



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CAMPUS ARAGÓN

*“ESTUDIO GEOTECNICO PARA LA
ALTERNATIVA DE LA CIMENTACION DE LA
EDIFICACION DEL CENTRO COMERCIAL CD.
JARDIN SOBRE RELLENO SANITARIO”*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

SANCHEZ AYALA ROBERTO JUVENTINO

MACIAS MONTES DE OCA RAUL



FES Aragón

DEDICATORIA

En todos los momentos de la vida, cuando uno decide dedicarles algo a las personas queridas; muchas veces no se encuentran palabras para realizarlo; pero en esta ocasión tan esperada quiero darle gracias y brindar este trabajo:

A Dios

Porque siempre ha formado parte esencial en mi corazón y me ha iluminado y guiado en los momentos más difíciles de mis estudios y de mi vida además siempre me da aliento para seguir adelante.

A mis Padres Teresa y Rafael

Quienes con su apoyo y comprensión supieron orientarme en todos los momentos difíciles de mi vida. Por el cariño y sacrificio que hicieron por mí con el propósito de que tenga la mejor educación y los motivos que me dan para seguir adelante y así poder brincar las barreras que se me presenten en el camino y poder llegar a la meta deseada, aunque uno no siempre lo sabe aprovechar y agradecer.

A mi esposa Noemi

Por haberse preocupado en mis estudios y porque cada vez que necesitaba ayuda, me la brindo sin ningún obstáculo fuere para lo que fuere.

A Proyectos Tralh

A mis tios, en especial a Pedro Bárcenas, por apoyarme, siempre creer en mí y brindarme la experiencia que solo se adquiere en el ámbito laboral.

AGRADECIMIENTOS ROBERTO

A mi profesor y asesor Gabriel Álvarez Bautista

Gracias por habernos concedido parte de su tiempo, por tener paciencia y ayudarnos en la elaboración de nuestra ardua investigación, además de orientarnos en todo momento con sus amplios conocimientos, por enseñarnos a ser diferentes y por hacernos ver que si nos preocupamos más por nuestro trabajo seremos mejores profesionales en el futuro.

Gracias a todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido a la realización de nuestra investigación.

A la UNAM

Mi casa de estudios por haberme recibido y brindarme los conocimientos y la información necesaria para formarme como profesional y que pueda utilizarlos en beneficio de nuestra sociedad.

Así como por dejarme ser parte de su familia y permitirme cooperar en su avance hacia una mejor excelencia académica.

A mis compañeros

Por ser nuestro apoyo en las buenas y en las malas, por comprenderme día tras día y nunca darme la espalda, en especial a Raúl por ser mi compañero en la realización de este trabajo.

A las Empresas TGC cimentaciones y Grupo PC construcciones

Por darme la mano aunque no fuera parte de su equipo, pero siempre atentos de mis avances, así como proporcionarme información importante en la realización de este trabajo.

GRACIAS A TODOS!!!!!!!!!!

AGRADECIMIENTOS RAUL

Un agradecimiento singular debo al **Ing. Gabriel Bautista Alvarez** que, como director de esta tesis, nos oriento, apoyando y corrigiendo en nuestra labor científica, con un interés y una entrega que han sobrepasado, con mucho todas las expectativas que, como alumnos depositamos en su persona.

A mi familia

Mi madre, por darme la vida, quererme mucho, creer en mi y porque siempre me apoyaste. Mis abuelos Josefina Chavez y Jose Montes de Oca, por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes. Mis hermanos, Maximo Muñoz, Guadalupe Macias y Jonathan Montes de Oca, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A:

Todos mis amigos: Erik Estrada, Juan Carlos Rojas, Ricardo Zeferino, Jorge Zeferino, Juan Carlos Castrejon, Hugo Lozano, Gustavo Moncada, Fernando Jimenez, Claudia Ojeda, Jonathan Elizarraraz, Rogelio Elizarraraz, Ulises Torres, Jose Luis Gonzalez, Alma Arciniega, Adriana Fernandez, por compartir los buenos y malos momentos. Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

Toda la familia Zeferino Salgado que me recibieron como un miembro más de ustedes, gracias por todas las atenciones que han tenido hacia mi persona.

Carlos Francisco Arzamendi Peña, simplemente un gran ser humano al que le debo más de lo que le pueda pagar, mi amigo y maestro de vida.

A mis compañeros

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Roberto Sanchez, Cristobal Colon, Jesus Guerrero, Arturo Hernandez, Mauricio Ortega.

INDICE

INTRODUCCION	8
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
ANTECEDENTES.....	11
EL RELLENO SANITARIO.....	11
¿COMO SE CONSTRUYE UN RELLENO SANITARIO?	13
VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL RELLENO SANITARIO	14
<i>Ventajas:</i>	14
<i>Limitaciones:</i>	15
CAPITULO I. HISTORIA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE	18
BORDO PONIENTE	18
<i>¿Qué es el bordo poniente?.....</i>	<i>18</i>
<i>Historia</i>	<i>20</i>
<i>Cierre definitivo del basurero</i>	<i>21</i>
<i>Riesgos</i>	<i>22</i>
<i>Nueva administración federal.....</i>	<i>23</i>
HISTORIA DEL TIRADERO BORDO XOCHIACA	23
<i>El relleno sanitario Neza I.....</i>	<i>25</i>
<i>Cierre del relleno sanitario Bordo Xochiaca</i>	<i>31</i>
CAPITULO II. DESCRIPCION DEL PROYECTO DE LA PLAZA Y ALTERNATIVA DE CIMENTACION.....	33
CENTRO COMERCIAL CIUDAD JARDÍN NEZAHUALCOYOTL, MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO.	33
<i>Memoria Arquitectonica</i>	<i>33</i>
Descripción de Materiales y acabados.....	36
<i>Memoria Estructural</i>	<i>38</i>
Cimentación	38
Superestructura.	38
Azoteas.....	39
Seguridad estructural.....	39
Criterios de Estructuración.	40
Parametritos básicos de diseño.	41
Análisis sísmico	42
Espectro de diseño.....	42
Análisis eólico.....	43
<i>Planos Ciudad Jardin</i>	<i>44</i>
LA MECANICA DE SUELOS	50
<i>Condiciones geoténicas del sitio.....</i>	<i>51</i>
Información geotécnica disponible.....	51
Trabajos de campo.....	53
Ensayes de laboratorio.....	56
Ensayes índices	56
Ensayes mecánicos	56
Interpretación geotécnica.....	58
Corte estratigráfico.....	58
Condición piezométrica	61

**Estudio geotécnico para la alternativa de la cimentación de la edificación del centro comercial Cd.
Jardín sobre Relleno Sanitario**

ANÁLISIS Y DISEÑO GEOTÉCNICO	63
<i>Solución de cimentación</i>	63
Capacidad de carga en zapatas y cajón	66
Capacidad de carga por fricción	67
<i>Procedimiento constructivo</i>	68
Inclusiones	68
Construcción zapatas y cajón	69
Pilotes	70
ALTERNATIVA DE CIMENTACION	75
<i>Tipos y comportamiento de cimentaciones en la Ciudad de México</i>	78
<i>Que son las inclusiones</i>	80
Inclusiones	80
A considerar	82
<i>Concreto a emplearse en la propuesta para la nueva cimentación</i>	83
Justificación.....	83
Recomendación	84
<i>Compactación de los residuos sólidos previo a la colocación del Tezontle</i>	85
Justificación.....	85
Recomendación	85
<i>Cambiar la ubicación del geotextil superior de la cubierta que se colocara sobre los residuos sólidos</i>	86
Recomendación	86
CAPITULO III. PROCESO DE GENERACION DE LIXIVIADOS.....	87
GENERACION DE LIXIVIADOS.....	87
<i>Factores que influyen en la generación de Lixiviados:</i>	87
<i>Factores que intervienen en la composición de los lixiviados</i>	88
<i>Efectos dañinos de los lixiviados</i>	88
<i>Tratamiento de los lixiviados</i>	88
Cantidad de los lixiviados:.....	89
Tratamientos biológicos:.....	90
–Procesos anaeróbicos:	90
–Procesos aeróbicos:	90
Sistemas naturales:	91
Evaporación:	92
Recirculación de lixiviados:	93
Sistemas de membranas:	94
–Biorreactores con membrana, MBR:	94
–Osmosis inversa:	94
LOS LIXIVIADOS EN CIUDAD JARDIN	96
<i>Monitoreo</i>	97
<i>Ingeniería aplicada</i>	97
<i>Procedimiento de cálculo de drenaje pluvial</i>	97
<i>Se limpió el subsuelo de Lixiviados</i>	99
<i>La segunda etapa del Proyecto</i>	101
CAPITULO IV. PROCESO DE GENERACION DE GASES	103
GENERACION Y APROVECHAMIENTO DE GASES	103
<i>Generación de gases contaminantes</i>	103
<i>Aprovechamiento de los gases</i>	104
¿Qué es el biogás?	104
Composición y propiedades del biogás	105
<i>La generación de biogás en rellenos sanitarios</i>	106

**Estudio geotecnico para la alternativa de la cimentacion de la edificacion del centro comercial Cd.
Jardin sobre Relleno Sanitario**

Fases en la biodegradación de los residuos sólidos	108
Digestión anaerobia	112
Rendimientos teóricos de biogás a partir de los residuos sólidos dispuestos	115
Manejo de los gases.....	120
Incineración del gas después del drenaje activo.....	126
Recolección de biogás en rellenos sanitarios.....	127
Conversión energética del biogás y reducción de emisiones de gas de efecto invernadero	131
Metodología de monitoreo.....	136
Reducción de emisiones de gas de efecto invernadero derivado de la recolección y conversión energética del biogás de rellenos sanitarios.	137
BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO DEL BORDO PONIENTE.....	138
<i>Red de extracción forzada para el biogas</i>	140
<i>Equipo de muestreo</i>	141
<i>Informacion de campo</i>	141
RESULTADO DE LAS PRUEBAS EN BORDO PONIENTE	142
CAPITULO V. HUNDIMIENTOS CAUSADOS POR LIXIVIADOS Y POR LA GENERACION DE GASES.....	143
HUNDIMIENTOS Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.....	143
<i>Principios básicos de un relleno sanitario</i>	143
<i>Compresibilidad de los residuos sólidos</i>	144
Compresión Inicial.....	145
Compresión Primaria	146
Compresión Secundaria	146
HUNDIMIENTO DEL BORDO PONIENTE	146
HUNDIMIENTO DEL BORDO DE XOCHIACA.....	148
CAPITULO VI. POSIBLES USOS FUTUROS DE LA ZONA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE.....	149
EXPERIENCIAS INTERNACIONALES	149
EL MEJOR USO DEL TERRENO DE UN RELLENO CERRADO ES:.....	156
<i>Reutilizar el sitio como relleno sanitario</i>	156
Estudio de factibilidad del Bordo Poniente para su reutilizacion como relleno sanitario.....	157
Composición de los Residuos Excavados	158
Densidad del Material de Cubierta	159
Densidad de los Residuos Sólidos	160
<i>Area de protección natural (bosque protector, vivero, área verde, parque para recreación pasiva y aislamientos forestales)</i>	161
LA BASURA COMO RECURSO ENERGÉTICO (GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR LA QUEMA DE GAS)	163
Aprovechamiento del gas metano en rellenos sanitarios	163
<i>Obtencion de bonos de carbono por la quema de gas</i>	166
<i>Venta de basura para quema en hornos de producción de cemento</i>	172
CAPITULO VII. CONCLUSIONES.....	174
BIBLIOGRAFÍA	177

INTRODUCCION

A nosotros nos interesó este tema debido a que para poder diseñar y construir cualquier edificación siempre es necesario conocer el suelo, nos llama mucho la atención porque el suelo no es un material continuo ni homogéneo y en este proyecto en donde el suelo está conformado por basura, las variables son aún más, por lo que se deben aplicar los conocimientos y los conceptos en que se apoya la mecánica de suelos para dar una solución práctica a los problemas. La instalación de cimientos, la ejecución de excavaciones, el abatimiento del nivel freático, el control de los lixiviados y de los gases, son actividades que requieren de un diseño, una planeación y una construcción cuidadosa, procesos en los que las propiedades mecánicas de los materiales deben tomarse en cuenta para la correcta ejecución de los trabajos, de manera que las condiciones de estabilidad y de las deformaciones inducidas durante la construcción y con el paso del tiempo no dañen a las estructuras o instalaciones colindantes ni a la propia.

Nuestro trabajo tiene el propósito esencial de: Hacer conciencia y mostrar cómo se pueden utilizar áreas o terrenos que se consideran perdidos, pudiéndoles dar un uso mejor y cambiar totalmente el aspecto de estos, tal es el caso del Bordo Xochiaca. Ayudando a la solución de problemas de basura, reduciendo factores que causaban enfermedades en la población de la zona, la reducción de la generación de gases y CO₂, la disminución de plagas y fauna nociva, evitar que continúe la contaminación tanto del suelo como de los mantos acuíferos por la filtración de los lixiviados, así como el decremento de la delincuencia en la zona y el mejoramiento del aspecto físico del lugar al mismo tiempo aumentando la plusvalía de estos terrenos.

JUSTIFICACIÓN

Sobre la avenida de Bordo de Xochiaca en Nezahualcóyotl, se encuentra un proyecto muy importante de rehabilitación y construcción sobre un basurero, donde resaltan las universidades La Salle y la Autónoma del Estado de México, el Centro Teletón para Rehabilitación Infantil, y un moderno centro comercial con cines, tiendas como Sears, Sanborns, Liverpool y otras. En este lugar también se cuenta con una zona verde que está a espaldas de lo construido, así en donde antes se encontraba un basurero con 12 millones de toneladas, actualmente, después de compactarlo y aislarlo con capas de tezontle, geotextil, geomembrana, tepetate y tierra vegetal, ahora tenemos que hay un campo de 64 hectáreas (640 mil metros) con pasto, islas de plantas y pequeños árboles. Además de las 45 hectáreas del área comercial, de servicios y de educación.

En esta área se crearon: 27 campos de fútbol, cinco de fútbol rápido, cuatro de voleibol, cuatro de tenis, cuatro de básquetbol, cuatro frontones, dos de fútbol americano, dos diamantes de béisbol, dos canchas de voleibol playero, dos gimnasios techados, algo inédito en esa parte de la metrópoli.

Esto nos hace pensar que una obra de esta naturaleza llevada a cabo en México, que beneficia al medio ambiente y a las comunidades de bajos recursos, debería ser replicado a nivel nacional.

OBJETIVO GENERAL

Investigar los efectos de la rehabilitación del tiradero del bordo Xochiaca, así como la construcción sobre este, para así proponer un uso futuro para los terrenos que conforman el relleno sanitario bordo poniente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Investigar si el método utilizado para la cimentación del centro comercial “Ciudad Jardín” es el adecuado, que proporcione seguridad y estabilidad a dicha construcción y no sea afectada por los asentamientos debido a la consolidación de la basura con el paso del tiempo.
- 2.- Proponer en caso de ser necesario alguna mejoría para la cimentación.
- 3.- Investigar y proponer los mejores posibles usos futuros del área del relleno sanitario bordo poniente.

ANTECEDENTES

El relleno sanitario.

El Relleno Sanitario es una técnica de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, tiene el objetivo de confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Se puede clasificar los siguientes cuatro procesos:

- Construcción
 - Construcción de Instalaciones
 - Construcción de caminos
 - Preparación de la superficie
- Operación
 - Descarga
 - Empuje
 - Compactación
 - Cubierta
- Clausura
 - Colocación de cubierta final
 - Control de la filtración de agua pluvial.
 - Control de la migración de biogás.
 - Reducción de tolvaneras.
 - Control de fauna nociva y malos olores.
- Saneamiento
 - Generación de áreas verdes
 - Reintegración del área al entorno
 - Colocación de barreras forestales

Así independiente de la operación y para el buen funcionamiento se realizan las siguientes actividades básicas:

Registro (Ingreso)

Recepción y descarga de los residuos en el frente de trabajo

Empuje

Compactación

Cobertura

Adicionalmente se llevan actividades complementarias, entre ellas:

Construcción de caminos

Preparación de patios para la descarga de los residuos

Riego

Limpieza

Topografía

Extracción de lixiviados

Construcción de instalaciones de biogás

Sistema de Drenaje Pluvial

Control de fauna nociva

La Maquinaria comúnmente utilizada:

Tractores sobre orugas con cuchilla topadora, para empuje de residuos sólidos.

Compactadores de residuos.

Compactador vibratorio sobre neumáticos autopropulsados con rodillo liso.

Cargador frontal

Camiones volteos

Camiones cisterna (pipas)

Plantas generadoras de electricidad.

Seguridad

Todo el personal operativo y de mantenimiento debe contar con uniformes y equipo de protección tal como: botas, overoles, cubrebocas y gafas.

¿Como se construye un relleno sanitario?

Para construir un relleno sanitario es importante seleccionar el terreno que reúna condiciones técnicas adecuadas como son: topografía, nivel a que se encuentran las aguas subterráneas y disponibilidad de material para cubrir la basura.

De acuerdo con las características del terreno, el relleno sanitario puede construirse siguiendo los métodos de área, zanja o una combinación de ambos métodos.

El método de Zanja o Trinchera Se utiliza generalmente en terrenos planos.

Se hace una zanja de varios metros de profundidad. La basura se deposita dentro, luego se compacta y se va cubriendo con la misma tierra que se sacó de la zanja.

El método de área se puede utilizar tanto en terrenos planos como para rellenar depresiones y en tajos o canteras abandonados. La tierra utilizada para cubrir la basura debe ser traída de otros sitios como laderas o montañas.

La basura se deposita directamente en el suelo, en el caso del terreno plano; o de partes más profundas hacia las más altas, en el caso de las depresiones.

La basura se esparce, compactada y recubre diariamente con una capa de 10 a 20cm, de tierra.

El Material de cobertura

Una de las diferencias fundamentales entre un relleno sanitario y un tiradero a cielo abierto es la utilización de material de cobertura para separar adecuadamente las basuras del ambiente exterior y confinarlas al final de cada jornada.

El cubrimiento diario de los desechos sólidos con tierra es de vital importancia para el éxito del relleno sanitario, debido a que cumple las siguientes funciones:

- Prevenir la presencia y proliferación de moscas y mosquitos.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humo.
- Minimizar los malos olores.
- Disminuir la entrada del agua de lluvias a la basura.
- Orientar los gases hacia las chimeneas para evacuarlos del relleno sanitario.
- Dar una apariencia estética aceptable.
- Servir como base para las vías de acceso internas.
- Permitir el crecimiento de vegetación.

Ventajas y limitaciones del relleno sanitario

Ventajas:

1. La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para instaurar el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración o de compost.
2. Tiene menores costos de operación y mantenimiento que los métodos de tratamiento.
3. Un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de RSM.
4. Genera empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo
5. Recupera gas metano en los rellenos sanitarios que reciben más de 500 t/día, lo que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas
6. Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, lo que reduce los costos de transporte y facilita la supervisión por parte de la comunidad.
7. Permite recuperar terrenos que se consideraban improductivos o marginales,

tornándolos útiles para la construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etc.

8. Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación de residuos.

9. Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal.

10. Facilita acciones de reciclaje o el proceso por el cual las basuras se separan, recogen, clasifican o almacenan para finalmente ser utilizadas como materia prima para elaborar nuevos productos. El proceso de reciclaje se inicia separando los residuos aprovechables en el mismo sitio donde se producen, como en la casa, las escuelas, los almacenes, etc.

Los elementos que se pueden reciclar son: papel, vidrio, chatarra, plástico, huesos, caucho, madera, etc. Estos son llevados a centros de acopio donde son transportados por la industria encargada de su transformación.

11. Ayuda a la fabricación de composta. Es la producción de abono utilizando basuras biodegradables, es decir, las que se descomponen fácilmente.

Limitaciones:

1. La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado, fenómeno conocido como NIMBY (not in my back yard 'no en mi patio trasero'), por diversas razones:

- La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
 - Se asocia el término relleno sanitario al de botadero a cielo abierto.
 - La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales que no garantizan la calidad ni sostenibilidad de la obra.
 - La falta de saneamiento legal del lugar.
2. El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.

2. El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.

3. La vulnerabilidad de la calidad de las operaciones del relleno y el alto riesgo de transformarlo en un botadero a cielo abierto, principalmente por la falta de voluntad política de las administraciones municipales para invertir los fondos necesarios a fin de asegurar su correcta operación y mantenimiento.

4. No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir viviendas, escuelas, etc.

5. La limitación para construir infraestructura pesada por los asentamientos y hundimientos después de clausurado el relleno.

6. Se requiere un monitoreo luego de la clausura del relleno sanitario, no solo para controlar los impactos ambientales negativos, sino también para evitar que la población use el sitio indebidamente

7. Puede ocasionar impacto ambiental de largo plazo si no se toman las previsiones necesarias en la selección del sitio y no se ejercen los controles para mitigarlos. En rellenos sanitarios de gran tamaño conviene analizar los efectos del tráfico vehicular, sobre todo de los camiones que transportan los residuos por las vías que con-fluyen al sitio y que producen polvo, ruido y material volante. En el vecindario el impacto lo generan los líquidos, gases y malos olores que pueden emanar del relleno.

8. Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.

9. En general, no puede recibir residuos peligrosos.

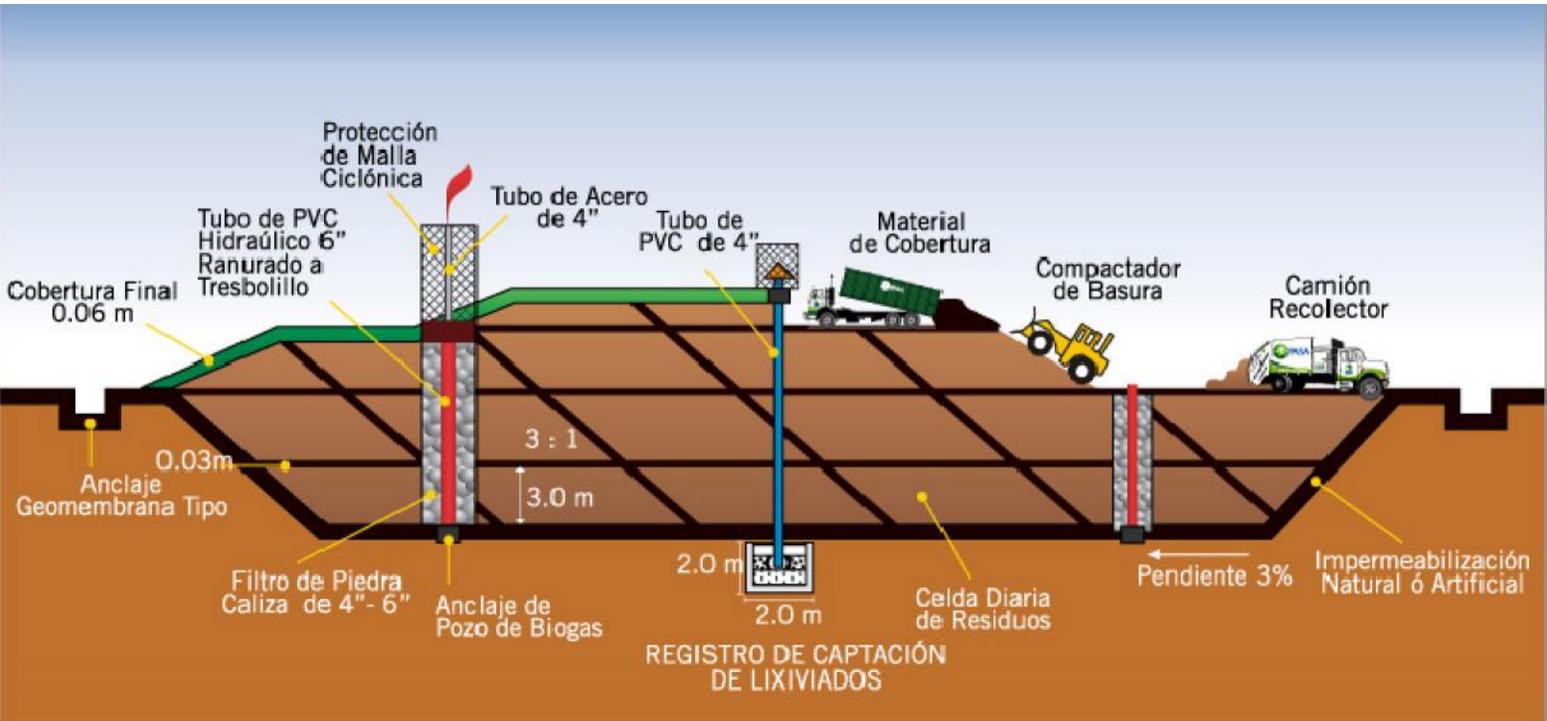


Figura 1 Operación del relleno sanitario

CAPITULO I. HISTORIA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE

Bordo poniente

¿Qué es el bordo poniente?

Alguna vez tuvimos la confusión que existe respecto a Bordo Poniente y el Bordo de Xochiaca. Ambos son cosas distintas, pero tienen un común denominador: la basura.

Los bordos, en el Lago de Texcoco, forman parte del sistema hidráulico que existe allí a partir de que fue convertido en un sistema de vasos reguladores y canales. Está en el oriente, y por eso suena más raro oír de un bordo poniente, pero lo mismo están esos bordos, Xochiaca y Poniente, que los Canales de Churubusco y de la Compañía.

El terreno de Bordo Poniente tiene ese nombre en honor a un bordo que se llama igual. El Bordo de Xochiaca, en cambio, es el límite sur del Lago de Texcoco, en la colindancia con Nezahualcoyotl. En esa zona se desarrollaron los tiraderos a cielo abierto de ciudad Nezahualcáyotl y de Chimalhuacán.

Bordo Poniente, por su parte, tiene 4 etapas. Las tres primeras tenían un manejo muy limitado de los residuos (no canalizan adecuadamente los líquidos que se generan -lixiviados-, no se protegió adecuadamente el suelo, no se utilizó ningún sistema para aprovechar los gases y no se midió la deformación del suelo). La etapa 4 ha venido avanzando, mejorando e innovando. Cada celda utiliza una geomembrana que protege el suelo, se está midiendo la deformación del mismo, los lixiviados se tratan, los gases se habrán de recuperar una vez que deje de funcionar esta etapa, para si no generar electricidad, al menos quemarlos para que no se acumulen como gases de efecto invernadero.



Figura 1.1 Bordo Poniente y Bordo Xochiaca

Historia

En 1982 fueron autorizados para su funcionamiento terrenos del ex Vaso de Texcoco para crear el relleno sanitario de Bordo Poniente, aunque su uso intensivo se registró en 1985, cuando fue necesario depositar en la primera etapa del tiradero los escombros de los edificios derrumbados o dañados en los sismos.

Las primeras tres etapas del Bordo cerraron en 1994 con una superficie de 472 hectáreas, cuando se autorizó al entonces Departamento del DF la habilitación de la cuarta etapa, que tendría capacidad para recibir desechos hasta 2004 o hasta que la montaña de desechos alcanzara una altura de 12 metros sobre la superficie.

El GDF obtuvo en 2004 una extensión de cuatro años en la vida útil del basurero, en parte porque no presentó otras opciones de disposición de las 12 mil toneladas de desechos que genera la capital.

En 2008, la administración capitalina exigió una nueva extensión del plazo para el cierre, aumentando la altura de la macrocelda de desechos hasta 15 metros en el centro.

En 2010, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), administradora del ex Vaso de Texcoco, emplazó al Gobierno del DF a cerrar el relleno sanitario el 31 de diciembre de ese año.

El Bordo cerró el 19 de diciembre de 2011, cuando, según la CONAGUA, la altura de la montaña de basura alcanzó 20 metros en el centro de la macrocelda, comprometiendo la estabilidad de la membrana plástica que hay en el fondo del relleno.

Se calcula que de 1994 a la fecha se depositaron unas 70 millones de desechos en Bordo Poniente. Tras su cierre continuaron ingresando desechos a una planta de composta que se localiza junto a la macro celda de desechos.

Cierre definitivo del basurero

El Bordo Poniente, el relleno sanitario más grande de América Latina, sigue siendo el mayor pasivo ambiental de México, con 70 millones de toneladas de basura que permanecen enterradas en sus entrañas, 1.5 millones de toneladas de gas metano que buscan salir a la superficie y lagunas de lixiviados estancadas sobre el acuífero profundo del Lago de Texcoco.

Poco se ha hecho para remediar el sitio y proceder a la clausura, que en su cuarta etapa abarca 375 hectáreas de terrenos federales, donde la fetidez que se genera por el mal manejo de los residuos satura la atmósfera del oriente de la Ciudad de México y provoca náuseas a los turistas que arriban al Aeropuerto Internacional Benito Juárez.

En la Línea B del Sistema de Transporte Colectivo Metro es común observar, sobre todo por las mañanas, a los usuarios taparse la nariz y la boca al salir de las estaciones, debido al hedor que se percibe en el ambiente.

Se pudo constatar la existencia de al menos ocho lagunas de lixiviados que, mezclados con el gas metano y bióxido de carbono, burbujan como caldo a punto de ebullición.

La presencia de estos jugos tóxicos que generan los desechos es preocupante, debido a que en plena temporada de estiaje son abundantes, lo que hace presumir que cuando empiecen las lluvias el agua deslavará aún más los residuos y el problema será mayor.

A ras de suelo, encontramos geomembranas rotas, rasgadas y mal parchadas que dejaron de cumplir con su función de evitar filtraciones al subsuelo. Junto a estas “lonas de material plástico”, que deberían servir de aislantes entre la basura y el terreno, hay fuga de lixiviados.

La planta de composta donde diariamente el DF envía dos mil 800 toneladas de basura orgánica para ser procesada. Cerros y cerros de comida para las garzas chapulineras (*Bubulcus ibis*) que antes pasaban de largo hasta llegar al lago Nabor Carrillo, y ahora se quedan para darse un gran festín, lo que podría ocasionar su reproducción a niveles de plaga.

Además, estas aves migratorias representan un grave riesgo de seguridad para el tráfico aéreo de la zona, ya que las pistas del aeropuerto están a tan sólo cinco kilómetros de distancia.

Según personal que trabaja en la planta de composta, se terminó el contrato con la empresa que durante algún tiempo mantuvo a raya a las garzas con el apoyo de aguilillas de Harris y halcones peregrino, entrenados para merodear el área.

Riesgos

En la pasada administración federal, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), así como la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPa) alertaron sobre los peligros que representaba el Bordo Poniente para 22 millones de habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Los principales pendientes, que siguen sin atenderse, son la colocación —de manera correcta— de una cubierta de arcilla impermeable sobre el relleno sanitario, el control de lixiviados y la reducción en la emisión de gases a la atmósfera, que al día equivalen a la contaminación generada por un millón de vehículos en circulación.

“De acuerdo con información proporcionada por el propio GDF, la cantidad de basura depositada en el sitio originó que el espesor del relleno sanitario sea de hasta 28 metros, lo que podría afectar la infraestructura hidráulica y la geomembrana, originar fuga de lixiviados y contaminar los mantos acuíferos.”

En el mismo boletín distribuido a los medios de comunicación, la PROFEPA exigía al GDF un estudio independiente sobre la viabilidad de la planta de composta y el volumen real de basura orgánica que se podía procesar al día, para evitar que los desechos se acumulen en cerros.

Nueva administración federal

“A grandes problemas, grandes soluciones, no hay de otra; nosotros creamos ese monstruo y nosotros lo debemos cuidar. Lo que se debe hacer en un futuro cercano es realizar grandes inversiones para tratar de manejar y tratar todos los tóxicos, que producen una contaminación de gran magnitud”, alertó.

Por parte del GDF, lo último que se supo es que entregó la concesión para explotar el gas metano del Bordo Poniente a un consorcio mexicano-español BMLMX Power Company, por 25 años.

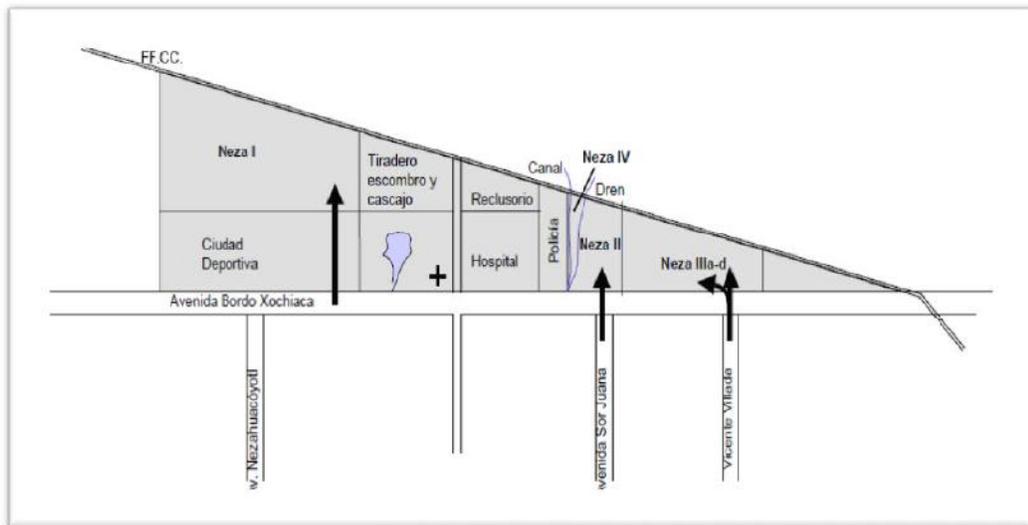
Historia del tiradero bordo xochiaca

Xochiaca era uno de los cuatro barrios antiguos que conformaban el señorío de Chimalhuacán, y que en lengua náhuatl significa “lugar de las flores en el lago”, dio nombre a este reducto del lago que fue contenido mediante un bordo de tierra, este espacio ubicado en el límite nororiente de ciudad Nezahualcóyotl. Era un lugar rico en diversidad animal y vegetal, pero fue degradándose paulatinamente y de ser un refugio natural de vida silvestre terminó siendo un basurero.

En 1945, antes de la fundación de Ciudad Nezahualcóyotl en 1963, se creó el Bordo de Xochiaca, con lo que llegaron miles de habitantes y se formaron las primeras colonias: Juárez Pantitlán, México, El Sol y el barrio de Juárez Pantitlán o San Juan, fueron unas de ellas.

En 1945 se construyó el Bordo de Xochiaca, es el segundo vertedero más importante del Distrito Federal, recibe aproximadamente 12 mil toneladas diarias de basura. Tiene alrededor de ocho kilómetros de largo, desde el Periférico Oriente, en el límite de Nezahualcóyotl con la delegación Venustiano Carranza; hasta la frontera entre Neza y Chimalhuacán. El Bordo es uno de los vertederos más grandes de Latinoamérica.

Dentro del municipio Nezahualcóyotl existían oficialmente tres tiraderos: Neza I (43has), Neza II (5 has) y Neza III (28.7 has) que ocupa en espacio ubicado en el triángulo Bordo Xochiaca, el espacio urbano Neza III está integrado por cuatro tiraderos de los cuales tres están reconocidos por el Ayuntamiento. Y existe otro tiradero clandestino, y un tiradero de escombros y cascajo.



Fuente: Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología, (Wamseler, Senties, & Sanchez, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología, 2000)

Figura 1.2 Triángulo Bordo Xochiaca

En total existen ocho tiraderos, incluyendo el de escombros y cascajo:

1. Neza I (transformado en Relleno sanitario en el año 1999)
2. Neza II (reconocido por el Ayuntamiento)
3. Neza IIIa (reconocido por el Ayuntamiento)
4. Neza IIIb (reconocido por el Ayuntamiento)
5. Neza IIIc (reconocido por el Ayuntamiento)
6. Neza III d (clandestino y no-reconocido por el Ayuntamiento)
7. Neza IV (clandestino y no-reconocido por el Ayuntamiento)
8. Tiradero de escombros y cascajo (clandestino y no-reconocido por el Ayuntamiento)

El relleno sanitario Neza I

El sitio de disposición final Neza I existe aproximadamente desde hace 30 años y se encuentra al lado de la ciudad deportiva, como separación entre los dos lugares existe una cerca perimetral (en parte tipo malla ciclón). Neza I se localiza sobre la avenida Bordo de Xochiaca, entre las avenidas Adolfo López Mateos y Nezahualcóyotl, el camino de acceso se encuentra en buenas condiciones. El régimen de propiedad del terreno es municipal. La distancia de asentamientos humanos con respecto al sitio es de 250 metros, y la colonia más próxima es la colonia El Sol que se encuentra en el oeste del sitio.

La cantidad de residuos sólidos que ingresan al sitio de disposición final es de 800 ton/día de camiones recolectores municipales, 200 ton/día de camiones recolectores independientes y 500 ton/día de material de escombros y excavación, lo que suma en total 1.500 ton/día. La generación de los residuos sólidos es de 0,835 kg/hab/día. El porcentaje de la población a la que se presta el servicio de recolección es al 100%.

En el tiradero existe una población de pepenadores de entre 700 y 3,000 personas, controladas por una agrupación.

Neza I fue operado por una empresa particular, desde 1996 a 1999 con grandes deficiencias, pues venía funcionando como tiradero a cielo abierto, ocasionando severos daños al medio ambiente y a la salud de los habitantes del municipio.

Para sanear el tiradero Neza I y elevarlo a la categoría de Relleno sanitario, en mayo del año 1999, el gobierno municipal de Nezahuacóyotl destinó 15 millones de pesos. A partir de abril del mismo año, el gobierno municipal se hizo cargo de su operación y puso en marcha un proyecto para realizar los trabajos de ingeniería, saneamiento y reorganización de este sitio de disposición final.

En las 43 hectáreas que abarca el tiradero controlado, se realizaron las obras siguientes:

Esparcimiento y compactación de la basura, cobertura con una capa de tepetate que impide la infiltración del agua pluvial disminuyendo la generación de lixiviados, la limpieza en derechos de vía terrenos aledaños invadidos con residuos diversos, mantenimiento de los caminos de acceso y perimetrales y preparación de celdas para el depósito de residuos en aproximadamente diez hectáreas de terreno virgen.

En proyecto está la construcción de drenes para lixiviados y para desalojo de aguas pluviales, así como cerca de 70 pozos o respiradores para la liberación de biogás y una barda perimetral bien definida que evitará el paso de la basura ligera a la zona urbana. La distancia del banco de material de cubierta es de 1.000 metros, diariamente la basura es cubierta. De las 43 hectáreas aún quedan disponibles 8, y las 35 hectáreas restantes pueden levantarse tres metros más, por lo que el Relleno sanitario tiene una vida útil estimada de 3,5 años, durante los que recibirán los residuos generados en el municipio, exclusivamente.

En Neza I, las condiciones de trabajo de los pepenadores son mejor que en otros tiraderos ya que la entrada de la basura está controlada, es decir, basura tóxica e

infecciosa no entra en el tiradero, lo que significa una disminuci3n de riesgos de salud para los pepenadores.



Figura 1.3 Bordo Xochiaca



Figura 1.4 Bordo Xochiaca



Figura 1.5 Bordo Xochiaca



Figura 1.6 Bordo Xochiaca



Figura 1.7 Bordo Xochiaca



Figura 1.8 Bordo Xochiaca



Figura 1.9 Bordo Xochiaca

No obstante los esfuerzos que el gobierno estatal y municipal por mejorar esta área, como la construcción de una planta de tratamiento de desechos sólidos municipales, que comprende una extensión de 30 hectáreas, está medida ha sido insuficiente, ya que la gran cantidad de basura que se acumula por cada metro cuadrado son 16 toneladas (López Piña & Quintero Soto, 2009), lo que ocasiona que se deforme la membrana que protege el relleno sanitario, inició así el proceso de clausura y saneamiento de los tiraderos de basura del triángulo del Bordo de Xochiaca.

El objetivo principal.

“Es crear un nuevo pulmón en esta región al convertir los tiraderos de basura, que son el problema ambiental más agudo del municipio, en una zona verde”



Figura 1.10 Proyecto Ciudad Jardín

El tiradero Neza 1 es fuente de contaminación en todos sus géneros, sin embargo en su conversión generará beneficios tanto para el municipio de Nezahualcóyotl como para el Estado de México.

Se eliminará la fauna nociva, disminuirán las partículas y bacterias suspendidas en el aire, además de que se abatirá la contaminación del manto freático producida por los líquidos, generados por la putrefacción de la basura orgánica.

Sumado a ello, el proyecto contará con una planta de tratamiento de agua, además sistemas especializados que permitan aprovechar el líquido pluvial para riego de áreas verdes y jardines. “Esto permitirá ahorrar más de cinco millones de litros por año.”

Así el reciente ir y venir de camiones forma parte de un plan para transformar esa zona.

Este municipio del Estado de México está ‘mudando de piel’, y parte de su paisaje, hasta ahora grisáceo, está a punto de pintarse de verde. El proyecto Ciudad Jardín pretende convertir el tiradero de basura, cerrado, en una zona deportiva con servicios de salud, educación y un centro comercial.

Los impulsores de Ciudad Jardín quieren que sea el corazón de la vida social de cuatro millones de residentes y de colonias de municipios colindantes, como Chimalhuacán.

Con este proyecto, se logró la reconversión del basurero municipal más grande del Estado de México. Mejorará la imagen de la zona y de la Avenida Bordo de Xochiaca; reinserta un nuevo paisaje verde por la forestación.

La creación de tres mil 500 empleos directos y más de cinco mil plazas temporales serán algunas de las ventajas del Desarrollo Ecológico Múltiple de Ciudad Jardín Bicentenario, en ciudad Nezahualcóyotl.

El complejo, que contempla espacios para cuatro mil deportistas, un estadio para tres mil 500 espectadores, un hospital y dos universidades –entre ellas la Unidad Académica Profesional de la UAEM-, así como un Centro de Rehabilitación Infantil Teletón CRIT, está abierto para los universitarios mexiquenses en áreas como en educación, salud e ingeniería, buscando que se convierta en un semillero de empleos.

Cierre del relleno sanitario Bordo Xochiaca

El Congreso local autorizó el 11 de noviembre 2005 al gobierno del estado de México a desincorporar y vender a la iniciativa privada dos predios que suman 46 hectáreas, ubicados en el Bordo de Xochiaca Neza I. Los terrenos desincorporados tienen valor comercial de aproximadamente 250 millones de pesos y serán vendidos a Corporación Inmobiliaria Integral Gucahé. El proyecto de Ciudad Jardín sumará 109 hectáreas y será desarrollada con una inversión de 150 millones de dólares. Y para el 30 de marzo del 2006 inició formalmente la construcción del proyecto Ciudad Jardín Bicentenario, un concepto comercial-deportivo-ecológico, en el que la iniciativa privada invierte. La empresa Impulsora de Desarrollo y Empleo en América Latina (IDEAL), es el principal inversionista en este proyecto con el 70 por ciento del financiamiento.

El 22 de mayo de 2009, el entonces gobernador Enrique Peña Nieto, en compañía del presidente del Grupo CARSO, Carlos Slim Helú; Alfonso Salem, director de Ideal, y Heberto Guzmán Gómez, director general de Gucahe, inauguraron la Ciudad Jardín Bicentenario, sitio que representaba la recuperación ecológica más importante del país ya que fue construida en un ex-relleno sanitario, este proyecto, genera un impacto en el proceso del desarrollo territorial, creando nuevos y distribuidos espacios urbanos, reactivando las actividades económicas de la población; junto con el gobierno estatal y del municipio de Nezahualcóyotl, y la inversión de la iniciativa privada, la ciudad jardín bicentenario ha inyectado y transformado el rostro de dicha zona y no solo en el complejo, sino, también, en el desarrollo socioeconómico de sus alrededores.



Figura 1.11 Fachada acceso centro comercial Ciudad Jardin

CAPITULO II. DESCRIPCION DEL PROYECTO DE LA PLAZA Y ALTERNATIVA DE CIMENTACION

Centro comercial Ciudad Jardín Nezahualcoyotl, Memoria descriptiva del proyecto.

Memoria Arquitectonica

El centro comercial se encontrara localizado al oriente de la CD. De México sobre la av. Bordo de Xochiaca, dentro del municipio de Nezahualcóyotl, Edo. De México en un predio cuya superficie es de 175,635 m²., siendo este parte de un conjunto urbano en desarrollo denominado Ciudad Jardín Bicentenario.

Dada la importancia de ubicación dentro del contexto urbano de la zona, de su emplazamiento sobre una de las arterias de mayor importancia, así como por su disposición y características topográficas, el sitio expone por si solo un potencial de desarrollo que complementado con las edificaciones proyectadas dentro del plan general, darán a este conjunto un icono de referencia dentro de la ciudad.

Con el programa de necesidades y el estudio de mercado realizado, se trabajó en un análisis conceptual buscando que el proyecto arquitectónico cumpliera tanto en su exterior como en su interior con cada uno de los puntos indicados en estos. De tal manera se optó por desarrollar el proyecto en dos niveles cuyo impacto visual de conjunto tuviera la claridad, carácter y fuerza suficientes para lograr una buena identificación comercial, así mismo se cuidó el tener una integración con los demás desarrollos comerciales, servicio, educación y recreativo-deportivo actualmente en desarrollo.

El concepto arquitectónico interior plantea fomentar el recurso espacio-funcional de asociatividad de usos, compatibilizando espacios comunes y comerciales, para una variedad de usuarios cuyas demandas deberán satisfacerse tanto en escala como en

calidad. La disposición de las tiendas y locales está en función a un análisis de acuerdo a su actividad, giro, vinculación, adición y correspondencia entre si dándoles una ubicación estratégica con la finalidad de distribuir de manera equitativa los beneficios entre las distintas zonas que conforman el proyecto.

Se consideró el manejo del espacio comercial cerrado, dejando solamente algunos locales exteriores en planta baja flanqueando los accesos principales, los cuales están jerarquizados por una cubierta elevada que se incorpora hacia el interior de la plaza generando una doble altura. Este manejo de espacios permite tener una visual de interacción entre los espacios interiores de los dos niveles con el exterior. El juego de fachadas de las tiendas anclas y sub-anclas que dan al exterior se manejaron integradas al conjunto, aunque dándoles su identidad y jerarquía.

El proyecto consta de tres tiendas anclas de dos niveles, una tienda ancla de un nivel, siete sub-anclas, cinemas con catorce salas (para 3,000 espectadores), área de comida rápida con catorce locales, seis restaurantes, tres sucursales bancarias y ciento veinte locales menores de diferente giro y especialidad, todo esto en 88,457 m² construidos cubiertos. Las áreas comerciales anteriormente descritas estarán integradas por amplias plazas y pasillos en dos niveles, conectados por medio de escaleras eléctricas dispuestas en puntos estratégicos a fin de balancear los tráficos peatonales.

En el pasillo superior existen grandes huecos que permitan la relación espacial y visual entre ambos niveles.

Se cuenta con dos ingresos frontales ubicados en los extremos, y dos más en la parte posterior los cuales convergen hacia el pasillo central cuya generatriz curva en el centro y recta en los extremos vértebra todo el desarrollo permitiendo ir descubriendo paulatinamente durante su recorrido los locales ubicados en sus costados, conformando un interior claro y dinámico dentro del conjunto. Así mismo se buscó

equilibrar y complementar esto por medio de plazas y áreas de estar que permitan el esparcimiento y convivencia de los usuarios dentro de un ambiente cubierto, mas no encerrado ya que la estructura superior de este, estará dispuesta de tal manera que permita la entrada de luz natural por medio de ventanales de cristal, logrado con esto un mayor confort y naturalidad.

Se buscó así mismo por medio del diseño de pisos, mobiliario, bancas, jardineras, manejo de recubrimientos, acabados, colores y elementos decorativos dar un espacio cálido y moderno.

Los accesos peatonales por la avenida principal y las dos nuevas avenidas laterales que conectan al resto del desarrollo, nos permite tener un desplazamiento horizontal franco desde el exterior hacia el interior del desarrollo, pensados en la comodidad y facilidad para el usuario, tratando los cambios de nivel con transiciones en atención a aquellos visitantes con capacidades diferentes.

La circulación vehicular desde el exterior se encauzara a través de los flujos dominantes existentes, proponiendo carriles de incorporación para una fácil y cómodo acceso, los cuales conectarán al circuito interior perimetral de todo el conjunto. Las zonas de estacionamiento se plantean a partir de este circuito, rodeando todo el edificio comercial. Cuenta con espacios proyectados para 3,727 autos cuya capacidad es superior a los requerimientos marcados por los reglamentos vigentes, en una superficie de 111,415m² (incluidos 68 cajones para discapacitados, ubicados cerca de los accesos). Los ingresos comerciales a la plaza están distribuidos considerando balancear los flujos desde las playas de estacionamiento y paradores peatonales hacia estos a fin de evitar recorridos largos y complicados. Estas áreas exteriores estarán conjuntadas con banquetas y amplios andadores delimitados por jardineras, árboles, luminarias y elementos de landscape que darán una buena imagen, seguridad y confort al usuario.

Contará además con servicios generales de apoyo como son: cisternas, cuartos de máquinas, sistema contra incendio, sub-estaciones, planta de emergencia, sanitarios públicos, cuarto de basura, oficinas administrativas, andenes, cuarto de mantenimiento, bodegas, planta de tratamiento, cuarto de aseo y pasillos de servicios posteriores a los locales.

Es importante destacar que este conjunto será un detonante positivo en la zona mejorando de manera substancial la imagen urbana de los actuales tiraderos de basura.

Así mismo aporta a la sociedad local un espacio alterno de comercio, esparcimiento y de apertura a la convivencia, respondiendo así a las nuevas tendencias de la sociedad.

Descripción de Materiales y acabados

Pisos

Firmes de concreto armado pulido en áreas de servicio.

Firmes de concreto armado acabado normal (para recibir pisos dentro de locales, plazas y pasillos)

Piso de porcelanato sobre firme de concreto en áreas comerciales comunes como, plazas y pasillos, área de gourmet, baños y oficinas. Los colores y despieces de este, estarán en base al diseño integral de toda la plaza.

Concreto esponjado aparente ranurado a 90° con cenefas de porcelanato antiderrapante natural en portal, andadores y banquetas exteriores, según diseño.

Carpeta asfáltica en zona de estacionamiento con señalización de cajones y sentido de circulación a base de pintura de tránsito.

Muros y faldones

Los muros de fachadas exteriores serán realizados en block de cemento hueco terminados con aplanados a base de cemento arena y pintura vinílica y/o recubrimiento

de material pétreo. Estos estarán adecuadamente reforzados contra esfuerzos de viento y sismo de acuerdo a norma. Los pretilos y elementos sobre losas estarán adecuadamente anclados a esta y sus acabados serán similares al de los muros.

Los muros divisorios interiores entre locales serán en block de cemento hueco hasta una altura de 3.20m y de esta a la losa, a base de tabla-roca en ambas caras. Los faldones superiores y frentes hacia el pasillo comercial se manejarán en tabla-roca con acabado de pasta y pintura vinílica. Las columnas estructurales que queden expuestas hacia el pasillo, serán recubiertas con tabla-roca y su forma y acabado estarán integrados al diseño general de la plaza.

Plafones

El plafón del pasillo central se manejará con tablaroca y cubrirá la estructura metálica y la cubierta aislada de lámina modular. Así mismo se integrará en la cubierta como parte del diseño, un tragaluz de cristal templado con sistema reflectivo térmico en la plaza central.

En donde se requiera falso plafón, como es el caso de las áreas comunes de mesas de Gourmet, oficinas, baños, etc. estos se manejarán de tabla-roca con pintura vinílica o pasta con color según sea el caso. El área interior de locales se entregará con estructura aparente y cada locatario dispondrá según su diseño de las alturas y materiales que considere adecuadas.

Para el desarrollo del proyecto arquitectónico se siguieron los lineamientos establecidos en los reglamentos de construcciones locales, apegadas a las normas y estándares de diseño que se establecen para este tipo de edificaciones.

Memoria Estructural

Cimentación

Se resolverá con una cimentación parcialmente compensada a base de un cajón hueco de 3.0 m de profundidad, rigidizado con contratraveses sobre los ejes principales, los cuales se encuentran espaciados a cada 10m.

Se inducirán presiones de contacto al terreno de aproximadamente 2.0 t/m^2 .

La losa fondo se resolverá a base de una losa maciza de 30 cm de espesor apoyada sobre traveses secundarios de concreto formando claros de $5.0 \times 5.0 \text{ m}$.

La losa tapa se resolverá con un sistema prefabricado (losa spancrete) la cual se apoyará en la contratraveses de cimentación salvando un claro de 10 m.

Este sistema de piso deberá ser diseñado para resistir una sobrecarga de 600kg/m^2

Para el apoyo de las columnas se diseñará un dado de concreto, en el cual se alojarán las anclas que le darán apoyo a las columnas.

El dimensionamiento de toda la cimentación se calculará con las recomendaciones de capacidad de carga y hundimientos esperados que el estudio de mecánica de suelos.

Superestructura.

La superestructura se resolverá a base de marcos dúctiles de acero, utilizando columnas de sección cuadrada HSS y vigas a base de perfiles I comerciales o formadas de 3 placas.

Se utilizarán conexiones atornilladas, las cuales se representarán gráficamente en planos.

Los marcos serán capaces de absorber las fuerzas horizontales a las que estará sometida la estructura durante su vida útil.

El sistema de piso en las losas planas de los niveles 1 y 2 se resolverá con losacero a base de lámina acanalada de 6.35 cm de espesor y una capa de compresión de 5 cm.

Azoteas.

Cubriendo los pasillos de la plaza se contará con una cubierta ligera formada a base de armaduras de acero, las cuales recibirán el peso de los largueros, los cuales a su vez le darán apoyo a lámina de la cubierta.

Seguridad estructural.

Estará regida con los lineamientos que se indican en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal publicado el 29 de enero de 2004, sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de:

Estructuras de Concreto y Acero Publicadas el 4 de octubre de 2004. (RCDF-NTC)

Los Manuales de Diseño de Obras Civiles para Diseño por Sismo y Viento de la Comisión Federal de Electricidad y el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Las Normas de Diseño del American Institute of Steel Construction (AISC). Manual de Construcción en Acero "Load and Resistance Factor Design (LRFD)

Manual de Construcción en Acero Tomos I y II del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero. (IMCA)

Esta construcción se clasifica como del grupo (B), edificaciones comunes destinadas a locales comerciales.

Toda la estructura y cada una de sus partes se diseñarán para que cuente con la seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla, ante la combinación de las acciones más desfavorables que pudieran presentarse durante su vida útil.

En ninguna de las partes de la estructura, ni del conjunto se rebasará el estado límite de servicio, ante la combinación de acciones que correspondan a condiciones normales de operación.

Criterios de Estructuración.

Las estructuras se dimensionarán, analizarán y diseñarán bajo el concepto de marcos rígidos de acero, conectados en sus uniones con la continuidad adecuada, para que los efectos de carga axial, cortante, momentos flexionante y momentos torsionantes, generados por las cargas gravitacionales de peso propio, cargas vivas y las derivadas de las fuerzas horizontales de viento y sismo, se transmitan y distribuyan adecuadamente entre los elementos estructurales y se propaguen a la cimentación.

Definición de cargas vivas.

TABLA DE CARGAS VIVAS			
USO DEL PISO	W Kg/m ²	Wa Kg/m ²	Wm Kg/m ²
AZOTEAS CON CUBIERTAS Y GRAS CON PENDIENTES > 5.5 %	40	20	15
AZOTEAS LOSAS PLANAS (CON EQUIPOS)	350	250	250
PASILLOS Y LOCALES COMERCIALES	350	250	10

W - Carga media utilizada para cálculo de asentamientos y flechas diferidos.

Wa - Carga instantánea utilizada para diseño sísmico y viento.

Wm - carga máxima para diseño por fuerzas gravitacionales de la cimentación y estructura.

Parametritos básicos de diseño.

El diseño de estructuras de concreto reforzado estará basado en los lineamientos del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (29/1/2004) y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto última revisión (4/10/04).

Se utilizara concreto $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$ clase 1 en Losas, dados, contratraves de cimentación y sistemas de piso.

Peso volumétrico $>, 2200 \text{ Kg/m}^3$.

Contracción por secado $Ecf= 0.001$

Coefficiente de deformación diferida. Deformación axial $cf= 2.4$

Módulo de elasticidad $E_c= 14000 f'c \text{ Kg/cm}^2$ ($E_c = 220\,000 \text{ Kg/cm}^2$).

La calidad y proporciones de los materiales componentes del concreto serán tales que se logre la resistencia, rigidez y durabilidad necesarios.

Es importante incluir las recomendaciones del laboratorio de materiales para definir las características del concreto expuesto a agentes agresivos

Las estructuras de acero se diseñarán con los lineamientos del Reglamento de Construcciones del Distrito federal (29/1/04) y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero última revisión (4/10/04) y el Reglamentos LRDF (Load Resistance Factor Design).

Acero estructural

A-36 (Designación ASTM)

Límite de fluencia $F_y= 2530 \text{ Kg/cm}^2$

Acero soldado

A44 (Designación ASTM)

Límite de fluencia $F_y= 2820 \text{ Kg/cm}^2$

Acero de tornillería

A325 (Designación ASTM); Límite de fluencia $F_y = 5415 \text{ Kg/cm}^2$

A490 (Designación ASTM); Límite de fluencia $F_y = 8790 \text{ Kg/cm}^2$

Análisis sísmico

Se utilizarán los parámetros indicados en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal Atendiendo a la seguridad estructural que corresponde a un centro comercial y haciendo mención al Art. 174 del reglamento de construcciones para el Distrito Federal, la estructura se clasifica dentro del grupo B.

Dependiendo el tipo de suelo, la zona donde se ubica el predio, corresponde a la zona III d.

El factor de comportamiento sísmico que se eligió para este edificio, en función de las características de la estructura, la ductilidad propia de los materiales, conexiones y al deterioro a largo plazo que llega a contrarrestar gran parte de la capacidad de resistencia de la estructura. Se adoptó $Q = 2.0$.

El coeficiente sísmico a utilizar correspondiente a la zona III será $c = 0.30$

Se considerarán los parámetros sísmicos del Reglamento de construcciones del Distrito Federal por la proximidad de la zona y estar ubicada dentro del Área Metropolitana

Espectro de diseño.

Se aplicará el análisis dinámico modal, adoptándose las siguientes hipótesis para el análisis de la estructura.

Se obtendrá la ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico a, expresada como función de:

$$a = (1+3T/T_a) c/4$$

$$a = c, \text{ si } T \text{ está entre } T_a \text{ y } T_b$$

$$a = q'c, \text{ si } T \text{ excede de } T_b$$

$$q = (T_b/T) r$$

$$\text{Donde: } T_a = 0.6$$

$$T_b = 3.9$$

$$r = 1$$

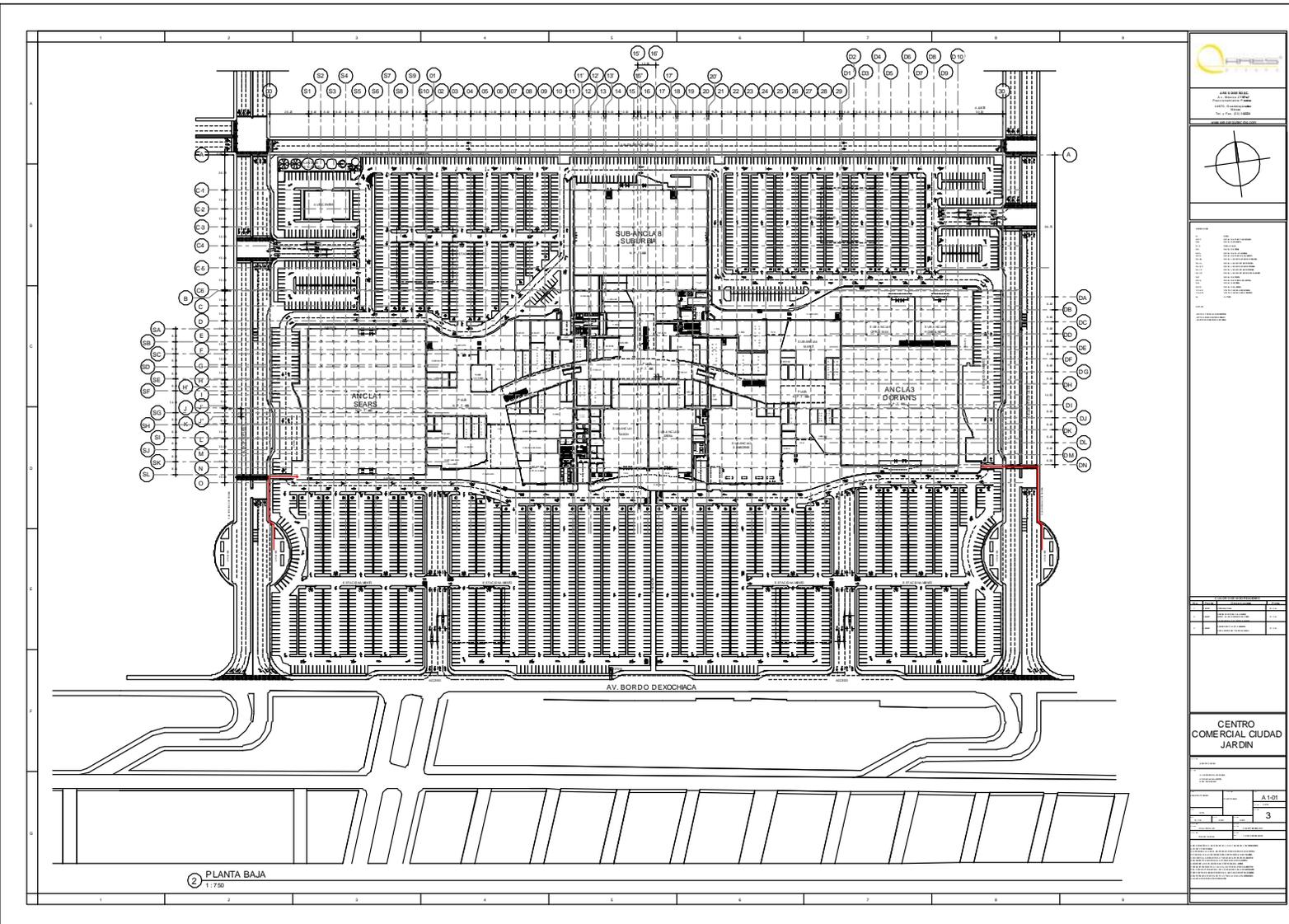
Análisis eólico

Para el estudio eólico, se adoptarán las propuestas del Reglamento para las construcciones del D.F. Conforme al Art. 216 del Reglamento. En las áreas urbanas y suburbanas del Distrito Federal se tomará como base una velocidad de viento $V = 80$ km/h.

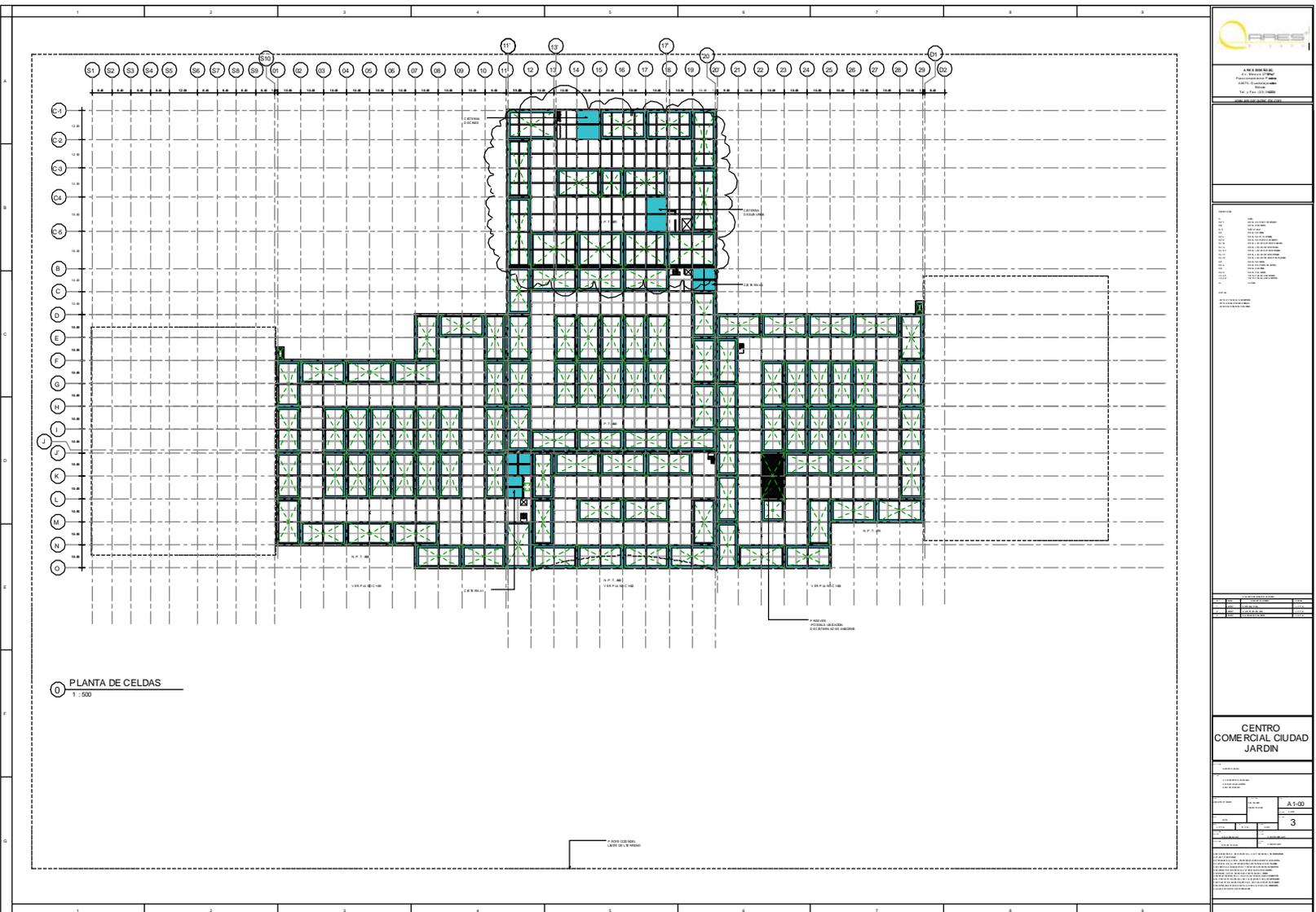
Criterios de Diseño. Deberá revisarse la seguridad de la estructura principal ante el efecto de las fuerzas que se generan por las presiones (empujes o succiones) producidas por el viento sobre las superficies de la construcción expuestas al mismo y son transmitidas al sistema estructural. Deberá realizarse, además, un diseño local de los elementos particulares expuestos a la acción del viento.

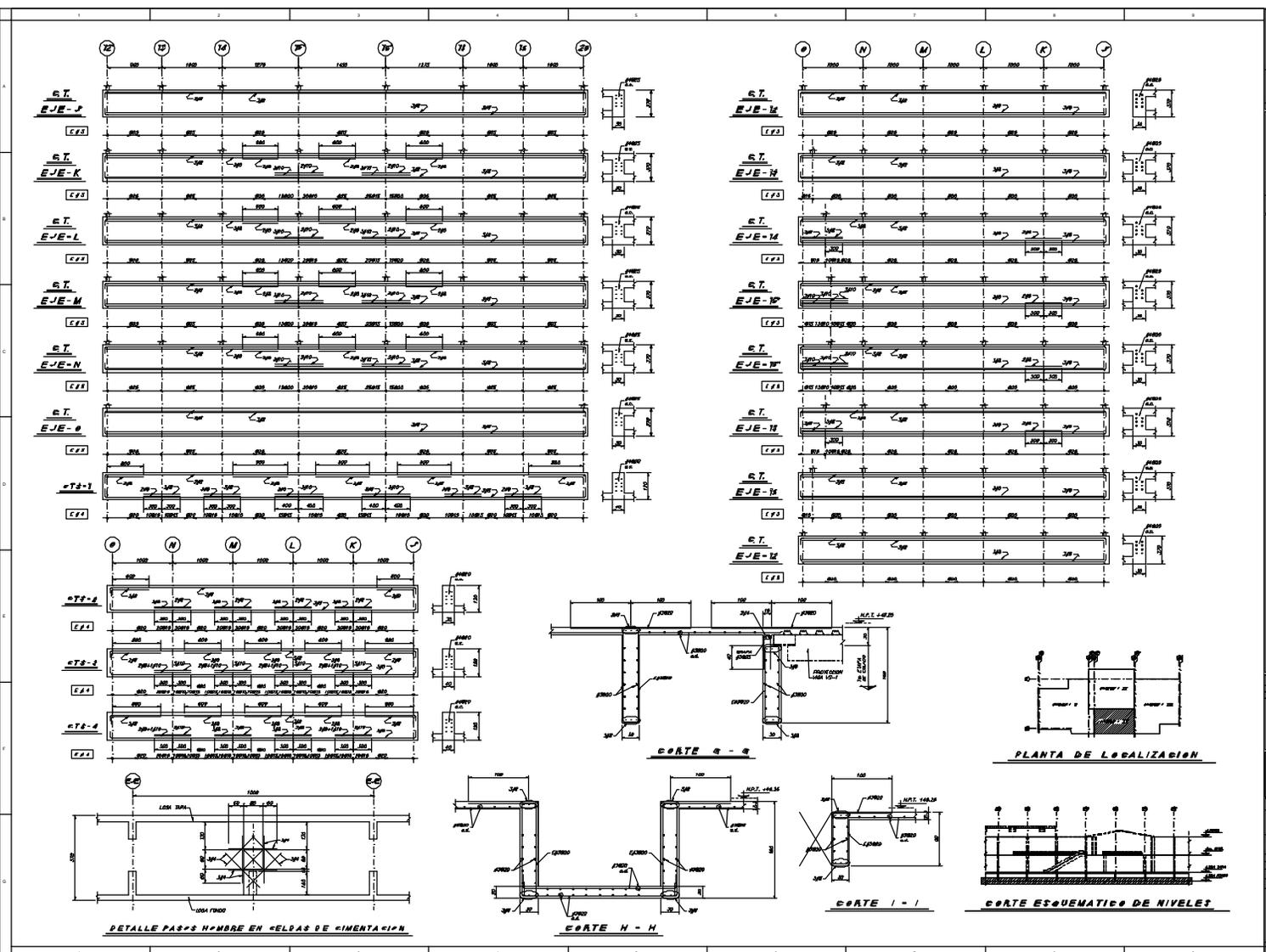
Clasificación de la estructuras. De acuerdo con la naturaleza de los principales efectos que el viento puede ocasionar la estructura se clasifica como Tipo 1. (Estructuras poco sensibles a ráfagas y a los efectos dinámicos del viento)

Planos Ciudad Jardin



2 PLANTA BAJA
1:750







ARES Ingenieros S.A.S.
CALLE 100 No. 100-100
BARRIO LA VIGIA, BOGOTÁ, COLOMBIA
TEL: (57) 310 456 7890
WWW.ARESINGENIEROS.COM



N

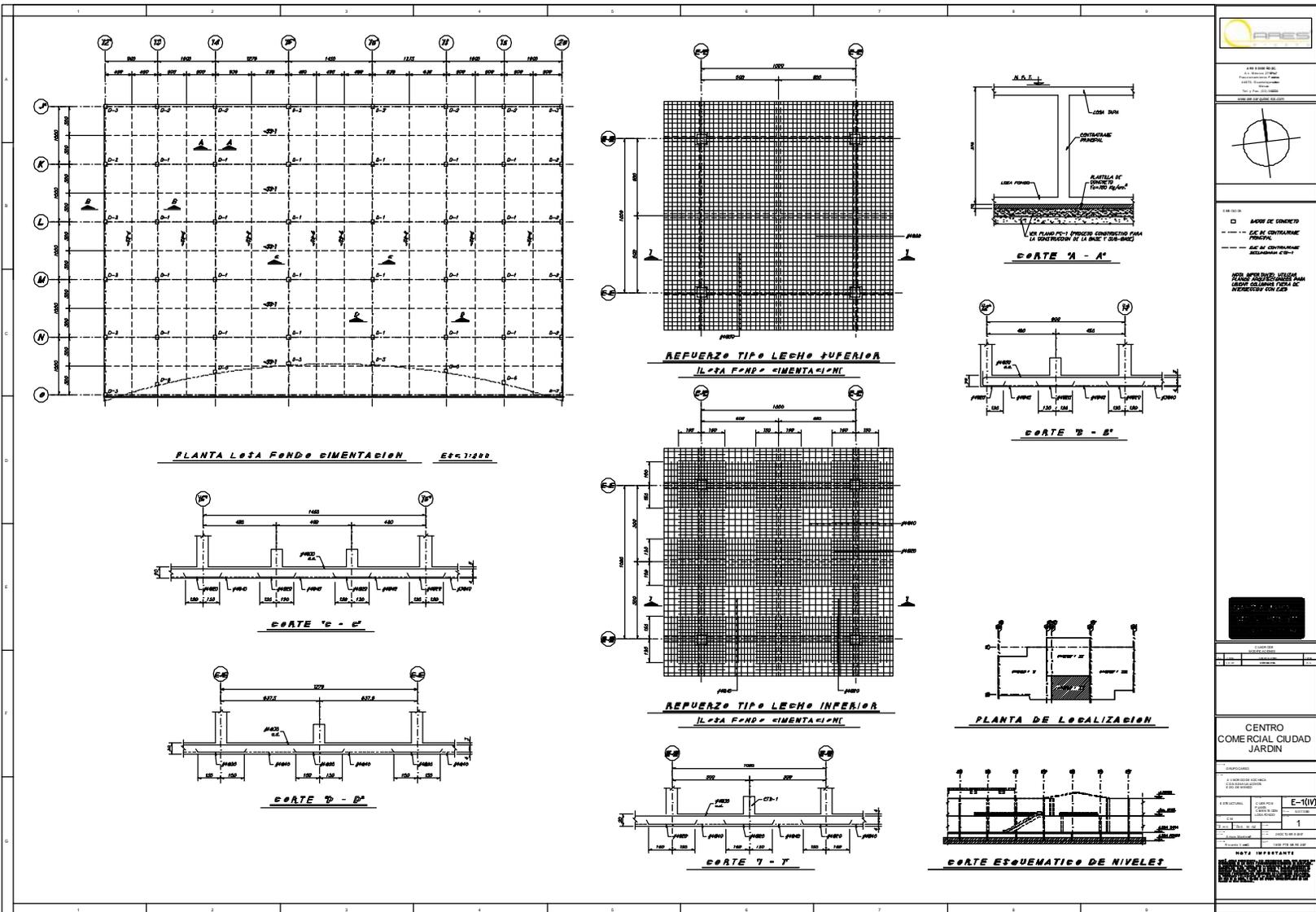


**CENTRO
COMERCIAL CIUDAD
JARDIN**

PROYECTO: CENTRO COMERCIAL CIUDAD JARDIN
Escala: 1:100
Fecha: 15/03/2011
Hoja: 1 de 1
Autor: [Redacted]
Revisor: [Redacted]
Aprobado: [Redacted]

E-300

NADA INVENTAR



La mecánica de suelos

Para determinar las características físicas del terreno se realizó un estudio de mecánica de suelos con la participación de la empresa "TGC GEOTECNIA", mismos que nos apoyaron con una copia de los resultados.

Este estudio tuvo lugar el interior de la Ciudad Deportiva Nezahualcóyotl, al oriente de la ciudad de México, en la Av. Bordo Xochiaca, estado de México.



Figura 2.1 Croquis de localización

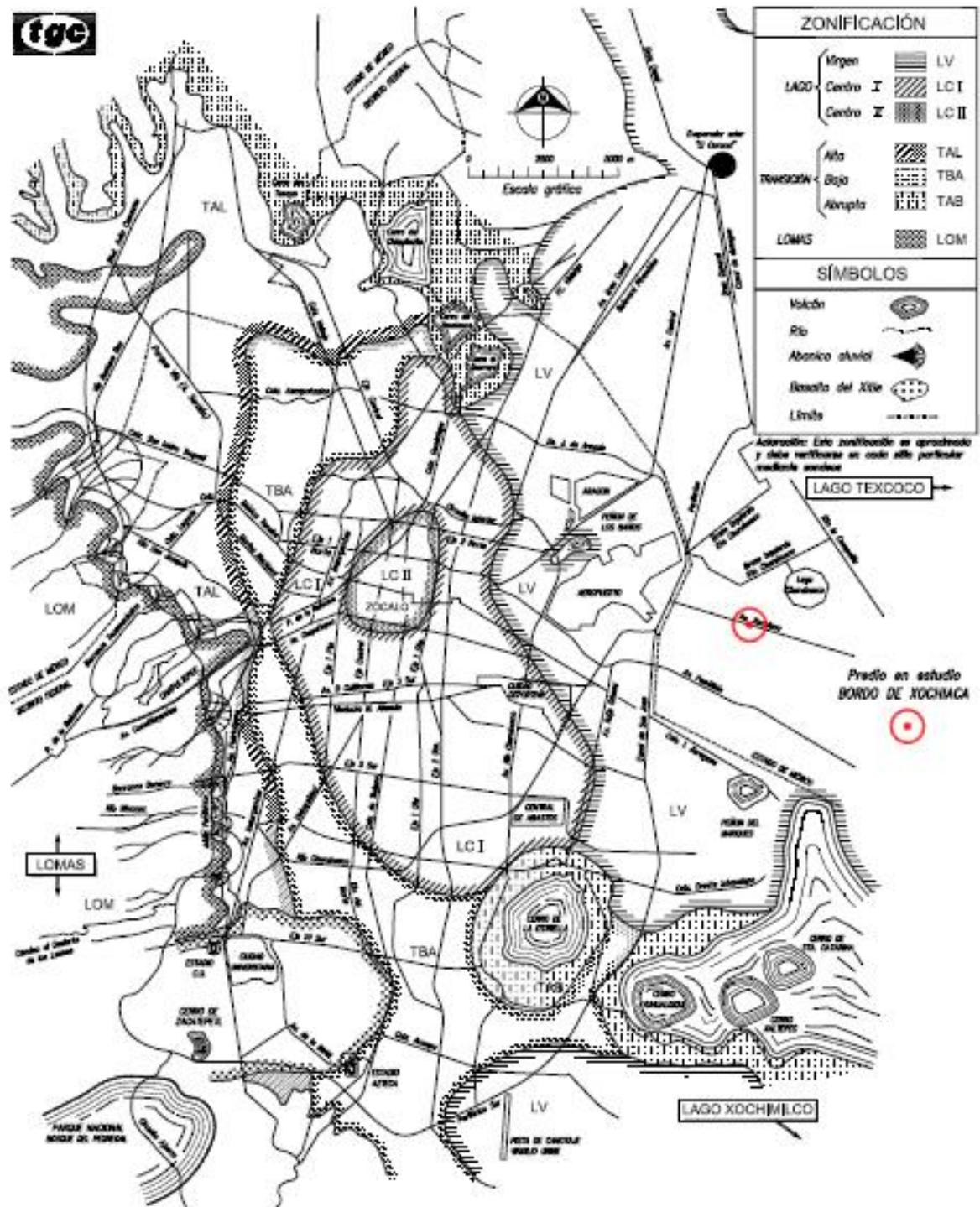
Los objetivos de este estudio son los siguientes:

- a) Definir la estratigrafía del sitio, indicando el espesor del relleno de basura y la distribución de los estratos de interés para el proyecto.
- b) Reportar los parámetros que definen las propiedades mecánicas determinadas en pruebas de laboratorio en muestras representativas e inalteradas de los suelos del lugar.
- c) Con base en lo anterior, evaluar las soluciones de cimentación factibles para las estructuras que se pretende construir.

Condiciones geotécnicas del sitio

Información geotécnica disponible

Zonificación. Desde el punto de vista geotécnico, la zona en estudio se localiza al oriente de la ciudad de México, en la zona geotécnica denominada Lago Virgen, caracterizada por la presencia de suelos arcillosos blandos de alta compresibilidad, depositados en un ambiente lacustre con espesores que alcanzan los 80.0 m de profundidad, intercalados por lentes duros.



Actualmente el sitio se encuentra cubierto con un depósito de basura en espesores variables de 7.50 m en el SCE-1 a 13.0 m en el SCE-5.

Hundimiento regional. Debido al abatimiento regional de la presión hidrostática del agua del suelo, originada por bombeo para extracción de agua desde los acuíferos profundos para abastecimiento de la ciudad, la zona sufre asentamientos de 30 cm/año,

Trabajos de campo

Recorrido de inspección. Se realizó un recorrido de inspección por el interior del predio, por ingenieros de TGC Geotecnia, en el cual se observó que actualmente el predio se utiliza como área deportiva, también se observaron las condiciones de las estructuras existentes. Con base en dichas observaciones se ubicaron los sondeos de la manera más ventajosa.

Topografía del sitio. De acuerdo con el recorrido de inspección realizado y con el plano topográfico proporcionado por PC Constructores, se observó que el predio de interés presenta una topografía con tres plataformas que descienden del nororiente al sur y del nororiente al surponiente, el desnivel entre la plataforma más alta y la más baja es de aproximadamente 3.0 m.

Sondeos de exploración. Con objeto de conocer las condiciones estratigráficas del sitio, se realizaron seis sondeos geotécnicos utilizando como técnicas de exploración el cono eléctrico y la penetración estándar, (SCE-1 a SCE-6); también se excavaron cuatro pozos a cielo abierto en los que se exploraron los suelos superficiales que se utilizaron como relleno, con mayor detalle, en la Fig. 2.3 se muestra la ubicación en planta de los sondeos.

De 0.0 a 10.0 m de profundidad, se utilizó la técnica de penetración estándar en los sondeos SCE-3 y SCE-6; la técnica con el cono dinámico en los sondeos SCE-2, SCE-4 y SCE-5 y avance controlado en el sondeo SCE-1. De 10.0 a 70.0 m de profundidad en promedio, se utilizó el cono eléctrico y de 70.0 a 80.0m, se utilizó la técnica de la penetración estándar. De cada uno de los sondeos se tomaron muestras representativas.

Sondeos de muestreo selectivo. Con el propósito de medir los parámetros de resistencia de los materiales naturales, la cohesión y el ángulo de fricción interna, se realizaron dos sondeos de muestreo selectivo utilizando el tubo TGC como muestreador, de ellos se obtuvieron muestras inalteradas a diferentes profundidades.

Sondeo con piezocono. Para conocer las condiciones piezométricas en el sitio, se procedió a realizar un sondeo con piezocono con lecturas en diferentes lentes permeables hasta la profundidad de 66.0 m y se instalaron dos tubos de observación para detectar la profundidad del nivel freático.

Nivel freático. El nivel freático se detectó a 1.40 m de profundidad cerca del sondeo exploratorio SCE-5 y a 1.05 m cerca del sondeo SCE-1.

Sello de barrenos. Al concluir cada sondeo se procedió a sellar la perforación con una mezcla de cemento y bentonita para evitar el flujo del lixiviado a los estratos inferiores.

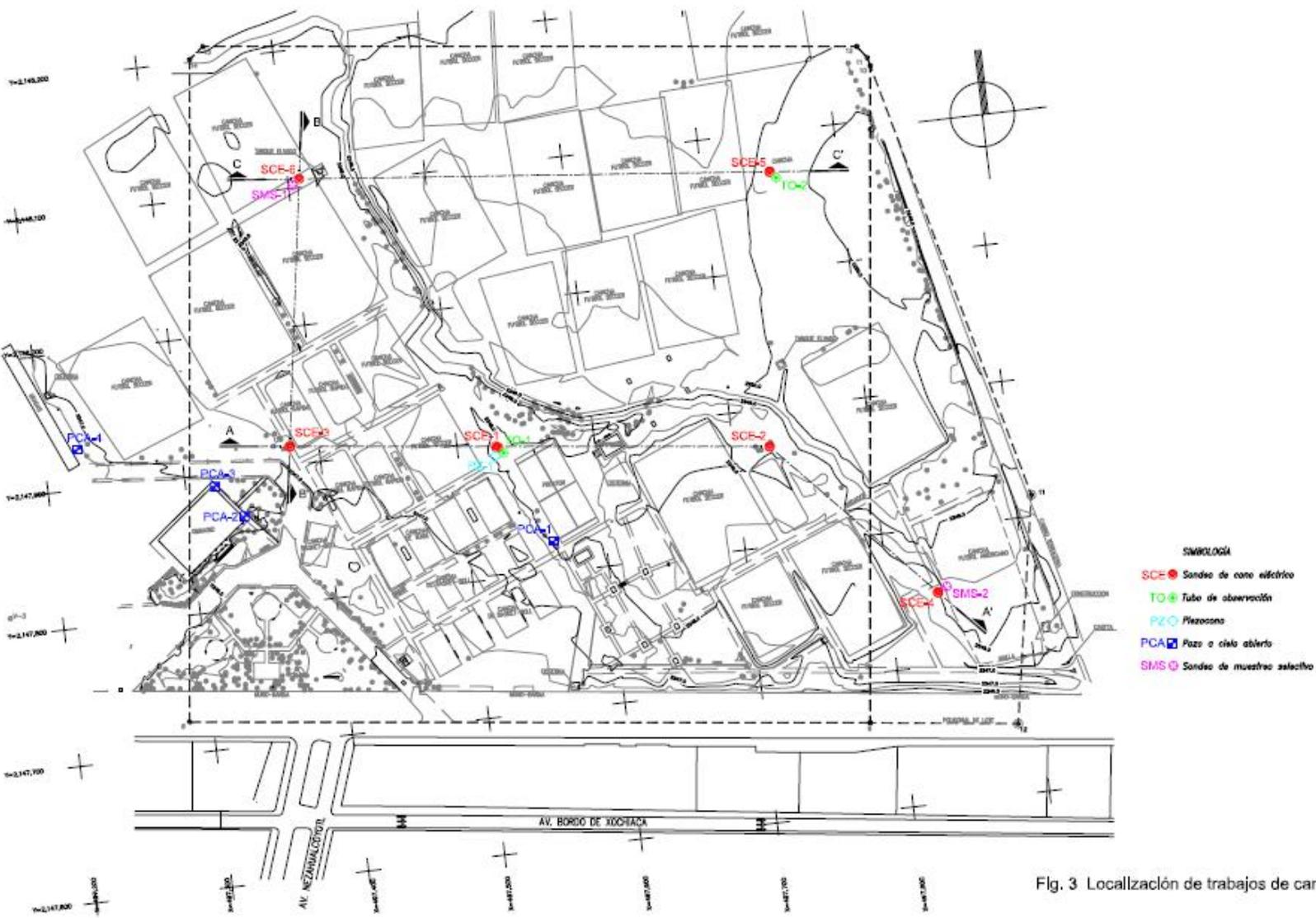


Fig. 3 Localización de trabajos de car

Figura 2.3 Localización de trabajos de campo

Ensayes de laboratorio

Las muestras alteradas e inalteradas que se extrajeron en los sondeos, se trasladaron a nuestro laboratorio, donde se sometieron a los siguientes ensayes para determinar sus propiedades:

Ensayes índices

Se extrajeron muestras alteradas e inalteradas y se trasladaron al laboratorio, donde se sometieron a los siguientes ensayes para determinar sus propiedades índices:

- Clasificación visual y al tacto según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- Determinación del contenido natural de agua.
- Determinación de los límites de consistencia (líquido y plástico).

Ensayes mecánicos

A las muestras inalteradas que se obtuvieron en los sondeos de muestreo selectivo SMS-1 y SMS-2, se les realizaron ensayes de compresión triaxial no consolidada no drenada UU, así como pruebas de consolidación.

Los resultados de las pruebas índices se muestran gráficamente, así también se presentan los resultados de las pruebas mecánicas efectuadas en las muestras inalteradas.

Propiedades mecánicas de diseño. En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de las pruebas mecánicas.

Tabla 1. Resultados de ensayos de consolidación

Sondeo	Sondeo de cono	Prof. m	SUCS	w %	γ t/m ³	S_s	σ_c kg/cm ²	σ_o kg/cm ²	OCR
SMS-1	SCE-6	14.30	CH	312	1.17	2.59	0.69	0.25	2.76
SMS-1	SCE-6	24.28	CH	147	1.09	2.21	0.70	0.36	1.94
SMS-1	SCE-6	31.28	CH	422	1.12	2.19	0.86	0.42	2.05
SMS-1	SCE-6	35.20	CH	442	1.12	2.45	0.91	0.49	1.86
SMS-1	SCE-6	42.30	CH	343	1.14	2.40	0.96	0.66	1.45

Tabla 2. Resultados de ensayos triaxiales UU

Sondeo	Prof. M	SUCS	w %	e_o	G_w %	q_c kg/cm ²	γ t/m ³	E kg/cm ²	c kg/cm ²
SMS-1	14.30	CH	300	7.82	98	4.0	1.2	32	0.35
SMS-1	24.28	CH	394	8.76	99	6.0	1.1	37	0.27
SMS-1	31.28	CH	394	8.85	98	7.0	1.1	33	0.30
SMS-1	35.20	CH	448	10.10	99	7.0	1.1	39	0.40
SMS-1	42.30	CH	359	7.91	100	8.0	1.2	50	0.42

Nomenclatura:

Prof	Profundidad de la muestra en metros	e_o	Relación de vacíos inicial
SUCS	Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	ω	Contenido natural de agua
S_s	Densidad de sólidos	γ	Peso volumétrico natural
E	Módulo de Young equivalente	G_w	Grado de saturación
c	Cohesión en condiciones no drenadas		
σ_c	Carga de preconsolidación		
σ_o	Esfuerzo vertical efectivo en el sitio		
OCR	Relación de preconsolidación (σ_c/σ_o)		
q_c	Resistencia de punta del cono eléctrico		

Interpretación geotécnica

Corte estratigráfico

De la información obtenida en los pozos a cielo abierto, en los sondeos exploratorios y selectivos, y con los resultados de los ensayos de laboratorio, es posible establecer para el predio en estudio la siguiente secuencia estratigráfica:

Basura. (De 0.0 a 10.0 m de profundidad, en promedio). Compuesto por arcilla café, plástico, vidrio, ladrillo, mortero y basura en general. De acuerdo con el criterio geotécnico que se utiliza para calificar a los suelos en términos de resistencia a la penetración estándar, los desechos de este sitio resultan de compacidad baja a media.

Serie arcillosa. (De 10.0 a 70.0 en promedio, de profundidad). Constituida por arcillas de consistencia blanda a media con intercalaciones de lentes de arena; la resistencia media a la penetración del cono eléctrico es de 5 kg/cm^2 en la arcilla, en tanto que en los lentes de arena alcanza valores de 50 kg/cm^2 .

Capa resistente. (De 70.0 a 80.0 m, máxima profundidad explorada). Formada por intercalaciones de arena fina compacta y limo arenosos de consistencia dura. El N_{spt} es mayor a 50 golpes en promedio.

En las Figs. 2.4, 2.5, y 2.6 se muestran los perfiles estratigráficos representativos del sitio.

Estudio geotécnico para la alternativa de la cimentación de la edificación del centro comercial Cd. Jardín sobre Relleno Sanitario

Corte a-a

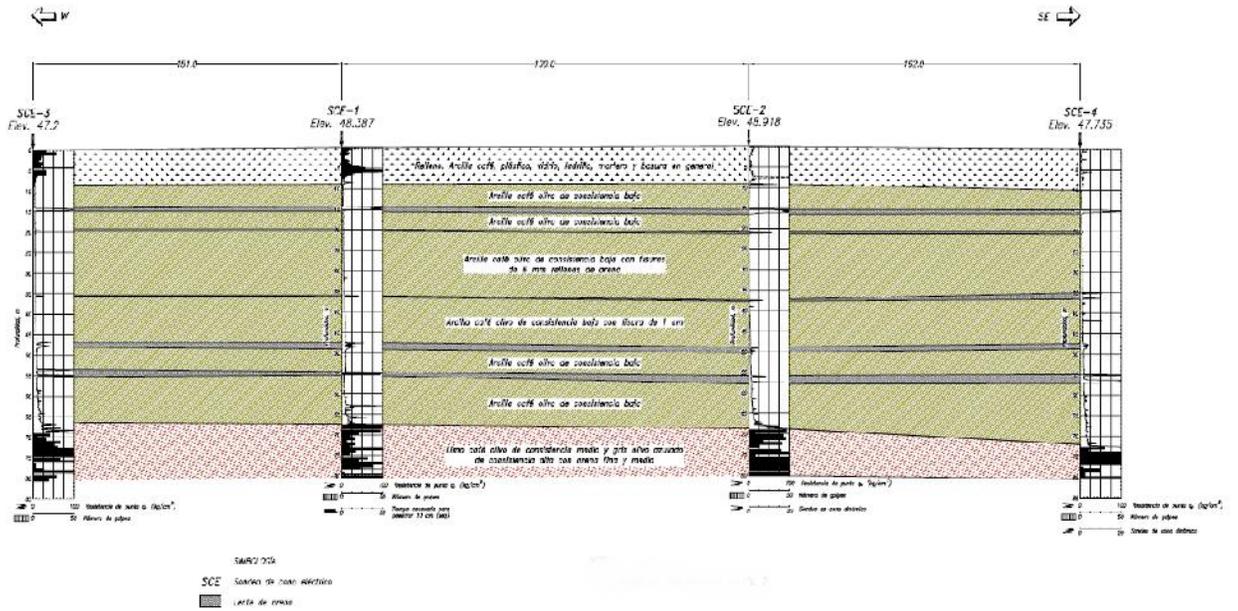


Figura 2.4 corte estratigrafico

Corte c-c

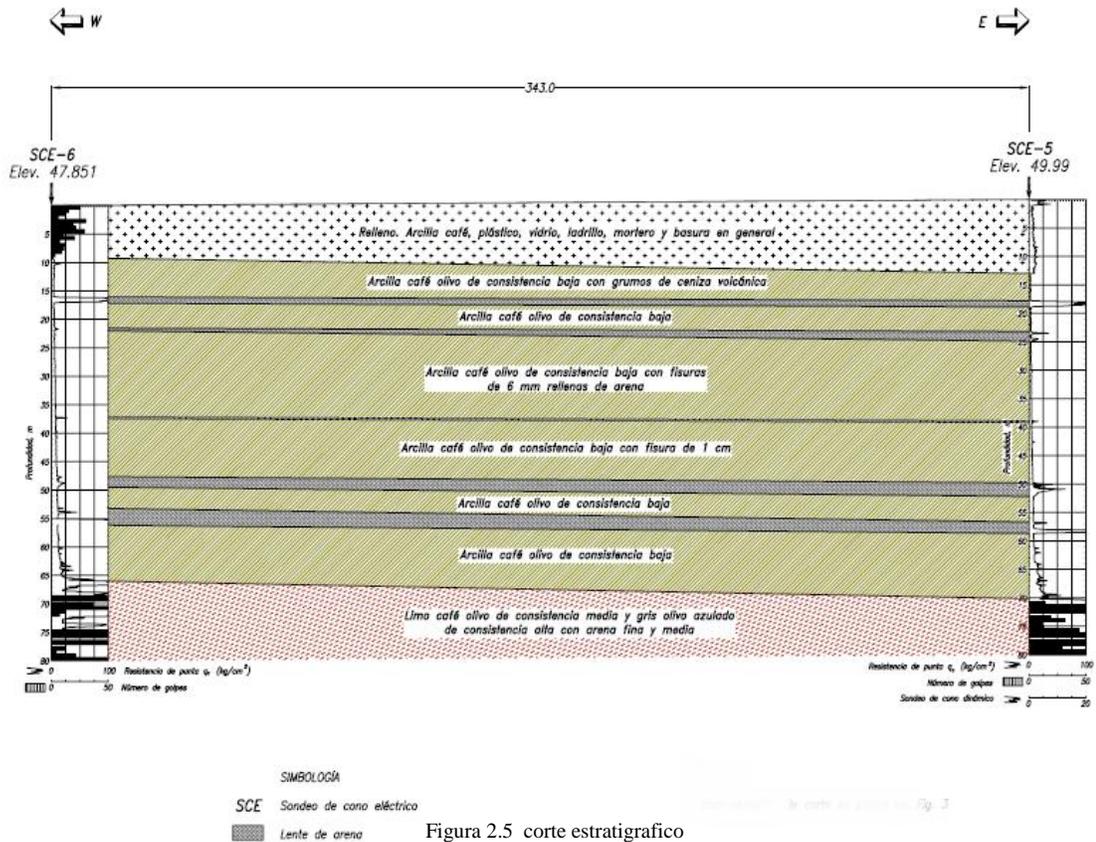


Figura 2.5 corte estratigrafico

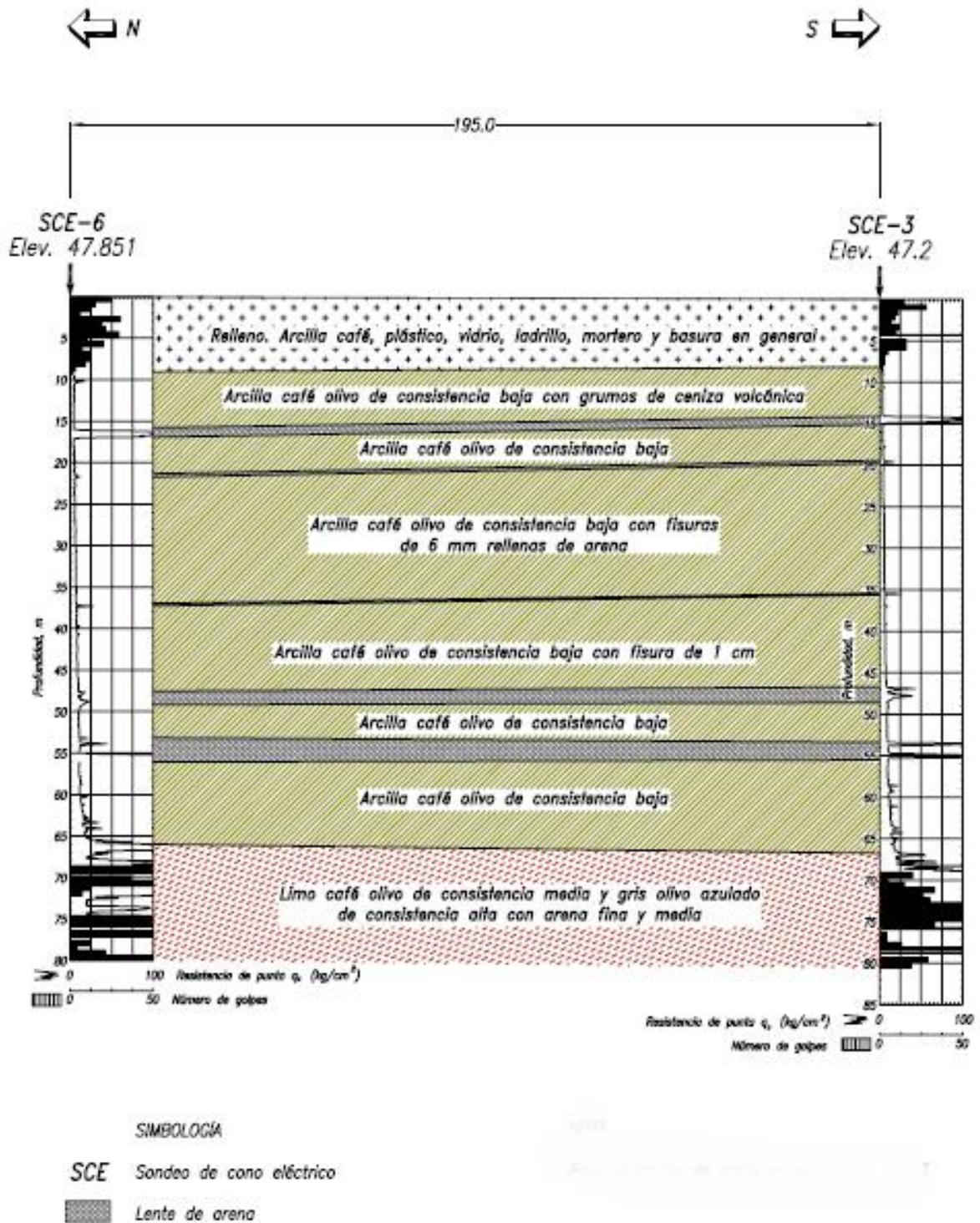


Figura 2.6 corte estratigrafico

Condición piezométrica

Para precisar las condiciones de la presión de agua del subsuelo en el sitio se realizó un sondeo con piezocono con mediciones en lentes permeables a diferentes profundidades. Adicionalmente, para conocer la profundidad del nivel freático en el sitio se instalaron dos tubos de observación.

La Fig. 2.7 presenta la distribución actual de la presión hidráulica del subsuelo. La línea continua representa la referencia de la distribución hidrostática y la discontinua la presión medida referida al nivel freático de 0.5 m bajo la superficie; a partir de esa profundidad y hasta los 50.0 m la distribución es prácticamente hidrostática y después la presión disminuye hasta alcanzar una pérdida de 17.0 t/m^2 a la profundidad de 66.4m.

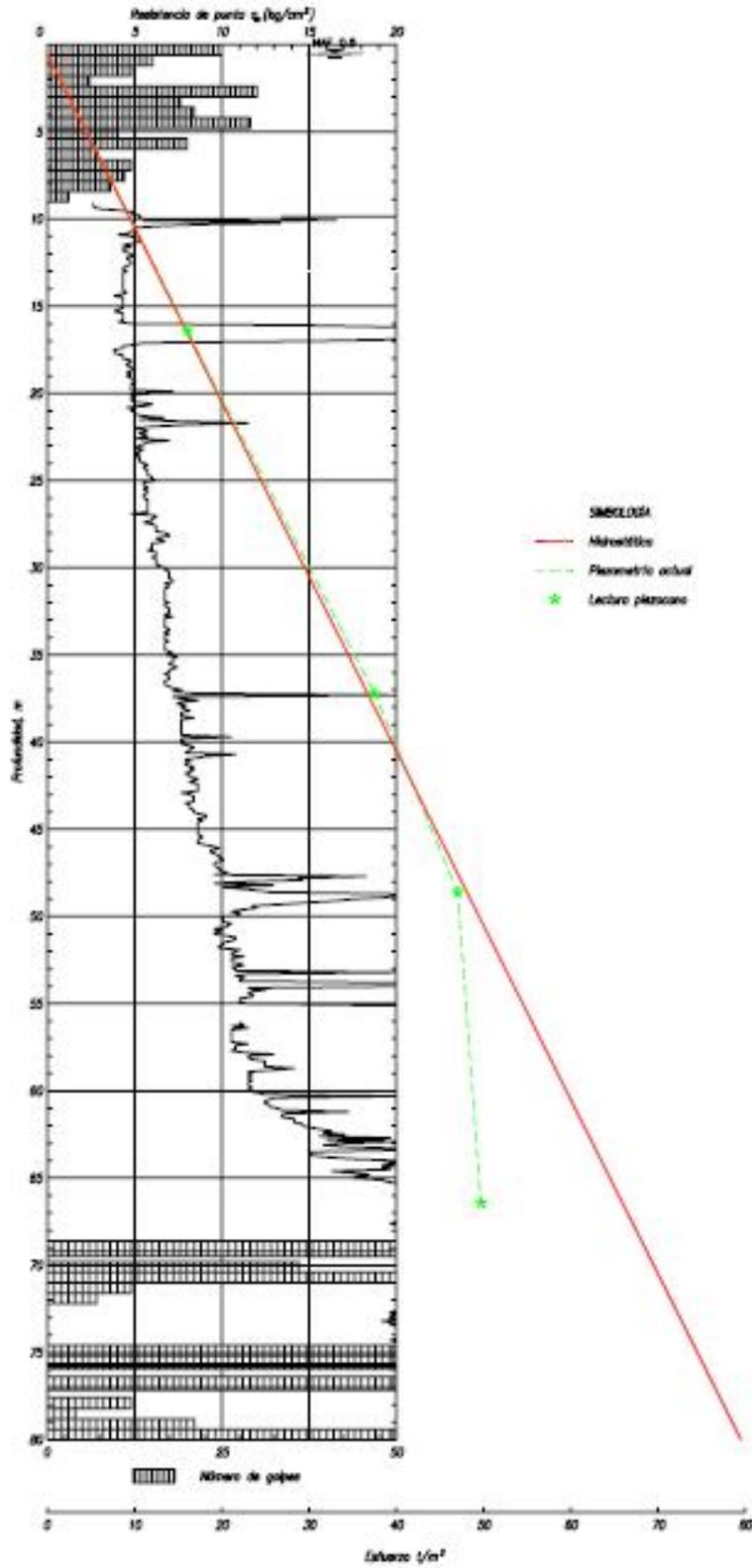


Figura 2.7 condicion piezometrica actual

Análisis y diseño geotécnico

Solución de cimentación

Proyecto arquitectónico. El proyecto contempla la construcción de un centro comercial de tres niveles y un hospital de doce niveles. Características generales del proyecto.

Para soportar adecuadamente las concentraciones de carga y reducir los asentamientos diferenciales, se plantea realizar un reforzamiento al subsuelo por medio de inclusiones verticales para las estructuras ligeras.

Reforzamiento del subsuelo. De acuerdo con las condiciones estratigráficas del sitio, es posible colocar inclusiones verticales de mortero con $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$, de 30 cm de diámetro distribuidas en una retícula con separación de 2.5 m entre ellas, si se utiliza rotor o broca de aletas, 2.0 m de separación si se utiliza helicoidal continua y de 1.5 m si se utiliza broca helicoidal, bote extractor o broca tricónica; el nivel de desplante será a 35.0 m de profundidad y quedarán 4.0 m por debajo del nivel actual del relleno de basura, Fig. 2.8 En estas dimensiones falta incluir el espesor del sello del relleno.

En los muros de las estructuras, la separación entre inclusiones deberá reducirse al 50% de las mencionadas en el párrafo anterior.

Centro comercial. Para el centro comercial, se considera colocar inclusiones verticales y una cimentación de zapatas corridas rigidizadas con contratraveses en ambos sentidos apoyada a 2.0 m de profundidad con respecto al nivel actual del relleno de basura.

Hospital. La cimentación propuesta para este edificio es a base de pilotes de fricción.

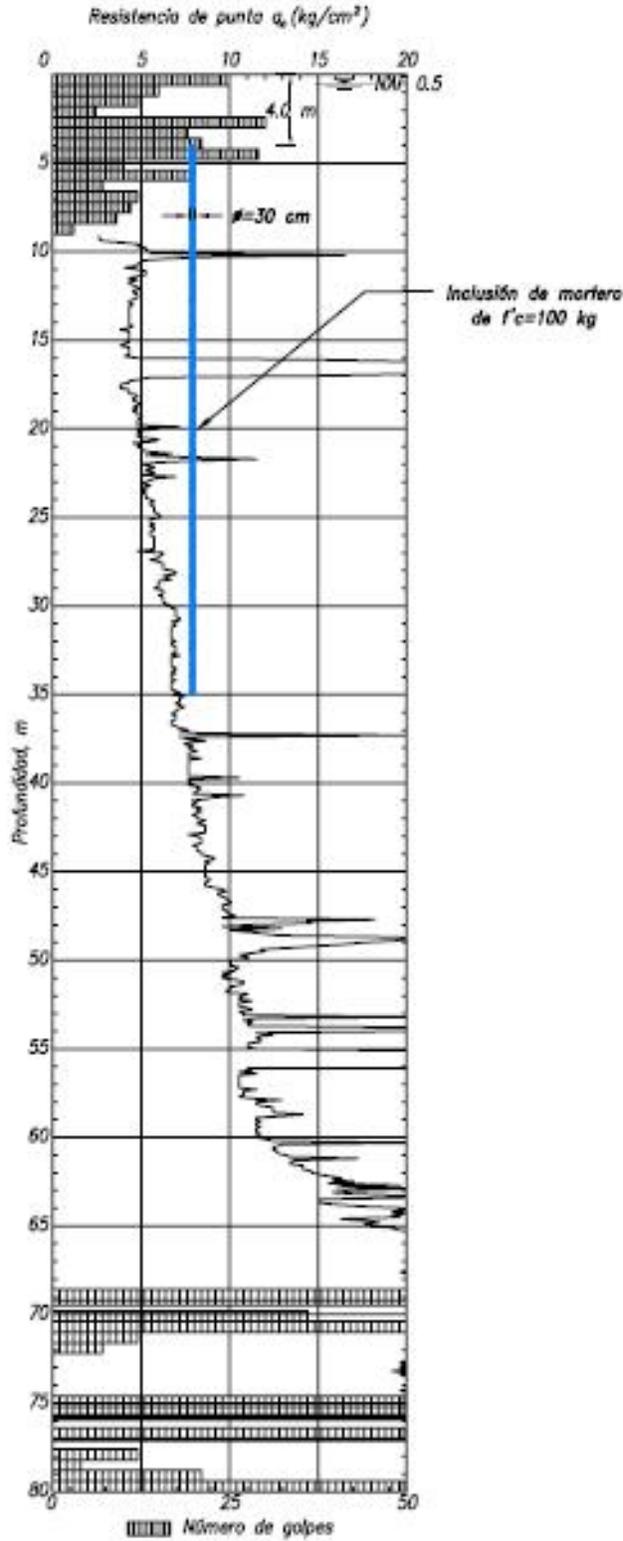


Figura 2.8 Reforzamiento del subsuelo para edicios de maximo 2 niveles

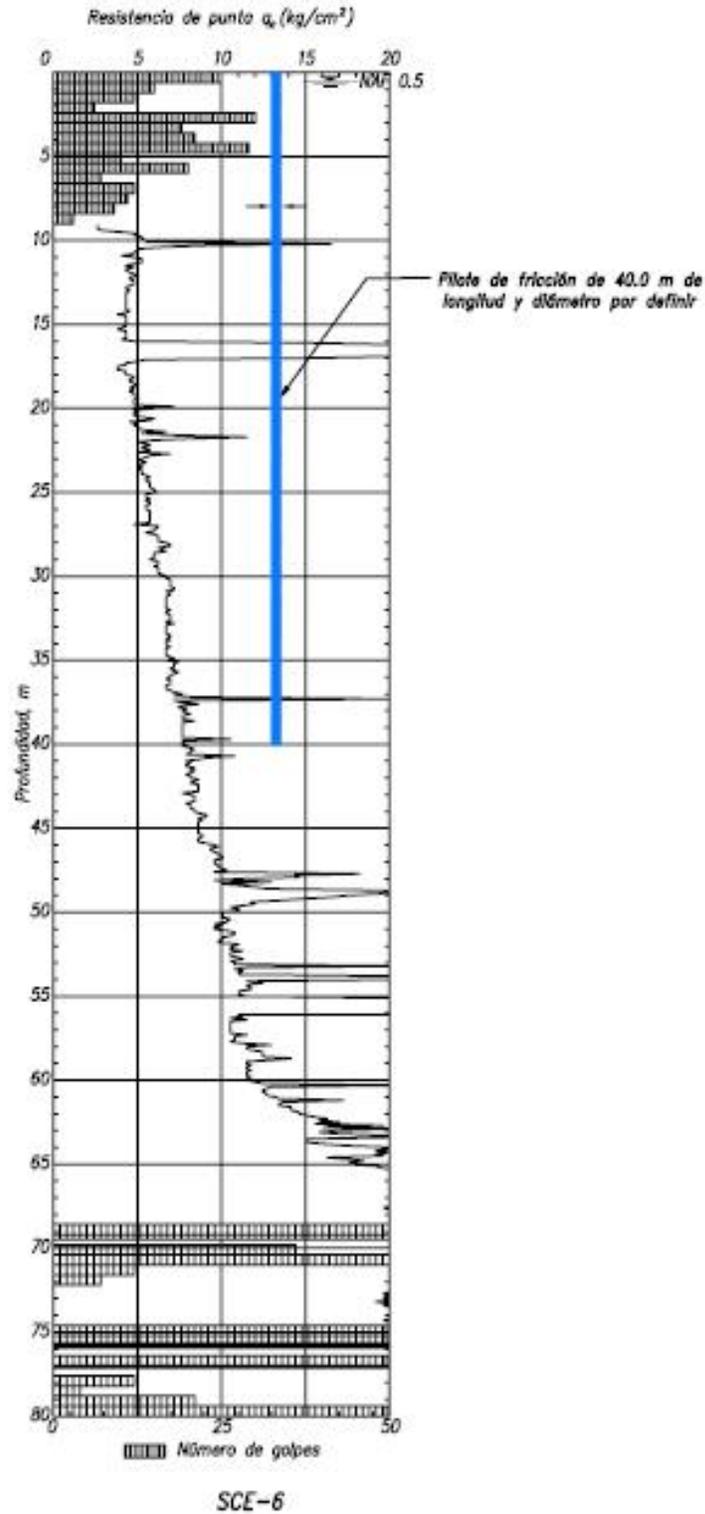


Figura 2.9 solución de cimentación para edificios mayores a 2 niveles

Capacidad de carga en zapatas y cajón

La capacidad de carga admisible para la solución con zapatas corridas, desplantadas a 2.0 m de profundidad y con un ancho de 2.0 m y a 3.0 m de profundidad para el cajón de cimentación. Se determinó, dividiendo la capacidad de carga última q_u entre un factor de seguridad de 3 en condiciones estáticas y de 2 en condiciones sísmicas con la siguiente expresión:

$$q_u = 1.2cNC + D_f (N_q - 1)$$
$$q_{ad} = q_u / FS$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores se obtiene una capacidad de carga admisible del orden de 5 t/m² en condiciones estáticas y de 7 t/m² en condiciones sísmicas.

Geometría de zapatas. Para la elección de la geometría de las zapatas se deberá considerar el momento de volteo a nivel de cimentación por las excentricidades de carga en condiciones estáticas y dinámicas, de manera que la resultante de carga siempre caiga dentro del tercio medio del cimiento. El ancho mínimo de zapata será de 2.0 m.

Coefficiente sísmico. Para el análisis sísmico se deberá considerar un coeficiente de aceleración del terreno de $a_0 = 0.10$; coeficiente sísmico $c = 0.36$; periodos característicos que delimitan la meseta $T_a = 0.6$ y $T_b = 2.9$ y exponente que define la parte curva $r = 1$.

Capacidad de carga por fricción.

La capacidad de carga admisible por fricción Q_{fa} se obtiene de dividir la capacidad de carga última Q_{fu} entre un factor de dimensionamiento FDF igual a 3 para condiciones estáticas y sísmicas, con la siguiente expresión:

$$Q_{fa} = \frac{Q_{fu}}{F_{DF}} = \frac{fpl}{3}$$

donde:

- f cohesión media en el fuste en condiciones no drenadas, t/m²
- p perímetro del pilote, m
- l longitud efectiva, m

En la Tabla 3 se resumen los valores de capacidad de carga admisible para diferentes diámetros de pilotes, Fig. 2.9 y un factor de seguridad de 3, que se anticipa se podrán utilizar en el edificio del hospital.

Tabla 3. Capacidad de carga por fricción

			Profundidad de hincado en m					
			40		50		55	
Lado m	Perímetro m	Área m ²	Qfu t	Qfa t	Qfu t	Qfa t	Qfu t	Qfa t
0.30	1.20	0.09	169	56	250	83	306	102
0.45	1.80	0.20	253	84	375	125	458	153
0.50	2.00	0.25	281	94	417	139	509	170
0.60	2.40	0.36	338	113	500	167	611	204

Análisis de asentamientos. Los asentamientos a largo plazo en condiciones estáticas se evaluaron con la siguiente expresión:

$$\delta_T = m_{vi} \cdot \Delta h_i \cdot \Delta \sigma_i \tag{4}$$

donde:

- δ_t asentamiento total
- m_{vi} módulo de compresibilidad volumétrica del estrato i
- Δh_i espesor del estrato i
- $\Delta \sigma_i$ incremento de esfuerzo efectivo en el estrato i

Aplicando la expresión anterior, resulta un asentamiento de 35 cm para pilotes de 50.0 m de longitud y de 23 cm para pilotes de 55.0 m de longitud, Fig. 10.

Lixiviado. Proponemos que se realicen análisis químicos al lixiviado para determinar el grado de corrosión que le pueda generar al concreto y en su caso proponer un aditivo que sirva como protección al concreto.

Membrana. Se deberá tener un estricto control en la colocación de la membrana para evitar que se rompa y exista fuga de gases hacia la superficie. Como una alternativa factible se propone usar polietileno de alta densidad de 0.7 mm; la cual se colocaría sobre una capa compactada de arcilla y se protegería con otra capa de la misma arcilla.

Procedimiento constructivo

Inclusiones

- a) Limpieza. Se efectuará la limpieza del terreno incluyendo el despalle de la capa vegetal, así como la demolición y retiro de construcciones existentes en el sitio.
- b) Control topográfico. Es indispensable contar con un equipo topográfico para referenciar los ejes y niveles de colocación de las inclusiones antes y después de la construcción, es decir, los de proyecto y los reales.
- c) Registro de construcción. Para cada inclusión se llevará un registro con todos los detalles y relevantes durante la construcción, incluyendo características de los materiales y de las diferentes actividades.
- d) Equipo de perforación. Se deberá utilizar rotor, broca de aletas, helicoides continua, broca helicoidal, bote extractor o broca tricónica de 30 cm de diámetro a una velocidad de rotación constante de 500 a 900 rpm; el equipo de perforación deberá contar con la herramienta

adecuada para garantizar la verticalidad del barreno, minimizar la alteración del suelo adyacente a la excavación, obtener una perforación limpia y conservar las dimensiones de proyecto en toda la profundidad. La arcilla licuada funciona como lodo estabilizador adicionando agua y aditivos químicos e incluso agentes espumantes.

- e) Mezcla a emplear. Las inclusiones se construirán con una mezcla a base de mortero con un $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$, revenimiento de 18 a 22 cm, peso volumétrico $= 1.1$ a 1.3 t/m^3 y una longitud efectiva de 31 m (quedarán 4.0 m por debajo del nivel actual del relleno de basura, Fig. 2.8).
- f) Vaciado del mortero fresco. Se hace con un tubo de colado o tremie dentro de la funda o membrana permeable que controla la forma de la inclusión y evita la contaminación del mortero. El llenado se realiza de abajo hacia arriba. El colado de las inclusiones se suspende al momento en que el mortero quede 4.0m por abajo del nivel del relleno de basura.

Construcción zapatas y cajón

- a) Limpieza. Primeramente, se marcará y se realizará la limpieza del terreno donde se construirán las cimentaciones; posteriormente se iniciarán las excavaciones para alojar las zapatas.
- b) Desplante. El desplante de las cimentaciones se realizará 2.0 m por abajo del nivel actual del relleno de basura.
- c) Excavación. Las excavaciones para alojar las cimentaciones deberá evitarse realizarlas en época de lluvias, con el fin de protegerlas, ya que el humedecimiento, provoca que aumente su deformabilidad y disminuya su resistencia. Por lo que esto sería causa de mayores asentamientos de las estructuras y la probable inestabilidad de taludes.
- d) Firme. Una vez alcanzado el fondo de la excavación, se deberá colar un firme de 5 cm, con concreto $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$

- e) Armado. El armado de las zapatas se efectuará de acuerdo con los planos estructurales, prosiguiendo inmediatamente con el colado.
- f) Sobreexcavación. El espacio que quede entre la cimentación y la excavación podrá rellenarse con un material limo arenoso. Los rellenos deberán compactarse al 95% de su peso volumétrico seco máximo obtenido en ensaye Proctor estándar.

Pilotes

- a) Limpieza. Se efectuará la limpieza del terreno incluyendo el despalme de la capa vegetal, así como la demolición y retiro de construcciones existentes en el sitio.
- b) Registro de construcción. Para cada pilote se llevará un registro con todos los detalles y relevantes durante la construcción, incluyendo características de los materiales y de las diferentes actividades.
- c) Fabricación. Se llevará un registro detallado de los pilotes, que incluya la fecha de fabricación y visto bueno de la supervisión; las tolerancias serán de ± 5 cm respecto a la longitud total del pilote y de ± 1 cm en las dimensiones de la sección transversal y colocación del acero de refuerzo. El colado de tramos de pilote se realizará a tope en un solo molde, numerando los tramos para garantizar su verticalidad durante el hincado.
- d) Control topográfico. Previo a los trabajos de perforación, deberá localizarse topográficamente los ejes de la ubicación de los pilotes. También deberá verificarse la verticalidad del equipo de perforación con objeto de que el barreno se realice en forma adecuada.
- e) Perforación previa. Se efectuará una perforación previa al hincado, con un diámetro máximo igual a la diagonal de la sección del pilote; la perforación se realizará con rotor o broca de aletas en el diámetro que señale el estructurista; el equipo de perforación deberá contar con la herramienta adecuada para garantizar la verticalidad del barreno. La

arcilla cortada funciona como lodo estabilizador adicionando agua y si es necesario aditivos químicos, con flujo a baja presión. El agua para la fabricación del lodo de perforación y del concreto deberá ser potable, limpia y libre de materia orgánica e inorgánica y ácidos, en suspensión o solución, en cantidad tal que puedan afectar la calidad y durabilidad del lodo o del concreto.

- f) Equipo de hincado. La energía del matillo será igual o mayor de 0.3 kg-m por cada kilogramo del peso del pilote; el peso del pistón será igual o mayor del 30%.
- g) Hincado. Se realizará en un máximo de 24 horas después de terminada la perforación previa; la desviación de la vertical del pilote no deberá exceder del 6% de su longitud.
- h) Pruebas de hincabilidad. Al iniciar el hincado se efectuarán pruebas con el fin de precisar las características de la perforación previa, equipo y condiciones de hincado, que deberán seguirse en la instalación del conjunto de pilotes.
- i) Liga estructural. Posteriormente se demolerá el concreto de la parte superior de los pilotes y se ligarán los armados de los pilotes a los dados de la cimentación.



Figura 2.10 Ciudad Jardin Nezahualcoyotl en construccion



Figura 2.11 Ciudad Jardin Nezahualcoyotl en construccion



Figura 2.12 Ciudad Jardin Nezahualcoyotl en construccíon

Alternativa de cimentacion

Actualmente en el año 2014 después de realizar una inspección ocular en la plaza nos encontramos con problemas de asentamientos, por lo que se verificaron los resultados de la mecánica de suelos y el procedimiento constructivo, se determina que debido al incumplimiento en el diseño de construcción y operación del relleno sanitario, ya que no se conto con: la preparación del sitio, la impermeabilización, la instalación de un sistema de extracción de lixiviados y la compactación de las coberturas intermedias y finales, han conducido a reducir la estabilidad del proyecto, por la presencia de lixiviados y grietas en las cubiertas, provocando asentamientos acelerados a consecuencia de una pobre compactación de la basura durante la operación del relleno sanitario. Por lo que se propone el uso de inclusiones.

Es muy importante considerar en este trabajo la problemática que enfrenta el análisis, diseño y construcción de cimentaciones, reconociendo que el area tiene depósitos de gran espesor de basura y arcillas lacustres muy compresibles y de baja resistencia al esfuerzo cortante, juegan el papel protagónico.

Sin embargo, no sólo por estas propiedades mecánicas son difíciles las condiciones que enfrenta la cimentacion; a ellas se suman los efectos del hundimiento regional debido a la sobreexplotación de los acuíferos, y las intensas y frecuentes sacudidas que imponen los sismos generados por el fenómeno de subducción en el Pacífico, principalmente. Se reconoce que los sismos imponen la condición más crítica a la estabilidad de las cimentaciones y edificaciones.

Las cimentaciones que más daños acusaron en esa ocasión fueron los de tipo mixto, formados por cajón y pilotes de fricción; enormes asentamientos, fuertes desplomos e incluso total volcamiento, fueron manifestaciones claras de diseños inadecuados, en los que se perdieron los criterios iniciales sanos. No obstante, también debe reconocerse que se tenían lagunas en el conocimiento acerca de su

comportamiento, principalmente por la falta de comprobación experimental entre lo previsto teóricamente y lo observado en cimentaciones reales. Esto es preocupante ya que la cimentación del proyecto es básicamente un cajón de cimentación.

Existen múltiples e incluso viejas descripciones de problemas relacionados con cimentaciones de edificaciones en la ciudad de México, en virtud de que una gran porción de su área urbana se asienta en la Zona del Lago, o Zona III, caracterizada por suelos arcillosos muy compresibles y con baja resistencia al esfuerzo cortante; geológicamente, éstos corresponden a materiales depositados en el Reciente en el fondo de los lagos antiguos de Tenochtitlan y Texcoco. A estas propiedades mecánicas precarias se suman los efectos del asentamiento regional y del muy activo ambiente sísmico que prevalece en la región. El fenómeno de subsidencia está asociado a la reducción de las cargas piezométricas que ocurren en los acuíferos superficiales y profundos, como resultado de la sobreexplotación de agua para consumo humano e industrial. Las fuertes sacudidas sísmicas que sufre la capital del país son provocadas predominantemente por el fenómeno de subducción que ocurre al penetrar la placa de Cocos bajo la placa continental de Norteamérica, en la región costera del Pacífico.

Son dos aspectos principales en que globalmente podemos dividir la problemática que enfrentan las cimentaciones en la Zona del Lago, como resultado de los suelos que ahí se encuentran y de las perturbaciones externas a que están sometidas. Por una parte se tienen los asentamientos o expansiones totales y diferenciales de las cimentaciones, mismos que inciden en su funcionalidad, estética, y posibles problemas de estabilidad.

Es usual que los efectos de este problema se vayan acentuando a largo plazo, en detrimento de las conducciones de todo tipo de las edificaciones, accesos y en general de toda su operación. El otro gran problema que enfrentan las cimentaciones de la ciudad de México es durante sismos intensos, los que como se apreció con la

ocurrencia del sismo de Michoacán de 1985, imponen la condición más crítica durante su vida útil, al punto que pueden sufrir asentamientos diferenciales y totales súbitos muy considerables, e incluso su colapso total al provocar el volcamiento de edificaciones. Puede afirmarse que precisamente esos sismos de 1985 son un verdadero parte-aguas en el desempeño de las cimentaciones, ya que determinaron modificaciones sustanciales en su análisis y diseño, así como en las regulaciones que imponen los reglamentos de construcción. Propiciaron también cierta disposición y ánimo para escudriñar los motivos que causaron los daños observados, aunque debe reconocerse que al cabo de poco más de 20 años, desafortunadamente una y otro han ido a la baja.

Las cargas que se transmiten por medio de las cimentaciones generan compresiones en el suelo, por lo que este tiende a deformarse produciendo asentamientos. Es por esto que las cimentaciones juegan un papel muy importante dentro de la construcción ya que distribuyen los efectos producidos y así soportan la estructura. Las cargas que son transmitidas al cimiento y suelo son generadas principalmente por las columnas, ya que son estas las que soportan todo el peso de la estructura. Para poder hacer el análisis de la estructura, se acostumbra hacer un análisis independiente entre la cimentación y el suelo.

Estas mismas cargas generan presiones en el suelo disminuyendo con la profundidad, además de que se ven afectadas zonas que se encuentran más alejadas del punto de aplicación. Todo esto, si se da de manera excesiva, generara fallas de tipo parcial o total.

Debido a estas presiones, se producen hundimientos o deformaciones que son necesarios conocer, para así compararlos con los permitidos por el reglamento.

La curva de asentamientos puede considerarse constituida por 3 componentes: un asentamiento uniforme de toda la estructura, un giro de cuerpo rígido que da lugar a

una inclinación o desplome del edificio, y asentamientos diferenciales entre los apoyos.

Si en la estructura se presenta un hundimiento como cuerpo rígido (hundimientos uniformes), este no produce fuerzas internas y, por tanto, no existe razón para fijar algún límite en el hundimiento total; aunque si estos son excesivos, se podrían ocasionar daños en las construcciones aledañas así como en instalaciones de la vía pública.

La distribución de presiones en la superficie de contacto entre la cimentación y el suelo es muy vulnerable y sensible a las rigideces relativas del suelo así como a la cimentación y a las características propias de la estructura del suelo.

La diversidad de situaciones que pueden plantearse en cuanto a la distribución de presiones del suelo sobre una cimentación rígida, suelen idealizarse en la práctica de diseño por medio de una de dos hipótesis simplistas: suponiendo una variación lineal de presiones o una uniforme concéntrica con la resultante de cargas.

Tipos y comportamiento de cimentaciones en la Ciudad de México

En la Fig. 2.13 se muestran los esquemas de los diversos tipos de cimentación que se emplean en la ciudad de México. De los cimientos superficiales de mampostería que datan de hace varios siglos, al aumentar el peso y tamaño de los edificios de concreto armado o acero, se pasó a las losas de cimentación de concreto reforzado, con las que se transfiere la carga al suelo de apoyo a través de todo el área en planta de la edificación. A fin de reducir la presión sobre el subsuelo, se introdujo después el concepto de cimentación compensada, mediante el que parte, todo, o aun más del peso del edificio (cimentación parcial, total y sobre-compensada, respectivamente) se compensa con el peso del suelo excavado a fin de construir la estructura de la cimentación; ésta es un cajón monolítico de concreto reforzado, rigidizado mediante contratraves peraltadas usualmente dispuestas ortogonalmente, con una losa en el fondo que hace contacto con la superficie de desplante, y una losa tapa que cierra las

celdas huecas del cajón. La primera aplicación de esta idea en nuestra ciudad parece deberse al ingeniero Miguel Ángel de Quevedo, quien en la primera década del siglo pasado construyó una tienda departamental y un banco en el Centro con sótano a 4 m de profundidad.

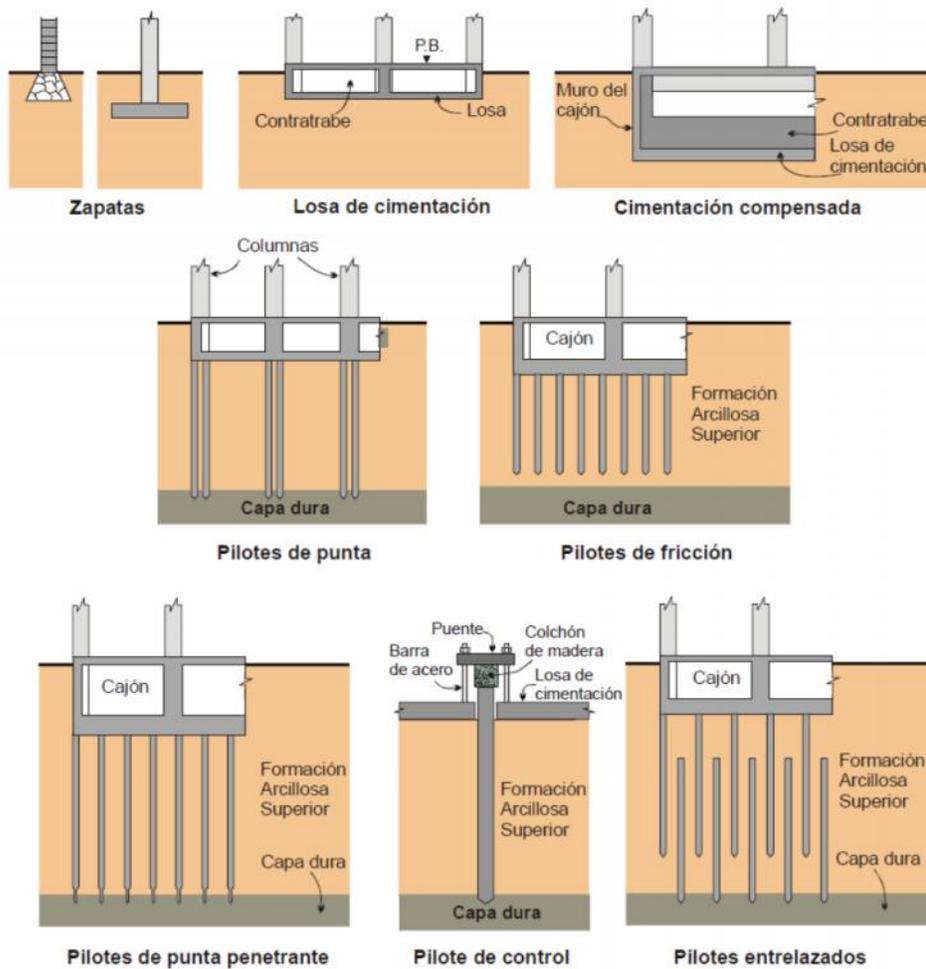


Figura 2.13 Tipos de cimentación en Cd. De Mexico

Que son las inclusiones

Inclusiones

Es quizás la solución de mejoramiento que en las últimas décadas se ha desarrollado con mayor ímpetu, dado que representa una alternativa económica para aplicarse a los desarrollos habitacionales compuestos con grandes trenes de viviendas desplantados en suelos muy deformables y compresibles.

Las inclusiones pueden definirse como elementos que se colocan en el subsuelo y que no se conectan a la cimentación del edificio. Pueden ser de formas diferentes, pero en general dominan las cilíndricas, y pueden construirse utilizando procesos diversos.

En principio, pueden clasificarse en dos grupos: flexibles y rígidas.

Como ejemplo de las primeras se tienen los drenes de arena que usualmente se emplean para disminuir las presiones de poro en estratos limosos o arcillosos, o las inclusiones formadas con mezclas de arcilla-calceamento donde se evita que la mezcla solidifique, que se emplean para disminuir la compresibilidad de estratos arcillosos muy plásticos.

El uso de las inclusiones rígidas se ha vuelto popular al resolver problemas relacionados con la reducción de asentamientos superficiales e incremento del factor de seguridad contra la falla por cortante, ya sea en estabilidad de taludes o en cimentaciones superficiales.

Cuando se emplean en la reducción de asentamientos, las inclusiones rígidas suelen denominarse pilotes de fricción negativa porque la presión de la losa que se transmite al suelo es tomada por la inclusión mediante la fricción que se desarrolla al impedir el descenso del suelo que rodea a la inclusión.

Para las inclusiones rígidas se tiene en general cuatro condiciones de trabajo:

- Con apoyo en la cabeza de la inclusión (tipo A).
- Con apoyo en la base de la inclusión (tipo B).
- Con apoyo en la base y cabeza de la inclusión.
- Sin apoyo.

Algunos ingenieros consideran que el trabajo de las inclusiones sin apoyo es inadecuado por lo que optan por las condiciones A o B; la condición con apoyo tanto en la cabeza como la base, hace que la inclusión trabaje como un pilote de punta.

Actualmente, existe la tendencia a utilizar las inclusiones del tipo A; sin embargo, es necesario llevar a cabo investigaciones al respecto a fin de definir cuál es la condiciones óptima dado el tipo de problema a resolver.

Respecto a las plataformas de transferencias éstas pueden ser de dos tipos: naturales o artificiales. La costra superficial se considera una plataforma de transferencia natural por lo que es usual que las inclusiones se apoyen en dicha capa, mientras que los rellenos compactados con o sin refuerzos (geomallas, por ejemplo) se consideran como plataformas artificiales.

Por otra parte, cuando se requiere disminuir la consolidación de estratos arcillosos se han empleado las inclusiones tipo B o sin apoyo.

Los procedimientos constructivos de las inclusiones rígidas son diversos, pero pueden agruparse en dos grupos: hincadas o coladas en el lugar. Las primeras pueden estar formadas por elementos precolados, ser de madera o fortubos de acero; mientras que las segundas pueden construirse utilizando inyección a baja presión de mezclas diversas de arena-suelo-cemento-cal, el jet-grouting, etc.

A considerar

Es conveniente destacar que las inclusiones están aún en etapas de conocimiento y prueba, y que se tienen problemas técnicos por resolver. Por lo que su empleo debe de realizarse con la mayor precaución, cuidando aspectos tales como las condiciones estratigráficas, los procedimientos constructivos y la instrumentación.

Las condiciones adversas de cimentación en la zona blanda de la ciudad de México han demandado siempre soluciones apropiadas, por lo que no es extraño que se intenten soluciones diferentes a los tipos de cimentación más tradicionales incluidos en la Fig. 2.13, toda vez que esas condiciones se han reconocido ahora como cambiantes a través del tiempo. Por esto último, tampoco es de extrañar que se recurra a métodos tales como micropilotes, inclusiones, e inyecciones de morteros, o bien al uso de georefuerzos, para trabajos de cimentación y recimentación.

Cabe advertir sin embargo, que la mayoría de estas técnicas tienen aplicaciones incipientes en nuestro medio, y que por ello las experiencias disponibles provienen de ciudades o sitios con condiciones diferentes a las muy peculiares de la zona lacustre de la ciudad de México. Difícilmente se puede encontrar en el mundo una zona tan densamente poblada con la mezcla de inconvenientes que deben afrontar las cimentaciones de la ciudad. No debe soslayarse la condición más crítica de estas obras, que es ante cargas sísmicas. Además, una problemática muy característica en nuestro medio es la derivada de la sobreexplotación del acuífero, la que se traduce en asentamiento regional. Éste genera no sólo asentamientos tan grandes como casi 10 m en el centro de la ciudad durante el Siglo XX, sino que con fuertes movimientos diferenciales entre distancias cortas, determinan distorsiones que propician la generación de desplomos de edificios, agrietamientos en el terreno, rotura de drenajes o de tuberías de aprovisionamiento de agua y destrucción de pavimentos.

Así, inclusiones rígidas con reacción en su punta o que reaccionan por fricción en su fuste, y sin conexión con las contratraves o con la losa de cimentación, se antoja como un recurso poco eficiente a menos que tales elementos se mantengan a muy reducida separación. La no conexión antes comentada podría definir alguna interacción indeseable e incierta con la losa de cimentación, firme o pavimento, como resultado del asentamiento de éstos por el hundimiento regional. Sin duda, tendrá mayor relevancia la presencia de esas inclusiones en la medida que relativamente hablando ocupen más área transversal en relación con el área de la cimentación, por ser un elemento mucho más rígido que el subsuelo de cimentación. Sin embargo, subsiste la inquietud de su comportamiento ante acciones sísmicas, por ejemplo. Si por otra parte, se construye esa inclusión directamente debajo de un relleno estructural sobre el que se disponga una losa de cimentación, por ejemplo, usualmente no se presta atención a la posibilidad de indentación de la cabeza de la inclusión en ese relleno. Cabe entonces proceder con cautela para adoptar estos procedimientos novedosos en nuestro medio, y tratar de documentar sus comportamientos a fin de ir ganando la indispensable experiencia para su selección, diseño y construcción.

Concreto a emplearse en la propuesta para la nueva cimentación

Justificación.

El subsuelo del sitio donde se encuentra nuestra edificación llamada Cd. Jardín Bicentenario, se caracteriza por alojar un acuitardo que ha sido penetrado por lixiviados, producto del ex vertedero de Neza-1. Algunas de las características físico-químicas que presenta dicho acuitario, se reportan en el cuadro siguiente:

SITIO DE MUESTREO	CARBONATOS	BICARBONATOS	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO
POZO Nº 1	<3.0	9890	<5.0	43.01	4641	1014	---	---
POZO Nº 2	2240	8960	<5.0	46.89	4627	1194	---	---
POZO Nº 3	4800	7600	<5.0	78.85	8230	1182	---	---
DEPORTIVO	34.33	260	1020	11543	13289	2672	34.14	114.65
HELIPUERTO	49	264	727	9365	12888	2272	24.3	60.00
VIA FERROCARRIL	5.00	179	680	7500	12387	786.1	20.84	106.13

Valores en mg/lit.

Como puede observarse, aunque una gran variabilidad en la caracterización, la sanidad que presenta el acuitado, ya sea por cloruros o por bicarbonatos, es muy elevada.

Además de lo anterior, el área de interés presenta una de las mayores concentraciones de bióxido de carbono en toda la zona metropolitana de la Cd. De México, por los aportes de biogás que se emiten en el ex-vertedero de NEZA-1, debido a la degradación de la basura en condiciones anaerobias; de hecho, se espera que tales concentraciones se incrementen debido a la destrucción del metano (CH_4) mediante su combustión, para evitar que el biogás se acumule de manera inconveniente en el sitio.

Recomendación

- Utilizar para la cimentación de las estructuras, un concreto de baja permeabilidad y resistente a sulfatos, cloruros y carbonatos; para lo cual se deberá adicionar algún agente que neutralice a los cloruros y a los sulfatos, para evitar que reaccionen respectivamente con el acero y el concreto.
- Utilizar para las súper estructuras, un concreto que pueda resistir la acción del bióxido de carbono (CO_2), el cual puede reaccionar con los cationes presentes en el concreto, formando carbonatos.

CONSTITUYENTES	SIMBOLO	gr/lt
ANIONES:		
sulfato	SO ₄	1.129
cloruro	Cl	10.975
carbonato	CO ₃	6.143
bicarbonato	HCO ₃	11.650
CATIONES:		
sodio	Na	15.906
potasio	K	1.458
calcio	Ca	HUELLAS
magnesio	Mg	0.000
COLOIDES:		
sílice	SiO ₂	0.022
RESIDUO SECO TOTAL		41.450
COMBINACIONES HIPOTETICAS DE LOS CONSTITUYENTES ANTERIORES		
sílice	SiO ₂	0.022
cloruro de potasio	KCl	2.7822
cloruro de sodio	NaCl	15.911
sulfato de sodio	Na ₂ SO ₄	1.671
carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	10.853
bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	16.044

Compactación de los residuos sólidos previo a la colocación del Tezontle

Justificación

Mediante pruebas realizadas, se ha demostrado, que para poder compactar los residuos convenientemente, con el fin de alcanzar pesos volumétricos de hasta 800 kg/m³, la basura debe extenderse y bandearse en capas de hasta 50cm, aplicando en promedio 4 pasadas con el equipo de compactación.

Recomendación

Por lo anterior, dado que en el ex-vaso de Neza-1, existen paquetes de basura de varios metros de espesor, es prácticamente imposible compactarla convenientemente, para alcanzar un peso volumétrico razonable; por lo que, en trabajos de conformación de las plataformas de basura, realizar más de 4 pasadas con la maquinaria pesada, es ocioso, ya que no se obtendrá beneficio alguno.

Cambiar la ubicación del geotextil superior de la cubierta que se colocara sobre los residuos solidos.

Para que se mantenga la condición que se busca con la colocación del tezontle sobre la basura, en cuanto a que funja como un medio para contener el biogás antes de proceder a su extracción; se debe colocar un geotextil entre el mencionado tezontle y la capa de arcilla que soportara a la membrana plástica, para evitar que se colmate el medio filtrante del tezontle con material fino proveniente de la capa superior; así como evitar que cuando se haga la extracción del biogás, este presente importantes concentraciones de partículas que puedan poner en riesgo los equipos de extracción y quemado del metano, o bien, afecten su eficiencia.

Recomendación

El geotextil que se pretende colocar después de la capa de arcilla que protegerá a la membrana plástica, antes de la tierra vegetal, en donde no tendrá una real función; se sugiere colocarlo entre tezontle y la capa inferior de arcilla, para evitar todos los inconvenientes antes señalados.

CAPITULO III. PROCESO DE GENERACION DE LIXIVIADOS

Generación de Lixiviados

Los lixiviados son líquidos residuales generados por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras, bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, o como resultado de la percolación de aguas a través de los residuos en proceso de degradación. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos.

Si el relleno sanitario no tiene sistema de recogida de lixiviados, éstos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar, como resultado, problemas medioambientales o de salud.

Factores que influyen en la generación de Lixiviados:

- Grado de compactación de los desechos
- Grado de humedad inicial de la basura
- Precipitación Pluvial
- Humedad atmosférica
- Temperatura
- Evaporación
- Evapotranspiración
- Escurrimiento
- Infiltración
- Capacidad de campo, entre otros.....

Factores que intervienen en la composición de los lixiviados

- Tipo de desecho
- Nivel de degradación de los residuos
- Volumen producido
- Contenido de los lixiviados
- Alto contenido de materia orgánica
- Alto contenido de Nitrógeno y Fosforo
- Presencia abundante de patógenos
- Sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos

Efectos dañinos de los lixiviados

- Efectos de compuestos orgánicos volátiles en lixiviados. Pueden causar daños principalmente en el sistema nervioso y el gastrointestinal, de índole cancerígena y teratogénicas.
- Efecto negativo de metales existentes en los lixiviados. La exposición prolongada a metales pesados causa daños hepáticos, renales y cardiovasculares. Así como enfermedades neurológicas.
- Efecto de alcoholes lixiviados. Causa malformaciones congénitas, mutagénicas y cancerígenas.
- Efecto de compuestos orgánicos sintéticos en líquidos lixiviados. Daños en el sistema respiratorio, reproductor y nervioso.

Tratamiento de los lixiviados

Tratamiento en función a su calidad:

La calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga. En particular vale la pena mencionar las diferencias que se tienen en las calidades de los lixiviados entre

aqueellos de los países desarrollados con los de los países en vía de desarrollo. De manera resumida se puede decir que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados. Esto tiene importantes implicaciones para la operatividad y el rendimiento de los procesos de tratamiento, y debe tenerse cautela cuando se busque hacer la adaptación de las tecnologías a los casos locales.

Cantidad de los lixiviados:

La cantidad de los lixiviados en un relleno sanitario también es un punto importante a considerar en el momento de la selección de la tecnología para su tratamiento. La cantidad de los lixiviados es función de tres variables principales: el área rellena, la cantidad de infiltración que se permita y el sistema de drenaje.

CARACTERÍSTICA	LIXIVIADO JOVEN	LIXIVIADO VIEJO
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
Amoníaco	Muy alto	Alto
Fósforo	Usualmente Deficiente (1)	Suficiente
pH	Muy bajo	Bajo
Detergentes	Muy Altos	Bajos
Sales disueltas	Muy Altas	Bajas (relativamente)
Agentes Incrustantes (Fe, Ca, Mg)	Muy Altos	Bajos
Metales Pesados	Muy Altos	Bajos

Tratamientos biológicos:

–Procesos anaeróbicos:

Las tecnologías clásicas para la remoción de materia orgánica, que como en el caso de los lixiviados es predominantemente materia orgánica disuelta, son los procesos biológicos de tratamiento. Para el caso de un lixiviado joven, los consecuentemente altos contenidos de materia orgánica parecieran idealmente apropiados para la aplicación de los procesos anaerobios de tratamiento.

Las principales ventajas que tienen los procesos anaerobios en este contexto son la mayor simplicidad en el sistema de tratamiento y la menor producción de lodos. Esto se refleja en menores costos de inversión de capital y de operación y mantenimiento, y en menores requisitos técnicos en el personal que opera el sistema.

Sin embargo, existen varias precauciones que hay que tener en cuenta al aplicar este tipo de procesos. Los altos contenidos de amoníaco y de minerales disueltos pueden generar problemas de toxicidad para los microorganismos. Esto implicaría una remoción previa del amoníaco en caso de que este fuera el problema, o la aplicación de cargas de trabajo reducidas debido a las limitaciones en la actividad microbiana por motivo de la toxicidad.

–Procesos aeróbicos:

Los procesos aeróbicos, al igual que los anaeróbicos han sido ampliamente estudiados para el tratamiento de los lixiviados en rellenos sanitarios. Existe experiencia con una gran variedad de tipos de sistemas, desde las tradicionales lagunas aireadas, hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas.

Se utilizan cuando se requiere obtener una baja concentración de DBO en los efluentes. Vale la pena aclarar que como usualmente las concentraciones de DBO en los lixiviados son muy altas es relativamente fácil tener remociones porcentuales superiores al 90% en este parámetro. Sin embargo la DBO remanente puede ser todavía alta. Los costos de inversión y de operación y mantenimiento son significativamente superiores a los de los procesos anaerobios cuando los lixiviados son concentrados, como es el caso de un lixiviado joven, por lo que se logran mejores relaciones beneficio/costo cuando se utilizan para tratar lixiviados con concentraciones medias o bajas de DBO. Por esta razón, y dependiendo de las exigencias del vertimiento, se usan preferencialmente como post-tratamiento a los sistemas anaerobios, o para lixiviados viejos con bajos niveles de DBO.

Sistemas naturales:

Los sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales, también se han propuesto como alternativas para el tratamiento de lixiviados. Tienen la ventaja de la simplicidad en su operación y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento, desde un pre tratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse.

La combinación de las lagunas y los humedales puede manejar adecuadamente muchos de los problemas que en otras tecnologías aparecen como son la acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad a los microorganismos, y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas. Esto se logra al tener tiempos de retención hidráulica muy altos y volúmenes de procesos igualmente grandes, que permiten acomodar variaciones en caudal, acumulaciones de precipitados, junto con una baja producción de gases y por lo tanto de espumas.

Desde el punto de vista de costos en valor presente, la tecnología a probado ser muy competitiva al compararse con otras alternativas.

La principal desventaja que se tiene con estos sistemas es la cantidad de terreno que requiere para localizar los procesos. Sin embargo, por la naturaleza misma de los diseños de los rellenos sanitarios, en donde hay necesidad de tener áreas de amortiguamiento visual, de ruido, y de olores, estas áreas que usualmente están localizadas en los alrededores del relleno, podrían utilizarse como parte de los sistemas naturales de tratamiento; en especial en el caso de los humedales.

Evaporación:

La utilización de la evaporación como sistema de tratamiento de lixiviados es una aplicación nueva, al igual que los humedales. En ella se utiliza la energía que se tiene en el biogás del relleno sanitario en evaporar el lixiviado por calentamiento. Existen varios tipos de tecnologías ya desarrolladas para lograr el objetivo.

Las tecnologías existentes permiten lograr el control del total de emisiones de lixiviados del relleno sanitario, quedando un lodo que se dispone nuevamente en el relleno. La experiencia y los cálculos de producciones de gas y lixiviados en los rellenos sanitarios indican que se tiene gas en exceso para suplir las necesidades energéticas de evaporación del lixiviado. Algunas de las tecnologías utilizan de manera directa la energía que se genera al quemar el gas con el objetivo central de evaporar el lixiviado, lo que se denomina vaporización del gas, mientras que otras tecnologías pueden utilizar el calor residual que generan motores de combustión o turbinas, que utilizan el biogás para generar potencia mecánica, que a su vez se puede usar para la generación eléctrica.

Con la importancia mundial que están tomando el fenómeno de los gases invernadero y el cambio climático, la destrucción térmica del metano de los rellenos sanitarios se ha identificado como una de las maneras más efectivas en costos para obtener reducciones en las emisiones globales de metano.

Otras de las ventajas que con frecuencia se mencionan en favor de la tecnología de la evaporación son la simplicidad tecnológica de los equipos, y los bajos costos comparativos con otras tecnologías similares

Recirculación de lixiviados:

Se pretende utilizar el relleno sanitario como un gran reactor anaerobio de tal manera que dentro del mismo relleno se logre la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en el lixiviado. Al recircularlos lixiviados se logra un aumento en la humedad de los residuos dispuestos, que a su vez genera un aumento de la tasa de producción de gas metano en el relleno. Una vez los ácidos grasos han sido metanizados, el pH del lixiviado aumenta, y al aumentar el pH la solubilidad de los metales disminuye de tal forma que se logra una disminución de los metales en solución que son transportados por el lixiviado. De esta manera se logra una reducción significativa tanto de la DBO como de los metales que finalmente arrastra el lixiviado. Usualmente se considera que el nivel de tratamiento alcanzado es el de pretratamiento, siendo necesario algún tipo de tratamiento posterior que dependerá de los requisitos de los permisos de vertimiento en cada caso.

Adicionalmente, por el aumento de la humedad y la tasa de generación de gas, la recirculación de los lixiviados en el relleno sanitario puede generar aumentos significativos de las presiones de internas de los fluidos, gases y líquidos, que comprometan la estabilidad estructural de los taludes. Este efecto puede ser más notorio en los residuos húmedos de países en desarrollo que en los secos de los países desarrollados.

Es necesario mirar con cuidado los aspectos de seguridad geotécnica en los rellenos sanitarios cuando se considere el uso de la recirculación de los lixiviados como un método de pretratamiento. Esto implica cuidados especiales en términos de la instrumentación geotécnica del relleno, y en los sistemas de drenaje y evacuación de líquidos y gases.

Con frecuencia esta instrumentación adicional, al igual que los requisitos adicionales de drenaje tanto de lixiviados como de gases aumentan significativamente el costo de los sistemas.

Sistemas de membranas:

–Biorreactores con membrana, MBR:

Los biorreactores con membrana se utilizan de la misma manera como se utilizan los sistemas biológicos de tratamiento, siendo la principal diferencia la sustitución del sedimentador como sistema de separación sólido-líquido por un sistema de micro o ultrafiltración. Esto puede tener ventajas en términos de la disminución del volumen de tanque del reactor biológico, mas sin embargo, introduce complicaciones adicionales en la operación de los sistemas ya que los módulos de membranas son más complicados de operar y mantener que un sedimentador. Igualmente se logran aumentos significativos en la cantidad de biomasa que se tiene dentro de los reactores, pero al mismo tiempo se puede perder eficiencia en la transferencia de masa en la aireación, de tal manera que se aumentan los costos de energía por este sentido.

–Osmosis inversa:

En general se reportan unos excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Igualmente se observa que las aplicaciones han sido para lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, menores a 1000 mg/l, es decir, lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo.

Se debe entonces tener cautela en la aplicación de la tecnología de manera directa a lixiviados jóvenes. Otra ventaja que se reporta con frecuencia en el caso de la ósmosis inversa son los bajos consumos energéticos que requiere la tecnología cuando se compara con otras tecnologías como la oxidación biológica o la evaporación.

Se han reportado problemas de colmatación asociados a la precipitación del calcio y el hierro en las membranas, obligando a la incorporación de sistemas de pretratamiento que minimicen estos *efectos*.

COMPARACIÓN ENTRE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS
(COMPLEJIDAD TECNOLÓGICA)

ITEM	PROBLEMAS CON	COMPLEJIDAD TECNOLÓGICA						
		AEROBIO	ANAEROBIO	EVAPORACIÓN	RECIRCULACIÓN	MEMBRANAS	SISTEMAS NATURALES	TRATAMIENTO EN PTAR
1	Necesidad de insumos químicos	+++ (1)	+++ (1)	++ (2)	-	+++ (1)	-	-
2	Necesidad de insumos operacionales (v. gr. membranas)	++	+	+	+	+++	-	-
3	Necesidad de suministro de partes	++	-	+	+	+++	-	+
4	Suministro de Energía Eléctrica	+++	+(4)	-(5)	+	+++	+(3)	+
5	Complejidad Operacional	+++	+	++	+	+++	-	-

(1) Requiere un extenso pretratamiento

(2) Puede requerir pretratamiento, algunos sistemas usan sustancias para control de pH, espumas.

(3) Puede requerir si hay necesidad de bombear el lixiviado. Usualmente no requiere.

(4) Puede requerir en el sistema de pretratamiento

(5) Puede llegar a ser autosuficiente. Algunas tecnologías así están diseñadas.

COMPARACIÓN DE COSTOS

TRATAMIENTO	COSTO US\$/m ³
Proceso aeróbico con remoción de nitrógeno	20
Osmosis Inversa en dos etapas	7 - 10
Proceso Biológico + Carbón Activado + Precipitación	25 - 35
Proceso biológico + Osmosis Inversa + Evaporación del Concentrado	35 - 40
Evaporación	5
Humedales	1
CONSUMO ENERGÉTICO	CANTIDAD
Osmosis Inversa - Nanotración	8,5 Kwh/m ³
Evaporación al vacío	12 Kwh/m ³

Los lixiviados en Ciudad Jardín

Respecto a los lixiviados, entre los métodos para su medición, sobre sale el método de balance de agua de Thornwaite, modificado por Fenn en 1975 para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), así como el más reciente método, conocido como HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance). En el presente estudio se manejó una metodología Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C. basada también en el concepto de balance de agua, aunque muy diferente al método de la USEPA.

Esta metodología empleada proporcionó valores sumamente elevados de la producción de lixiviado para el inicio de la cuarta etapa del relleno sanitario del bordo; al ser analizada, se observaron ciertas incongruencias, por lo que se piensa que los resultados obtenidos no son del todo realistas, de manera que el enfoque para atender el problema de los líquidos contaminantes que se generen en el sitio será mediante la construcción de registros de captación y pozos de extracción de lixiviados y a través de la recirculación de éstos hacia el frente de trabajo y/o hacia depósitos de acumulación e infiltración en plataformas.

Para el control adecuado de lixiviados, se contará con drenes de colección, de varios cientos de metros en cada caso, los cuales tendrán una sección semitrapezoidal.

Para la construcción de estos drenes se excavará una base menor de 0.50 m, base mayor de 0.60 m y altura de 0.6 m. Irán protegidos con material arcilloso y geomembrana. Llevarán piedra bola o grava de 4 a 6 pulgadas de diámetro.

Respecto a los registros de colección de lixiviados, se consideran de una capacidad volumétrica de 3m³ cada uno ubicados en la periferia dentro del relleno sanitario. Los cárcamos estarán contruidos en concreto.

Se ha considerado que la mejor forma de extraer los lixiviados de dichos cárcamos será mediante bombeo con pipa.

Por lo que se refiere a los depósitos de acumulación e infiltración de lixiviados en plataformas, éstos tendrán una superficie de 0.6 x 30 metros, con una profundidad máxima de 0.60 m. No serán impermeabilizados, simplemente excavados.

Monitoreo

En la parte de monitoreo ambiental, se establece la necesidad de utilizar los pozos para venteo de biogás en estratos de residuos.

Se realizará el monitoreo de los parámetros físicos y químicos que deban analizarse, así como Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C. la frecuencia recomendada de la toma de muestras. Dentro de los que se encuentra, el monitoreo de partículas suspendidas totales (PST) y ruido.

Ingeniería aplicada

Respecto a la ingeniería aplicada, se diseñaron drenes pluviales, los cuales conducirán el agua precipitada hacia colectores; de éstos se pasará de un nivel a otro por medio de canales y tubería, siendo después conducida por debajo de los caminos perimetrales mediante tubería de acero y así sucesivamente, hasta llegar a las partes bajas del terreno en las lagunas de regulación de donde, por gravedad, se llevará por tubería hacia las plantas de bombeo para su descarga final hacia los canales correspondientes al Brazo Izquierdo del Río Churubusco y Canal de la Compañía.

Procedimiento de cálculo de drenaje pluvial

Se aplicó el método racional americano para la estimación del gasto durante una tormenta máxima (con período de retorno de 10 años).

Posteriormente, se utilizó la fórmula de Manning para flujo en canales abiertos, con objeto de determinar el área de la sección transversal de los canales de conducción. Se aplicó un proceso iterativo hasta llegar a la determinación de dicha área. Para las dimensiones teóricas encontradas, se manejaron finalmente secciones que sean operativamente más funcionales y durables, y cuya construcción se facilite, sin menoscabo de su eficiencia hidráulica.

Se aprobó el proyecto de ciudad jardín bicentenario Nezahualcóyotl, por la cámara de diputados locales, el día 14 de noviembre de 2005, y se pretende hacer por etapas. Así comienzan los trabajos de saneamiento de la zona, transportando basura al tiradero de Tultitlan, para nivelar el terreno, distribuyendo en la superficie tepetate y tezontle para su mejoramiento, membranas de geotextil en la superficie, construyendo pozos para la captación del gas metano que generara la basura al paso de los años, así como una gran contratación de mano de obra para realizar los trabajos de construcción.

La primera etapa del proyecto. Se encuentra terminado la Universidad Lasalle, la Universidad del Estado de México, el centro de rehabilitación CRIT (Centro de Rehabilitación Integral Teletón).

La inversión incluye recursos destinados al saneamiento y construcción del “combo”, compuesto por dos restaurantes y dos centros comerciales.

Este mercado potencial para la parte comercial justifica lo complicado del sellado del basurero. Las zonas comerciales, de salud y de educación irán sobre una primera fase del vertedero que ya llevaba 25 años sin utilizarse. Es el periodo que Sergio Palacios, especialista en residuos del Instituto de Geología de la UNAM, recomienda para disponer del suelo.

La zona comenzó a limpiarse después del cierre del tiradero.

La clausura siguió las indicaciones de la norma 083 de SEMARNAT, Uno de los puntos más delicados era el cálculo de la profundidad y antigüedad de los residuos. Mediante un estudio geofísico se confirmó que el tiradero es de los 60, que los residuos alcanzaban los 22 metros de espesor y que el volumen de residuos calculado ascendía a 12, 043,021 m³, explica Heberto Guzmán, presidente de la empresa Gucahe.

Se limpió el subsuelo de Lixiviados.

Se prepararon los 226 pozos profundos interconectados que permitirán desalojar el gas metano que durante los años venideros se acumule por descomposición de las basuras.

El gas que se saque será responsabilidad del gobierno municipal.

Se trabajo en el sellado (compactación de la basura), que requiere de varias capas de tezontle y tepetate y de tres mallas impermeables antes de colocar la tierra vegetal para poder utilizar el terreno. En total, entre 500,000 y 600,000 metros cúbicos de material. La cimentación del centro comercial tendrá pilotes de 50 metros de profundidad. Toda esta labor correspondía en principio a Gucahe, iniciadora del proyecto, pero IDEAL también decidió participar.

El proceso de saneamiento, es único y novedoso en México y Latinoamérica e implicó la estabilización de 25 mil metros cúbicos de basura y la movilización al tiradero de Tultitlan de otros 200 mil metros cúbicos de basura.

Durante un recorrido por el área, especialistas explicaron que de los 200 mil metros cúbicos de basura movilizada al tiradero de Tultitlan, 25 por ciento era orgánica y el resto inorgánica.

Con la construcción del nuevo complejo comercial, la comunidad que lo rodea dejará de respirar gas metano emitido por la basura e incompatible para el ser humano, y que a largo plazo resulta ser un agente cancerígeno.

Antes de la compra del terreno de más de 95 mil 500 metros cuadrados donde ahora se ubica la plaza ecológica, el metro cuadrado costaba entre mil 500 y dos mil pesos, cantidad que con el complejo se elevó considerablemente.

El vicepresidente de construcción y operación de la empresa Tecno silicato de México, -contratada por Wal-Mart para la construcción del complejo-, Rogelio López, recordó que fue en 1988 cuando se clausuró el tiradero de basura Neza I y así permaneció por 20 años.

Sin embargo, señaló que por una ambigüedad en la NOM-083 en materia ambiental no se contempla el proceso que seguirá al cierre de un tiradero de basura, pero precisó que gracias al moderno Código de Biodiversidad del Estado de México, es posible el saneamiento del tiradero de basura Neza I.

El especialista aseguró que el sistema único de saneamiento que se aplicó para este tiradero ubicado en ciudad Nezahualcóyotl supera las normas vigentes.

Reiteró que es la primera ocasión que se realiza una construcción de esta magnitud, que tuvo una duración de 240 días, y cuyos cimientos se encuentran sobre basura tratada.

En tanto, el director general de la empresa Geotecnia y Cimentaciones, Juan Rodríguez explicó que la basura que quedó debajo de la plancha de concreto servirá para otorgar resistencia a la construcción, luego de ser tratada y además que tendrá su proceso de biodegradación.

Para la habilitación del terreno contaminado se inyectaron más de tres mil toneladas de cemento, importado de Texas Estados Unidos y cal, mientras que la basura trasladada al relleno de Tultitlán será re utilizada en la generación de energía mediante la quema de biogás.

Para la edificación se utilizaron 16 mil metros cúbicos de concreto, dos mil 200 toneladas de acero y 230 mil metros cuadrados de geomallas, con la participación de 60 ingenieros pertenecientes a nueve de las mejores empresas en el ramo en México.

En tanto, el director de comunicación corporativa de WalMart de México, Antonio Ocaranzo explicó que el proyecto de Ciudad Jardín Bicentenario cumple con los objetivos de sustentabilidad que Wal-Mart se planteó desde 2006 y con los cuales promueve el uso de energías renovables.

Asimismo, la utilización de una infraestructura que permita un aprovechamiento más eficiente del agua, el manejo de materiales amigables con el medio ambiente y la formación de una cultura del desarrollo sustentable en México.

Los beneficios de la renta de los edificios y del centro comercial serán lo que pague las canchas deportivas y el sellado del bordo.

El retorno de la inversión está previsto en el largo plazo. La mano de obra será alrededor de 30% de la inversión. En IDEAL calculan que en las diferentes fases del proyecto trabajarán alrededor de 3,000 personas. “Lo más importante no es lo caro, sino lo seguro”, explica Guzmán, de Gucahe.

La segunda etapa del Proyecto.

Se trata de la terminación de un edificio que se integro en la ultima etapa de construcción que es el edificio de la judicatura federal del poder judicial de la federación, la cual esta también proceso de terminación.

El desarrollo de dos unidades habitaciones que están en proyecto, los cuales tendrán un plus mayor a las existentes en la región.

En esta etapa se pretende terminar la Ciudad Deportiva, que cuenta con 60 canchas de futbol, futbol rápido, frontón, voleibol de playa, tenis, basquetbol y futbol americano, así como un estadio olímpico, andadores, ciclopista, dos gimnasios de usos múltiples, además de áreas verdes y cuatro lagunas que captarán el agua en lo que fuera el Lago de Texcoco.

CAPITULO IV. PROCESO DE GENERACION DE GASES

Generación y aprovechamiento de gases

Generación de gases contaminantes

Un relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos.

Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases (metano y dióxido de carbono). La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia.

La **aerobia** es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente.

La **anaerobia**, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

El **gas metano** reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir. Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión. Por lo tanto, se recomienda una adecuada ventilación de este gas, aunque en los pequeños rellenos este no es un problema muy significativo.

Como comentario se puede decir que el relleno sanitario es una forma útil de almacenar y deshacerse de los desechos sólidos pero también es una forma muy peligrosa para países sin control de estos rellenos sanitarios.

Aprovechamiento de los gases

¿Qué es el biogás?

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno). La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable.

Cada año, la actividad microbiana libera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano a la atmósfera. Cerca del 90% del metano emitido proviene de la descomposición de biomasa. El resto es de origen fósil, o sea relacionado con procesos petroquímicos. La concentración de metano en la atmósfera en el hemisferio norte es cerca de 1.65 partes por millón.

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ° C (Diesel 350 ° C, gasolina y propano cerca de los 500 ° C). La temperatura de la llama alcanza 870 ° C. El biogás está compuesto por alrededor de 60 % de metano (CH₄) y 40% de dióxido de carbono (CO₂). El biogás contiene mínimas cantidades de otros gases, entre otros, 1% de ácido sulfhídrico (H₂S).

Entre más largo es el tiempo de retención, más alto es el contenido de metano, y con esto el poder calorífico. Con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%.

Composición y propiedades del biogás

El biogás es una mezcla de gases compuesta principalmente de:

- Metano (CH₄): 40-70% del volumen.
- Dióxido de carbono (CO₂): 30-60 vol. %
- Otros gases: 1-5 vol. %; incluyendo hidrógeno (H₂): 0-1 vol. % y sulfuro de hidrógeno (H₂S): 0-3 vol. % y trazas de vapor de agua.

Como en cualquier otro gas, algunas de las propiedades características del biogás dependen de la presión y la temperatura. También son afectadas por el contenido de humedad. Los factores más importantes para caracterizar el biogás son los siguientes:

- Como cambia el volumen cuando cambian la presión y la temperatura,
- Como cambia el valor calorífico cuando cambian la temperatura, presión y/o contenido de agua, y
- Como cambia el contenido de vapor de agua cuando cambian la temperatura y/o la presión.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6 kWh por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel.

El gas de relleno o biogás es explosivo e inflamable. Si no se evacua de manera adecuada, se dispersa sin control dentro del relleno e invade también terrenos adyacentes. Puede causar incendios o explosiones. Ya se observaron casos en los cuales el gas de relleno se infiltró dentro del sótano de edificios o dentro del alcantarillado y causó explosiones.

Si el Metano (CH_4) es explosivo en concentraciones entre 5-15 %; en concentraciones más elevadas de 15 %, es inflamable. Otros impactos nefastos del gas de relleno consisten en la dispersión en el suelo, donde el metano puede dañar a las raíces de las plantas, impidiendo el suministro de la planta con oxígeno y aire. El metano también tiene un impacto venenoso en los seres humanos expuestos durante largo tiempo (por ejemplo, los obreros del relleno, recicladores trabajando en el relleno). Además, el metano tiene alto impacto como gas de invernadero y daña a la atmósfera y al clima.

La generación de biogás en rellenos sanitarios

En un relleno, los variados componentes de los residuos sólidos se degradan anaeróbicamente a diferentes tasas. Por ejemplo, los alimentos se descomponen más rápido que los productos de papel. Aunque el cuero, la goma y algunos plásticos también son materias orgánicas, usualmente se resisten a la biodegradación. Algunos materiales lignocelulósicos, plásticos, textiles y otras materias orgánicas son muy resistentes a la descomposición vía organismos anaeróbicos. A pesar de la falta de uniformidad de la descomposición anaeróbica, se han desarrollado algunas fórmulas empíricas para predecir la cantidad de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) que se genera de la descomposición de la celulosa y otros materiales orgánicos.

El período de tiempo que se requiere para que los residuos sólidos domésticos se degraden y se produzca biogás dependerá de varias variables: el número de organismos presentes en la basura, nutrientes, temperatura, acidez (PH), contenido de humedad, cobertura y densidad de compactación:

- Composición de la basura: A mayor cantidad de restos de comida presentes en la basura más rápido se generará biogás. El papel y materias orgánicas similares se degradan a una tasa menor y se resisten a la biodegradación.
- Contenido de humedad: El contenido de humedad es uno de los

parámetros más determinantes en un relleno sanitario. Si este se aumenta levemente se acelera el proceso de generación de gas considerablemente. De ahí que en los rellenos sanitarios se recomienda recircular los líquidos percolados para adicionar humedad a la basura, o incluso agregar agua, disminuyendo al mismo tiempo los impactos ambientales de su descarga y los costos de tratamiento. El clima es uno de los elementos determinantes del contenido de humedad en un relleno, y su efecto depende en alguna medida de las características de la cobertura y el grado de impermeabilidad de la base del relleno.

- **Nutrientes:** Aunque los organismos anaeróbicos se desarrollan naturalmente entre la basura, estos mismos también se encuentran en las excrementos humanos y de animales, por lo que el proceso de generación de gas se acelera cuando en un relleno también se disponen los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas servidas. Además esto agrega humedad.
- **Mezcla:** En un relleno sanitario, al mezclar la basura logra poner en contacto los organismos anaeróbicos con su fuente alimenticia. Lo mismo hace la recirculación de líquidos percolados.
- **Cobertura:** La cobertura periódica y sistemática de la basura evita que esta entre en contacto con el aire permitiendo la generación de condiciones anaeróbicas que la degradan y producen biogás. Mientras antes se den estas condiciones más rápido comienza a degradarse la basura
- **Compactación:** La compactación de la basura genera el contacto con los nutrientes y la humedad, y tiende a expulsar el oxígeno presente, lo que a su vez tiende a reducir el tiempo en que se inicia la biodegradación anaeróbica.

Algunos autores, sugieren que en los vertederos o basurales abiertos, en los cuales la basura no es compactada ni cubierta, ocurre una baja descomposición anaeróbica

puesto que la basura se encontraría en contacto con el aire primando un proceso de oxidación. En estos casos donde la descomposición de la basura ocurre en condiciones aeróbicas donde se generaría en su mayor parte CO₂, agua y prácticamente nada de metano.

Bajo condiciones anaeróbicas entonces, el metano y el CO₂ son los principales gases que se generan en un relleno sanitario.

Así mismo, cuando la degradación se genera bajo condiciones que no son controladas, el proceso ocurre en forma aleatoria en la basura depositada y es muy difícil predecir el nivel de biodegradación que ocurre en el relleno y el horizonte de tiempo en que esta se desarrolla. Tras años de experiencia práctica y de investigaciones conducidas en el mundo más desarrollado se ha logrado alcanzar algún grado de entendimiento acerca de los procesos de biodegradación de la basura y de la producción de biogás y su composición.

Fases en la biodegradación de los residuos sólidos

En general la biodegradación de los residuos sólidos sigue un patrón de cinco etapas:

Fase 1: Esta fase es aeróbica que sucede inmediatamente después que la basura es depositada. Las sustancias de fácil biodegradación se comienzan a degradar a partir de su contacto con el oxígeno del aire. Esta primera fase de descomposición microbiana de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se realiza bajo condiciones aerobias, mientras se ejecutan las operaciones necesarias para introducir la materia orgánica en un medio que posea condiciones anaerobias: túneles de fermentación, digestor, vertedero, etc. Se produce CO₂ y la temperatura comienza a elevarse. En general es una etapa relativamente corta.

Fase 2: Fase de transición, esta etapa también es una etapa aeróbica, durante la cual aún no se desarrollan condiciones anaeróbicas. Ocurre un proceso de fermentación, donde se desarrollan ácidos en los líquidos percolados y se produce una caída importante en el pH. En estas condiciones el biogás está compuesto básicamente de CO₂. Se caracteriza esta fase por el paulatino descenso de las condiciones aerobias, presencia de oxígeno, hasta su completa desaparición, comenzando la etapa anaerobia.

El oxígeno desaparece del metabolismo respiratorio, siendo sustituido por compuestos inorgánicos oxidados, como el nitrito y el sulfito, los cuales, sometidos a un potencial de oxidación-reducción del medio en torno a -50 a -100 milivoltios, se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.

En estas condiciones, el potencial reductor del medio irá incrementándose, y cuando llegue a valores en torno a -150 a -300 milivoltios, comenzará la generación de metano. Mientras sigue bajando el potencial de oxidación/reducción, los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica comienzan un proceso que se resume en la conversión del material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios. El PH de la fase líquida, si es que existe, comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO₂ dentro del medio.

Fase 3: Fase ácida, en esta fase se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase anterior con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. Esta fase, predominada por las bacterias denominadas no metanogénicas o acidogénicas, pueden resumirse en:

Transformación enzimática o hidrólisis, de compuestos con alto peso molecular como los lípidos, polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos, etc., en otros compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y como

transformación a carbono celular.

Conversión microbiana o acidogénesis de los compuestos resultantes del primer paso de este proceso, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como son el ácido acético, CH_3COOH , y las pequeñas concentraciones de ácido fúlvico y otros ácidos más complejos.

Las características propias de la fase ácida son:

Generación de diversos compuestos gaseosos, principalmente dióxido de carbono, CO_2 , además de gas de hidrógeno, H_2 .

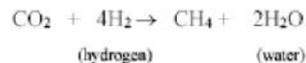
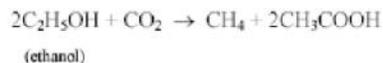
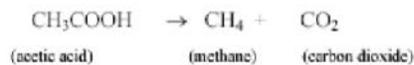
El pH de la fase líquida del medio, si existe, frecuentemente caerá hasta un valor de 5 o menos, por la presencia de los ácidos orgánicos y por las elevadas concentraciones de CO_2 .

La demanda bioquímica de oxígeno, DBO5, la demanda química de oxígeno, DQO, y la conductividad del medio líquido se incrementarán significativamente debido a la disolución de ácidos orgánicos, disolución de algunos constituyentes inorgánicos, principalmente metales pesados, y de algunos nutrientes en el medio líquido, debido a los bajos valores del pH.

Fase 4: Esta fase, dominada por microorganismos que comienzan a desarrollarse hacia el final de la fase ácida, estrictamente anaerobios y denominados metanogénicos, se caracteriza por la conversión del ácido acético y el gas de hidrógeno, producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida, en CH_4 y CO_2 . Es también la fase anaeróbica donde la producción de metano alcanza su más alto nivel, con una concentración de metano estable en el rango de 40% a 60% por volumen de biogás. Los ácidos orgánicos en los líquidos percolados se descomponen inmediatamente en biogás. La carga orgánica de los percolados es baja y consiste

principalmente de componentes orgánicos de alta biodegradabilidad. Como las condiciones son eminentemente anaeróbicas los percolados tendrán una alta concentración de amoníaco.

Debido a la transformación de los ácidos y el gas de hidrógeno en CH₄ y CO₂, el pH de la fase líquida subirá a valores más neutros, en el rango de 6,8 a 8, reduciendo las concentraciones de DOB5 y DQO, así como el valor de conductividad del líquido. Con este incremento de pH, disminuye la concentración de los constituyentes inorgánicos en la disolución y, como resultado, la concentración de metales pesados presentes en el líquido también se reducirá.



Fase 5: Fase de maduración, esta fase mucho menos activa en cuanto a la generación de gases se refiere, viene caracterizada por una disminución de la humedad y la conversión del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles.

La velocidad de generación del gas de vertedero disminuye significativamente, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han diluido en el medio líquido durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el medio sólido son de una degradación lenta.

Las fases 1 y 2 pueden tener una duración de entre semanas a dos o más años.

En general, una mayor temperatura ambiental tenderá a acelerar los procesos de biodegradación. Altas tasas de compactación y acumulación de la basura en capas delgadas también tendrán el mismo efecto. La acumulación de la basura en celdas pequeñas también acelerará las reacciones tendiendo a reducir la duración de estas etapas.

Las fases 3 y 4, en tanto, pueden llegar a durar aproximadamente 5 años en su nivel más elevado para luego decaer progresivamente, dependiendo de las condiciones de operación del relleno y en particular del contenido de humedad de la basura. Como la humedad tiende a acelerar las bioreacciones que ocurren en la basura, las precipitaciones tenderán a reducir la duración de estas etapas y a aumentar la generación de biogás en el tiempo. La recirculación de los líquidos percolados hacia las celdas de disposición contribuirá al contenido de humedad de la basura y a acelerar las reacciones.

La fase 5 del ciclo de vida de un relleno sanitario dependerá en gran parte de las condiciones de operación desarrolladas desde un principio en un relleno. Sin embargo, puede tomar décadas e incluso siglos para que la basura depositada en un relleno finalmente se estabilice.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa. La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

- Temperatura: se encuentra un funcionamiento óptimo alrededor de los 35 °C
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6.
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad.
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales.
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 L/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%.

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.

Etapas de la digestión anaeróbica:

- Hidrólisis de los polímeros complejos.
- Acidogénesis por fermentación de los monómeros produciendo acetato, propionato, butirato, succinato, alcoholes, H_2 y CO_2 .
- Acetogénesis por fermentación secundaria generando acetato, H_2 , CO_2 .
- Metanogénesis a partir de H_2 , CO_2 , acetato.

Los procariontes reductores de CO_2 más importantes son los metanógenos, un grupo de arqueobacterias anaeróbicas estrictas que emplean generalmente el H_2 como donante de electrones. Hay por lo menos diez sustratos que se convierten en metano por la acción de uno u otro metanógeno, todos los cuales liberan energía adecuada para la síntesis de ATP, incluyendo formiato, acetato, metanol, metilmercaptano y metilamina.

La conversión de acetato a metano aparece como un proceso ecológico muy importante en digestores de residuos y en medios anóxicos de agua dulce, donde no hay una competencia excesiva por el acetato con otras bacterias. A pesar de que la producción de metano está muy extendida, son pocos los compuestos de carbono que sirven como precursores directos de la metanogénesis. Por lo tanto, es un proceso que depende de la producción de esos compuestos por otros organismos, a partir de la materia orgánica compleja.

En muchos ambientes anóxicos los precursores inmediatos del metano son el H_2 y el CO_2 que se generan por las actividades de los organismos fermentadores. En el

proceso general de producción de metano a partir de la fermentación de un polisacárido, como la celulosa, pueden intervenir hasta cinco grupos fisiológicos de procariontes. Las bacterias celulolíticas rompen la molécula de celulosa, de peso molecular elevado, en celobiosa y glucosa libre. Por acción de los fermentadores primarios, la glucosa origina ácidos orgánicos, alcoholes, H₂ y CO₂. Todo el hidrógeno producido es consumido inmediatamente por las bacterias metanogénicas, las acetogénicas o las reductoras de sulfato si éste se halla en alta concentración. Además el acetato puede ser convertido en metano por otros metanógenos.

Rendimientos teóricos de biogás a partir de los residuos sólidos dispuestos

El metano y el CO₂ son los principales constituyentes del biogás y se producen durante la descomposición anaeróbica de la celulosa y las proteínas en la basura de los rellenos. La descomposición anaeróbica ocurre en ausencia de oxígeno. Además de los gases nombrados en los rellenos también se genera una pequeña proporción de compuestos orgánicos no metanogénicos. Estos compuestos incluyen contaminantes atmosféricos peligrosos y compuestos orgánicos volátiles (COV).

La descomposición es un proceso complejo que requiere que se den ciertas condiciones, como ya se indicó más arriba, factores ambientales como la cantidad de materias orgánicas y el contenido de humedad de la basura, la concentración de nutrientes, la presencia y distribución de microorganismos, el tamaño de las partículas de la basura, la inmisión de agua, pH, y temperatura, afectan la descomposición de la basura y la generación de biogás. Debido al complejo conjunto de condiciones que deben ocurrir para que se genere biogás, se estima que la basura debería llevar depositada al menos un año o más para que se comience a desarrollar la descomposición anaeróbica y comience la generación de biogás. La basura acumulada en un relleno puede generar gas durante 20 o 30 años. Sin embargo, en botaderos sin control donde la basura está en exposición al aire, resulta una descomposición aeróbica que sólo emite CO₂ y agua.

En teoría, la cantidad de biogás que se genera de una tonelada de carbono biodegradable corresponde a 1,868 Nm³ (Nm³ = Metro cúbico normal). En países industrializados, la cantidad teórica es de 370 Nm³ de biogás por cada tonelada de basura depositada.

En general, la evidencia empírica en los países desarrollados ha demostrado que la biodegradación ocurre en forma dispareja e imperfecta, por lo que se considera que la generación de biogás se aproximaría más a los 200 Nm³ por cada tonelada de basura depositada que a la cifra anterior.

Algunos autores han hecho estimaciones teóricas basadas en supuestos acerca de la composición química de la basura doméstica, y le han aplicado estos supuestos a la ecuación de Buswell de metanogénesis, que gobierna el proceso metanogénico. Estos cálculos han obtenido rendimientos teóricos de biogás, considerando el total de la basura o considerando una biodegradabilidad ponderada.

Por otro lado, el Landfill Methane Outreach Program de la EPA de Estados Unidos recomienda varios métodos para estimar con mayor o menor precisión la generación de biogás en un relleno sanitario.

El “Método A: Aproximación Simple”: Es, como su nombre lo indica una aproximación gruesa basada en la cantidad de basura depositada en un relleno. El procedimiento se basa en una razón empírica entre cantidad de basura y flujo de biogás observada en los muchos y variados proyectos de recuperación de biogás de rellenos sanitarios estudiados por este programa. Es un reflejo de las características del relleno promedio y puede no representar con precisión las distintas características de la basura, el clima y otras variables que pueden estar presentes en un relleno específico. En general la EPA recomienda utilizar esta regla sólo como un proceso preliminar para determinar si es necesario utilizar métodos más complejos.

Esta regla simple de aproximación sólo requiere conocimientos acerca de la cantidad de basura depositada en el relleno de interés y se nutre del juicio y experiencia de expertos de la industria, que han establecido que la generación de biogás varía entre 0,05 y más de 0,20 piés cúbicos (pc) al año por cada libra (lb) de basura. Lo que da la siguiente ecuación:

Generación anual de biogás (pc) = 0,10 pc/lb x 2000 lb/ton x cantidad basura depositada (ton)

Este método no considera una serie de características del sitio, entre ellas el tiempo que la basura lleva depositada, el cual tiene una influencia negativa sobre la generación de biogás (después de la etapa de estabilización), por lo que la relación de generación anterior puede ser sólo útil para calcular la generación durante un par de años luego que se comienza a recolectar el gas. De ahí en adelante la EPA recomienda comenzar a aplicarle un factor de disminución anual de entre 2% y 3% a la generación de biogás.

Método B: “Modelo de degradación de primer orden”: El cual sí puede ser usado para contabilizar el cambio en la tasa de generación de biogás de acuerdo a la vida útil del proyecto de relleno. El modelo de degradación de primer orden es más complicado que la gruesa regla anterior y requiere de mayor conocimiento de las características del relleno, al menos en lo que se refiere a las siguientes 5 variables:

- Promedio anual de recepción de basura;
- Número de años que el relleno lleva abierto;
- Número de años que el relleno lleva cerrado, sin recibir basura, si corresponde;
- Potencial de generación de metano de la basura; y Tasa de generación anual de metano de la basura.

$$LFG = 2L_0 R(e^{-kc}-e^{-kt})$$

Donde:

LFG = Total de biogás generado en el año corriente (pies cúbicos)

L₀ = Potencial total de generación de metano de la basura (pies cúbico/libra)

k = Tasa anual de generación de metano

R = Tasa promedio de recepción de basura anual durante la vida activa (libras)

t = Años desde que se abrió el relleno (años)

c = Años desde que se cerró el relleno (años).

El potencial de generación de metano, L₀, representa la cantidad total de metano por peso que la basura generaría durante su proceso de descomposición en un relleno sanitario. La constante de degradación, k, representa la tasa a la cual el metano es liberado de cada libra de basura. El total de biogás que se genera en el relleno es simplemente la multiplicación por 2 de la generación de metano calculada por el modelo (de ahí el factor 2 en la fórmula).

El supuesto es que la mitad del biogás está constituida por metano. Si estos valores fueran conocidos el modelo podría predecir con bastante precisión la generación de metano, puesto que tanto L₀ como k varían mucho de acuerdo a las características de cada relleno y la basura recibida, y el clima afecta especialmente al factor k. En la utilización de este modelo el Landfill Gas for Energy.

El Programa de la EPA recomienda utilizar los siguientes rangos de valores:

Variable	Rango	Valores sugeridos		
		Clima húmedo	Clima semi-húmedo	Clima seco
L ₀ (pies ³ /libra)	0-5	2,25-2,88	2,25-2,88	2,25-2,88
k(1/año)	0,003-0,4	0,1-0,35	0,05-0,15	0,02-0,10
Fuente: EPA, 1996, Turning a Liability into an Asset: A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook.				

Potencial de Generación de Metano

Aunque las mediciones en terreno no son la práctica estándar la información Existente demuestra que los valores reales pueden diferir de las estimaciones en varios

órdenes de magnitud. La ingeniería y gestión de un relleno influenciará fuertemente cuánto metano puede ser generado y capturado. Los estándares en cuanto a las características constructivas y operacionales de los rellenos son muy variables entre países y regiones, los que pueden ir desde vertederos abiertos abandonados sin ningún tipo de sistema de control de biogás o gestión hasta rellenos de altos estándares de ingeniería con sistemas de recolección y tratamiento de gases y líquidos percolados que operan como complejos reactores anaeróbicos industriales.

Los sistemas de recolección de gases no son 100% eficientes. Más bien se estima que raramente superan el 70-75% de eficiencia. Los mayores niveles de recolección generalmente no se mantienen parejos durante la vida de un relleno. Al principio de las operaciones no se recolectará prácticamente nada de biogás debido a que los sistemas de recolección no se encuentran totalmente instalados, las condiciones anaeróbicas aún no se comienzan a manifestar como para generar biogás en cantidades apreciables y la mayoría de este se fugará por el frente de carga de basura. En la medida que el sitio envejece, la concentración de metano decaerá y el contenido energético del biogás será cada vez menor al igual que los eventuales peligros y daños que pueda generar.

Por lo anterior, cualquiera de los métodos teóricos para estimar el potencial de generación de biogás de un relleno sanitario tendrá altos grados de imprecisión. Incluso los tests de bombeos en terreno son considerados imprecisos para estimar emisiones a futuro, debido a que representan una medición instantánea en un momento o período dado del tiempo y las condiciones de un relleno pueden variar en plazos más largos. Ni siquiera pruebas repetitivas pueden ser consideradas de mayor precisión para estimar los factores de generación como k y L , ya que tanto la basura acumulada como la recibida y las condiciones de operación del relleno cambian en el tiempo. El único método realmente confiable es uno en que se realizan mediciones directas y continuas del biogás en el sistema de recolección del relleno sanitario.

El modelo de degradación de primer orden recomendado por la EPA proveerá de mejores estimaciones mientras mejor sea la información disponible para hacer los cálculos.

Manejo de los gases

El gas de relleno se puede evacuar con drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador. Cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuarles solamente por los orificios previstos. Se logra una mayor eficiencia con el drenaje activo, pero los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos.

Drenaje pasivo

Drenaje pasivo sin chimeneas

En un relleno compactado, el gas de relleno se mueve con preferencia horizontalmente en las capas de basura. Se difunde por la capa superficial del cuerpo de basura o por los taludes laterales, se mezclan con el aire y se diluyen. La cubierta con tierra tiene un impacto como filtro biológico, es decir que ya existe un cierto tratamiento de los gases de relleno antes de que se mezclen con la atmósfera. Es verdad que en la práctica el drenaje pasivo sin chimeneas provoca algunos problemas, los más importantes son los siguientes:

- En las celdas ya terminadas, cubiertas y planteadas, se puede impedir el suministro de aire de las raíces por causa de la concentración alta de metano en la capa de tierra.
- Cuando existen fisuras en los taludes o la superficie del relleno, los gases se difunden por las fisuras sin pasar por el filtro biológico que constituye la capa e tierra.

- Si se descarga lodo o basura muy húmeda en el relleno, o si el relleno está expuesto a demasiada lluvia, se pierde el impacto de filtro biológico.
- Si se produce una cantidad muy alta de gas de relleno o si el gas se difunde solamente en algunos puntos definidos y no por la superficie entera, hay demasiada carga al filtro biológico y el filtro pierde su eficiencia.
- En el Páramo o en la estación fría en la Sierra no accede suficiente oxígeno a los microorganismos en la capa de tierra y el filtro biológico no funciona adecuadamente.
- El drenaje pasivo se puede aplicar en rellenos cerrados o en rellenos operados. En un relleno todavía en operación, la capa actual de superficie sirve como filtro biológico. Para eso es muy importante que se cubra diariamente la basura con una capa suficiente de tierra. Si se implementa en una celda que ya terminó su vida útil, se pueden recomendar 2 tipos de procedimiento:

a) Orificios sirviendo como filtros biológicos

La celda se cierra y se cubre con tierra bien compactada. Se dejan orificios en esta cubierta de tierra y se llenan con compost. No se compacta el compost en estos orificios. Debe ser suelto para tener la eficiencia óptima como filtro biológico.

b) Celdas cubiertas con compost

Si el municipio en cuestión dispone de una planta de compostaje, y las celdas del relleno son relativamente pequeñas, se puede también recomendar la alternativa de no compactar la capa superficial del cuerpo de basura. En este caso, se coloca una capa de compost con el espesor de 50 cm sobre la celda cerrada. Esta capa serviría como filtro biológico. Como la superficie de este filtro es muy extendida, la carga de contaminantes por área es sumamente baja, lo que asegura una eficiencia óptima.

Esta alternativa se recomienda especialmente para rellenos sanitarios manuales con una adyacente planta de compostaje. En la imagen 4.1 se muestra un relleno sanitario manual cubierto con una capa de compost que sirve como filtro biológico para los gases de relleno.

Generalmente no se recomienda el drenaje pasivo sin chimeneas. Solamente se puede preferir este método en los siguientes casos:

- Municipalidad pequeña que no tiene los recursos personales para construir chimeneas durante la operación del relleno sanitario.
- Evacuación de gases de relleno en un botadero cerrado que no tiene ningún dispositivo para el drenaje.
- Relleno pequeño manual con mala compactación. Aquí hay un mayor porcentaje de gas que se difunde por la superficie del cuerpo de basura, ya que la difusión vertical no se impide por la compactación.

Drenaje pasivo con chimeneas

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas hay que construir las chimeneas de drenaje durante la operación del relleno sanitario. Aquí se aprovecha de la difusión horizontal del gas de relleno. El gas se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas y por consecuencia queda muy baja la cantidad de gas que no se difunde por la chimenea, pero por la superficie del cuerpo de basura sí.

Las chimeneas de drenaje se pueden construir de dos maneras:

- Jaula de malla con 4 puntales de madera, llenada con piedra bola o grava.
- Tubo perforado llenado con piedra bola o grava

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas, es muy importante que se quemara el gas de relleno que sale de las chimeneas. Si no, las chimeneas constituyen un peligro importante para los obreros y recicladores en el relleno, porque los gases de relleno salen casi sin dilución de las chimeneas.

Se puede quemar el gas de relleno dentro de la chimenea, protegiendo los puntales y la malla con un tubo de hormigón o un capuchón metálico. Este capuchón se puede fabricar de barriles o latas abandonadas. La chimenea donde se incinera el gas no debe ser más elevada que la celda para evitar que se mezcle el aire ambiental con el gas combustible. Con la incineración controlada del gas puro de relleno se evita también el peligro de explosión que siempre existe cuando se mezcla el metano con la atmósfera.

Es más fácil incinerar los gases en una chimenea que se encuentra en una celda ya cerrada, pues se queda igual el nivel de la celda, pero es también posible incinerar los gases en una celda en operación. Aquí hay que apagar el fuego en la chimenea y elevarla paralelamente con el crecimiento de la celda.

Este trabajo se debería hacer cada 2 semanas o cada mes, dependiendo del tamaño del relleno.

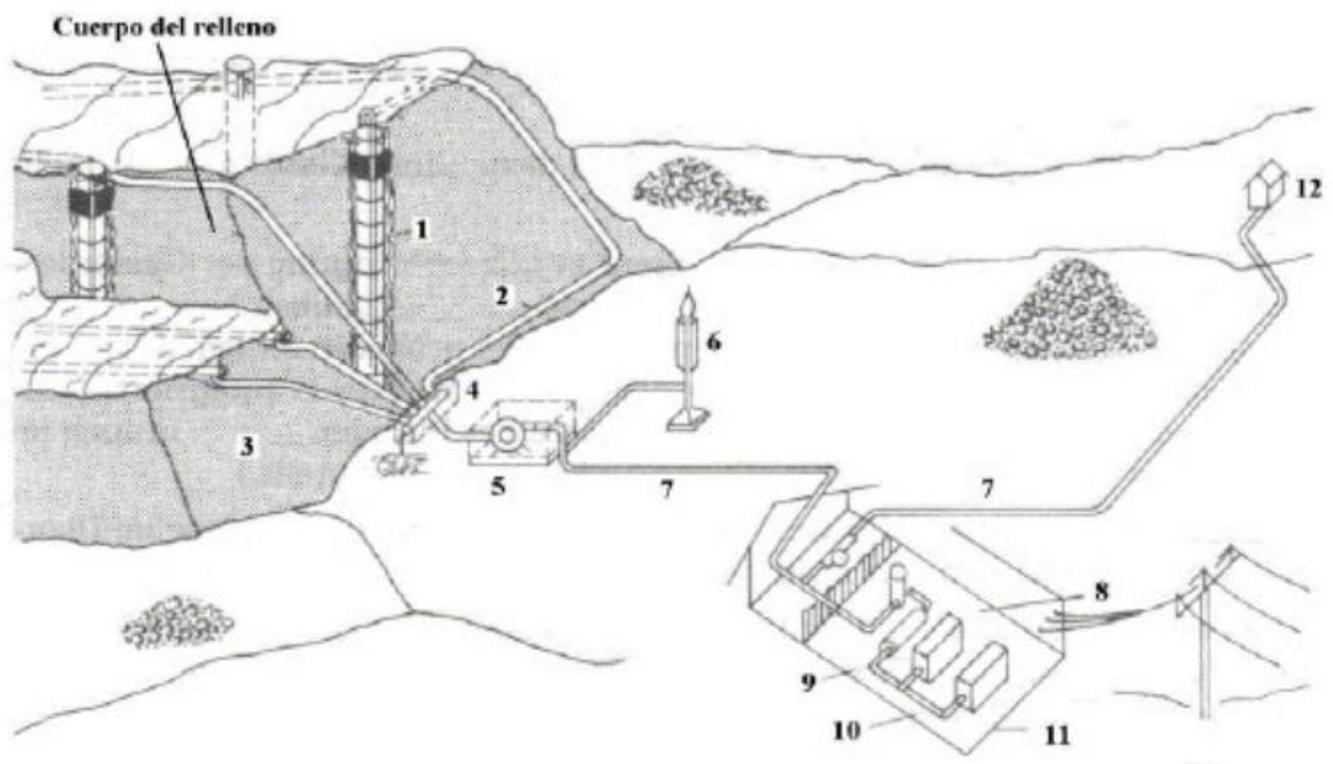
Drenaje activo

En los sistemas de drenaje activo, se succiona el gas con un soplador que se conecta con las chimeneas. Se conducen los gases hacia el incinerador por un sistema de tubería bajo el cuerpo de basura.

El sistema de drenaje activo consiste de los siguientes elementos:

- **Colectores de gas:** Estos son las chimeneas verticales y la tubería horizontal que se colocan en el cuerpo de basura.
- **Punto de recolección:** El gas aspirado en diferentes chimeneas se conduce a ellas y se junta. El punto de recolección puede ser un tanque o un tubo. Se recomienda ubicar el punto de recolección en un nivel abajo de la tubería y de las chimeneas, con el fin de poder condensar en este lugar las aguas contenidas en el gas de relleno. Se debe colocar equipo de medición y ajuste en el punto de recolección.
- **Separador de agua:** Las aguas condensadas se separan del flujo de gas mediante un sifón o equipo refrigerador; después se manda con una bomba hacia la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas.
- **Tubo de aspiración de gas:** Este es el tubo que conecta el punto de colección con el soplador. **Ajuste de presión y soplador:** El soplador produce depresión para succionar los gases del cuerpo de relleno, y sobrepresión para mandar los gases al incinerador. El ajuste de presión mantiene la depresión y la sobrepresión en el nivel óptimo. La presión necesaria para la succión es entre 200 - 300 mbar.
- **Casa del soplador:** En rellenos medianos o pequeños, el soplador se puede colocar en un galpón semiabierto con techo o en un contenedor. Para rellenos grandes, se recomienda colocar el soplador en el mismo edificio que el incinerador.
- **Tubo de transporte:** Este es el tubo que conduce los gases con sobrepresión hacia el incinerador.
- **Antorcha:** Unidad donde se quema el gas bajo control.
- **Incinerador:** Unidad compuesta de la antorcha, del equipo para aprovechar la energía de incineración y de los equipos auxiliares (tratamiento del gas, separación de gases, ajustes etc.)

La siguiente figura muestra un sistema de drenaje activo con todas las unidades:



- | | | | |
|---|----------------------------|----|---|
| 1 | Chimenea | 7 | Tuberia de transporte |
| 2 | Colector de gas | 8 | Consumidor 1 |
| 3 | Drenaje de gas | 9 | Tratamiento del gas |
| 4 | Punto de coleccion | 10 | Conversion del gas en energia electrica |
| 5 | Punto de transporte de gas | 11 | Casa de turbinas |
| 6 | Antorcha | 12 | Consumidor 2 |

Figura 4.1

Chimeneas y tubería para el drenaje activo

Se deben considerar los siguientes puntos durante el diseño de un sistema de drenaje activo para los gases de relleno:

- La depresión debe ser eficiente en todo el cuerpo de basura.
- Se debe minimizar la cantidad de aire succionado por el soplador.
- El sistema debe tener una larga vida útil.
- La capacidad de succión debe ser apropiada a la cantidad de gas.
- Los tubos de succión deben ser lo más corto posible, para no tener demasiadas pérdidas de presión.

Cuando se diseña el sistema de drenaje activo junto con el relleno, generalmente se utiliza tubería horizontal colocada en diferentes niveles del cuerpo de basura para aspirar los gases. Si se debe añadir el sistema de drenaje activo a un relleno ya cerrado, es posible perforar el cuerpo de basura para poder colocar chimeneas verticales.

Con sistemas activos de drenaje, se puede evacuar un 40-45 % del gas de relleno. Es importante que la concentración del metano sobre la superficie del relleno no exceda 80 ppm.

Incineración del gas después del drenaje activo

Incineración con antorcha

Si no se aprovecha el gas de relleno produciendo energía eléctrica, se puede incinerar el gas de relleno con antorchas. La incineración con antorcha es un método similar a la incineración controlada en la chimenea, que no aprovecha de la energía de la incineración para producir electricidad.

Se ha desarrollado antorchas especiales donde se queman los gases de relleno con adición controlada de aire. Las antorchas para la incineración del gas de relleno disponen de encendedores automáticos, un sistema de control de la llama y de la temperatura, una válvula automática para apagar y un ajuste del flujo de aire. En las antorchas convencionales, el gas de relleno se quema con una temperatura de aproximadamente 1000 °C. Existen también antorchas para incineración con alta temperatura, que queman los gases con 1200 °C y con las cuales se logra un mejor control de la generación de dioxinas durante el proceso de incineración. Los costos de inversión y de operación son más altos para las antorchas de alta temperatura.

Recolección de biogás en rellenos sanitarios

Como se ha dicho anteriormente, el biogás es producido en forma natural por la degradación de la materia orgánica de la basura. Se genera debido a la acción de bacterias en condiciones anaeróbicas típicas de la mayoría de los rellenos sanitarios. Este gas es principalmente una mezcla de metano y de dióxido de carbono, pero es el metano el que representa la mayor contribución al efecto invernadero debido a su potencial de calentamiento global que supera en 21 veces al CO₂, y es el componente que permite que eventualmente se pueda usar el biogás para generar energía.

La materia biodegradable (restos de plantas, alimentos, papel, cartón, restos de podas, etc.) en la basura contiene carbono absorbido de la atmósfera por el proceso de fotosíntesis. Los procesos de descomposición que se dan en un relleno sanitario liberan parte de ese carbono en forma de CO₂ como componente del biogás, otra parte se queda en el relleno en forma de compost (sustancias húmedas estables que pueden secuestrar carbono por cientos de años) y en la madera cuya degradación se ve inhibida por las condiciones anaeróbicas. Al recolectar el biogás y quemar el metano se produce CO₂ en la combustión. También parte del CO₂ del biogás se fuga por la incapacidad de recolectarlo todo. Todo este carbono liberado no se considera como adiciones de GEI a la atmósfera puesto que es parte del ciclo natural de la descomposición de la basura. La preocupación por el control del gas que se genera en

la acumulación de basuras surgió de la aparición en las décadas de los 60 y 70 de nuevas técnicas de disposición desarrolladas en el mundo industrializado para mitigar los impactos ambientales de la disposición de la basura. En estas nuevas técnicas los procedimientos para la disposición de basura consideraban su compactación previa, su depósito en rellenos sanitarios, su cobertura con tierra y finalmente, al completarse el relleno, su recubrimiento con una capa impermeable. Este procedimiento, en general evitaba los problemas tradicionales de la disposición abierta de basura (incendios, moscas, ratones, impactos visuales, focos de infección, actividades de recolección, etc.) y dependiendo de la disponibilidad de tierra se consideraba además una técnica barata. Así, la técnica de rellenos sanitarios fue ampliamente aplicada en los países desarrollados. Sin embargo, esta técnica generó dos problemas adicionales:

- Generación de biogás, que puede causar incendios y explosiones en el relleno y en propiedades aledañas, así como dañar la vegetación y producir olores molestos.
- Generación de líquidos percolados potencialmente contaminantes.

Para extraer el biogás de un relleno sanitario, en general se utilizan las siguientes técnicas:

- Contención: Se instalan barreras impermeables alrededor del relleno de manera en preparación para la extracción y recolección del biogás.
- Ventilación pasiva: Se cavan trincheras rellenas con material granulado (por ejemplo: gravilla) alrededor del relleno. Esto rodea las celdas con un área de alta permeabilidad que permite al gas escapar y ser recolectado.
- Ventilación activa: Se instalan corredores o pozos de alta permeabilidad interconectados mediante una red de tuberías que permite recolectar el biogás, usualmente con la adición de una pequeña presión de succión.

El biogás se puede dejar escapar a la atmósfera, se puede quemar en antorchas o utilizar para generar energía. La literatura especializada sugiere que el sistema se puede instalar durante el proceso de relleno de cada celda o después que la celda se haya completado. Si se lo hace durante el proceso de llenado, normalmente el sistema consiste en drenajes horizontales combinados con pozos de recolección. En estos casos se logran rendimientos mayores de recolección. Sin embargo esta modalidad usualmente acarrea problemas operacionales al interrumpir las operaciones de descarga de los camiones, dificultades para realizar la compactación cerca de los pozos y asentamiento disperejo de la basura alrededor de ellos.

Si se instalan después de que las celdas ya han sido rellenas el sistema consistirá en pozos perforados, lo que facilita la instalación y operación de los equipos, pero reduce el volumen total de biogás recolectado y aumentaría los costos. La capacidad de succión de las bombas es crucial para la extracción óptima del biogás y debiera ser diseñada para obtener un flujo máximo de biogás entre 2 y 7 años después de que la celda ha sido completada. También se recomienda la instalación de unidades de monitoreo para controlar y evitar la infiltración de aire a los pozos de extracción de manera de optimizar la extracción. Además, se sugiere sistemas de recirculación e inyección, en lo posible en cada celda, de los líquidos percolados de manera de potenciar la generación de gas acelerando los procesos de descomposición.

El biogás se puede quemar en antorchas, o se puede instalar sistemas que lo reutilicen de alguna manera y permitan una quema más productiva. Existen varias posibilidades para su reutilización, se puede inyectar a una red de gas urbano o de ciudad, se puede generar energía eléctrica, se puede utilizar para generar vapor para procesos productivos, o en una combinación de calor y energía.

En general, el uso directo del biogás en una red de gas urbano requeriría de procesos adicionales de limpieza y enriquecimiento debido a su menor pureza y a los efectos destructivos sobre los equipos de los demás gases constituyentes de la mezcla.

El uso como combustible para vehículos también requeriría de limpieza adicional. La producción de agua caliente y calor podría ser útil si existe demanda cercana.

Por otro lado, la conversión del biogás a energía eléctrica a través de turbinas a gas o motores generadores de combustión interna se puede distribuir a través de la red eléctrica o puede ser utilizada por el consumidor más cercano, reemplazando o desplazando la generación de centrales termoeléctricas más caras y más contaminantes.

De ahí se deriva el potencial adicional de reducción de emisiones de GEI de este sector. Varios elementos atentarían contra la generación de biogás. Por lo pronto, la minimización de la generación de basura es una de ellas, así como su aprovechamiento y valorización a través del reciclaje. Si se evita que un relleno entre a la etapa de descomposición anaeróbica al mantener la basura en permanente contacto con el aire circundante, sin cobertura periódica, lo que se produce es una descomposición aeróbica que sólo genera CO₂ y agua. En ese caso no se genera prácticamente nada de gas metano y por lo tanto la contribución de un relleno sanitario al calentamiento global no sería relevante. Sin embargo, salvo en condiciones muy excepcionales este tipo de manejo es riesgoso para el medio ambiente y la salud pública, por lo que no contribuye al desarrollo sustentable.

El ideal sería entonces, que los rellenos fueran biorreactores lo más eficientes posibles de manera de acelerar la descomposición anaeróbica, maximizar la recuperación de biogás y quemarlo en la forma más eficiente y productiva posible, neutralizando la basura en el menor tiempo posible. Esto permitiría reacondicionar y recuperar los terrenos para usos posteriores del máximo valor para la sociedad. En teoría hasta se podría pensar en rellenos sanitarios tan eficientes como biorreactores, con mínima basura no orgánica y de lenta descomposición, óptima humedad y temperatura, máxima eficiencia en generación y captación de gas, y biodegradación acelerada en cada celda, que podrían ser reutilizados indefinidamente.

Conversión energética del biogás y reducción de emisiones de gas de efecto invernadero

El uso predominante del biogás una vez que este es recolectado ha sido como combustible para la generación de electricidad, la cual se distribuye a través de la red local o se transmite hasta algún consumidor cercano. Para efectos de este estudio parece pertinente estudiar esta posibilidad por estas razones:

- La utilización de biogás como fuente de energía local se presenta como una oportunidad de contribución adicional al desarrollo sustentable y como una fuente de generación de empleo, inversión extranjera y desarrollo local. La venta de energía puede generar ingresos adicionales para rentabilizar la operación de un relleno sanitario y la recolección de biogás más allá del mínimo que se colecta actualmente.

- Adicionalmente, esto podría traer consigo bajas en los costos de la disposición final para los municipios y usuarios, lo que podría des-incentivar la utilización de vertederos y/o basurales de características sub-estándar y la disposición en vertederos ilegales, reduciendo impactos ambientales y económicos para las localidades afectadas. La instalación de sistemas de recolección y plantas de energía generaría empleo adicional a la operación del relleno.

- La utilización de biogás como fuente de energía se presenta como una fuente adicional de reducción de emisiones de GEI. En la medida que el metano capturado en un relleno sanitario es utilizado para generar energía que se incorpora a la matriz energética, esta podría reemplazar fuentes más contaminantes que emiten GEI, lo que produciría reducciones adicionales a la mera captura del biogás. Los ingresos provenientes de la venta de reducciones de emisiones servirían para financiar las inversiones necesarias y/o rentabilizar los rellenos.

- La utilización de biogás como fuente de energía puede servir para compensar algunos de los costos externos de la construcción y operación de rellenos sanitarios. La energía generada en base a biogás puede ser distribuida a localidades aledañas a precios

subsidiados para compensarlas por los efectos ambientales que la localización de rellenos sanitarios les puede generar. La generación de energía en base a biogás es ventajosa debido a los potenciales beneficios enumerados arriba, y produce un producto final valioso

– energía eléctrica de la basura.

Además, el contenido de metano en el biogás decae en el tiempo, disminuyendo su proporción desde 40-60% en los primeros años de un relleno hasta 25-45% en los años finales. La duración y tasas de producción de gas varían en el tiempo dependiendo del proceso de degradación natural de la basura en cada relleno. La vida útil de los sistemas de recolección puede ser bastante larga (15 años o más), sin embargo la utilización económicamente eficiente de estas instalaciones normalmente se puede sostener sólo entre 3 y 8 años.

El diseño y el método de relleno usado en un sitio determinarán su potencial de generación de energía. Los sitios más profundos, con buena impermeabilización, incentivan las condiciones anaeróbicas y proveen un mejor medio para la actividad bacteriana que degrada la basura, comparados con los rellenos con menor profundidad y con poca o mala cobertura.

Los rellenos modernos aplican algunas medidas para contrarrestar estas variaciones y minimizar la incertidumbre en el potencial de generación. La instalación de sistemas que recolectan los líquidos percolados, los tratan y recirculan a la basura, es una forma de incentivar la descomposición de la basura aumentando y reduciendo la variabilidad en la humedad. Estos sistemas ayudan a estabilizar más rápido los rellenos y a homogeneizar el flujo de biogás. Toda esta variabilidad agrega incertidumbre a los proyectos de control y aprovechamiento de biogás, la que muchas veces sólo puede ser contrarrestada con inversiones adicionales que apuntan a mejorar las características de los rellenos como biorreactores anaeróbicos para controlar los

procesos de degradación de la basura y favorecer la generación de energía.

Existen varias tecnologías para la generación de energía del biogás: microturbinas, motores de combustión interna, turbinas a gas, ciclo combinado, turbinas a vapor de caldera. Adicionalmente, existe una serie de tecnologías experimentales para aprovechar tanto el CO₂ como el gas metano generado en los rellenos sanitarios:

- Uso de celdas de combustible de ácido fosfórico (PAFCs) para la generación de energía eléctrica y calor,
- Conversión del metano en gas comprimido para su uso en vehículos,
- Utilización del metano para evaporar los líquidos percolados y condensados del biogás,
- Operación de rellenos como bioreactores aeróbicos o anaeróbicos,
- Producción de metanol,
- Producción de CO₂ industrial, y
- Uso del biogás para calefacción de invernaderos y para aumentar su contenido de CO₂.

El motor de combustión interna es la tecnología más utilizada en rellenos sanitarios para la recuperación energética del biogás. Aproximadamente el 80% de los 330 proyectos de energía de biogás de rellenos sanitarios actualmente operando en EE.UU. los usan (Methane Outreach Program, EPA). Este tipo de motores son eficientes y más baratos que otras alternativas, y se recomiendan para aquellos proyectos capaces de generar entre 1 y 3 MW. Además, tienen la ventaja de que se encuentran disponibles en diferentes tamaños los que pueden irse adicionando al sistema respondiendo a los incrementos en la generación de gas.

En el manual “Landfill Gas to Energy” de la EPA (1996) se consigna que la oferta de generadores para proyectos de este tipo varía entre los 800 kW y los 3MW, sin embargo hoy en día proyectos menores también estarían utilizando motores de combustión interna . La EPA señala que hoy en día se pueden instalar microturbinas

desde 30 kW a 100 kW, lo que hace posible que rellenos sanitarios pequeños también puedan generar energía eléctrica y reducir emisiones. Este tipo de proyectos normalmente se utiliza para autoconsumo del relleno o para venderse a consumidores cercanos (una turbina de 30 kW alcanzaría para alimentar el equivalente a 20 casas). Sin embargo, la inversión requerida para estas turbinas es bastante alta, entre \$4.000 y \$5.000 para turbinas de 30 kW y entre \$2.000 y \$2.500 para turbinas mayores (200kW).

La desventaja de los motores de combustión interna es que sufren de corrosión debido al contenido de ácidos en el biogás, no así las turbinas a gas. Pero estas últimas son más caras, necesitan un gas de calidad consistente y una mayor presión de entrega, lo que aumenta los costos por concepto de instalación y operación de compresores. Para proyectos que superan los 3 a 4 MW de generación potencial normalmente se instalan turbinas para aprovechar economías de escala, ya que el costo de generación por cada kW cae en la medida que el tamaño de la turbina se incrementa. Proyectos mayores a 8 MW requieren turbinas mayores de ciclo combinado.

La combustión directa del biogás es una buena forma de recuperar energía del biogás – normalmente un 80% del valor calorífico del metano puede ser recuperado. Quemar el biogás es similar a quemar gas natural diluido, por lo que probablemente se deben hacer ajustes para adaptarse al menor poder calorífico del biogás.

Potencial de generación de energía del biogás

La EPA recomienda utilizar las siguientes relaciones para estimar el potencial de generación de energía del biogás de rellenos sanitarios:

Potencial de generación de energía bruto (kWB): Esta es la capacidad instalada de generación que el flujo de biogás obtenido de un relleno puede soportar y está dado

por la siguiente fórmula:

$$kW = \text{Flujo de biogás (pie}^3/\text{día)} \times \text{Contenido de energía (Btu/pie}^3) \times 1/\text{tasa calorífica (kWh/Btu)} \times 1\text{d}/24\text{hr}$$

Donde:

- Flujo de biogás se refiere a la cantidad neta de biogás por día que es capturada por el sistema de recolección, procesada y entregada al equipo de generación eléctrica (usualmente se supone que esta alcanza entre el 75% y el 85% del total de gas producido en el relleno) (pie³/día).
- Contenido de energía del biogás, aproximadamente 500 Btu/pie³.
- Tasa calorífica es 12.000 Btu/kWh en motores de combustión interna y 8.500 Btu/kWh en turbinas de ciclo combinado.
- Potencial de generación de energía neto (kWN): Esto equivale al Potencial de generación de energía bruto menos las cargas parasíticas de sistemas auxiliares y equipos, las que alcanzan un 2% para motores de combustión interna y 6% para turbinas de ciclo combinado.
- Factor de capacidad anual: Esta el porcentaje de horas al año que el equipo produce electricidad a su capacidad de diseño. Para el caso de proyectos de biogás se estima entre 80 y 95%, considerando un porcentaje de parada de 4 a 10%. Se asume normalmente un 90% para este factor.

Electricidad anual generada: Este es la cantidad de electricidad generada en un año, medida en kWh, que es igual al potencial de energía neto multiplicado por el número de horas operacionales al año. Osea, kWh = kWN x hrs.

El potencial de generación, el valor mínimo de interés comercial es de 0,8 MW considerado por la EPA. También la EPA sugiere ciertas condiciones mínimas para pensar en desarrollar proyectos de generación de energía de biogás:

- Que el relleno tenga más de 1 millón de toneladas de basura acumuladas, o genere más de 625.000 pies cúbicos al día, 4.200 toneladas al año (considerando un poder calorífico de 450Btu/kWh).
- Que el sitio esté recibiendo basura o se encuentre cerrado por menos de 5 años, ya que el pick de generación se alcanza poco después de cerrado un relleno.
- Que tenga una profundidad no menor a 13 m.

Metodologia de monitoreo.

La metodología de monitoreo esta basado en la medida directa de la cantidad de gas de relleno capturado y destruido por la plataforma de quemado. El plan de monitoreo debe proveer de medidas continuas de la cantidad y calidad de LFG quemado. Las principales variables que necesitan ser monitoreadas son la cantidad de residuos que se reciben en el relleno sanitario y la cantidad de metano quemado. Estas variables se monitorean como sigue:

Residuos recibidos: La cantidad de residuos recibidos en el relleno sanitario es monitoreado directamente empleando una balanza de pesaje.

Metano colectado y quemado: La cantidad de metano quemado será determinado por:

- La cantidad de gas de relleno colectado (m^3 , usando un flujometro y midiendo la temperatura y la presión).
- Porcentaje de gas de relleno que es metano (% , usando un analizador continuo)
- Horas de quemado (horas, empleando un cronómetro)

Esta metodología de monitoreo provee medidas directas y continuas de la cantidad actual de gas de relleno quemado y de metano contenido en el gas de relleno quemado empelando un flujometro y un analizador continuo de metano. El analizador continuo de metano es importante debido a que el contenido de metano del gas de relleno capturado varía por más 27 del 20% durante un día debido a las condiciones de la red de trabajo de captura (dilución con aire en la fuente, fuga en las tuberías, etc).

La metodología de monitoreo es usado mayormente en rellenos sanitarios con gas para una planta de energía donde es necesario tener un control estricto del combustible para la planta de energía.

Reducción de emisiones de gas de efecto invernadero derivado de la recolección y conversión energética del biogás de rellenos sanitarios.

La recolección y conversión energética del biogás de los rellenos sanitarios representa una oportunidad para reducir emisiones de GEI, las que se derivan del incremento en la recolección de biogás en los rellenos y del eventual reemplazo de fuentes más contaminantes del proceso de generación que se podría emprender en cada relleno luego de la recolección de biogás.

Por un lado, se ha indicado anteriormente que de una situación actual donde se ha supuesto que el nivel de recolección y quema de biogás actual en los rellenos estudiados alcanza el 25% para fines de prevención de riesgos e impactos ambientales locales, que se mantiene o duplica en el futuro llegando a un 50% (según los escenarios de línea base considerados), se pasaría a un 75% de recolección con fines de reducción de emisiones de GEI y conversión energética.

Esto conllevaría una eventual reducción de emisiones de GEI del orden de entre 95 y 100 millones de toneladas en un período de 25 años, a un promedio anual de entre 3,8 y 4 millones de toneladas. Eso sucedería si los 53 rellenos estudiados implementaran sistemas de recolección y quema de biogás a partir del año 2007, y ese

sería el potencial total estimado para este sector.

Este potencial de conversión energética del biogás permitiría adicionar a la oferta de energía eléctrica del país la proveniente de fuentes termoeléctricas menos contaminantes que las más tradicionales. Cada vez que una unidad generadora a biogás fuese despachada para generar electricidad, esta tendería a reemplazar la generación de una unidad a carbón, petróleo o gas natural, evitándose la contaminación que proviene del ciclo energético del correspondiente combustible, puesto que este no sería utilizado para generar. Para estimar el potencial de reducción de emisiones de GEI que se derivaría de lo anterior, hemos supuesto que en el futuro no se prevé la incorporación de otras fuentes alternativas de generación no contaminantes (viento, termales, solares etc.)

Biogás en el relleno sanitario del bordo poniente

Debido a que el ámbito nacional no ha tenido una difusión importante la producción y aprovechamiento integral del biogás generado en los rellenos sanitarios, se hizo un seguimiento monitorio de la generación de biogás en un relleno sanitario ya clausurado ubicado en la zona metropolitana de la ciudad de México durante casi dos años que indicó una producción volumétrica de biogás de aproximadamente 30m³/h con un contenido de metano de casi un 50% y una capacidad calorífica de alrededor de 150 kW. El lavado, condensación, compresión y combustión de este biogás podría generar grosso modo 1MW de energía eléctrica, según las estimaciones de la Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito Federal. El peligro de emisiones de biogás y de infiltración de lixiviados (punto no contemplado en este estudio pero requiere de otra investigación exhaustiva), es realmente preocupante, debido a la localización del relleno, que está rodeado de escuelas y universidades, de zonas residenciales y de vivienda de nivel medio y de bajos ingresos y de zonas comerciales. Respecto de los riesgos de explosividad, deben realizarse mediciones con un explosímetro en épocas de sequía cada 5 días y en épocas de lluvia cada mes. Esta

información es útil ya que, debido a la formación de grietas dentro del sitio, puede provocarse la filtración del biogás hacia la atmósfera y causar una explosión si la relación aire-combustible alcanza los límites de explosividad. La norma actualmente vigente en México es la NOM-083-1996. En esa norma no se contempla el seguimiento por 30 años, que debe instrumentarse según las normas internacionales de todo relleno sanitario clausurado. El proyecto de norma NOM-084 tampoco contempla estos puntos, con lo que deberá ser enriquecido con objeto de que se ajuste a las normativas internacionales mientras se adecua la norma NOM-083. Es importante llevar a cabo el estudio de prefactibilidad técnico-económica para reaprovechar el biogás en la generación de energía eléctrica. Finalmente, debe diseminarse esta información al personal a cargo de otros sitios de disposición de residuos sólidos municipales para que vayan planeando sus expansiones conforme a las legislaciones internacionales y su clausura también acorde con esos lineamientos.

En la Ciudad de México, el tratamiento de los residuos sólidos está a cargo de la Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del D.F. (DGSUDF). De acuerdo con la Dirección Técnica de Desechos Sólidos (DGSU 1995) en la Ciudad de México se disponía la basura en tres sitios “Bordo Poniente”, “Santa Catarina” y “Prados de la Montaña”. La disposición de los residuos sólidos genera una serie de agentes impactantes que pueden causar severas alteraciones en la salud de la población que se encuentra expuesta a la infraestructura del lugar y el ambiente. Lo dicho anteriormente indica el problema que generan estos residuos por lo cual es importante contar con información acerca de estos agentes impactantes y así tener un control más cuidadoso para mantenerlos dentro de los niveles permitidos. También es importante contar con una base de datos para retroalimentar los esquemas operativos, advertir fallas y así establecer medidas correctivas.

El seguimiento del monitoreo ambiental de un relleno sanitario es importante porque permite dar seguimiento a la degradación de la materia orgánica y permite prever o detectar oportunamente la contaminación dentro y fuera del área de

confinamiento, así como el riesgo de una explosión e intoxicación por la acumulación de gases tóxicos en instalaciones cerradas.

El sitio de estudio, Bordo Poniente, cuenta con una red de extracción forzada para la recolección de biogás que se genera dentro del relleno sanitario.

A continuación se menciona la manera de como deberá realizarse el control en el relleno sanitario del Bordo Poniente, el cual será a base de pozos de venteo o quemado.

Los pozos serán construidos en las zonas que alcancen la altura de diseño es decir que tengan por lo menos 10m de espesor de residuos, considerando radios de influencia de 50 m.

En el bordo poniente se contará con un total de 1,507 pozos. Para su construcción, se harán perforaciones de 60 cm, en las cuales se colocará tubería de PVC o polietileno tipo Extrupac, de 4 pulgadas de diámetro, ranurado a tresbolillo, con cortes de aproximadamente 6 pulgadas de largo por $\frac{1}{4}$ de pulgada de ancho y separación entre aberturas de 2 pulgadas como mínimo.

Alrededor del tubo de plástico se colocará grava de 4 a 6 pulgadas de TMA, bien graduada. Este material tiene como función servir como un medio poroso que permite el paso de los gases hacia el tubo de conducción y de allí, por diferencia de presiones, hacia la superficie del sitio para ser venteado y/o quemado; asimismo, servirá de soporte del tubo.

Red de extracción forzada para el biogás

El sistema consiste de dos circuitos, uno perimetral y uno interior. El primero evita la migración del biogás hacia fuera del relleno sanitario. El segundo tiene por objetivo principal capturar el biogás que se produce dentro del relleno y enviarlo a

unidades de combustión. Estos circuitos están diseñados para operar independientemente pero ajustando las válvulas en la línea de conducción, los circuitos pueden ser conectados para trabajar como un solo sistema de extracción.

Este sistema de extracción cuenta con pozos, cada pozo tiene un cabezal, el cual consiste de:

- Válvula para control de flujo
- Puerto de muestreo para medir presión o vacío, flujos y composición de gases

Equipo de muestreo

Para llevar a cabo las lecturas en el sitio clausurado “Bordo Poniente” se utilizó el equipo denominado GEM-500 de Landfill Control Technologies, el cual fue diseñado específicamente para su uso en rellenos sanitarios, con objeto de seguir los sistemas de extracción de biogás, los pozos de “monitoreo”, las líneas de biogás y los equipos de combustión.

El instrumento analiza, despliega y almacena la información del biogás, midiendo metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂). En puntos de medición establecidos, el equipo GEM-500 puede calcular el flujo de biogás cuando se toma una muestra de biogás, su temperatura, sus presiones estática y diferencial y su contenido calorífico. En el sitio, el GEM-500 se conecta al cabezal para poder llevar a cabo las lecturas. El “monitoreo” se realizó cada 15 días aproximadamente, no fue constante debido a las condiciones climatológicas y del sistema de extracción.

Información de campo

Para obtener información de campo, se realizaron lecturas de los pozos cada 15 días a la misma hora aproximadamente. Esta información se vació en una base de datos para llevar a cabo un análisis del mismo.

Aunque la mayoría de las veces se busco que se tuvieran las mismas condiciones para la extracción, no siempre fueron las mismas, debido a las situaciones que se presentan dentro del sitio, es decir, si existía baja o alta producción de biogás y a condiciones climatológicas.

Resultado de las pruebas en Bordo Poniente

Laboratorios externos realizaron un estudio para la Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal, la cual está a cargo del relleno sanitario “Bordo Poniente” habiéndose encontrado que, en promedio, su composición era:

Composición de biogás	Porcentaje en vol. (%)
Metano (CH ₄)	53.84
Bióxido de carbono (CO ₂)	36.52
Oxígeno (O ₂)	0.08
Otros	9.56

El estudio se enfocó básicamente en el análisis de biogás que se encuentra en la zona, porque es uno de los agentes impactantes que presenta mayor afectación al ambiente y a la salud.

Es necesario tener en cuenta los efectos a la salud que pueden resultar de la exposición a niveles bajos de aire contaminado, producto del venteo de los gases de un relleno sanitario ya que existen varios estudios en el mundo que dan cuenta del impacto que pueden tener los rellenos sanitarios en la salud de la población cercana. Que solo un buen mantenimiento y operación de un relleno sanitario no sería un problema de salud pública.

CAPITULO V. HUNDIMIENTOS CAUSADOS POR LIXIVIADOS Y POR LA GENERACION DE GASES.

Hundimientos y asentamientos diferenciales

En el relleno sanitario se producen también hundimientos (asentamientos uniformes o fallas) que son el problema más obvio y fácil de controlar con una buena compactación; además, asentamientos diferenciales en la superficie, que con el tiempo originan depresiones y grietas de diversos tamaños, lo que causa encharcamientos de agua y un incremento de lixiviados y gases. Estos problemas dependen de la configuración y altura del relleno, del tipo de desechos enterrados, del grado de compactación y de la precipitación pluvial en la zona.

Principios básicos de un relleno sanitario

Se considera oportuno resaltar las siguientes prácticas básicas para la construcción, operación y mantenimiento de un relleno sanitario:

- Supervisión constante durante la construcción con la finalidad de mantener un alto nivel de calidad en la construcción de la infraestructura del relleno y en las operaciones de rutina diaria, todo esto mientras se descarga, recubre la basura y compacta la celda para conservar el relleno en óptimas condiciones. Esto implica tener una persona responsable de su operación y mantenimiento.
- Desviación de las aguas de escorrentía para evitar en lo posible su ingreso al relleno sanitario.
- Considerar la altura de la celda diaria para disminuir los problemas de hundimientos y lograr mayor estabilidad.
- El cubrimiento diario con una capa de 0.10 a 0.20 metros de tierra o material similar.

- La compactación de los RSM con capas de 0.20 a 0.30 metros de espesor y finalmente cuando se cubre con tierra toda la celda. De este factor depende en buena parte el éxito del trabajo diario, pues con él se puede alcanzar, a largo plazo, una mayor densidad y vida útil del sitio.
- Lograr una mayor densidad (peso específico), pues resulta mucho más conveniente desde el punto de vista económico y ambiental.
- Control y drenaje de percolados y gases para mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.
- El cubrimiento final de unos 0,40 a 0,60 metros de espesor se efectúa con la misma metodología que para la cobertura diaria; además, debe realizarse de forma tal que pueda generar y sostener la vegetación a fin de lograr una mejor integración con el paisaje natural.

Compresibilidad de los residuos sólidos

Los primeros estudios de compresibilidad de RSU, datan de 1962 con Merz y Stone, los cuales analizan los primeros valores de asentamientos, posteriormente Sowers 1968 estudia problemas de cimentaciones sobre rellenos sanitarios, en 1973 presenta los primeros datos de instrumentación y correlaciona el comportamiento de estos materiales a las turbas, debido a la alta relación de vacíos que exhiben; desde entonces numerosos autores han estudiado el problema a través de ensayos de laboratorio y de campo; además de registros de instrumentación.

Los métodos para estimar los asentamientos en desechos sólidos utilizados en el mundo son similares a los utilizados para estimar asentamientos en suelo, sin embargo las características de los residuos sólidos, así como los cambios físico-químicos y descomposición bioquímica a lo largo del tiempo no son tenidos en cuenta al analizar los asentamientos con las teorías convencionales de la mecánica de suelos.

De acuerdo con diferentes teorías presentadas por diversos autores desde el año 1973 hasta el año de 1996; según esto, se dan los siguientes procesos:

- Compresión mecánica, resquebrajamiento de las partículas, con reorientación de las partículas sólidas, debido a la aplicación de cargas (peso propio de los residuos sólidos, operación del relleno, entre otros).
- Variaciones de volumen generados por la migración de partículas pequeñas en dirección a los espacios vacíos presentes al interior de la masa, esta migración es debida por la acción de la gravedad o por el flujo del lixiviado al interior del relleno sanitario.
- Comportamiento viscoso, representado por las deformaciones lentas de los residuos, debido a la acción de una carga constante.
- Variaciones de volumen generadas por la descomposición de materia orgánica, ocasionando una transferencia de masa de la fase sólida a las fases líquida y gaseosa. Los factores que más influyen en los mecanismos de los asentamientos que se dan en los rellenos sanitarios son: la composición de los residuos sólidos, tamaño y operación del relleno sanitario, velocidad de disposición, pre – tratamiento de los residuos, peso específico inicial, compactación, saturación, eficiencia de los sistemas de drenaje, posición y fluctuaciones del lixiviado.

Los asentamientos de rellenos sanitarios, independientemente de sus mecanismos, pueden ser divididos en tres fases a lo largo del tiempo: compresión inicial, compresión primaria y compresión secundaria.

Compresión Inicial

Corresponde al asentamiento ocurrido cuando una carga externa es aplicada sobre el relleno sanitario, también suele deberse al acomodamiento inicial de las partículas, está asociada a la reducción de vacíos que se presenta al interior del relleno sanitario debido al peso propio del material, equipos de compactación entre otros.

Compresión Primaria

La compresión primaria estaría relacionada con los asentamientos que experimenta un relleno sanitario debido a la disipación de presiones en los poros, las cuales ocurren en forma rápida, generalmente en un tiempo inferior a 30 días.

Compresión Secundaria

Corresponde a los asentamientos de tipo creep o de fluencia, debidos a una deformación lenta de los componentes de los RSU, asociados a su degradación biológica (biodegradación). El estado del arte actual afirma que la compresión secundaria es la responsable por la mayor cantidad de asentamientos en los rellenos sanitarios, pudiendo durar décadas e incluso se afirma que pueden ser del orden del 25% - 40% de la altura total del relleno sanitario.

Se ha observado que los rellenos sanitarios que cuentan con registros de asentamientos continuos, son inferiores a 10 años.

De una manera general se puede afirmar que los residuos sólidos urbanos, presentan grandes asentamientos iniciales; asociados a la aplicación de sobrecargas, seguidos de un proceso de deformación lenta como resultado del comportamiento viscoso de los residuos y de la pérdida de masa debida a los procesos de descomposición que se dan en su interior.

Hundimiento del Bordo Poniente

Pese a que el relleno sanitario Bordo Poniente cerró hace dos años, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) manifiesta que la gran carga de basura acumulada continúa generando severos problemas de hundimiento en la zona de la cuenca del Lago de Texcoco, así como contaminación de los acuíferos y afectaciones a la población que rodea el tiradero.

Por ello solicitó 20 millones de pesos para realizar un estudio de “Caracterización geotécnica e hidrológica de la zona del relleno sanitario Bordo Poniente”, con el fin de encontrar soluciones para remediar los conflictos medio ambientales.

“Si no se realiza este estudio, a través del tiempo se agravan los problemas, no se tendrá un análisis detallado de los problemas generados por la presencia del relleno sanitario, ya que se sabe que genera una serie de efectos que perjudican a la población cercana, tanto en la asignación de agua subterránea, considerando primordialmente su calidad, y en los aspectos geotécnicos que afectan a la infraestructura cercana”, explica la Conagua en el documento Estudios de Preinversión para Programas y Proyectos de Preinversión, presentado a la Secretaría de Hacienda.

A través del Organismo Cuenca Aguas del Valle de México, la Conagua alerta que los problemas se agravarán si no se tiene un estudio detallado de esos problemas, pues la cuenca del Lago de Texcoco, y en particular la región del relleno sanitario, “se encuentra actualmente sometido a un incremento acelerado poblacional, causando una demanda hídrica aún mayor que en años anteriores, provocando un desequilibrio ecológico en la zona”.

De acuerdo con la pasada administración de la Conagua, en esta zona federal, ubicada en los límites entre el Estado de México y el Distrito Federal, se registran hundimientos de 40 centímetros cada año.

A través de un convenio con la Comisión Nacional del Agua, el Gobierno capitalino utilizó los terrenos federales del Lago de Texcoco para el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, desde noviembre de 1992 y hasta diciembre de 2011.

Se estima que hasta 2006, el relleno sanitario mantenía acumuladas 60 millones

de toneladas de basura, en una extensión de 375 hectáreas que alcanzan los 12 metros de altura.

Además del desequilibrio ecológico, la carga de basura enterrada pone en riesgo de inundación a los vecinos de las colonias cercanas al bordo, como El Sol, en Nezahualcóyotl.

El acuífero del Lago de Texcoco cubre seis municipios del Estado de México, en los que se asientan más de 2 millones 846 mil habitantes.

El peso de la basura compactada ha provocado hundimientos que van desde 14 hasta 21 metros, con el riesgo de que se rompa la geomembrana del suelo y contamine los acuíferos del Distrito Federal.

Hundimiento del Bordo de Xochiaca

Trabajadores y personas que han presenciado la reparación del piso aseguran que hay partes donde las losetas cerámicas no descansan sobre el piso de concreto sino que han puesto tabiques para nivelar el piso, ya que por los hundimientos la losa se ha ido deformando de tal forma que necesitan rellenar para que parezca que está bien.

La administración niega que haya hundimientos en alguna parte de la plaza pero hay lugares en el cual es evidente y aseguran que es totalmente normal, cabe mencionar que se negaron a dejar que se tome la nivelación de la plaza, así como fotografías alegando que es por seguridad de la misma.

CAPITULO VI. POSIBLES USOS FUTUROS DE LA ZONA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE.

Para llevar adelante un proyecto de recuperación, se han definido metodologías muy detalladas que incluyen la investigación periódica con frecuencias predeterminadas de: lixiviados, emisiones de gases, mediciones de temperatura, humedad y asentamientos de las basuras, etc.

La idea es que estas mediciones constituyan una buena base de datos para la definición del proyecto de reinscripción. El tiempo que se debe mantener la medida de los diferentes parámetros estará determinado entre otros aspectos por la magnitud y potencial de riesgo que se pueda producir tanto para el ambiente como para la salud de las personas. Este tiempo puede emplearse en las discusiones definitivas sobre el destino final del sitio, el que puede sufrir alteraciones con respecto al propuesto inicialmente debido a la gran distancia en tiempo entre el inicio y el término de un vertedero. Es ésta una de las grandes diferencias con las pocas iniciativas realizadas en México, las que no han contado con tiempos y bases de datos suficientes.

Experiencias internacionales

Aun cuando el tema de sellado y reinscripción de rellenos sanitarios es de muy reciente preocupación, y no existen muchas experiencias que estén sustentadas en metodologías o criterios de diseño muy probados, durante los últimos años se han realizado importantes eventos internacionales en los cuales se han presentado experiencias realizadas principalmente en países desarrollados, las que dan a conocer casos que pueden ser importantes para ir generando estos criterios.

Generalmente se trata de experiencias sustentadas por proyectos, en algunos casos con importantes innovaciones y que responden a programas de carácter

nacional o sectorial. Se han seleccionado algunos de estos casos, cuyas características pueden ser de importancia para nuestro país, ya que permiten comparaciones con experiencias nacionales y aportan nuevos conocimientos.

Un primer ejemplo es el de Japón, uno de los países más desarrollados en los temas tratados en este artículo, debido a que por muchos años allí se han rehabilitado los vertederos y se ha construido sobre ellos, ante la escasez y los altos costos de los terrenos. Según su legislación, un vertedero finaliza con el proyecto de cierre.

Inicialmente han definido las características de sus residuos y el método de operación a emplear, el que debe estar relacionado con las alternativas de uso que posteriormente se darán al lugar y el método de operación a emplear. Se estima que en los próximos 5 años, 2300 vertederos municipales serán llenados con basura domiciliaria y 2500 con residuos industriales. Todos ellos serán empleados posteriormente dándole un nuevo uso al suelo.

En Hirata, se presenta una proposición de metodología secuencial de investigación para un antiguo vertedero a reinsertar. Gran parte de estas proposiciones se han obtenido de los muchos casos que trae la bibliografía japonesa, como la construcción de un colegio en Fukuoka; un edificio de altura en el centro de la ciudad de Osaka; un club de golf en la ciudad de Tokio y otros más.

En Estados Unidos, fallas producidas en antiguos vertederos dio origen a que se introdujeran regulaciones que posteriormente pasaron a ser rigurosas leyes para el manejo de los residuos sólidos urbanos. Estas nuevas normativas incluyen la evaluación, investigación, planificación, construcción, financiamiento, cierre y mantención del lugar, con la debida protección del medio ambiente.

En general, la legislación y las regulaciones relativas al manejo de los residuos de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (USEPA-

Subtitulo C.), referidas a la utilización de un vertedero cerrado, no es muy amplia y presenta escasos requerimientos como por ejemplo, la importancia de la revegetación como cubierta vegetal de la capa de sellado final.

Existe una tendencia en los Estados Unidos a que los propietarios de los rellenos sanitarios tengan la obligación de preservar la integridad del sellado por un período de al menos 30 años con posterioridad al cierre, esto se aplica al sector público y al sector privado.

El uso como terreno recreacional constituye una de las aplicaciones más extendidas debido a que su costo relativo no es alto y al igual que en el empleo agrícola no se requieren mayores cambios de la topografía del terreno. En este país existen numerosas aplicaciones como parques, áreas deportivas, campos de golf u otros. A modo de ejemplo, en la Universidad de Washington, las instalaciones destinadas a campos deportivos y áreas de recreación, están construidas sobre un antiguo vertedero.

Por otra parte, existen numerosas experiencias de construcciones o usos comerciales sobre antiguos rellenos como construcciones de estacionamientos, calles, tramos de carreteras, edificaciones livianas, galpones, entre otros. La principal prohibición aun cuando existen algunos casos, es la construcción de viviendas o establecimientos de uso masivo como colegios.

En Holanda, una de las más interesantes experiencias recientes, es el Plan Maestro para reinsertar vertederos abandonados. En el país, se ha definido como un importante impacto al ambiente la presencia de aproximadamente 4000 sitios identificados inicialmente como vertederos abandonados, algunos de los cuales han contaminado el suelo y el agua superficial, entre otros efectos, siendo la magnitud del impacto aún desconocida.

Con los resultados, el Gobierno Holandés contrató un estudio que fue desarrollado durante 1995, para elaborar un Plan Maestro destinado a efectuar un programa definitivo y sustentable de sellado de todos los vertederos cerrados. Básicamente, consistió en la caracterización de los principales problemas e impactos en los mismos; medidas para su reinserción; determinación de los costos de sellado en precios unitarios; clasificación jerárquica en términos de impacto al ambiente de todos los vertederos abandonados; recomendaciones para la elaboración de normativas para el uso futuro del sitio y evaluación preliminar de los costos y alternativas de financiamiento. La inversión inicial para este programa en 3800 sitios caracterizados inicialmente como vertederos cerrados, es de 690 millones de dólares y de 920 millones de dólares en costos de explotación por año. Entre las alternativas de financiamiento se propuso un impuesto adicional en la tarifa de los servicios de aseo, para un período de 25 años, que resulta entre 23 a 29 dólares por ton., con lo cual aumenta la tarifa básica media a 57,5 dólares por ton.

España, es una de las experiencias europeas más asimilables a la realidad mexicana y más cercana al conocimiento de estos autores, por la participación en ellas y por los convenios de cooperación establecidos. Los diferentes avances obtenidos en materia de reinserción de áreas impactadas por antiguos vertederos, se han llevado a cabo a partir de iniciativas realizadas por las diversas Comunidades Autónomas, las que se insertan dentro de programas de carácter nacional y compromisos derivados de normativas de la Unión Europea.

Una de las primeras acciones realizadas en España destinadas al sellado y reinserción del terreno que ha sido soporte de vertederos municipales, fue el Programa Coordinado de Actuación de Residuos Sólidos Urbanos (PCARSU), que se lleva a cabo en la Comunidad Autónoma de Madrid a partir de 1985. Los vertederos municipales no controlados fueron inicialmente caracterizados, para posteriormente proceder con el programa de sellado, en el cual han participado todos los municipios con estos vertederos. El financiamiento de este programa ha sido asumido en su totalidad por el

gobierno regional. Los emplazamientos reinsertados, han sido destinados fundamentalmente a zonas de cultivo de especies madereras, a zonas recreativas y a parques.

En la Comunidad Autónoma de Cantabria, a mediados de los años 80 se censaron 544 vertederos incontrolados en 103 Ayuntamientos. Los vertederos, en su mayoría clandestinos, tenían diferentes tamaños, tipos de residuos y se encontraban dispersos a lo largo y ancho de aproximadamente 944 núcleos urbanos. Casi un 50% de ellos afectaban a cauces fluviales, por su proximidad a los márgenes de ríos y arroyos. En los municipios costeros normalmente se situaban los vertederos en la costa, dando lugar a que con el tiempo prácticamente todos los residuos sólidos terminaban en el mar.

Todo lo anterior llevó, al Gobierno Autónomo de la Comunidad de Cantabria a aprobar en 1987 el Plan de Gestión de Residuos Sólidos, referencia obligada que integra las actuaciones en materia de residuos sólidos urbanos en el conjunto del planteamiento de acciones e inversiones de ámbito regional. En este análisis integral se especificaba el objetivo de conseguir la rehabilitación de los vertederos incontrolados. En 1988 comienza la aplicación del plan, lográndose en los primeros tres años el sellado y recuperación de 296 vertederos que superan el 55% del total censado inicialmente.

Esto requirió una inversión cercana a 4,5 millones de Mares. La recuperación medioambiental terminaba mayoritariamente con la siembra de pratenses y la plantación de arbustos y árboles autóctonos, lo que gracias a la climatología de la región ha dado lugar a una integración completa en el medio natural. Algunos de estos lugares fueron reinsertados como parques y jardines, otros como pistas polideportivas, siguiendo el ejemplo del Parque del Oeste en Madrid. Estas soluciones, fueron implementadas principalmente en aquellas zonas situadas en el interior o en la periferia de núcleos urbanos y estaban en función de su magnitud y ubicación. Generalmente la

primera actuación consistía en la recogida y compactación de los residuos dispersos. Para los vertederos de mayor tamaño se procedía a instalar los drenajes para los gases, las capas de suelo arcilloso y una capa de soporte vegetal.

De un gran número de otras experiencias internacionales, se presentan algunos casos a resaltar por la similitud y comparación que se pueda hacer con la realidad mexicana. En la zona de Laakirchen, Austria, un relleno sanitario que antiguamente fue cantera de áridos, fue cerrado quedando rodeado de construcciones habitacionales en las que con el tiempo, se detectó una alta concentración de biogás. Para minimizar los riesgos se instaló un sistema consistente en 17 chimeneas para desgasificación que drenaban del orden de 300 m³/hora de gas, el que inicialmente fue quemado y posteriormente utilizado para producir energía. Dada la magnitud del problema en las viviendas vecinas, se construyó en el perímetro del vertedero una pantalla de más de un kilómetro de longitud, donde se diseñaron sistemas de recogida y tratamiento de lixiviados y aguas contaminadas.

En Serres, al Noreste de Grecia, se realizaron varios trabajos destinados al cierre y sellado de un antiguo relleno sanitario, que operaba desde 1967 y requirió de medidas urgentes para su saneamiento medioambiental. El vertedero que se encuentra en la periferia de la ciudad, tiene una profundidad de 10 metros y presentaba importantes problemas de contaminación de aguas subterráneas por lixiviados. Luego de realizar una investigación de las características del subsuelo, se efectuaron programas de monitoreo para finalmente proponer soluciones para la reinserción del vertedero. Estas soluciones consistieron básicamente en la recogida y tratamiento de lixiviados desde el fondo de pozos, a través de un método de recirculación para la reducción de la carga orgánica. El drenaje del biogás, basado en la construcción de 85 chimeneas y los trabajos realizados, tienen por propósito que el antiguo vertedero pueda ser saneado y luego sellado definitivamente.

La bibliografía internacional presenta varios casos como la explotación de una antigua mina de caolín al Norte de Portugal, que originó un impacto ambiental negativo y degradación del paisaje, ante lo cual se aplicó una solución consistente en emplear parte de esta área como relleno sanitario. Este prestó servicios a 6 municipios y 300.000 hab., lo que produjo un nuevo impacto negativo a medida que avanzaba la construcción del relleno. La solución aplicada para la reinserción del área degradada, consistió en desarrollar un proyecto de áreas verdes que incluye varias lagunas, junto con zonas destinadas a campos deportivos.

En general se pueden señalar algunas limitaciones que se derivan del uso futuro del relleno sanitario:

- Necesidad de preservar la integridad de la cobertura final del relleno sanitario.
- Riesgos del gas del relleno sanitario.
- Probabilidad de asentamiento diferencial que puede incidir en la estructura de edificaciones construidas sobre el relleno sanitario y en la infraestructura de carácter ambiental y sanitario, tales como redes de acueducto, alcantarillado y desestabilización de la posterioridad de redes de distribución de energía eléctrica. En este sentido, actividades que requieran la seguridad en el suministro de agua y energía presentan limitaciones importantes.

Las anteriores limitaciones dependen de factores como caracterización de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, edad del relleno sanitario, grado de compactación, clima, entre otros.

En general, los rellenos sanitarios relativamente nuevos, con generación importante de metano y progresiva sedimentación, no serán buenos candidatos para la reutilización. Los rellenos sanitarios más antiguos, que han alcanzado estabilidad relativa en cuanto a generación de gas y compactación de residuos sólidos serán más viables para proyectos de desarrollo. Por estas razones pensar en el uso futuro del

relleno es un tema de sumo cuidado, el cual no se debe utilizar para urbanizaciones o para agricultura durante este periodo.

El mejor uso del terreno de un relleno cerrado es:

- Reutilizar el sitio como relleno sanitario dentro de la norma así como el uso del terreno para otras actividades de manejo de los desechos sólidos, que no implican la construcción de grandes edificios, tales como campamentos o bodegas para segregación y reciclaje
- Área de protección natural (bosque protector, vivero, o área verde) Parque para recreación pasiva y aislamientos forestales
- La basura como recurso energético (generación de electricidad por la quema de gas)
- Venta de basura para quema en hornos de producción de cemento
- Obtención de bonos de carbono por la quema de gas

Una buena estrategia para presentar el proyecto total incluido su uso potencial una vez culmine el cierre del relleno sanitario, es entregar los planos del diseño de ingeniería con el diseño paisajístico que tendría el terreno cuando concluya su vida útil y, de ser posible, acompañado de una maqueta, puesto que las formas tridimensionales podrán ser mejor entendidas.

Reutilizar el sitio como relleno sanitario

A nivel mundial la inquietud es similar, y una muestra es que constantemente se han hecho esfuerzos por desarrollar nuevos métodos y tecnologías de disposición, que por sí solas no resuelven completamente el problema, e invariablemente se hace necesaria la utilización del relleno sanitario.

Ante esta situación se ha buscado la alternativa para aprovechar al máximo el relleno sanitario, es así que desde mediados de los 90's se comenzó a tener noticias en México de una nueva opción que se ha venido utilizando en algunos lugares de

Estados Unidos y Japón, para ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios, esa opción es “la Explotación de Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos” (ESDFRS) (mejor conocida en el ámbito internacional como Landfill Mining).

La explotación de rellenos sanitarios, (Landfill Mining) es un proceso mediante el cual se excava y se procesan los residuos sólidos que previamente fueron confinados durante un tiempo suficiente para su estabilización.

Este proceso involucra una serie de operaciones mecánicas, diseñadas para recuperar una porción o la totalidad de los siguientes componentes: materiales reciclables, materiales combustibles y materiales inertes (tierra), así como el espacio ocupado por el mismo relleno sanitario.

Adicionalmente puede ser usada como una medida de remediación para sitios de disposición final de residuos sólidos mal diseñados y/u operados deficientemente o para aquellos sitios que no cumplen con los lineamientos ambientales y de salud pública de acuerdo con la legislación vigente.

Estudio de factibilidad del Bordo Poniente para su reutilización como relleno sanitario

Durante el año de 1998, la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA, por sus siglas en Inglés), realizó “**Estudios Sobre Manejo de Residuos Sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos**”, los cuales incluían un estudio para determinar la posibilidad de que la explotación u excavación de relleno sanitario, fuera una alternativa para aumentar la vida útil del Relleno Sanitario Bordo Poniente. Para lo cual invitó a la empresa mexicana INCREMI, S.A. DE C.V., para la realización de dicho estudio de campo.

Siendo este tipo de estudio el primero a realizarse en el país, hubo necesidad de definir y adecuar el proceso del estudio, combinando tanto los conocimientos de los japoneses al respecto, y la normatividad propia del país, para lograr los resultados esperados.

Composición de los Residuos Excavados

Con base en los resultados obtenidos en cada uno de los pozos, se calculó un valor promedio para cada una de las Etapas de operación del Relleno Sanitario de Bordo Poniente, considerando las características de las muestras obtenidas en cada uno de los estratos.

En la Etapa I se determinó que los residuos confinados en esta zona tienen al alrededor del 50.5% de materiales con posibilidades de recuperación: un 34.28% como materiales reciclables y 16.29% como material combustible. En lo relativo a los materiales reciclables, se tiene un alto contenido de plástico, lo cual es razonable si se tienen en consideración dos factores: el primero, que en el periodo de operación no se contaba con infraestructura para la recuperación eficiente; y por otra parte que el mercado de los plásticos no había tenido la demanda que existe actualmente. Ahora bien, es importante puntualizar que en este periodo de operación del sitio en su primera etapa, las delegaciones depositantes fueron aquellas que generaban residuos con bajo contenido en materiales reciclables y por el contrario las delegaciones con residuos ricos en materiales de éste tipo, se canalizaban a los sitios controlados por pepenadores.

Si bien es cierto que se tiene un bajo contenido de vidrio, materiales ferrosos y aluminio, es importante considerar los grandes volúmenes de residuos sólidos que fueron depositados en este lugar, lo cual puede hacer atractivo su aprovechamiento.

En cuanto al porcentaje de material de tierra y lodo es de aproximadamente 50%, cuyo valor está dentro de un término medio del intervalo de valores reportados para varios proyectos de explotación en los Estados Unidos. En este caso, es importante mencionar, que el relleno demanda diariamente importantes volúmenes de material de cubierta para el control sanitario de los residuos depositados en el mismo sitio, además, de que debido a las características naturales del sitio donde se encuentra el Bordo poniente, existe una fuerte demanda de suelo vegetal para restaurar el suelo salino del exlago de Texcoco.

Los valores promedio estimados para la Etapa II, presentan un porcentaje muy bajo de material de aluminio, en tanto que los metales ferrosos, y vidrio tienen un valor mayor que la primera etapa, mientras que el material de plástico es menor con respecto al primer valor de la etapa señalada, siendo una cantidad significativa. Este comportamiento es de esperarse dado que aún en este periodo (1988-1991, además la última capa de residuos sólidos fue colocada en 1996) de operación no se contaba con la infraestructura para la selección eficiente de materiales, como actualmente se lleva a cabo. En el caso del material combustible, se aprecia un valor mayor que en la primera etapa, lo anterior se debe en una parte a la degradación de estos materiales combustibles.

En términos globales, si restamos de los materiales aprovechables la parte combustible se puede apreciar que existe un decremento en la composición de los materiales reciclables, es decir que la primera etapa se tiene un 34.29% contra un 26.24%. Este decremento, se puede deber al incremento de la comercialización de estos productos, principalmente los plásticos. Obviamente, al tener menos materiales reciclables, se tiene una mayor proporción de tierra y material combustible.

Por ultimo, en lo que respecta a la Etapa III, prácticamente se aprecia una composición similar ala etapa II, pero se tiene una cantidad menor en los plásticos y por tanto, una disminución en los materiales reciclables, en este caso, se tiene un porcentaje del 22.38%, lo cual viene a demostrar que las plantas de selección de subproductos han contribuido a disminuir esta proporción en el relleno sanitario.

Densidad del Material de Cubierta

En lo que respecta a la densidad del material de cubierta de las diferentes etapas, se tiene que en la Etapa I y en la Etapa III, dicha densidad es muy similar, y han alcanzado un nivel de consolidación debido al tiempo, mientras que en la Etapa II, la densidad es menor debido a que la cobertura se realizo mas recientemente (1996).

Por otra parte es de considerarse el hecho de que muy probablemente, el grado de compactación obtenido en la etapa tres, durante la colocación de la cubierta final sea mayor al de las otras dos etapas.

Densidad de los Residuos Sólidos.

De acuerdo con los datos de las densidades de los residuos sólidos para cada uno de los estratos estudiados, calculados a partir de los pesos y volúmenes excavados, se procedió a establecer una profundidad promedio para cada uno de los estratos, de tal forma que se determinó una dispersión de datos de densidad contra profundidad. Este procedimiento se efectuó con la finalidad de entender el comportamiento de las densidades de los residuos sólidos con respecto a la profundidad y a la Etapa de operación.

Al respecto, se puede observar que los residuos sólidos confinados en la Etapa I, presentan densidades mayores con respecto a la Etapa II y III, este comportamiento es lógico, dado que los residuos fueron depositados a partir de hace 13 años. En el gráfico de referencia se puede apreciar que esta densidad se incrementa conforme la profundidad debido a la carga a la que están sujetas las capas inferiores, además se puede identificar que existe una densidad límite cuyo valor es de 2 ton/m^3 a nivel promedio. La densidad de los residuos sólidos varió de 1.54 a 2.17 ton/m^3

Las densidades en la Etapa II y III, presentan un comportamiento similar, observándose que las densidades en la etapa III, son mayores que las de la etapa II, esto debido a que después de concluir la etapa III, se colocó una capa adicional en la etapa II. Desde la superficie al tercer estrato varían de 0.939 a 2.5 ton/m^3 y para la etapa III las densidades varían de 0.95 a 2.1 ton/m^3 .

Area de protección natural (bosque protector, vivero, área verde, parque para recreación pasiva y aislamientos forestales)

En el mundo natural se recicla todo, los organismos vivos mueren en algún momento para convertirse con un aprovechamiento muy eficiente de la energía en algo vivo después. En cambio la actividad humana concentrada cada vez más en las ciudades provoca que éstas tomen lo que necesitan sin reparar en sus consecuencias y se deshagan de lo que no les sirve sin reparar tampoco en los efectos.

En este metabolismo no hay un equilibrio entre lo que entra, y lo que sale y tanto en las actividades domésticas como en los procesos industriales se utilizan bienes y materias primas para el consumo y la producción de otros bienes, dando lugar a residuos que la naturaleza no puede reabsorber y que constituyen una amenaza de destrucción para el medio ambiente.

Los residuos convertidos de manera indiscriminada en basura están presentes en calles, tiraderos y cauces de manera casi permanente y forman parte de nuestro paisaje, de nuestro ecosistema, afectando debido a su incorrecto manejo, más que la imagen ante nuestros ojos, al suelo, al aire, al agua superficial y a los mantos acuíferos y por lo tanto a la salud de las poblaciones.

Las autoridades responsables del servicio se ven rebasadas ante una generación de residuos creciente provocada por el incremento de la actividad industrial y de la población, así como por el cambio en los hábitos del consumo que se traduce en la falta de cobertura de sus servicios de recolección y en un importante rezago en la instalación de infraestructura para el tratamiento y la disposición final en condiciones ambientalmente seguras.

Así como todos contribuimos en la generación de residuos, su mal manejo nos afecta por igual, pues ello incide en nuestro patrimonio común, por lo que todos, tanto autoridades como particulares debemos asumir la responsabilidad para evitar este

deterioro ambiental y que la huella del daño ecológico afecte a otras áreas y a las siguientes generaciones; coadyuvando con ello al desarrollo sustentable, entendido como la distribución equitativa de los beneficios del progreso económico y la protección del medio ambiente en beneficio de las actuales y futuras generaciones y el mejoramiento genuino de la calidad de vida.

En efecto, los servicios relacionados con el manejo y control de los residuos, cuando pretenden ser generales para toda la población, constituyen una posibilidad real de distribución equitativa de los beneficios del progreso y en ello están involucrados, como en todo problema complejo, diferentes subsistemas interconectados en torno a una población cada vez más demandante y participativa.

La atención al problema de los residuos sólo puede entenderse a través de un sistema integral, con un criterio de sustentabilidad no sólo en lo ambiental sino también en lo económico en el que los diversos actores participen en las etapas del proceso.

Con relación a las opciones de uso futuro de un relleno sanitario, se plantean principalmente tres tipos de alternativas: agrícola, recreacional y comercial. El empleo en terrenos agrícolas es el de uso posterior más frecuente, ya que no requiere mayores planificaciones durante el diseño y la operación, ni tampoco grandes inversiones en la etapa posterior al cierre. Esto se ve facilitado al sembrar especies que no requieren que la cobertura final de suelo tenga un gran espesor para servir como soporte a la cubierta vegetal. Las referencias, no son suficientemente explícitas en cuanto a niveles de toxicidad y riesgos sanitarios de esta alternativa, lo que genera una Línea de investigación que seguramente será abordada a la brevedad.

El uso como terreno recreacional constituye una de las aplicaciones más extendidas debido a que su costo relativo no es alto y al igual que en el empleo agrícola no se requieren mayores cambios de la topografía del terreno. Existen numerosas aplicaciones como parques, áreas deportivas, campos de golf u otros.

A modo de ejemplo, en la Universidad de Washington, las instalaciones destinadas a campos deportivos y áreas de recreación, están construidas sobre un antiguo vertedero.

LA BASURA COMO RECURSO ENERGÉTICO (GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR LA QUEMA DE GAS)

Aprovechamiento del gas metano en rellenos sanitarios

El objetivo es impulsar el aprovechamiento del gas metano en cuatro sectores (agrícola, minas de carbón, rellenos sanitarios y sistemas de petróleo y gas) para reducir las emisiones de metano (que contabiliza el 16% de los gases de efecto invernadero emitidos por actividades humanas) y mejorar la calidad del aire, promover el crecimiento económico mediante la generación de energía usando el gas metano y fortalecer la seguridad energética.

Por la importancia de su enfoque (aprovechamiento del gas metano) y el crecimiento de su red con la incorporación de entidades privadas, organismos internacionales como la Comisión Europea, el Banco Asiático de Desarrollo, el Banco Interamericano de Desarrollo y más la suma de más países para llegar a 38, en Octubre de 2010 la AMM se transformó en la IGM. Esto con la finalidad de urgir a todos los sectores económicos y sociales del mundo a realizar mayores esfuerzos para luchar contra el cambio climático al tiempo de desarrollar energías limpias.

Uno de los sectores de enfoque de la IGM son los rellenos sanitarios mismos que están compuestos por aproximadamente 50% de metano. El gas metano producido por los rellenos sanitarios puede ser usado para generar electricidad mediante máquinas, turbinas y otras tecnologías, incluso puede ser refinado e inyectado en las redes de tuberías de gas natural. Con lo anterior, se pueden obtener múltiples beneficios económicos, ambientales y de salud pública.

El aprovechamiento del gas metano generado por los rellenos sanitarios muestra avances limitados, principalmente en países emergentes como los latinoamericanos. México no es la excepción por lo que la oportunidad para utilizar y/o aprovechar este gas es enorme.

Otros obstáculos descansan también en licitaciones o concesiones dudosas a empresas privadas de recolección y almacenamiento de residuos sólidos, que a la postre impactan en un potencial aprovechamiento del metano. Y esto es un proceso totalmente dependiente de un gobierno municipal.

Los rellenos sanitarios son la tercera fuente antropogénica más grande de metano teniendo un 13% de las emisiones.

Pero no todo es pésimo. Habiendo esta realidad de escenario, en los últimos años han surgido esfuerzos internacionales y multilaterales para mitigar la emisión de GEI, entre ellos el metano. Uno de ellos es la ya mencionada Iniciativa Global del Metano (IGM), antes conocida como la Alianza de Mercados de Metano (M2M), que busca minimizar sus emisiones e impactos.

Los esfuerzos también provienen desde los mismos gobiernos nacionales, regionales y municipales. Por ejemplo Ciudades y Gobiernos Locales Unidos (CGLU), que agrupa a la mayoría de los alcaldes y asociaciones municipales del mundo.

Otro hecho positivo es que debido a sus propiedades tanto de su captura como de su uso, existen oportunidades para generar con el metano energía limpia y atenuar al mismo tiempo el cambio climático global. Hoy en día ya se tienen las tecnologías para su captura y transformación en todos y cada uno de los sectores donde se generan, como en los rellenos sanitarios. De hecho en muchas ciudades y municipios ya se aprovecha el metano.

Los proyectos de captura y uso del metano pueden facilitar el desarrollo económico y mejorar las condiciones de vida locales. Entre los beneficios directos para un municipio o ciudad que emprende acciones en esta materia están los siguientes:

- Se pueden generar ingresos fiscales adicionales para el gobierno local
- Se aprovecha un combustible valioso que puede llegar a ser una importante fuente de energía
- Se reduce el riesgo de incendios en rellenos sanitarios, los cuales tienen altos costos económicos, ambientales y hasta políticos
- Al generar su propia energía, el gobierno local puede disminuir sus costos por pago de energía eléctrica
- Mejora en la calidad de aire y reducción de olores
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Avances en metas de desarrollo sustentable

De lo anterior se desprende que cada detalle en la operación de un relleno sanitario debe ser considerado y abordado sin excusas y de manera transparente y profesional. Más cuando se busca que del mismo se aproveche el gas metano.

Una opción no explotada en el país es la creación de organismos regionales para construir y operar rellenos sanitarios. Un organismo así permite crear y aprovechar economías de escala y potencialmente garantizar mejores condiciones operativas, lo que redundaría en una mayor protección del medio ambiente.

Pero hay luz al final del túnel. El manejo de la basura y aprovechamiento del metano tiene casos ejemplares y exitosos. Son experiencias que deben difundirse y compartirse para aprenderse de ellos.

Por otra parte, además de los esfuerzos de mejora de los rellenos sanitarios realizados por gobiernos municipales y estatales así como por los operadores privados,

a nivel federal se han realizado recientes reformas que buscan incentivar el aprovechamiento del metano y otras fuentes de energía (eólica, solar, oceánica) para generar electricidad.

De acuerdo con un estudio del Banco Mundial y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), en México existen al menos 85 rellenos con potencial para el desarrollo de proyectos de recuperación y aprovechamiento de metano, lo que aportaría a reducir un estimado de 31 millones de toneladas de CO₂ al año.

Obtención de bonos de carbono por la quema de gas

A nivel internacional el tema del cambio climático descansa principalmente en el acuerdo conocido como Protocolo de Kioto. Adoptado en 1997 pero en vigor desde 2005, el PK tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global, entre ellos el gas metano (CH₄).

El Protocolo de Kioto posee tres instrumentos que buscan reducir la emisión de estos gases, siendo uno de ellos los Bonos de Carbono. Este instrumento ofrece incentivos económicos a los participantes (empresas privadas, públicas o mixtas) de este mecanismo o mercado.

La transacción de los bonos de carbono —un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono— permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a los participantes que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido.

Las reducciones de gases se miden en toneladas de dióxido de carbono (CO₂) equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a ciertos países.

Son varios los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación y entre ellos están los rellenos sanitarios que queman el metano bajo ciertos parámetros.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un procedimiento contemplado en el Protocolo de Kioto en donde países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el metano, dentro de países en desarrollo y recibir a cambio Certificados de Emisiones Reducidas (CER) aplicables a cumplir con su compromiso de reducción propio.

Para que un relleno sea considerado como un MDL, y por lo tanto pueda inscribirse al mercado de bonos de carbono, el mismo deberá cumplir con un determinado diseño y construcción del sistema de captación de metano. Una vez que entre en operación dicha captación deberá monitorearse a través de una metodología para posteriormente realizar un proceso de verificación ya establecido. Luego de esto se emite un reporte por un organismo especial designado, y en el mismo se solicita la emisión CERs, los cuales pueden venderse para obtener ingresos por el equivalente a las emisiones que dejan de generarse.

En México ya han sido identificados los rellenos sanitarios que tienen potencial para participar en el programa MDL, siendo uno de los requisitos el que la cantidad de basura acumulada en el relleno sea mayor a 200 mil toneladas de basura acumulada.

En resumen, es de mucha utilidad que el Proyecto de Factibilidad contemple o visualice pasos básicos para incorporar al relleno sanitario al registro de MDL. En México, la SEMARNAT y el Fondo Mexicano del Carbono (FOMECAR), a citarse en el siguiente apartado, son los promotores y coordinadores del Programa MDL.

El Proyecto de Factibilidad para el aprovechamiento del metano producido por el relleno sanitario puede encontrar aliados entre organismos nacionales e internacionales. Por ejemplo en México existe el Fondo Mexicano del Carbono (FOMECAR), el cual otorga aportaciones monetarias a fondo perdido a los proyectos de esta naturaleza.

El FOMECAR es administrado por Bancomext, quien brinda asistencia técnica y promueve la identificación de proyectos MDL.

Igualmente Bancomext apoya en la cobertura de los costos de registro ante la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de proyectos MDL, siempre y cuando los beneficiarios se comprometan a reembolsar la asistencia financiera, más una comisión de éxito, una vez que generen bonos de carbono.

Debe recordarse que todas estas acciones se llevan a cabo una vez que el relleno sanitario ha sido considerado apto para aprovechar el metano.

El Proyecto de Factibilidad deberá contener un capítulo sobre la infraestructura requerida para aprovechar el metano. Dependiendo de las condiciones actuales del relleno, es posible la necesidad de construir instalaciones adicionales o meramente adecuaciones menores.

En ocasiones es necesario que, para plantear estas obras, se requiera elaborar un Proyecto Ejecutivo de Infraestructura (PEI) el cual es un documento separado del Proyecto de Factibilidad y puede ser elaborado por el gobierno municipal o bien licitado. De no ser necesario el PEI, el Proyecto de Factibilidad deberá describir la infraestructura mínima a realizarse así como todo lo relacionado al sistema de colección de metano (tuberías), el sistema de combustión para quemarlo o en su caso las máquinas generadoras de energía eléctrica a instalarse.

En el PEI es necesario que se contemple el tema de los lixiviados y su destino (siendo opciones su reinyección al relleno o tratamiento), pues en su momento puede convertirse en un asunto que puede entorpecer las operaciones del relleno, la producción del metano y/o el aprovechamiento del mismo.

En la mayoría de las ocasiones, los Proyectos de Factibilidad ya contienen el Estudio Financiero (costos). Sin embargo, si en dicho proyecto se cita la necesidad de hacer modificaciones sustanciales a la infraestructura existente entonces es probable

que deban detallarse todavía más los costos de determinados rubros o bien de incorporarse otros más, como por ejemplo, la elaboración de proyectos ejecutivos en determinadas obras.

Un estudio financiero no debe menospreciarse. El mismo debe prever todos los datos de costos, gastos e inversiones a realizar más actualizados e incorporando proyecciones financieras, es decir, que describa el comportamiento futuro de ciertos rubros como el de personal o ciertos materiales.

Una vez concluido el Estudio Financiero éste debe ser revisado en primera instancia por el responsable de las finanzas, quien deberá emitir una opinión basándose en la capacidad financiera del municipio para sufragar estas obras. Igualmente se decidirá si se realizan con recursos propios, con un préstamo bancario o la potencial generación de Bonos de Carbono lo podrá financiar.

Con la incorporación de estos escenarios el estudio será más realista y tendrá más posibilidades de ser aceptado por la sociedad y en última instancia ser aprobado por el Pleno del Cabildo.

Igualmente, en este periodo de tiempo se diseña la estrategia para presentar ante la ciudadanía, actores sociales y políticas y público en general, tanto el Proyecto de Factibilidad como el Estudio Financiero y los Proyectos Ejecutivos de Infraestructura que se hayan elaborado.

El tema del aprovechamiento del gas metano también requiere de apertura, diálogo, consenso y transparencia pues está en juego desde la credibilidad de las autoridades municipales ante organismos internacionales hasta la generación de electricidad, pasando por ingresos al gobierno municipal generados por la venta de Bonos de Carbono.

Es pues necesario definir e implementar una estrategia de socialización y comunicación del Proyecto de Factibilidad para aprovechar el gas metano. Por un lado

la realización de reuniones con grupos vecinales, cámaras empresariales, organismos civiles, grupos académicos y actores políticos, facilitará en buena medida las futuras negociaciones con los miembros del Cabildo y sus Comisiones, además le brindarán legitimidad social al proyecto.

Hasta esta parte del largo proceso por aprovechar el gas metano generado por el relleno sanitario, el esfuerzo, recursos y el tiempo invertidos han sido considerables sin embargo el camino sigue todavía siendo largo. Pero se ha llegado a una etapa crucial; la presentación del Proyecto de Factibilidad, acompañado del o los Proyectos Ejecutivos de Infraestructura (en caso de aplicar) así como del Estudio Financiero.

La presentación de estos documentos al Cabildo debe ser de manera organizada. El Alcalde, por ejemplo, puede presentar la parte social y política del proyecto, así como los beneficios esperados, mientras los responsables del proyecto la parte técnica.

La presentación debe ajustarse a un tiempo determinado. Su contenido debe responder a las preguntas de qué, quién, cómo, cuándo, dónde, costos y tiempos. Adicionalmente la entrega impresa de los Proyectos, de la presentación y de otros materiales impresos al Cabildo enriquecerá la explicación del Proyecto a los integrantes del Cabildo.

Es probable que, una vez expuesto el Proyecto al Cabildo y de brindarle toda la información necesaria para su análisis, éste cuerpo colegiado no lo apruebe. Las razones pueden ser muchas; desde consideraciones políticas hasta falta de información sobre un punto específico del Proyecto, pasando por la solicitud de un grupo de ciudadanos para rechazar el proyecto o los pepenadores que se oponen aun y cuando no les impacte.

El primer paso bajo este escenario es recaudar la mayor cantidad posible de información respecto de este rechazo. Es probable que las respuestas se tengan a la mano pero que hayan sido minimizadas en el proceso de presentación del Proyecto.

De tratarse de aspectos de mayor relevancia entonces deberá replantearse todo el proceso, incluyendo a los actores directamente involucrados y la estrategia de cabildeo. Si el tema se enfoca en el tema financiero, el tesorero deberá reajustarlo siguiendo las recomendaciones del Cabildo. En lo técnico la empresa asesora y los responsables municipales del proyecto deberán responder los cuestionamientos en la materia.

Otra posibilidad es que el problema haya sido de comunicación. Si este es el caso es recomendable reunirse con el responsable de Comunicación Social del gobierno municipal para delinear una estrategia comunicativa reforzada. En el aspecto político el apoyo del Secretario del Ayuntamiento y del mismo Alcalde son claves al igual que la de los líderes de cada bancada partidista. El Cabildeo personal con cada integrante del Cabildo es igualmente importante.

Una vez cumplidos los puntos objetados por el Cabildo, y confirmar una posible votación a favor, deberá solicitarse al Cabildo un nuevo espacio para presentarle una vez más el Proyecto de Factibilidad con las modificaciones realizadas.

Si el Proyecto es rechazado en un segundo intento es muy probable que se deba a factores políticos o sociales. De ser éste el caso, deberá buscarse otro mejor momento para proponer este Proyecto. Este hecho no representa una derrota, sino un retraso pues tarde o temprano los beneficios de un Proyecto similar sobrepasan los obstáculos presentes.

Si el Cabildo aprobó el Proyecto entonces enhorabuena. Se ha obtenido un muy importante logro en este largo y complejo proceso.

Toca entonces continuar avanzando y las etapas futuras implican todavía más negociaciones y presentaciones al Cabildo y a la sociedad e incluso se agregan ahora nuevos actores; entidades públicas estatales y federales así como organismos nacionales e internacionales. De todo esto se da cuenta en los siguientes apartados y capítulos.

Un aspecto operativo que debe visualizarse bajo el futuro escenario de aprovechar el gas metano ya sea para quemarlo o bien para generar energía, es la parte organizativa del ente responsable de administrar este proceso. En otras palabras debe responderse la pregunta ¿quién va a operar el relleno sanitario? Para ello existen tres opciones:

- Dirección Municipal
- Empresa Paramunicipal (con diversas variantes)
- Concesión a Empresa Privada

La selección de cualquiera de estas tres opciones implica diferencias legales, administrativas y operativas que deben ser analizadas detenidamente antes de inclinarse por alguna de ellas. El manejo de un relleno sanitario aprovechador del metano requiere de disciplina operativa y administrativa acompañada de certidumbre legal pues no puede estar atada a los vaivenes políticos. Es un esfuerzo técnico que requiere seriedad.

Venta de basura para quema en hornos de producción de cemento

Al inicio de este tema se considero la posibilidad de vender basura a empresas cementeras para que esta fuera utilizada como combustible, pero durante la investigación se observo que la situación es inversa y que empresas como Cemex hace negocio con la basura, Cementos Mexicanos fue una de las principales empresas beneficiadas por la crisis que suscitó la falta de espacios para depositar la basura de la Ciudad de México, tras el cierre del Bordo Poniente, relleno sanitario ubicado en el Estado de México.

De acuerdo con habitantes del lugar, el gobierno del DF paga a la firma 300 pesos por cada tonelada incinerada en sus hornos, con lo cual es producido el cemento.

A la cementera llegan 3 mil toneladas diarias, señaló Jorge Tadeo Vargas, del equipo coordinador de alianza global para alternativas a la incineración y alertó que las emisiones producto de basura y llantas son altamente contaminantes.

Comentó que a los desechos de la capital del país son agregados solventes, pinturas y desperdicios de plantas papeleras depositados en terrenos que se convierten en rellenos a cielo abierto.

CAPITULO VII. CONCLUSIONES

La ingeniería de cimentaciones en la ciudad de México y Área Metropolitana enfrenta una problemática seria, al combinarse suelos muy compresibles y muy blandos en su zona lacustre arcillosa, con sismos intensos, hundimiento regional muy acentuado, y una de las congregaciones humanas más grandes del mundo.

Se han dado soluciones a las cimentaciones que la naturaleza ha puesto a revisión a través del tiempo y durante sismos intensos. Lo que era una solución con pilotes de punta, al parecer conveniente y sancionada por la práctica mundial para cimentaciones pesadas y altas, el hundimiento regional que sufre la ciudad las exhibió como una opción indeseable y sólo propia para condiciones específicas. A su vez, los pilotes de fricción que surgieron como una alternativa para muchos de los casos en los que se desechaba la anterior, los sismos de 1985 se encargaron de señalar a aquellos diseños en los que se perdieron los enfoques iniciales, haciéndolos por ello muy vulnerables a las acciones sísmicas.

Se estima que la ingeniería de cimentaciones cuenta con poderosas herramientas analíticas y sobre todo de cómputo; estas últimas permiten modelar problemas complejos; sin embargo, los avances que pudieran darse en nuestro campo de conocimiento transitan no sólo en dicha modelación, sino en la observación del comportamiento de las cimentaciones y en la verificación experimental de las previsiones con ellas obtenidas. Unas y otras son complementarias y su puesta en práctica asegura un círculo virtuoso en el que debe sustentarse el reto de cimentar en el futuro estructuras y obras de infraestructura en esta ciudad, de manera más segura y económica.

La observación del comportamiento debe hacerse sobre una base sólida, que no es otra que la de medir las variables físicas internas del sistema suelo-cimentación-estructura, mediante instrumentos adecuados y confiables. Se cuenta con

estos medios en el mercado nacional e internacional, muchos de ellos con desarrollos tecnológicos recientes y poderosos, pero que sin embargo, en general, no han sido utilizados por la ingeniería de cimentaciones de la ciudad de México. Las prácticas y experiencias enriquecedoras que se han tenido principalmente en la ingeniería de presas en nuestro país, no han sido posible trasladarlas a la ingeniería de cimentaciones local. Es obvia la necesidad de contar con más cimentaciones instrumentadas en nuestro medio.

Los retos que deberá afrontar en el futuro la ingeniería de cimentaciones en la ciudad de México, tanto para las tradicionales que se han venido construyendo en la ciudad, como para las cimentaciones novedosas que se están introduciendo en nuestro medio, exigen tener presente las lecciones aprendidas a lo largo del tiempo en las cimentaciones construidas. Lo anterior determinado por el hundimiento regional, principalmente, aunque también debe reconocerse que no todos los efectos residen en ese fenómeno, sino que son causados por estudios del subsuelo deficientes o insuficientes, falta de mantenimiento en las cimentaciones, cambio en el uso de la estructura con el usual sobrepeso, caprichos arquitectónicos, etc. Así mismo, no deben soslayarse y olvidarse las tristes experiencias y lecciones que nos dejaron los sismos de 1985; la primera de estas últimas es que los sismos intensos imponen la condición más crítica para la estabilidad de las cimentaciones en la ciudad de México.

La explotación y la recuperación de sitios de disposición final es una tecnología y un método para el manejo de los residuos sólidos. Dado su nivel de desarrollo, solamente se pueden dar algunas conclusiones preliminares con respecto al potencial de ESDFRS y a las perspectivas de satisfacer ese potencial. La tecnología de ESDFRS puede ser eficaz en la recuperación de la capacidad del sitio de disposición final de Bordo Poniente para la reutilización como relleno sanitario o como espacio recuperado para otro uso.

Puede también ser empleada para recuperar: una fracción de material inerte para la reutilización en sitio como material de la cubierta y para el uso como mejorador de suelo. De acuerdo con los pocos análisis señaló hasta el momento, el contenido de metales pesados y otras características de la fracción recuperada de tierra indican que la fracción puede ser conveniente para el material de cubierta para rellenos. Sin embargo, debe ser acentuada que las características de los materiales recuperados son substancialmente una función de la composición de la basura enterrada, incluyendo concentraciones de metales pesados y de otros compuestos tóxicos. Algunos materiales orgánicos pueden ser recuperados para ser usados como combustible. La baja calidad de materiales ferrosos se recupera fácilmente, pero su uso es limitado.

El porcentaje de materiales recuperados y sus características son función de la composición de los residuos confinados y las condiciones de la configuración y del funcionamiento del proceso que explota el sitio de disposición final de residuos. El concepto de la explotación de rellenos sanitarios y la tecnología relacionada merece una consideración seria. Puede ser relevante considerar la incorporación de este concepto al diseño de Relleno Sanitario de modo que éstos rellenos sean fácilmente accesibles para su explotación en el futuro.

Bibliografía

- Manual de medio ambiente y comercio, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, División de Tecnología, Industria y Economía, Unidad de Economía y Comercio y el Instituto Internacional para el Desarrollo Sustentable.
- El medio ambiente en México y América Latina, Francisco Szekely, México, 1978.
- Medio ambiente y desarrollo / Ramón Gonzalo Romani Barrientos; comp. José Ramón Chantada Acosta, Santiago de Compostela, Universidad de Santiago de Compostela, 1996.
- La ciudad de México y la contaminación atmosférica / Gabriel Quadri de la Torre, Luis Rubén Sánchez Catano, México, Limusa, 1992.
- Castillo, Héctor. Camarena, Margarita. Ziccardi, Alicia. Basura: procesos de trabajo e impactos en el medio ambiente urbano. Estudios Demográficos y Urbanos, 2 (3): 513-43, sept.-dic., 1997.
- Chang, Gypsy. La basura: una montaña de problemas. Sinorama, 13 (1) : 88-95, ene., 1988.
- López Garrido, Jaime. Vidal, Francisco M.; Pereira Martínez, José. Basura urbana: recogida, eliminación y reciclaje. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1995. xi, 294 p.
- Rivas Mijares, Gustavo. Conferencia: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Abastecimiento de agua y sistemas de alcantarillados. Santo Domingo, 1998. 11 p.
- Temprano González, Javier. Cervigni, Marcelo Gabriel. Suárez López, Joaquín. Tejero Monzón, Juan Ignacio. Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen. Revista de Obras Públicas, 143. (3352): 45-57, mar., 1996.
- Trejo Vázquez, Rodolfo. Procesamiento de la basura urbana. México: Trillas, 1996. 283p.
- Un aporte para la solución del problema de la basura. Intec hacia el

futuro, (66): 7-8, jul.-sept., 1996.

- Vazquez, Ramón. Glosario de drenaje urbano. Tecnología del Agua, 9 (58): 47-54, jun., 1999.

- DDF y GDF (1987, 1995 y 2004). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y

- Construcción de Cimentaciones, Reglamento de Construcciones para el D. F.

- Dunnicliff, J. (1988). Geotechnical instrumentation for monitoring field performance,

- John Wiley.

- Marsal, R.J. y Mazari, M. (1969). El Subsuelo de la ciudad de México, UNAM.

- Mitchell, J. K. (1993). Fundamentals of soil behavior, 2nd. ed., John Wiley.

- Poulos, H.G. y Davis, E.H. (1980). Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley.

- Romo, M. P., Mendoza, M. J. y García, S. R. (2000). "Gootechnical factors in seismic

- design of foundations: State-of-the-art report", *Proc. 12th World Conference on*

- Earthquake Engineering, Paper No. 2832, Auckland, New Zealand.

- Santoyo, E., Ovando, E., Mooser, F. y León, E. (2005). Síntesis geotécnica de la

- Cuenca del Valle de México, Publicación de TGC Geotecnia S. A. de C. V., México.

- SMMS (Diversos años). Memorias de Reuniones Nacionales de Mecánica de Suelos.

- SMMS (1987 y 1989). Memorias del Simposio Internacional de Ingeniería Geotécnica

- de Suelos Blandos, Mendoza, M. J. y Montañez, L. E. (editores), México D. F.

- SMMS (2000). Manual de cimentaciones profundas, México D F, 2ª ed.
- SMMS (2001). Manual de Construcción Geotécnica, Paniagua W. I. (editor) México D.F.
- SMMS (2005). Coloquio Conmemorativo: La Ingeniería Geotécnica a 20 Años de “El Sismo”, Mendoza, M. J., Juárez, M. y Romo, M. P. (editores) México D. F., 175 pp.
- Terzaghi, K. y Peck, R.B. (1967). Soil mechanics in engineering practice, McGraw-Hill.
- Zeevaert, L. (1973). Foundation engineering for difficult subsoil conditions, Van Nostrand Reinhold, New York.

Fuentes de información

<http://www.jornada.unam.mx/2005/11/15/038n1est.php>
<http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/88706.html>
<http://www.emexico.gob.mx/work/EMM5/Mexico/mpios/15058a.htm>
<http://www.jornada.unam.mx/2005/11/12/033n1est.php?partner=rss>
http://www.google.com.mx/archivesearch?q=historia+del+bordo+de+xochiaca&scoring=t&hl=es&um=1&sa=N&sugg=d&as_ldate=2009/09&as_hdate=2009/09&lnav=dt
<http://www.alamedaoriente.df.gob.mx/historia/index.html>.