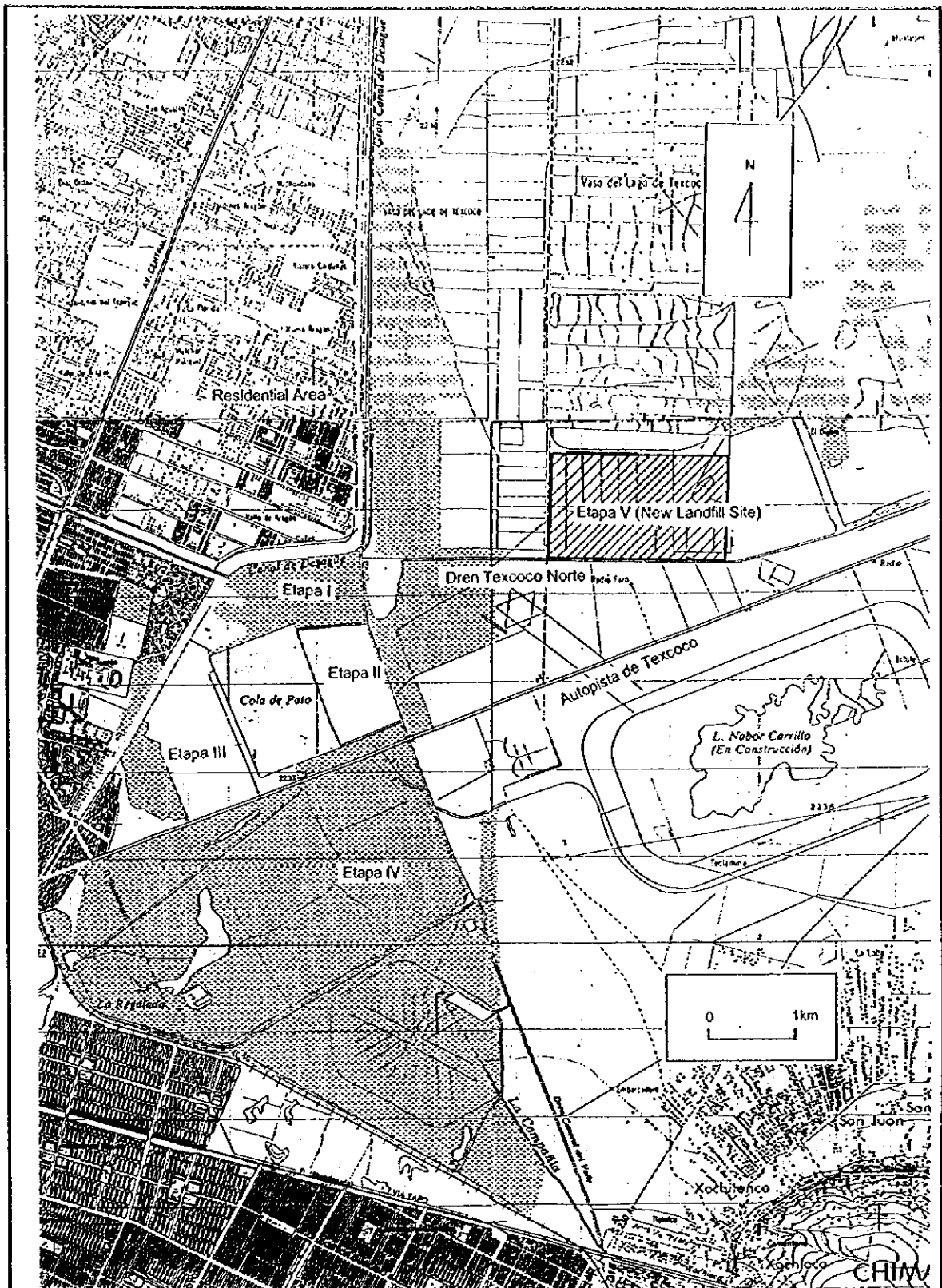


Figura 8-13:

Ubicación de Nuevo Sitio  
(Etapa V)

KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.

a.2 NOM-083-ECOL-1996

En esta sección se muestran las condiciones del sitio de acuerdo con los requerimientos establecidos en la NOM-083-ECOL, analizando las medidas preventivas necesarias para las condiciones del sitio y cumplir con tales requisitos (Ver Cuadro 8-28).

Cuadro 8-28: Aspectos de la NOM-083-ECOL

Puntos establecidos en la norma	Condiciones del sitio	Necesidad de medidas preventivas	Evaluaciones/ medida preventiva
<b>Aspectos generales</b>			
Se debe asegurar una distancia mínima de 3,000m de un aeropuerto en donde operen aviones de turbina	La distancia al aeropuerto es más cercano es de aproximadamente 10km.	No necesarias.	Medidas preventivas son innecesarias.
Se debe asegurar una distancia mínima de 1,500m de un aeropuerto en donde operen aviones con motor de pistones	La distancia al aeropuerto más cercano es de aproximadamente 10km.	No necesarias.	Medidas preventivas son innecesarias.
Se debe respetar el derecho de vía de caminos, vías de tren y caminos primarios y secundarios.	La autopista a Texcoco pasa a cerca de 1.0km al sur del sitio. Se utilizará para el transporte de los residuos.	Necesarias.	La vuelta en U debe ser ampliado para evitar influencia negativa cuando camiones recolectores entren y salgan del camino de acceso.
Los sitios no deben localizarse en áreas naturales protegidas.	El sitio no es un área protegida en la actualidad.	No es necesaria.	Medidas preventivas son innecesarias.
Se debe respetar el derecho de vía de las obras públicas federales, tales como la tuberías de petróleo y gas, torres de energía eléctrica, ductos de agua, etc.	Existe una tubería de gas instalada en la parte sud-oeste del sitio. Sin embargo, se encuentra en las afueras del mismo.	No es necesario.	El mapa (Figura 8-14) muestra la ubicación de la tubería instalada.
Se debe asegurar una distancia mínima de 1,500m a partir de uno de los bordes de un área habitacional.	El área habitacional más cercana está a 2.2km de la frontera oeste del sitio.	No es necesario.	Medidas preventivas son innecesarias.
<b>Aspectos hidrológicos</b>			
El sitio debe estar fuera de un terreno inundable con períodos de retorno de 100 años.	El sitio no está localizado en dicho terreno.	No es necesaria.	Medidas preventivas son innecesarias.
El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se localizará en pantanos, ciénagas o similares.	El nivel del agua subterránea se encuentra a 0.7m de la superficie y el agua es salada. Empero, el sitio no es un pantano/ciénaga.	No es necesaria.	Medidas preventivas son innecesarias.
Se debe asegurar una distancia mínima de 1,000m de los cuerpos acuíferos superficiales con períodos de retorno de precipitación de 10 años.	El sitio está cerca del 'Dren Texcoco Norte', que es un drenaje de aguas residuales municipales. De manera tal que éste no constituye un cuerpo de agua superficial.	No es necesario.	Medidas preventivas son innecesarias.
<b>Aspectos Geológicos</b>			
El sitio debe localizarse a una distancia mínima de 60 metros de fallas activas.	Ninguna falla se observa en el sitio ni a 60 m. del lugar.	No es necesaria.	Medidas preventivas son innecesarias.
El sitio debe localizarse fuera de áreas con taludes inestables en donde puedan ocurrir movimientos de tierra.	El sub-suelo está formado por arcillas altamente compresibles de igual manera que en la Etapa IV.	Necesaria.	El talud debe tener suficiente inclinación para evitar fallas.

Puntos establecidos en la norma	Condiciones del sitio	Necesidad de medidas preventivas	Evaluaciones/ medida preventiva
Se deben evitar las zonas en las que puede haber un asentamiento severo que pueda ocasionar fracturas en la tierra y aumentar el riesgo de contaminación del acuífero.		Necesaria.	Debe ser instalada geomembrana para evitar contaminación del acuífero.
<b>Aspectos Hidrogeológicos</b>			
La tasa de infiltración a un acuífero debe ser menor de $3 \times 10^{-10}$ seg <sup>-1</sup> .	El nivel del agua subterránea está a 0.7m bajo la superficie, pero no puede utilizarse como agua potable debido a su alta salinidad.	Necesaria.	Debe ser instalada geomembrana para prevenir infiltración de lixiviados en los alrededores.
La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, irrigación y agropecuario que todavía operen o abandonados debe ser de 500m.	Existen aproximadamente 30 pozos que fueron utilizados para obtener sal en el sitio.	Necesario.	Se necesita remover el ademe del pozo y sellarlo apropiadamente.

### a.3 Acceso

Ya que los camiones para el transporte de residuos (vehículos de 70m<sup>3</sup>) necesitan usar una parte de la Autopista México Texcoco para llegar al sitio, es probable que se necesite algún acuerdo con la autoridad a cargo de la autopista. Desde el punto de vista técnico, la vuelta en U debe ser ampliada lo suficiente para que los camiones transiten sin dificultad, de manera tal que no tenga un impacto negativo en el tráfico.

Los camiones para el transporte de los residuos vendrán de la autopista de Texcoco. Existen dos caminos que conectan al sitio con la autopista. Uno corre a lo largo del lado oeste del sitio, cuya longitud desde el sitio a la autopista es de aproximadamente 1.5km. El otro acceso corre a lo largo del lado este, con una distancia hacia la autopista de cerca de 0.6km. Ambos accesos no tienen el ancho suficiente de 4m para los camiones de transporte de residuos. Por lo tanto se necesitarán trabajos de ampliación de cualquiera de las dos vías que sea escogida como camino de acceso al sitio.

Existen algunos edificios de la CNA a la entrada del primer acceso, y corre un gasoducto al sudoeste del sitio (ver Figura 8-14). Por otro lado, sólo existe un acceso y una caseta de vigilancia. En consecuencia, se recomienda utilizar el segundo acceso - de la autopista al sitio - para evitar la influencia adversa sobre los edificios y el oleoducto de la primer vía y reducir los costos para la construcción del camino de acceso.



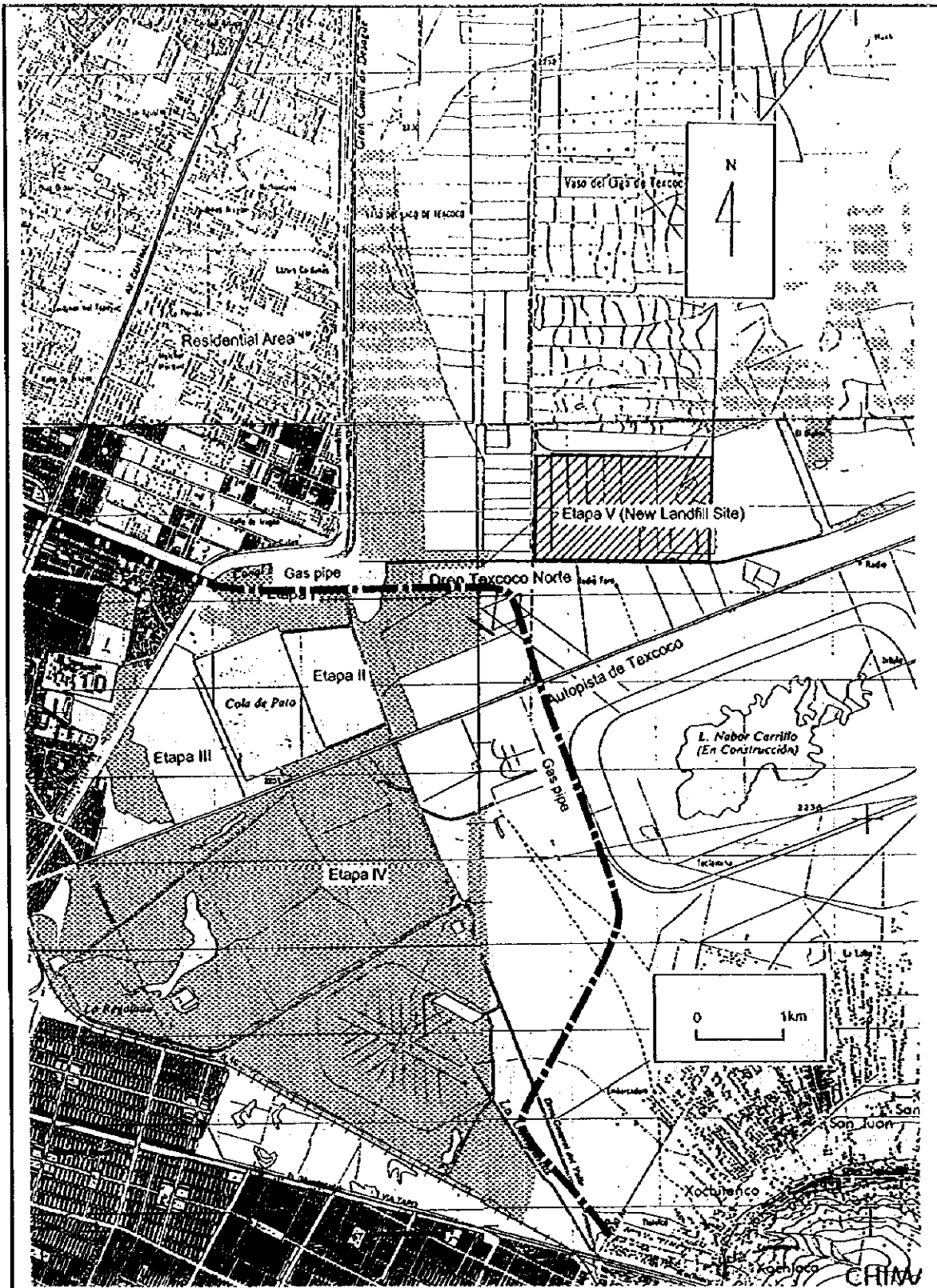


Figura 8-14:

Ubicación del Gasoducto

KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.

#### a.4 Impacto Físico del Desarrollo del Relleno Sanitario Propuesto

Al igual que el sitio de relleno Etapa IV, el sitio candidato para nuevo relleno sanitario se encuentra localizado sobre una capa de arcilla altamente compresible en el área del ex-Lago Texcoco. Por lo tanto, la influencia del relleno sobre el canal que cruza el sitio, sobre la estabilidad del talud, y sobre la geomembrana son examinadas con base al estudio geológico que se realizó durante el 2<sup>do</sup> período de estudio en México.

##### a.4.1 Estudio Geológico

###### i. Objetivos del Estudio

Los objetivos del estudio geológico fueron adquirir datos sobre los suelos, con el fin de examinar la factibilidad técnica del sitio de relleno propuesto.

###### ii. Aspectos del Estudio

El estudio fue realizado en el Bordo Poniente Etapa V. El número de sondeos y aspectos del estudio son mostrados en el Cuadro 8-29.

Cuadro 8-29: Cantidad de Trabajo Efectuada en el Estudio de Suelo en la Etapa V

Aspectos del Estudio	Contenido del Estudio
Sondeo	de 0 a 40 m de profundidad: 4 sondeos de 0 a 60 m de profundidad: 1 sondeo
Pruebas realizadas a los suelos	limite de fluidez, limite de plasticidad, peso unitario, consolidación, granulometría, contenido de agua, compresión triaxial.

###### iii Resultados del Estudio

Los niveles del agua subterránea son mostrados Cuadro 8-8-30 y las características del suelo obtenidas del estudio son resumidas en el Cuadro 8-31.

Cuadro 8-8-30: Nivel del Agua Subterránea en la Etapa V

Sitio	Código del sondeo	Nivel del agua subterránea (m)
Etapa IV	SM-1	0.35
	SM-4	2.30
	SM-5	0.80

Cuadro 8-31: Resultado del Estudio de los Suelos para la Etapa V

Ubicación	SM-1		SM-2		SM-3		SM-4		SM-5			
	36.1-36.7m	39.7-40.3m	6.0-7.0m	33.3-34.3m	4.8-5.8m	12-12.6m	3.0-3.9m	18.9-19.5m	12.0-12.9m	18.6-19.2m	24.0-24.6m	55.0-55.6m
Características	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	silty arcilla
Tipo de suelo (observación visual)	2.85	2.99	2.82	2.77	2.85	2.82	2.99	2.86	2.86	2.91	2.94	2.96
Peso específico	1.29	1.30	1.16	1.24	1.47	1.31	1.14	1.14	1.20	1.20	1.25	1.32
Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	4.58	6.20	12.30	8.40	2.51	4.90	14.20	9.95	6.70	5.97	6.21	4.10
Relación de vacíos	95.0	103.0	103.0	106.0	83.4	99.8	100.0	97.0	99.0	97.0	98.0	92.0
Grado de Saturación (%)	152.0	136.0	447.1	321.7	83.4	173.7	398.0	302.0	281.0	147.0	193.0	129.0
Contenido de agua (%)	140.7	158.8	354.0	244.8	108.8	259.0	443.0	356.0	320.0	148.0	202.0	134.0
Límite de fluidez (%)	31.7	33.4	29.8	32.7	34.2	33.8	78.8	33.2	32.7	25.6	24.1	31.0
Límite de plasticidad (%)	109.0	125.4	324.2	212.1	74.6	225.2	364.2	322.8	287.3	122.4	177.9	103.0
Indice de plasticidad (%)	9	0.4	1	2	0.03	0.16	0	0	0.05	1.4	0	5
C Triaxial sin drenar (ton/m <sup>2</sup> )	9	1	3	6	1	0	5	7	0.5	0.29	5	11
Angulo de fricción interna (grad.)	14.4	6.3	0	5.8	1.0	0.98	0.15	0.85	0.9	2.3	0.9	14.3
Compresión simple qu (ton/m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
valor N												
Coefficiente de consolidación (cm <sup>2</sup> /s)	0.02	0.0091	0.0021	0.0067	0.0071	0.0105	0.0025	0.0063	0.0765	0.0199	0.0071	0.1294

#### iv. Hallazgos

La capa superior en el sitio la forma un depósito lacustre que está dividido en tres capas; las que, a su vez, están divididas por dos capas de arenas ubicadas a los 32 m. y 37 m. respectivamente. Casi todos los valores N del estrato son igual a cero. Sin embargo, una capa estable que presenta un valor N mayor de 50, se encuentra a partir de los 45 m. Además, el depósito lacustre presenta un contenido de agua natural bastante alto, que va de 130 hasta 450%, y un peso unitario de alrededor de 1.20 ton/m<sup>3</sup>. Debido a lo anterior, que se derivó del estudio del suelo, se considera que el depósito lacustre es una arcilla considerablemente blanda.

##### a.1.2 Influencia del Relleno Propuesto sobre el Dren Texcoco Norte

Una evaluación de la influencia que podría causar el relleno propuesto sobre el Dren Texcoco Norte, que fluye al sur del relleno en mención, fue realizada con ayuda de los datos derivados del estudio del suelo. Las condiciones establecidas para la evaluación del asentamiento y sus resultados son presentados a continuación.

##### i. Condiciones para Estimar la Influencia sobre el Dren Texcoco Norte

Se emplearon los datos obtenidos en la perforación SM-1 para la estimación. La capa lacustre se dividió en 8 capas, de la manera mostrada en el Cuadro 8-32. El peso de carga ejercida por los residuos, se supuso aquella que se produciría cuando el relleno alcance 24 m. de altura; además, se asume que el peso unitario del residuo después de la compresión inicial es de 0.8 ton/m<sup>3</sup>. También se estudiaron dos casos, que consideraron la inclusión ó no de la fuerza ascensional producida por el agua subterránea. El Caso 1 ignora esta fuerza ascensional, mientras que el Caso 2 la toma en consideración.

Cuadro 8-32: Condiciones del Sub-suelo

Capa	Grosor de la capa (m)	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )
1	5.0	1.14
2	5.0	1.23
3	5.0	1.25
4	5.0	1.17
5	5.0	1.25
6	6.8	1.25
7	0.7	1.60
8	4.1	1.24

Nota: Se asume un nivel de agua a 0 m. de profundidad; debido a que se encontró agua subterránea en el SM-1 a 0.35 m.

##### ii. Resultados de la Estimación

Los resultados se esquematizan en la Figura 8-15. El resultado para el Caso 1, sin considerar la fuerza ascensional, es que el asentamiento final del subsuelo (máximo teórico) sería de 13.82 m. en el centro del relleno; lo que podría causar, a su vez, un asentamiento de 5 mm. en el canal de drenaje ubicado a unos 100 m. del sitio de relleno. Por otra parte, el asentamiento final del sub-suelo (máximo teórico) para el Caso 2, tomando en consideración la fuerza ascensional, sería de 9.35 m. en el centro del relleno; lo que podría causar un asentamiento de 2 mm. en el canal de drenaje ubicado a 100 m. del sitio de relleno.

El tiempo que transcurre para que ocurra determinado asentamiento también fue estimado; de manera tal que tomaría entre 3 y 4 años lograr un 60% del mismo (ver Cuadro 8-33). Por lo tanto, se recomienda dejar pasar un tiempo prudente antes de comenzar a colocar residuos en el siguiente nivel; en otras palabras, se recomienda un uso alternado de las Etapas IV y V.

**Cuadro 8-33: Tiempo que Transcurre para Diferentes Asentamientos**

Consolidación (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Tiempo (days)	19	74	186	384	726	1378	2667	5072	9879	-
Asentamiento (m)	1.38	2.76	4.14	5.52	6.91	8.29	9.67	11.05	12.44	13.82

(Ver la sección L del Libro de Datos)

### iii. Influencia sobre el Canal (Dren Texcoco Norte)

En resumen, el cálculo sólo muestra un asentamiento de 5 mm del canal de drenaje, cuando ocurre el máximo asentamiento teórico que pueda ocasionar el relleno sanitario propuesto. Por lo tanto, se puede afirmar que el relleno en mención no causará un problema serio para la estructura del canal de drenaje.

#### a.1.3 Influencia de la Expansión Vertical sobre la Geomembrana

La Figura 8-16 esquematiza el asentamiento del subsuelo. Tal y como lo muestra dicha figura, la membrana debajo del talud de la primera capa de relleno, sufrirá el esfuerzo de tensión más pronunciado. Este esfuerzo se puede representar como alrededor de 1.1%, en términos de elongación. Sufriendo un estiramiento de 0.54% si se considera el caso unidimensional ( $48.26 \text{ m}/48 \text{ m}=1.0054$ ) y de 1.1 % si se considera el estiramiento por área de membrana o sea el caso bidimensional ( $48.26^2/48^2=1.011$ ). Se estima que esta elongación puede ser asimilada por la geomembrana, de acuerdo a las cualidades mecánicas de la misma.

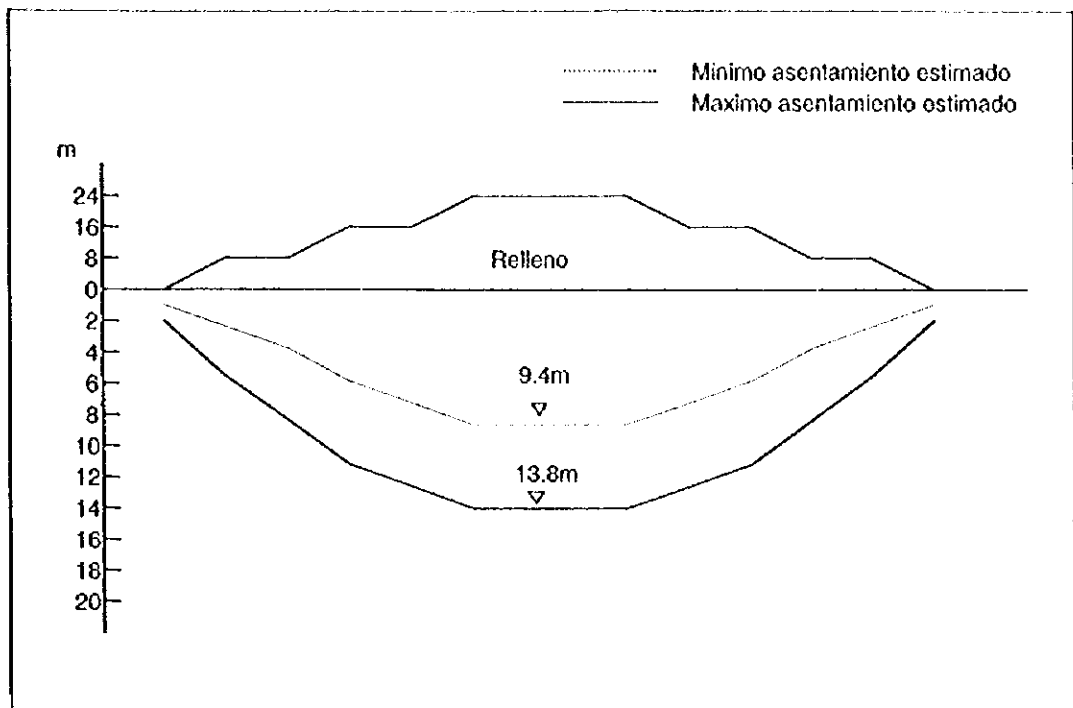


Figura 8-15: Asentamiento del Subsuelo

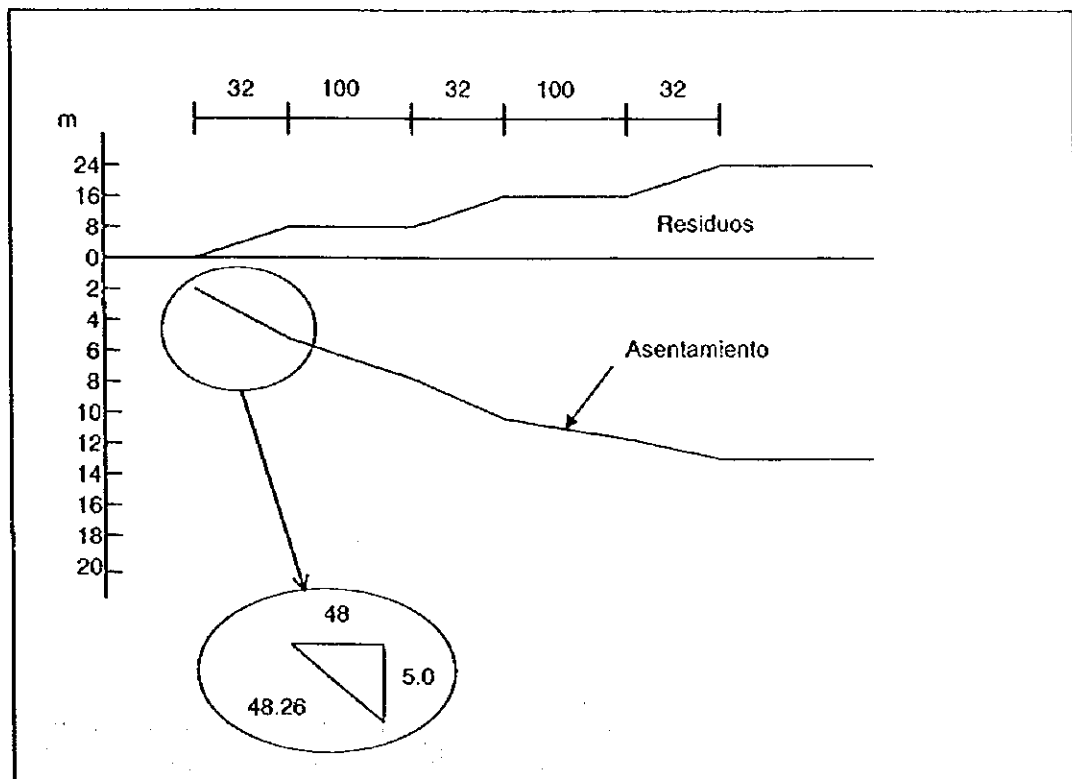


Figura 8-16: Asentamiento del Subsuelo y la Geomembrana

#### a.1.4 Influencia sobre la Estabilidad del Talud del Relleno

Los datos mostrados en el Cuadro 8-31: Resultado del Estudio de los Suelos para la Etapa V se emplean para evaluar la estabilidad del talud utilizando el método Bishop. El factor mínimo de seguridad en el nivel de 1 a 8 m., para una pendiente de 1 a 4, es igual a 0.920, lo que significaría que una falla del talud puede ocurrir debido a que ese factor es menor que 1.0. Aunque los antecedentes muestran que un talud de 1 a 4 no ha fallado para la Etapa IV, este estudio recomienda un pendiente más suave de 1 a 6 para el primer nivel que va de 0 a 8 m.; considerando que para este segundo talud, el factor mínimo de seguridad es mayor que 1.0.

Por otra parte, los factores mínimos para los otros taludes son superiores a 1.0; por lo tanto, se considera que el relleno propuesto es viable desde la perspectiva de estabilidad de taludes.

Cuadro 8-34: Resultado de los Cálculos sobre la Estabilidad de Taludes (Etapa V)

Talud	Altura del Relleno	Factor Mínimo de Seguridad	Coordenadas del Talud de Deslizamiento		Radio del Deslizamiento Giratorio (m)	Momento de Resistencia (ton-m)	Momento de Deslizamiento (ton-m)
			X	Y			
1	0 to 8m (1:4)	0.920	15.00	15.00	29.91	1,668.55	1,812.72
1	0 to 8m (1:6)	1.044	25.00	25.00	41.55	3,632.08	3,478.33
2	8 to 16m	1.089	140.00	22.00	39.70	4,826.92	4,433.46
3	16 to 24m	1.302	270.00	25.00	48.34	9,234.27	7,093.06

#### a.5 Cantidad de Residuo Dispuesta

La cantidad de residuo dispuesta en la Etapa V es mostrada en conjunto con la cantidad dispuesta en la Etapa IV, en la sección denominada "Plan de Expansión Vertical de la Etapa IV" (ver Cuadro 8-20).

#### b. Análisis de la Alternativas Técnicas

Los aspectos (cubierta intermedia, cubierta final, disposición de lixiviados, y disposición de gases generados en el relleno) evaluados en el Plan de Expansión Vertical de la Etapa IV se pueden aplicar para el Desarrollo del nuevo relleno. Sin embargo, además de los aspectos anteriores, se evaluó la configuración de la geomembrana, teniendo en consideración los requerimientos relacionados a la tasa de infiltración hacia un acuífero.

##### Geomembrana

El nivel del agua subterránea (agua salina) es tan somero como en la Etapa IV. Los niveles de agua varían entre 0.35 y 2.30, según lo observado en el estudio geológico realizado durante el 2<sup>do</sup> Período de estudio en México. La NOM-083-ECOL requiere que la tasa de infiltración hacia un acuífero sea menor que  $3 \times 10^{-10} \text{ sec}^{-1}$ . Aunque es discutible que el estrato conteniendo agua salina sea un acuífero, este estudio supone que sí lo es. Además, el relleno en la Etapa IV tiene una geomembrana para evitar que el lixiviado se mezcle con el agua subterránea. Por lo tanto, el relleno propuesto debe tener geomembrana para ser consistentes con las prácticas existentes.

La Figura 8-17 muestra la configuración de la geomembrana propuesta, la que es igual a la colocada en la Etapa IV. Su colocación es sencilla, lo que reduce errores en su instalación a un mínimo.

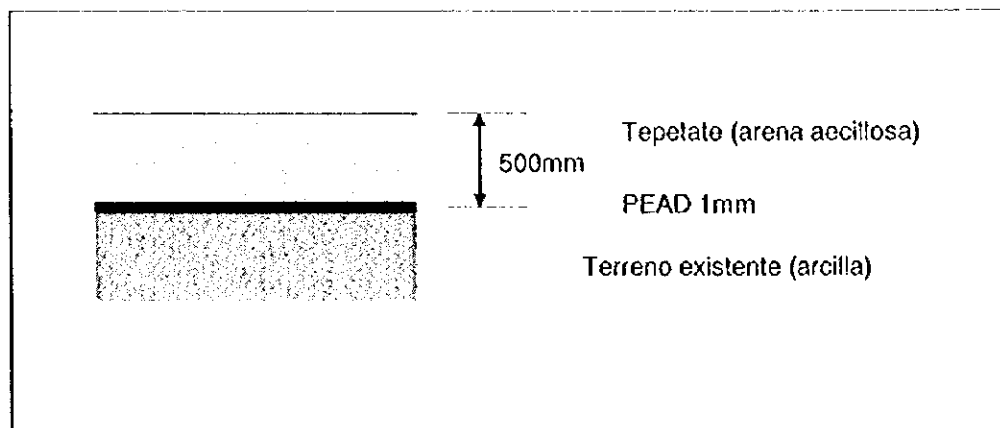


Figura 8-17: Configuración del Sistema de Impermeabilización

**c. Diseño Conceptual y Estimación de Costos**

El esquema del diseño conceptual para el Nuevo Sitio de Disposición Final es presentado a continuación.

**Cuadro 8-35: Esquema del Diseño Conceptual para el Nuevo Relleno Propuesto**

Aspectos	Estructuras/instalaciones
Area	Area del sitio: 256ha Area de relleno: 194 ha
Capacidad del Relleno	29,032,000m <sup>3</sup> (23,226,000ton) están disponibles para depositar residuos
Acceso	Camino de acceso: 605m Camino perimetral: 5,950m a 0m de elevación camino externo: 5,950m camino interno: 19,155m a 8m de elevación camino externo: 4,878m camino interno: 11,743m a 16m de elevación camino externo: 3,854m camino interno: 3,991m
Instalaciones para controlar el transporte de residuos	acceso: 1 (existente) báscula: 2 fosa para limpieza de llantas: 1 oficina: 1 garaje: 1 parqueo para carros: 1 área de parqueo y/o área de almacenamiento: 1



Aspectos	Estructuras/instalaciones
Manejo de lixiviados	Pozos para extracción de lixiviados tubería de concreto de 600mm de diámetro: 15 unidades Bomba para extracción y aspersado de lixiviados: 15 unidades Tuberías para recolección de lixiviados a 0m de elevación: 25,105m a 8m de elevación: 16,621m a 16m elevación: 7,845m
Manejo de los gases producidos por el relleno	Pozos para la extracción de gases tubería de concreto de 600mm diámetro: 116 unidades Tubería para la extracción de gases - PVC200 a 0m de elevación: 118 unidades a 8m de elevación: 91 unidades a 16m de elevación: 55 unidades
Manejo de Aguas Superficiales	Cobertura de suelo diaria/intermedia: 30cm (La composta también es utilizable.)
Monitoreo	Aspectos comprendidos en el monitoreo: -asentamiento del relleno -calidad de los lixiviados -calidad de los gases generados en el relleno -agua subterránea -agua superficial Instalaciones de monitoreo -pozos de monitoreo: 4 unidades
Diseño Estético	Reja movable cobertura de suelo diaria/intermedia: 30cm (Composta también es utilizable.)
Cierre y post-cierre	Cubierta final de suelo: 60cm Creación de un área verde por medio de la siembra de pastos.
Equipo para el relleno	Bulldozer (de 300hp): 4 unidades Camiones cisterna (de 15,000litros): 2 unidades Excavadora (de 85hp): 2 unidades

### c.1 Parámetros Claves para Diseño

Los parámetros claves para diseño son los mismos que los establecidos en la Etapa IV.

- Densidad del residuo después de compactar el relleno: 800 kg./m<sup>3</sup>
- Cronograma de operación del relleno: 24 hrs./día  
365 días/año
- Vida útil de los camiones y equipo pesado: 7 años
- Vida útil de los edificios y las obras civiles: 30 años
- Tasa de cambio: 1.0 USD=9.1 pesos
- Cubierta de suelo diaria (intermedia): 30 cm.
- Elevación final del relleno: 24 m

### c.2 Capacidad del Relleno

La capacidad planeada del relleno es de 30,242,000 m<sup>3</sup>. De la capacidad antes mencionada, 29,032,000 m<sup>3</sup> serán ocupados por residuos y 1,210,000 m<sup>3</sup> con tierra.

Todo el residuo dispuesto en los años 2002, 2003, y 2004, y parte de aquel dispuesto en el año 2007 será depositado en el nivel que va de 0 a 8. El resto del residuo dispuesto en el año 2007 y todo aquel dispuesto en el 2008 será depositado en el nivel

que va de 8 a 16 m. La capacidad remanente del relleno después del año 2010 será de 7,598,000 m<sup>3</sup>, este volumen representa aproximadamente 6,078,000 toneladas de residuo (ver Cuadro 8-36).

Se debe recalcar que para los cálculos sobre la capacidad del relleno no se consideraron los asentamientos del sub-suelo y los residuos.

**Cuadro 8-36: Cantidad de Residuos a ser Dispuesta en la Etapa V**

Unidad: 1,000m<sup>3</sup>

Elevación	Capacidad del relleno	Cantidad de Residuo Dispuesta					Total	Capacidad remanente
		2002	2003	2004	2007	2008		
0-8m	14,720	4,511	4,366	4,231	1,612		14,720	0
8-16m	9,220				2,563	4,151	6,714	2,506
16-24m	5,092							5,092
Total	29,032	4,511	4,366	4,231	4,175	4,151	21,434	7,598

### c.3 Preparación del Sitio

Cuando se realice la preparación del sitio para relleno, se torna muy importante sellar de manera adecuada los pozos para producción de sal existentes; lo anterior se hará con el fin de prevenir que los lixiviados se infiltren rápidamente hacia otros estratos. Bentonita ó cualquier material equivalente se utilizará para sellar esos pozos.

### c.4 Acceso

#### i. Acceso al Sitio

Un camino de acceso de 605 m. de largo será construido desde la autopista hasta el sitio. El camino tendrá las siguientes dimensiones:

- ancho de rodamiento: 20.0 m.
- ancho de las aceras 4.0 m. a ambos lados
- ancho de acotamiento: 1.0 m. a ambos lados
- pavimentación: capa de asfalto de 10 cm. y capa de grava de 40 cm.

#### ii. Acceso al Sitio

Un camino perimetral será construido a lo largo del área de relleno, a una altura de 0 m. Este camino funciona como camino principal en el sitio y conecta el camino de acceso con los caminos internos; el camino perimetral será utilizado para proveer mantenimiento y monitorear. Con el propósito de tener acceso a las áreas donde se descargan los residuos, serán construidos caminos internos en el área de relleno a un nivel de 0 metros.

A las elevaciones de 8 m. y 16 m., caminos internos y externos formarán una red que asegurará el acceso a las áreas de descarga de residuos.

Dimensiones del camino perimetral:

- ancho de rodamiento: 20.0 m.
- ancho de las banquetas 4.0 m. a ambos lados

- ancho de acotamiento: 1.0 m. a ambos lados
- pavimentación: capa de asfalto de 10 cm. y capa  
capa de grava de 40 cm.

Dimensiones de los caminos internos y externos:

- ancho de rodamiento: 9.0 m.
- ancho de acotamiento: 0.5 m. a ambos lados
- pavimentación: roca volcánica porosa (Tezontle)  
ó material equivalente con un grosor de 30 cm.

### **c.5 Esquema del Relleno**

El relleno deberá poseer ciertas instalaciones para realizar una operación adecuada para la disposición de residuos. Las instalaciones propuestas son las siguientes:

- un acceso
- básculas (2) y caseta de control;
- una fosa para lavar las llantas
- una oficina
- un garaje
- un área de parqueo para carros; y
- un área para equipo pesado y/o área de almacenamiento.

El esquema del relleno es presentado en la Figura 8-18, y las instalaciones para controlar el transporte de residuos se muestran en la Figura 8-19.

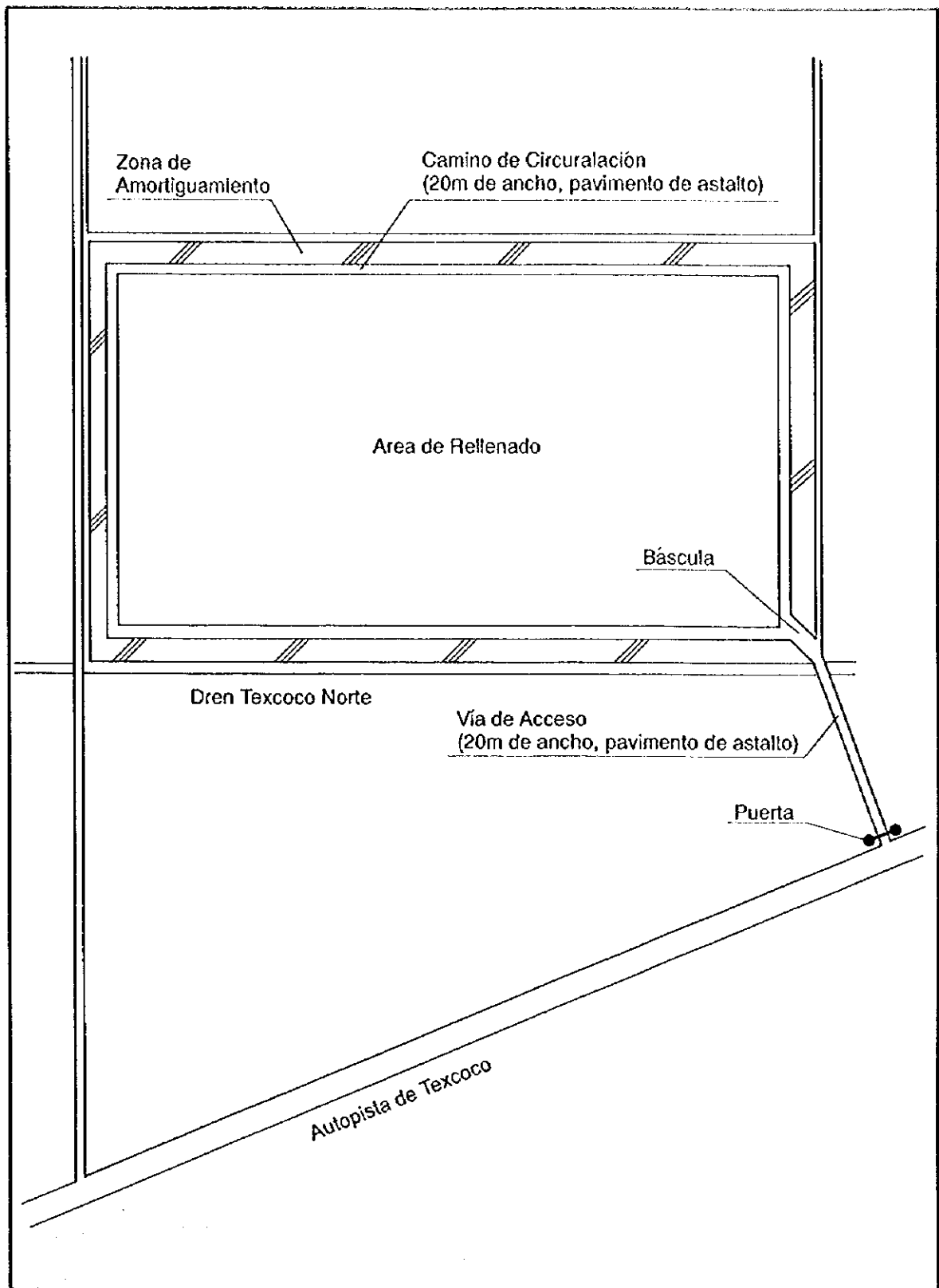


Figura 8-18:

Esquema del Relleno de  
la Etapa V

Escala: 0 250 500 m

KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.

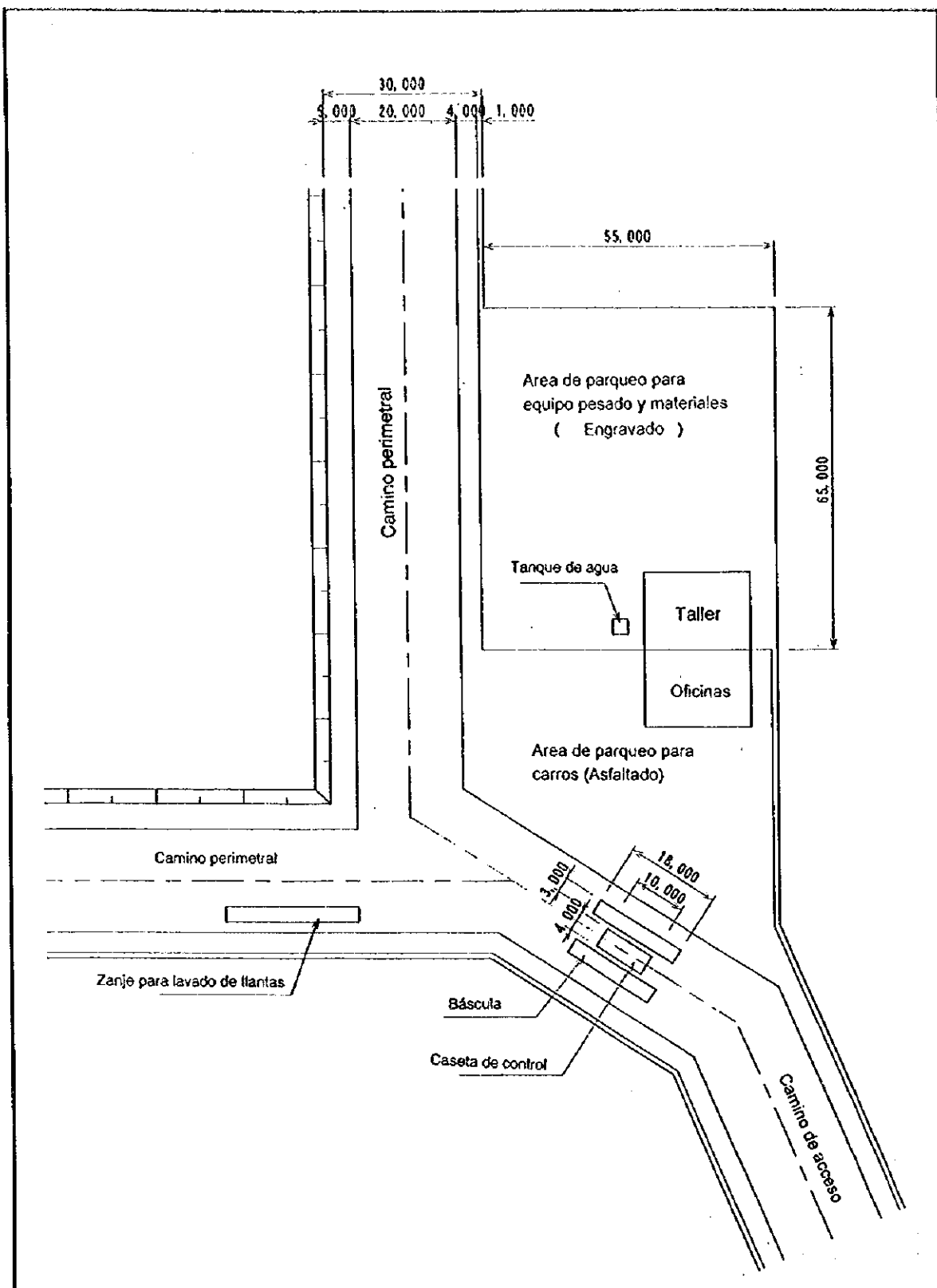


Figura 8-19:

Plano de Planta de las  
Instalaciones para Controlar  
el Transporte de Residuos

**KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.**

### **c.6 Manejo de Lixiviados, el Gas Generado por el Relleno y la Escorrentía Superficial**

El manejo de los lixiviados, el gas generado por el relleno y la escorrentía superficial deberán ser realizados de la misma manera que en la Etapa IV (referirse a las secciones relevantes en la parte sobre el Plan de Expansión Vertical de la Etapa IV).

15 bombas sumergibles serán instaladas con el fin de aspersar 196,000 m<sup>3</sup>/año de lixiviado (para una percolación = 101 mm/año).

### **c.7 Monitoreo**

El monitoreo deberá ser realizado con el fin de:

- conocer las condiciones sobre la descomposición de residuos
- conocer la calidad ambiental; y
- reflejar la información monitoreada en planes futuros de relleno

#### **i. Monitoreo de la Descomposición de los Residuos**

El monitoreo del asentamiento es una actividad importante. Los asentamientos serán causados por la descomposición de los residuos y la subsidencia del terreno. La información obtenida por medio de este monitoreo puede ser útil para operar futuros rellenos y definir el uso del terreno de los rellenos después de su cierre.

Además, de monitorear los asentamientos, se recomienda observar la calidad de los lixiviados y los gases generados por el relleno, los que pueden señalar la evolución de la descomposición de los residuos. El programa recomendado de monitoreo se muestra en el Cuadro 8-37.

#### **ii. Monitoreo de la Calidad Ambiental**

El monitoreo se realizará teniendo como principal objetivo la protección ambiental. Se recomienda monitorear la calidad de:

- las aguas subterráneas gradiente arriba y abajo del sitio; y
- aguas superficiales de los canales de drenaje en los alrededores del sitio tanto aguas arriba como abajo.

Cuatro pozos de monitoreo con una profundidad de 40 m. deberán ser instalados alrededor del sitio debido a que la dirección del agua subterránea es desconocida; los pozos servirán para obtener muestras de aguas subterráneas. El programa recomendado de monitoreo se presenta en el Cuadro 8-37.

#### **iii. Registro de la Información Monitoreada**

La información obtenida deberá ser registrada de una manera adecuada, por ejemplo, por medio de la utilización de un formato uniforme donde registrarla; además, deberá ser mantenida de manera adecuada durante la operación y después del cierre.

Cuadro 8-37: Programa Recomendado para Monitoreo

Aspecto	Parámetro a Monitorearse	Frecuencia (anual)
Asentamiento	Elevación de (los) nivele(s)	1
	Temperatura	2
Gas Generado por el relleno	CH <sub>4</sub>	2
	CO <sub>2</sub>	2
	N <sub>2</sub>	2
	O <sub>2</sub>	2

Parámetro a Monitorearse	Frecuencia anual		
	Lixiviado	Agua Subterránea	Agua Superficial
Temperatura	2	1	1
Color	2	1	1
pH	2	1	1
DBO <sub>5</sub>	2	1	1
DQO	2	1	1
Nitratos Totales	2	1	1
Fosfatos Totales	2	1	1
Cl	2	1	1
CN	1	1	1
Cd	1	1	1
Cu	1	1	1
Pb	1	1	1
Cr (6')	1	1	1
Hg	1	1	1
As	1	1	1

#### c.8 Consideraciones Estéticas de Diseño y Cuidado para el Cierre y Post-Cierre

Se hará de manera similar a como se realiza la Etapa IV; se proveerá de rejas móviles, cubierta diaria de suelo, cubierta final, etc. Sin embargo, se debe hacer notar que para el diseño de la Etapa V es necesario reservar una franja de 70 m. de ancho, a manera de zona de amortiguamiento con el propósito de mitigar los efectos negativos del relleno en los alrededores.

#### c.9 Equipo para Relleno y su Operación

El mismo equipo y la misma manera de operación de la Etapa IV se empleará en la Etapa V. El equipo será empleado de manera alternada entre la Etapa IV y la V.

#### c.10 Secuencia de Construcción de BP V

En virtud de los problemas actuales relacionados con los lixiviados de BP IV, se deben elaborar mejoras en la secuencia de diseño y construcción para el proyecto de BP V. La impermeabilización del fondo debe ser completa; es decir, debe ser continua de una celda a otra, así como en el fondo de los caminos; además, su anclaje debe estar a un nivel en el que el lixiviado generado, a partir de los residuos enterrados, se mantenga completamente contenido dentro de la parte impermeabilizada.

Para poder lograr una impermeabilización completa y realizar una operación de relleno eficiente y un manejo apropiado de lixiviados para el proyecto de BP V, se deben llevar a cabo los siguientes componentes en secuencia:

- a. Obras de preparación del sitio
- b. Impermeabilización

- c. Línea de recolección de lixiviados y drenado a lo largo del camino externo sobre la parte inferior del talud
- d. Camino interno sobre la impermeabilización
- e. Línea para recolección de lixiviados y de drenaje a lo largo del camino interno sobre la parte inferior del talud
- f. Caminos internos con dirección este - oeste y línea de drenado de lixiviados
- g. Construcción de fosas de succión (cárcamo) de lixiviados con tubería vertical de bombeo
- h. Marcas de zona prohibida alrededor de las fosas de succión (cárcamo)
- i. Operación de relleno (de 0.0 a 8.0 metros de elevación)
- j. Construcción de vía de acceso (a un nivel de 0.0 a 8.0 metros)
- k. Ampliación de la tubería vertical y relleno del área de delimitación de zona prohibida
- l. Bombeo y aspersado de lixiviado (y/o embalsado) a un nivel de 8.0 metros
- e'. Camino externo y línea de drenado de lixiviados a lo largo del mismo (a un nivel de 8.0 metros)
- d'. Construcción de camino interno (a un nivel de 8.0 metros)
- e'. Camino interno como línea de recolección y drenado (a un nivel de 8.0 metros)
- f'. Caminos internos en la dirección este - oeste y línea de drenado de lixiviados
- g'. Ampliación de la tubería vertical de bombeo (a un nivel de 8.0 metros)
- h'. Marcas de zona prohibida alrededor de tuberías verticales (a un nivel de 8.0 metros)
- i'. Operación de relleno (de 8.0 a 16.0 metros de elevación)
- j'. Construcción de vía de acceso (a un nivel de 8.0 a 16.0 metros)
- k'. Ampliación de la tubería vertical y relleno del área de delimitación de zona prohibida
- l'. Bombeo y aspersado de lixiviado (y/o embalsado) a un nivel de 16.0 metros
- e''. Camino externo y línea de drenado de lixiviados a lo largo del mismo (a un nivel de 16.0 metros)
- d''. Construcción de camino interno (a un nivel de 16.0 metros)
- e''. Camino interno como línea de recolección y drenado (a un nivel de 16.0 metros)
- f''. Caminos internos en la dirección este - oeste y línea de drenado de lixiviados
- g''. Ampliación de la tubería vertical de bombeo (a un nivel de 16.0 metros)
- h''. Marcas de zona prohibida alrededor de las tuberías verticales (a un nivel de 16.0 metros)
- i''. Operación de relleno (de 16.0 a 24.0 metros de elevación)
- j''. Construcción de vía de acceso (a un nivel de 16 a 24.0 metros)
- k''. Ampliación de la tubería vertical y relleno del área de delimitación de zona prohibida
- l''. Bombeo y aspersado de lixiviado (y/o embalsado) a un nivel de 24.0 metros



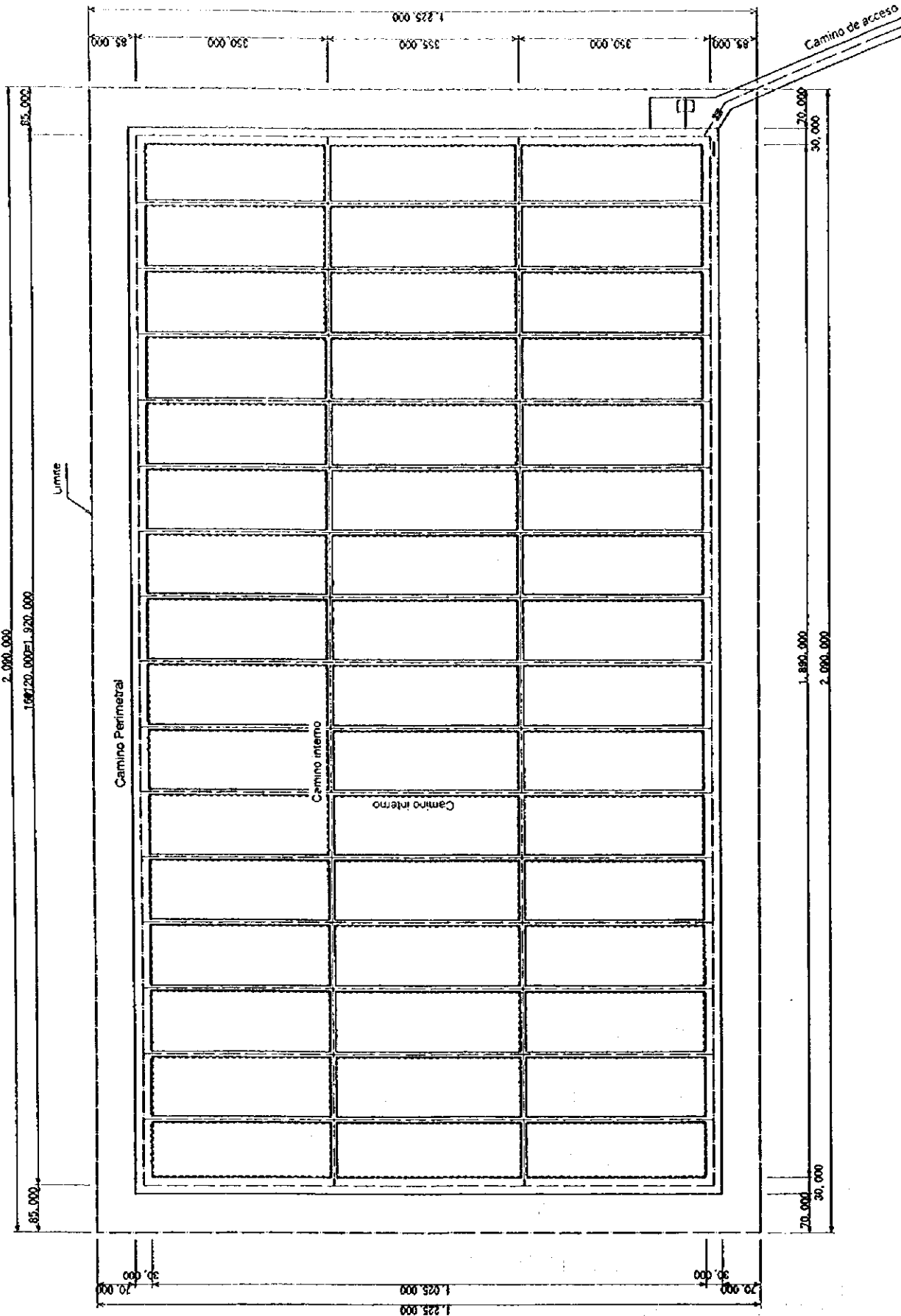


Figura 8-20: Plano de Planta del Primer Nivel (0 m. de elevación)

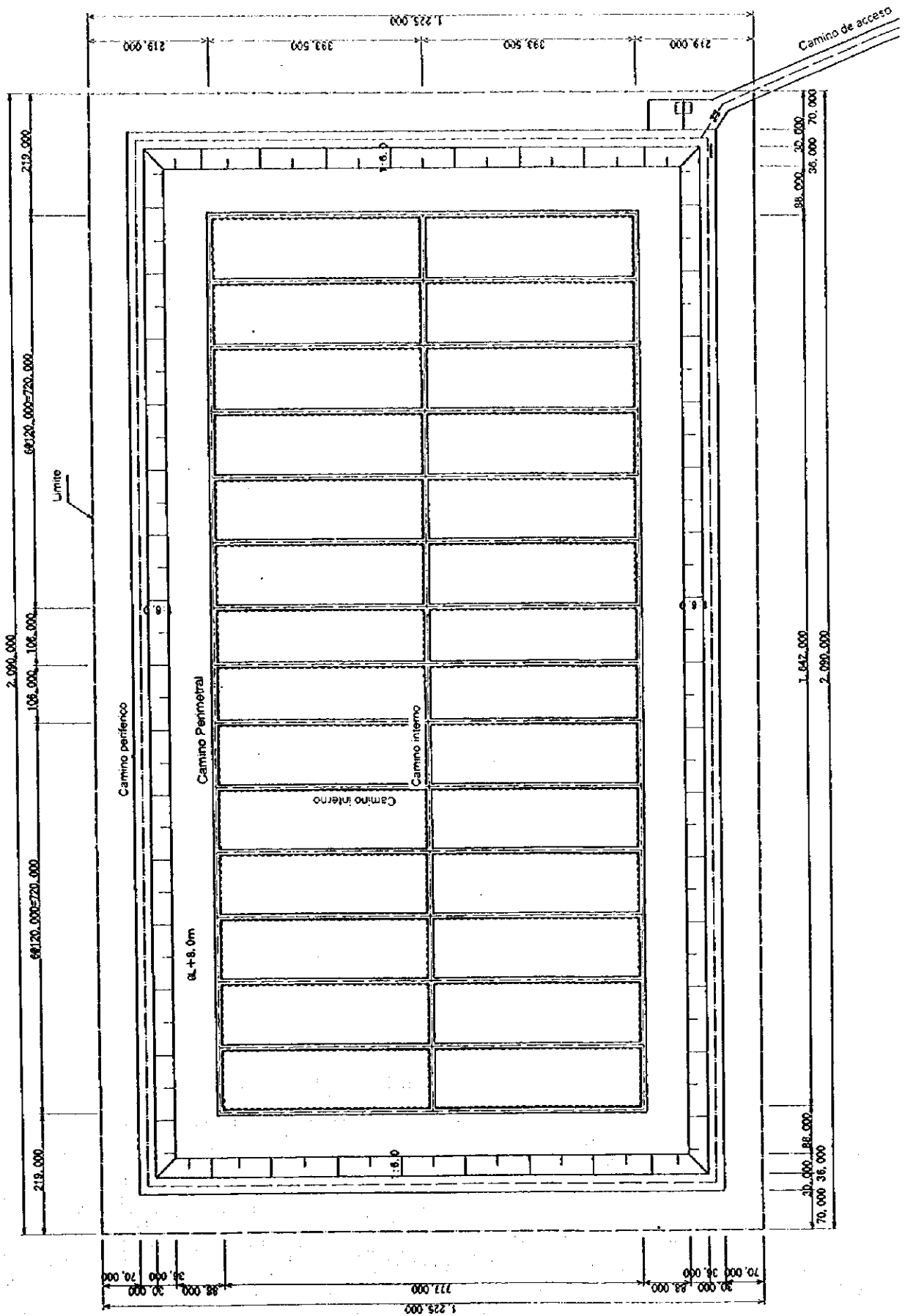


Figura 8-21: Plano de Planta del Segundo Nivel (8 m. de elevación)

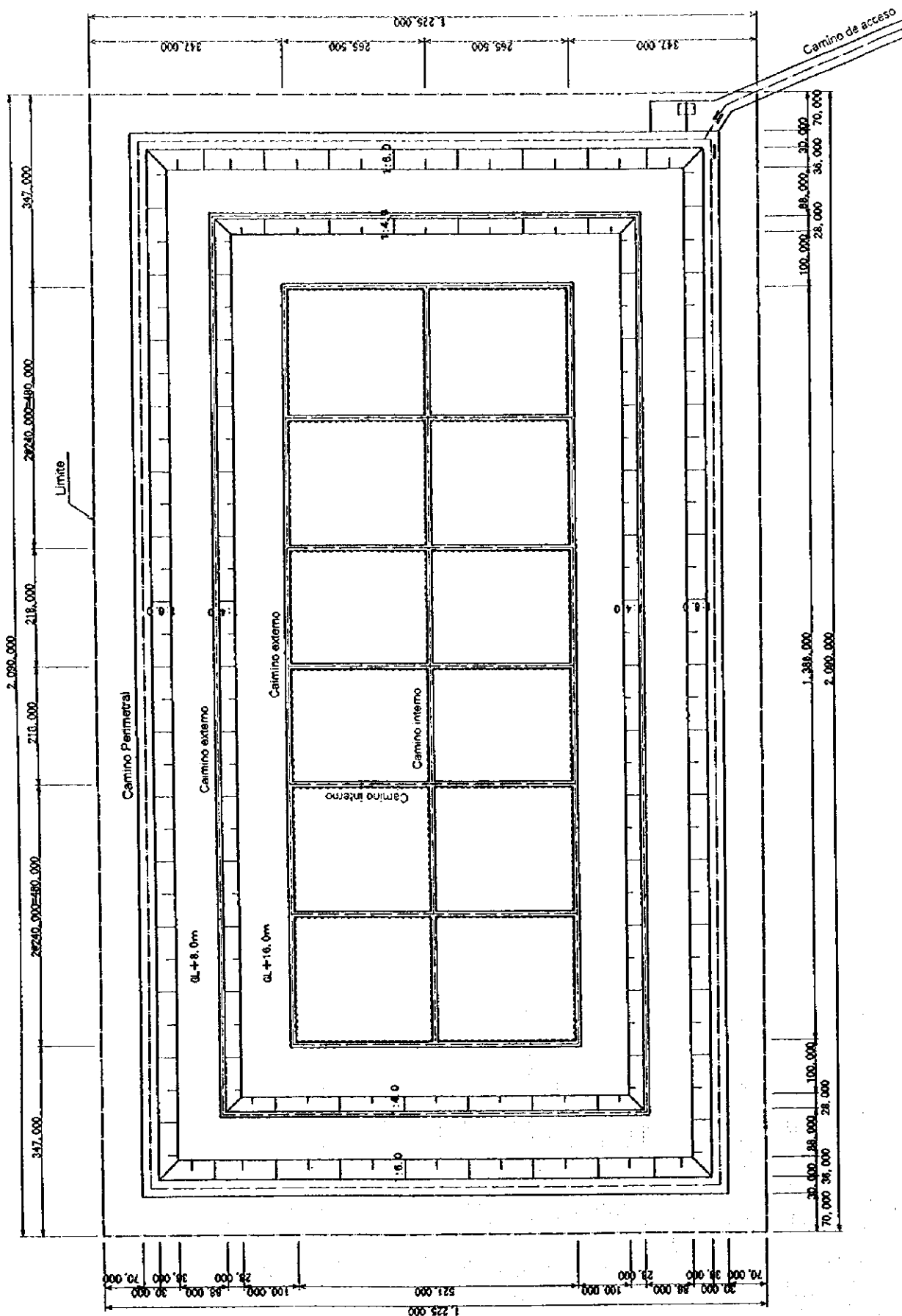


Figura 8-22: Plano de Planta del Tercer Nivel (16 m. de elevación)

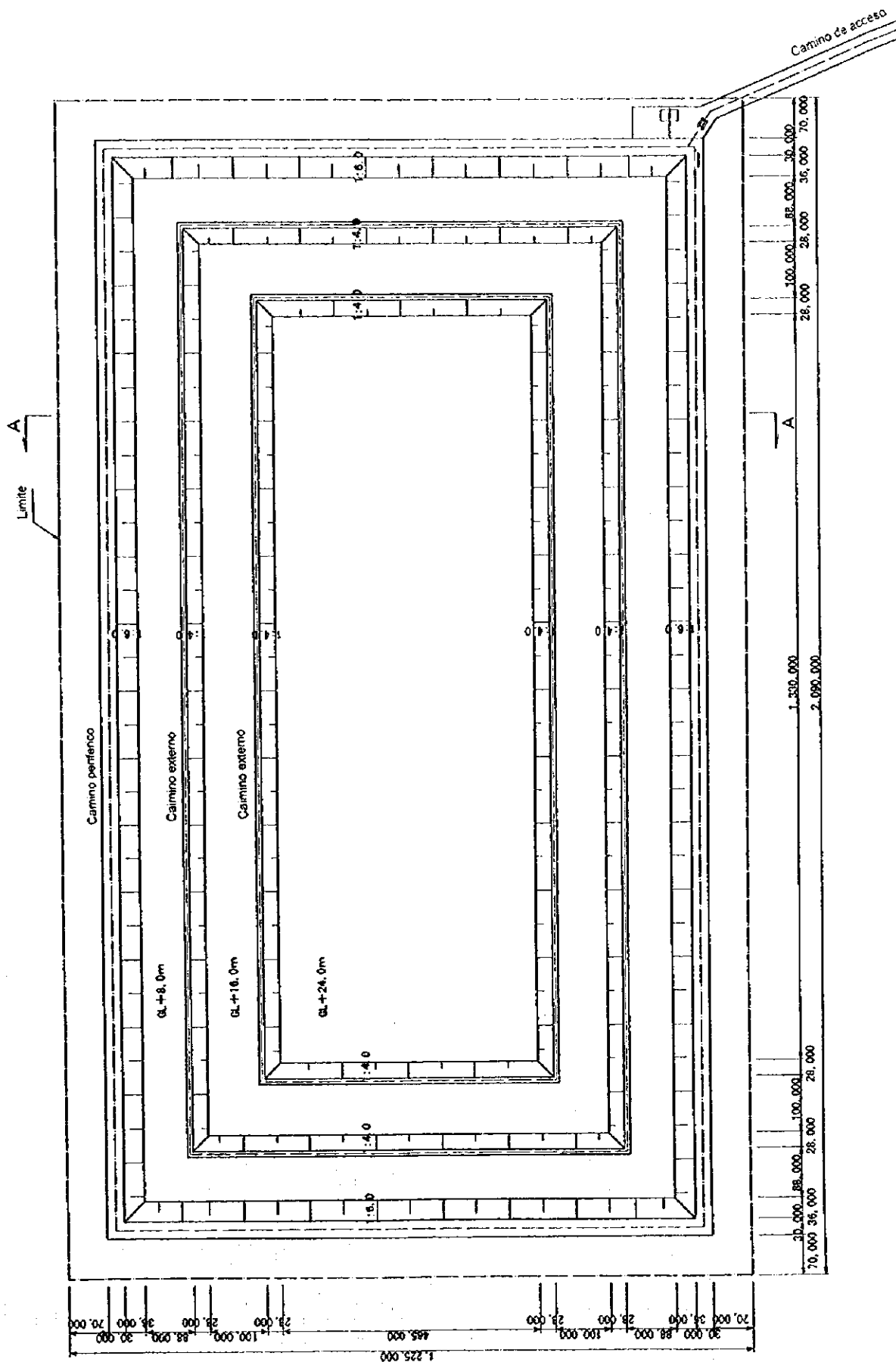


Figura 8-23: Plano de Planta del Relleno Terminado

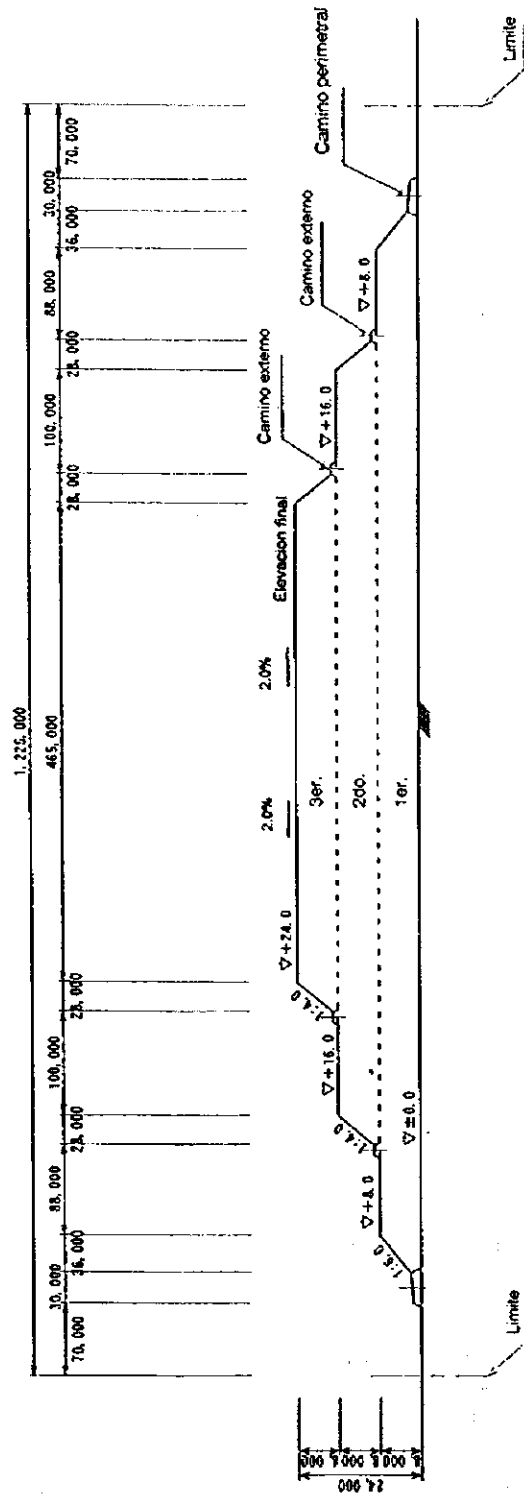
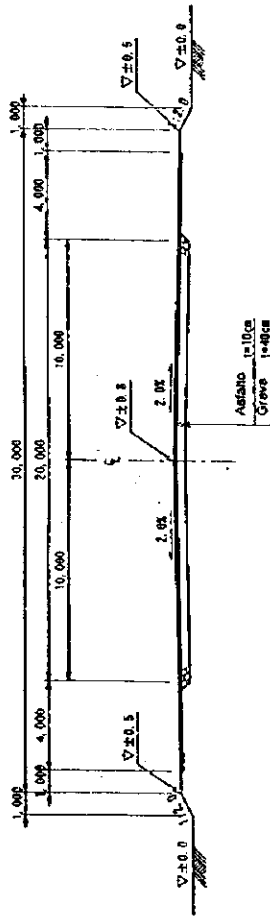
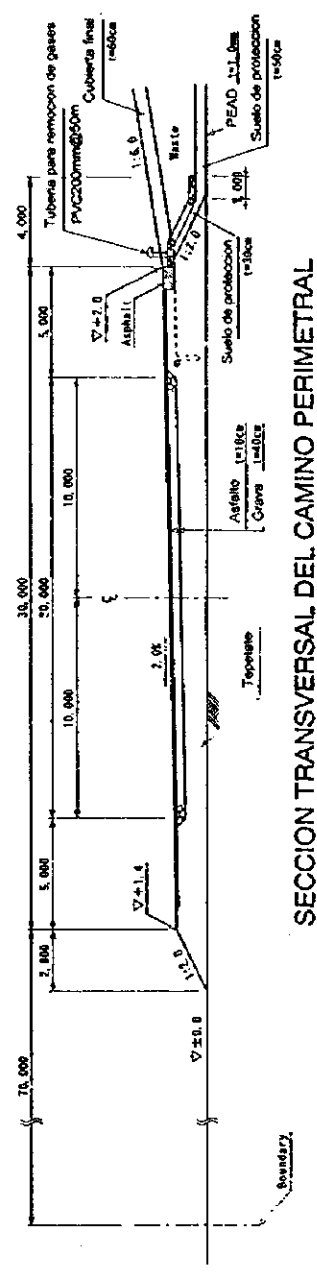


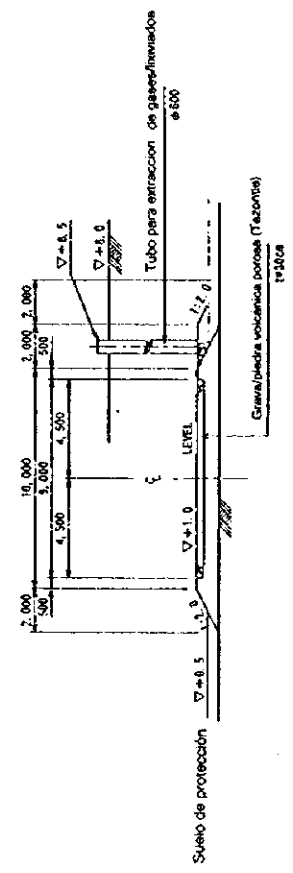
Figura 8-24: Sección Transversal



SECCION TRANSVERSAL DEL CAMINO DE ACCESO



SECCION TRANSVERSAL DEL CAMINO PERIMETRAL



SECCION TRANSVERSAL DEL CAMINO INTERNO

Figura 8-25: Sección Transversal de los Caminos

### c.II Estimación de Costos

En el Cuadro 8-38 y el Cuadro 8-39 se resumen los costos para el Desarrollo de un Nuevo relleno (Etapa V). Los costos estimados para el Caso 1 fueron de 41,205,000 USD, mientras que para el Caso 2 alcanzaron los 42,249,000 USD.

**Cuadro 8-38: Resumen de los Costos para el Desarrollo de un Nuevo Relleno (Caso1)**

unidad: US\$ 1,000

Año	D/B	D/D	Con.(i)	Con.(Rec.)	Equip.	O&M	Alq. Terr.	Total
1999	41							41
2000		204						204
2001		162	4,068				231	4,461
2002				7,464		707	231	8,402
2003				7,224		707	231	8,162
2004				7,001		801	231	8,033
2005						13	231	244
2006						70	231	301
2007		139		3,915	2,777	720	231	7,782
2008				2,022		777	231	3,030
2009						13	231	244
2010						70	231	301
Total	41	505	4,068	27,626	2,777	3,878	2,310	41,205

- D/B: Diseño básico para construcción y equipo  
D/D: Diseño detallado para la construcción y equipo. La cantidad incluye también los costos de supervisión.  
Con.(i): Inversión inicial para la construcción  
Con.(Rec.): Costo recurrente para la construcción  
Equip.: Equipo para el relleno  
O&M: Operación y mantenimiento  
Alq. Terr.: Precio por el alquiler del terreno

**Cuadro 8-39: Resumen de los Costos para el Desarrollo de un Nuevo Relleno (Caso 2)**

unidad: US\$ 1,000

Año	D/B	D/D	Con.(i)	Con.(Rec.)	Equip.	O&M	Alq. Terr.	Total
1999	41							41
2000		204						204
2001		162	4,068				231	4,461
2002				7,464	901	598	231	9,194
2003				7,224	901	598	231	8,954
2004				7,001	901	692	231	8,825
2005						13	231	244
2006						70	231	301
2007				3,915	901	611	231	5,658
2008				2,022	901	668	231	3,822
2009						13	231	244
2010						70	231	301
Total	41	366	4,068	27,626	4,505	3,333	2,310	42,249

- D/B: Diseño básico para construcción y equipo  
D/D: Diseño detallado para la construcción. La cantidad incluye también los costos de supervisión.  
Con.(i): Inversión inicial para la construcción  
Con.(Rec.): Costo recurrente para la construcción  
Equip.: Equipo para el relleno  
O&M: Operación y mantenimiento  
Alq. Terr.: Precio por el alquiler del terreno