



70  
1985

# Universidad Nacional Autónoma de México

---

---

Facultad de Ingeniería

Proyecto de un Relleno Sanitario en  
Santa Catarina, D. F.

## Tesis Profesional

Que para obtener el título de  
Ingeniero Civil

P r e s e n t a

**GILBERTO MANUEL GONZALEZ MUÑOZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE GENERAL

	Pag.
INTRODUCCION	1
1. DATOS BASICOS DE PROYECTO	
1.1. Localización	5
1.2. Clima	5
1.3. Precipitación y Viento	5
1.4. Geología	7
1.5. Topografía	9
1.6. Geohidrología	11
1.7. Características de los suelos	13
1.8. Flora y fauna	15
2. DETERMINACION DEL TIPO DE RELLENO SANITARIO	
2.0. Antecedentes	17
2.1. Planeación General	17
2.2. Selección del sitio del relleno	18
2.3. Investigación del sitio del relleno	19
2.4. Métodos de relleno	26
2.4.1. Método de Trinchera	27
2.4.2. Método de Área	31
2.4.3. Método Combinado	32
2.4.4. Otros métodos de relleno	34
2.5. Método de relleno sanitario escogido en Santa Catarina.	36

3.	DISEÑO	
3.0	Antecedentes	38
3.1	Resultados del estudio geohidrológico y geotécnico realizados en Santa Catarina	44
3.1.1	Estudio geohidrológico	44
3.1.2	Estudio geotécnico	51
3.2	Factores importantes que deben ser considerados en el diseño y operación de rellenos sanitarios	56
3.3	Información básica para el diseño del relleno	60
3.4	Grado de compactación de la basura	64
3.4.1	Grado de compactación de la basura de la primera etapa	66
3.4.2	Grado de compactación de la basura de la segunda etapa	67
3.4.3	Determinación de asentamientos en el terreno	69
3.5	Proyecciones de aportación de basura al tiradero y determinación de la vida útil del relleno	73
3.6	Drenaje pluvial y de relleno sanitario	78
3.7	Control de ratas, gases y protección contra incendios	80
4.	CONSTRUCCION	
4.0	Antecedentes	83
4.1	Bancos para material de cubierta	86
4.2	Método de construcción de caminos	90
4.3	Método de construcción de celdas	95
4.4	Programa de construcción de la primera etapa	95

4.5	<i>Programa de construcción de la segunda etapa</i>	102
4.6	<i>Equipos para la construcción del relleno</i>	109
5.	<b>OPERACION Y MANTENIMIENTO</b>	111
5.1	<i>Horario de operacion</i>	111
5.2	<i>Sistema de control de entradas</i>	111
5.3	<i>Control de pesaje</i>	112
5.4	<i>Control de tráfico</i>	112
5.5	<i>Métodos operativos especiales</i>	113
5.6	<i>Equipo</i>	115
5.7	<i>Mantenimiento y control del relleno</i>	118
5.8	<i>Personal</i>	124
5.9	<i>Costos</i>	127
6.	<b>CONCLUSIONES</b>	
6.1	<i>Conclusiones</i>	130
6.2	<i>Recomendaciones</i>	133
6.3	<i>Resumen de recomendaciones generales para operación</i>	134
	<b>REFERENCIAS</b>	136
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	138

## LOCALIZACION DE PLANOS

	Pag.
CROQUIS DE LOCALIZACION	6
EL CICLO HIDROLOGICO	24
CROQUIS DEL LIXIVIADO	28
METODO DE TRINCHERA	30
METODO DE AREA	30
METODO COMBINADO	33
CROQUIS DE DRENAJE Y PLANTA DE COLECTORES	79
DETALLE DE ESPIGON	82
PLANO DE BANCOS DE PRESTAMO	89
SECCION DE TIPO DE CAMINO	92
DATOS GEOMETRICOS DE CAMINOS (Primera etapa)	93
DATOS GEOMETRICOS (Tabla)	94
PLANO DEL PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE RELLENOS (Primera etapa)	98
PLANO DE RASANTES FINALES DE RELLENO (Primera etapa)	100
DRENAJE DEL RELLENO Y LOCALIZACION DE ESPIGONES	101

PLANO DEL PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE RELLENOS (Segunda etapa)	105
RASANTES FINALES DEL RELLENO (Segunda etapa)	106
DIAGRAMA DE BARRAS DEL PROGRAMA DE CONSTRUCCION (Primera y Segunda etapas)	107
PROGRAMA DE APORTACIONES	108
PLANO DE LOCALIZACION DE INSTALACIONES	122

## INTRODUCCION.

En la historia de la humanidad, el hombre ha requerido del medio que lo rodea para subsistir. Es de conocimiento común, que el hombre permanecía en un lugar hasta que no encontraba otro en el que las condiciones fueran mejores u óptimas. Con el paso del hombre por cierto lugar, se generaban cierto tipo de residuos, mismos que eran asimilados por la naturaleza dada su composición, primordialmente orgánica. Estos residuos no tenían en realidad gran relevancia, ya que la calidad y cantidad no traía ninguna consecuencia lamentable; pero con el paso del tiempo, el hombre se convirtió en sedentario, y con este cambio hubo necesidad de depositar los residuos en algún lugar donde la relación hombre-ambiente no tuviera mayor riesgo. A últimas fechas, y más gravemente a partir de la Edad Industrial, esta relación se ha visto afectada por las mismas actividades del hombre, que ha generado residuos cada vez más difíciles de ser degradados por la naturaleza. También es notorio el uso excesivo de recursos naturales que no son renovables, para regresarlos al medio ambiente como residuos. Es decir no consumimos el recurso, sino que solo lo usamos y finalmente lo regresamos en un estado alterado al medio ambiente.



No debemos dejar desapercibido el hecho de que los bienes de consumo son vendidos a consumidores, los cuales a su vez, tienen tres opciones después de usar el bien: desechar el material, juntar el material en cantidades suficientes para usarlo en la producción de energía o reciclarlo para ser usado en el sector industrial, o bien usar el material nuevamente para el mismo o diferente propósito sin manufacturarlo.

Cada una de las opciones lleva consigo una innumerable cantidad de ventajas y desventajas. Hablando generalmente, el problema de los desechos sólidos municipales se tiene muy estudiado y casi se podría decir solucionado con nuevas técnicas y equipos, dada la calidad del desecho, pero existe un grave problema con los desechos industriales, el cual es prácticamente nuevo y desconocido para nuestro actual desarrollo técnico en la materia. Este problema se ve acrecentado con el grado de desarrollo industrial de cada país, y así vemos como los países altamente industrializados, están dejando en cierta forma de producir desechos industriales peligrosos, importando materiales y bienes de consumo, los cuales dejan en otra parte residuos industriales. La situación actual se puede considerar que no es aún crítica, pero dependerá del hombre mismo la solución a este problema o de lo contrario se verá atrapado en su propia trampa.

En América Latina, el problema de los desechos sólidos aún no ha alcanzado graves consecuencias, aunque debe mencionarse que dadas las tasas de crecimiento de población anual y la falta de servicios adecuados, el problema puede convertirse en una verdadera catástrofe.

En nuestro México, el problema de los desechos sólidos fue contemplado por organismos oficiales como fueron la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y la Comisión Cons -

tructora e Ingeniería Sanitaria, así como el Departamento del Distrito Federal. Las actividades que se desarrollaron marcaron la pauta del desarrollo que actualmente presentan los estudios concernientes a desechos sólidos. Se puede decir que los objetivos marcados y esperados no se han alcanzado, debido básicamente a la falta de personal calificado y sobre todo el uso de equipos inadecuados y una carencia de tecnología propia, por lo cual debemos amoldarnos a las corrientes tecnológicas previamente determinadas por países con más años de experiencia en el ramo. Afortunadamente, se inició una etapa de motivación y concientización del problema, y así en centros educativos como en organismos oficiales se alcanzó un nivel notorio en la década anterior, correspondiendo a la UNAM y al IPN un gran porcentaje de los créditos.

Es el caso de la Ciudad de México, el que se tratará en este trabajo, en la cual el aumento de residuos sólidos de origen doméstico, urbano e industrial han tenido un ritmo de crecimiento superior al del aumento de población siendo en esta ciudad, comparativamente con otros países industrializados cada día más alarmante, pudiendo afirmar que en algunas zonas como el Área Metropolitana del Valle de México, los desechos sólidos alcanzan niveles por habitante por día, que resultan comparables con los de algunas zonas más afectadas del mundo, generalmente ubicadas en países de gran desarrollo industrial, cuyo crecimiento y cantidad actual, como lo mencioné antes, es en función directa de su desarrollo económico. El método de relleno sanitario, es el más adecuado actualmente, por su relativo bajo costo de operación y mantenimiento, aparte de que su diseño contempla todos los aspectos de funcionalidad. En este trabajo se hará mención de los trabajos realizados a la fecha en relación con el tiradero de Santa Catarina y posteriormente, haré el diseño correspondiente al relleno sanitario que se deberá realizar para poder aliviar un poco el pro-

blema de desechos sólidos que padece nuestra ciudad. Por último, haré una serie de recomendaciones para el buen uso del relleno, así como para optimización de su operación.

## CAPITULO No. 1.- DATOS BASICOS DEL PROYECTO

1.1.- LOCALIZACION.

1.2.- CLIMA.

1.3.- PRECIPITACION Y VIENTO.

1.4.- GEOLOGIA.

1.5.- TOPOGRAFIA.

1.6.- GEOHIDROLOGIA.

1.7.- CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS.

1.8.- FLORA Y FAUNA.

## 1.- DATOS BASICOS DEL PROYECTO

### 1.1.- LOCALIZACION.

El tiradero de Santa Catarina se localiza al Oriente de la Ciudad de México, en el Municipio de la Paz, Estado de México, junto a los límites con la Delegación de Iztapalapa, a un costado de la carretera México-Puebla, aproximadamente a 2 Kmts. antes del poblado de Tlalpizahuac.

Sus límites están definidos de la siguiente forma:

Al Norte, por el Cerro La Caldera.

Al Oriente por la vía del ferrocarril México-Puebla.

Al Sur y Poniente por la carretera de cuota México-Puebla.

El terreno en el que se aloja el tiradero es propiedad privada y consta de una superficie de 44 hectáreas de las cuales aproximadamente 15, se encuentran sobre la ladera del Cerro "La Caldera" arriba del camino que lleva hasta el cráter.

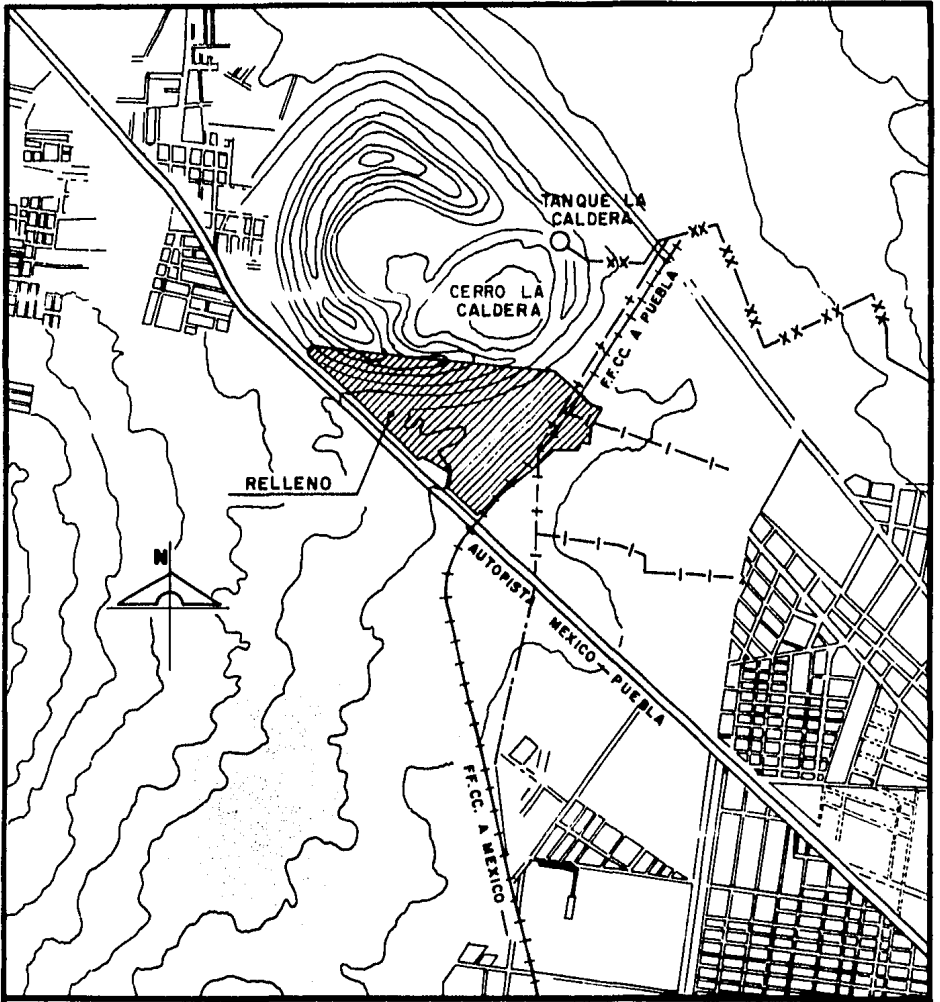
El tiradero se considera de tipo regional, ya que da servicio a varias Delegaciones, entre las cuales se encuentran las de Iztapalapa, Iztacalco, Benito Juárez y Cuauhtémoc. El tiradero inició sus operaciones en el mes de diciembre de 1982.

### 1.2.- CLIMA.

De acuerdo a la clasificación de Koppen en condiciones medias, el Valle de México tiene clima "templado-moderado-lluvioso" en la parte Sur, y "seco estepario" en la parte Norte. Por lo que respecta a la temperatura, se ha determinado por estadística una temperatura media en la planicie que varía entre 15° y 16°C.

### 1.3.- PRECIPITACION Y VIENTO.

La precipitación media anual en la zona donde está ubicado el tiradero y que corresponde a la zona del lago de Texcoco es de 607mm. y la evaporación potencial media anual es de 2.243mm.



**CROQUIS DE LOCALIZACION** ESC. 1:20 000

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS

La velocidad media de los vientos es de 10 km/hr. con direcciones dominantes del Sur (S) y Sur Este (SE), de acuerdo con las estaciones climatológicas localizadas en Chalco y en Chapingo, México.

Las corrientes de agua que se generan en el Valle de México, son de régimen torrencial con avenidas de poca duración.

#### 1.4.- GEOLOGIA.

Por su cercanía al lago de Texcoco, el terreno donde se ubica el relleno, presenta características generales similares al lago; este se encuentra en el centro de la faja volcánica que atraviesa la República Mexicana, zona de mucha tendencia sísmica, sujeta a esfuerzos tectónicos y erupciones volcánicas importantes desde principios del terciario hasta épocas recientes.

En el período cuaternario se inició un ciclo de volcanismo que aún persiste y que dio origen a la formación de gran parte de la orografía actual. Como ejemplo se puede citar en el Valle de México: El Cerro Gordo, Chimalhuacán, Cerro de la Estrella, Chiconautla, Guadalupe y La Caldera entre otros. Posteriormente se formaron las Sierras Nevada y de las Cruces. Las circunstancias anteriores permitieron el relleno de la cuenca con materiales de acarreo y cenizas volcánicas transportadas por el aire o por corrientes de agua hacia las partes bajas, formando la planicie del fondo del lago. Posteriormente, se formó el lago, el cual ha ido bajando de nivel a través de los años hasta lo que actualmente conocemos como Valle de México.

La serranía es una unidad cuaternaria que se extiende hacia el Este de la Ciudad de México con una orientación subparalela (Este a Oeste); consiste de una serie de aparatos volcánicos que se elevan sobre el fondo de la cuenca hasta alturas que varían de 2 350 a 2 800 m.s.n.m. Desde el punto de vista estructural, la serranía corresponde a un cinturón volcánico que se encuentra en una etapa de elevación reciente o joven.

La rápida formación de la serranía explica la gran permeabilidad de sus rocas, así como su porosidad, características que le dan un alto grado de infiltración convirtiendo esta unidad en un área valiosa para la recarga de acuíferos.

La serranía de Santa Catarina está formada por materiales elásticos interestratificados de origen basáltico-andesítico, dada su reciente actividad tectónica, la serranía es una zona de evolución incipiente en cuanto al grado de equilibrio dinámico entre clima, suelo y vegetación.

Por tener taludes mayores de 15° la serranía está sujeta a movimientos de reptación de las capas superiores del suelo. Sus conos están formados por grandes acumulaciones de cenizas, arenas y brechas volcánicas - con ángulos críticos de reposos del material, de manera que el simple poblamiento vegetal que da sobrepeso y retiene agua determina el lento movimiento de las capas superficiales aguas abajo.

La serranía presenta también el fenómeno de coluviamiento que corresponde a un proceso natural permanente mediante el cual el material de las capas superiores de cualquier sitio elevado tiende a ser movido por acciones gravitacionales o hídricas para llegar a depositarse en las partes inferiores de las vertientes y taludes locales y zonales.

Básicamente el coluviamiento es un proceso morfogenético complejo por el cual las áreas verdes y elevadas tienden a denudarse y las deprimidas a rellenarse. El proceso es sumamente lento, pero de gran importancia según su intensidad y el tipo de materiales involucrados.

Una forma de contaminación provocada por el coluviamiento puede originarse por coluviones finos que, arrastrados por las escorrentías, llegan a taponar y hasta sellar los poros del suelo determinando menores coeficientes de infiltración, causa de anegamientos en las áreas afectadas haciendo más difícil la recarga de acuíferos de dichas áreas. Este es el caso por el cual se forman los fenómenos de gleyización de los andosoles gleyicos de la serranía de Santa Catarina, los cuales, a pesar de tener un alto grado de permeabilidad presentan condiciones de sobresaturación; fuera de esos fenómenos críticos el coluviamiento no alcanza en condiciones naturales un grado de peligrosidad, pero en cambio se propicia su intensidad a partir de la degradación de la cubierta vegetal o del aumento de las pendientes por remoción de material, y los procesos coluviales pueden traducirse en el aporte de mayores cantidades de material que pueden llegar a acelerar el azolvamiento de la red de alcantarillado de la ciudad.



En la serranía de Santa Catarina los deslizamientos de escombros y tierra ocurren preferentemente en los conos de los edificios volcánicos cineréticos, en los cuales el material reposa con ángulos críticos cercanos a los  $40^\circ$ , de manera que cualquier movimiento sísmico o la sobrecarga de un exceso de agua, determinan el deslizamiento. La serranía también presenta en algunas áreas la condición de denudación, en la cual la velocidad de remoción es mayor que la de acumulación o descomposición y ello determina que estas áreas se encuentren con sus estructuras descubiertas o denudadas.

### 1.5.- TOPOGRAFIA.

El cinturón volcánico de la serranía, presenta una topografía muy accidentada teniendo el terreno una forma abrupta.

Las cotas varían aproximadamente entre la 2 750 y 2 250 m.n.s.m.

Dentro de los terrenos que rodean a la serranía, están incluidos parte de lo que son las delegaciones de Iztapalapa y Tláhuac cuyas características topográficas son:

Iztapalapa.- Es una región casi plana en su totalidad ya que es formación de lo que fue el lago de Texcoco.

Tláhuac.- La topografía se presenta en su totalidad como una planicie. Las sierras compuestas de rocas que se formaron al enfriarse las efusiones volcánicas, cerraron la cuenca y la convirtieron en una planicie sin salida para las aguas. Por el Oriente quedó la sierra nevada; al Poniente la de las Cruces; al Norte las de Tezontlalpan y Pachuca; al Sur, la de Chichinauhzin y en el Centro el alineamiento de la sierra de Santa Catarina. Sólo la porción Norte-Noroeste es escabrosa por los desprendimientos de de la sierra de Santa Catarina.

A continuación, se hace una relación con la orografía principal de la zona.

NOMBRE (S)	LOCALIZACION	COTAS APROXIMADAS (m.s.n.m.)	
1.- Volcán Yuhualixqui (Cerro San Nicolás)	99° 03' 0 19° 19' N	2 250	2 400
2.- Volcán Xaltepec (Cerro Xaltepec)	99° 02' 0 19° 19' N	2 270	2 450
3.- Cerro Tetcón	99° 01' 0 19° 19' N	2 350	2 450
4.- Cerro Tecuatzi	99° 00' 30" 0 19° 19' 30" N	2 350	2 600
5.- Volcán Guadalupe	99° 00' 0 19° 19' 30" N	2 450	2 750
6.- Volcán La Caldera	98° 58' 0 19° 20' 30" N	2 300	2 400

## 1.6.- GEOHIDROLOGIA.

El agua freática en la zona del terreno se encuentra contaminada posi-  
blemente como consecuencia de la falta de circulación, propiciada en -  
parte por las obras construidas en sus alrededores (autopista México-  
Puebla y un dren existente) que lo han aislado, así como por contamina-  
ción causada por la descarga de aguas negras directamente al subsuelo  
en las cercanías del terreno y en el mismo.

En un pozo a cielo abierto localizado en las cercanías de una escuela  
primaria situada en el área, se llevó hasta una profundidad de 2.7 mts.  
se encontró que el agua freática se encontraba putrefacta.

Sin embargo, esta condición de estancamiento de las aguas pueden consi-  
derarse como un fenómeno local, ya que pozos construidos en las inme-  
diasiones y que explotan básicamente el manto de aguas freáticas no -  
muestran contaminación de éstas, en tan alto grado como en el terreno  
del relleno. Como ejemplo de esto, el pozo de la fábrica Kiesselgurrh  
de México en Tlalpizahuac\*, con profundidad del orden de 42 m. no pre-  
senta problemas de contaminación más allá de las normales registradas-  
en la zona, aunque sí presentan problemas de hundimiento como consecuen-  
cia de la extracción del agua a las arcillas características de la zo-  
na lacustre del Lago de Texcoco, mismo fenómeno que ha provocado el -  
hundimiento de la Ciudad de México.

En este pozo, como en otros ubicados en la población de Ayotla, situada  
aproximadamente a 3 Km. del tiradero, conforme a sus perfiles estrati-  
gráficos se infiera que entre el manto de agua freática y el acuífero  
profundo existe una capa impermeable a una profundidad comprendida en-  
tre los 30 y 35 metros aproximadamente que impide la comunicación del  
acuífero profundo con el de agua freática. Con objeto de poder tener-  
un control sobre los efectos negativos que en algún momento pudiera -  
causar el producto de las contaminaciones emanadas del relleno sanita-  
rio sobre las características físicas, químicas y bacteriológicas del  
agua subterránea, no obstante las obras de protección que se llevan a  
cabo para evitarla; se procedió a realizar análisis físico-químicos, -  
bacteriológicos y sanitarios en muestras de agua de diversos pozos lo-  
calizados en las cercanías del tiradero. Estos estudios permitirán -

(\* ) A sólo 2 Km. de distancia del terreno del tiradero.

conocer: si con el tiempo, el relleno está incrementando la contaminación del agua subterránea en la zona.

Por otra parte y con objeto de evitar seguir contaminando la capa superficial del suelo y darle recirculación al agua en él contenida, se recomienda prever una impermeabilización del mismo antes de disponer los desechos, así como garantizar buen drenaje del terreno que evite la sobresaturación de suelo y permita su evacuación.

Sin embargo, en vista de que actualmente se han dispuesto basuras en algunas zonas del terreno, y no es factible económicamente remover la totalidad de los rellenos ya construidos, se propone para evitar seguir contaminando el terreno superficial e incluso el poder mejorar estas condiciones, tomar las siguientes medidas:

1).- La construcción de un colector y drenes que faciliten la salida de los residuos líquidos del relleno sanitario para su concentración en un área de retención donde no contaminen.

2).- Impermeabilización del suelo mediante riego de lodos bentoníticos.

Conforme a los resultados del estudio geotécnico realizado, este procedimiento de impermeabilización fue el que se juzgó como el más conveniente desde el punto de vista técnico y económico, en base a que el terreno natural de acuerdo a las pruebas tiene una baja permeabilidad, una alta capacidad de absorción y de filtración, así como un alto potencial de intercambio catiónico, aunado a una elevada adsorción que da al terreno características adecuadas para poder disponer sobre él, un relleno sanitario.

Lo anterior, aunado a la construcción de un adecuado sistema de drenaje del escurrimiento pluvial y del relleno, garantizará las condiciones idóneas, para proteger de contaminación el manto de aguas freáticas.

## 1.7.- CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS.

En la base de la serranía, en el poblado de Santa Catarina, se tienen suelos de la unidad de Andosoles gleycos, que son suelos de ando, pero que mantienen un alto nivel de saturación hídrica en su perfil. Por tanto, estos suelos tienen un horizonte superficial con influencia de aguas freáticas que se encuentran entre los 175 y 250 cm. de profundidad. Son suelos que presentan texturas uniformes de migajones de arena fina hasta limoarenosos finos, de colores gris oscuro o negro, con alto grado de contenido de materia orgánica en forma de nitrógeno y fósforo, cantidades altas de fierro, magnesio y calcio; el sodio y el potasio se encuentran en cantidades bajas, su pH es ligeramente ácido, - este suelo posee gran capacidad de retención de agua y de intercambio iónico.

Los suelos en la base Oeste de la serranía presentan problemas de drenaje en el subsuelo, tienen una variación del nivel del manto freático = de 50 a 125 cm. de manera que presentan características hidromórficas. Los suelos en esta zona son pobres en materia orgánica y presentan problemas de salinidad.

En los fondos de los cráteres de los volcanes de la serranía se encuentran suelos formados por arcilla aluvial la cual disminuye la permeabilidad del suelo.

Los regosoles son suelos débilmente desarrollados a partir de materiales no consolidados y de calibres gruesos (desde lapillis hasta arenas finas y cenizas volcánicas). Son materiales que se encuentran como constituyentes principales de la gran mayoría de los conos cineríticos de la serranía de Santa Catarina.

Como en estos suelos no se han desarrollado sino únicamente unas pocas características edáficas, los encontramos a manera de depósitos minerales poco compactos, con texturas que van de medias a ligeras, de migajones limoarenosos y arenosos. Su densidad es mayor que la de los suelos ando, y por su consistencia generalmente suelta, tienen muy baja -

capacidad para retener la humedad por lo que su desague es relativamente rápido. Sus colores son cafés, grises o negros; generalmente son ricos en materia orgánica con nitrógeno y fósforo en cantidades elevadas, así como de calcio.

De acuerdo con su capacidad potencial de fertilidad estos suelos se dividen en regosoles dísticos y regosoles eútricos. En los primeros, la capacidad de saturación de las bases es inferior al 50% porque han sido fuertemente lixiviados y también porque han sido sometidos a una explotación agrícola o silvícola. Los regosoles eútricos han conservado su fertilidad natural por encontrarse en áreas poco presionadas aun que el bosque se encuentre un poco alterado.

En las partes más altas de la serranía se encuentran regosoles dísticos, mientras que los regosoles eútricos se encuentran formando parte de sus conos volcánicos cineríticos.

La serranía de Santa Catarina tiene como uso actual del suelo la explotación restringida de materiales para construcción del tipo de arena y tezontle, pero coexisten una serie de terrenos de cultivos entre las canteras sembrados básicamente de maíz y tomate de cáscara.

Por su alto grado de permeabilidad, la serranía es una zona de recarga de acuíferos de la planicie lacustre.

La forma abrupta del terreno en el cinturón volcánico y su poco desarrollo edáfico no dan un apoyo adecuado a otro tipo de uso que no sea el de área verde. Dicho uso reforzaría sus funciones de recarga, interceptación eólica y belleza escénica.

El talud de la serranía, por su inestabilidad, bajo desarrollo, su pendiente y su desarrollo abrupto, solo puede aceptar una actividad pecuaria controlada, a base de desarrollo frutícola y florícola, complementada con una actividad pecuaria avícola.

## 1.8.- FLORA Y FAUNA.

A la fecha se han realizado pocos estudios de la vegetación particular de la zona en estudio. Sin embargo, informes del medio biológico generados para áreas vecinas a la serranía, como el Cerro de la Estrella, permiten entrever que en épocas anteriores en la zona existía un bosque de encinos.

Respecto a la vegetación más reciente, en la descripción de la misma - que cubría el área hace poco más o menos 50 años, se menciona la presencia de Schinus molle, Nolina, Senecio praecox, Tecoma stans, Mantonoa tormentosa, Bursera Fagaroides, Salvia grahami, Opuntia y Agave.

En la actualidad el cuadro es muy diferente, pues las laderas bajas - más tendidas, estaban hasta hace poco ocupadas por cultivos e incluso por habitaciones humanas; grandes porciones de los cerros se encuentran tajadas como consecuencia de la explotación de materiales para construcción que allí se llevan a cabo. Los sitios donde todavía no ha habido ninguna explotación y que se pueden considerar de pendiente fuerte, es tán cubiertos generalmente por zacatal, algunas veces con árboles es - parcidos de Schinus molle. Tanto en el zacatal como bajo los eucaliptos abunda de manera notable la gramínea Bouteloua gracilis.

La fuerte influencia de actividades del hombre sobre este zacatal tra - jo como consecuencia el establecimiento de matorral inerte, combinado con algunos bosques asociados, en su mayoría de pirul, que existen ac - tualmente en algunos sitios de la serranía, principalmente formando - parte del volcán Guadalupe y del Cerro Tecuautzi.

En la serranía se encuentran extensiones de maleza o malas hierbas cuya presencia es debida al disturbio ecológico provocado por las activida - des mineras y al abandono de las mismas. Se encuentra esta situación en varias áreas de los cerros y en terrenos baldíos aledaños a la zona urbana.

Finalmente el uso extensivo de los terrenos para la agricultura, así como las áreas sometidas a explotación y el ulterior abandono de las mismas, debe ser la causa de la escasa y heterogénea vegetación actual.

En lo que respecta a la fauna, ésta es variada y muestra un buen número de mamíferos, aves, escasos reptiles y una gran cantidad de invertebrados, principalmente de la clase insecta.

Dentro de los mamíferos se encuentran:

Quiropteros: algunas especies de murciélagos.

Roedores: ratas.

Carnívoros: gato común, perros.

Ungulados: caballos, burros, borregos.

Hay una gran variedad de pájaros, los más comunes son:

Palomas, gorriones y verdines amarillos.

Dentro de los reptiles encontramos algunas especies del orden de los saurios como lo son las diversas especies de lagartijas.

Con respecto a organismos invertebrados encontramos representantes de la clase insecta, como son los grillos, cucarachas, mariposas, moscas, mosquitos, abejas, abispa y hormigas.

Existen también la cría de animales domésticos como guajolotes, ganado porcino y bovino.



## DETERMINACION DEL TIPO DE RELLENO

## 2.0.- ANTECEDENTES.

El terreno se encuentra ubicado en el Municipio de la Paz, Estado de México, en sus límites con la Delegación de Iztapalapa, D.F., y está comunicado con la Zona Urbana del Distrito Federal y del Estado de México a través de las carreteras libre y de cuota México-Puebla. Es una zona con clara tendencia para uso urbano, como lo demuestra el establecimiento continuo de nuevos asentamientos humanos, propiciado en gran parte por las facilidades de comunicación dadas por las vialidades antes mencionadas. Basándonos en las tendencias anteriores, es de preveer que el terreno del tiradero, una vez alcanzada su vida útil y quedar nivelado, estará en condiciones para integrarse al área urbana, sobre todo si se toma en cuenta además que el terreno es de propiedad privada. Desde el punto de vista económico, este es el uso más adecuado ya que las plusvalías del terreno en la Zona Metropolitana se incrementa cada vez más. Aún así, y a consecuencia de las condiciones ecológicas de la zona, se propone que parte del terreno rellenado sea dedicado a la creación de áreas verdes, que tanta falta hacen en la zona Oriente de la Ciudad de México.

## 2.1.- PLANEACION GENERAL.

Con base en el destino final que se dará al relleno se debe pensar que el sitio seleccionado para este debe ser tal, que puede ser mejorado en la operación del relleno mismo. Así se logra que con inversiones razonables, compartidas con el beneficio de disponer sanitariamente los desechos sólidos se logre un desarrollo total del área en cuestión.

No se debe pensar por algo que al tener la mejor elección del sitio para el relleno sanitario, se eliminará en la mayoría de los casos muchos problemas operacionales en el futuro. Esto sin duda redundará en la reducción de los costos de operación.

## 2.2.- SELECCIÓN DEL SITIO DEL RELLENO.

Una serie de parámetros serán decisivos en el diseño último del relleno. Dentro de estos parámetros tenemos el de selección del sitio del relleno. Este debe reunir ciertos factores, y además de los aspectos económicos, sociales y políticos, se deberán tomar en cuenta los planes locales de expansión de suelo. Así, cuando se tienen varios sitios para escoger, deben participar profesionales de diferentes campos y áreas, para la mejor elección del relleno. En esta decisión interviene también la opinión de la comunidad, la cual en realidad es tomada en cuenta muy pocas veces.

A continuación se enumera una lista de la serie de factores que deben considerarse en la evaluación de un sitio a utilizarse como relleno sanitario:

### a).- Localización y condiciones físicas. Incluye las siguientes:

- Area disponible para las operaciones.
- Restricciones de la zona.
- Distancia a las zonas de recolección.
- Accesibilidad a la zona.
- Propiedad adyacente a la zona.
- Uso actual del suelo en la zona.
- Disponibilidad de material de cubierta.
- Disponibilidad de servicios.
- Características geológicas del suelo.
- Presencia de agua superficial en la zona.
- Posibilidad de inundación de la zona.
- Ubicación del nivel de aguas freáticas.
- Proximidad de abastecimientos de agua potable.
- Dirección de los vientos dominantes.
- Distancia a la zona urbana.

### b).- Requerimientos para el uso del sitio.

- Planificación local del uso del suelo.
- Condiciones de desarrollo de la zona.
- Posibilidad de compra, renta o préstamo.

Uso final proyectado.

Costos de preparación del sitio.

Costos del relleno ya terminado.

Requerimientos para la preparación del sitio.

Requerimientos para el uso final del sitio.

c).- Trabajos de Ingeniería Civil.

Facilidad para realizar drenajes.

Facilidad para realizar caminos de acceso y construcción de la vialidad interior.

Facilidad para conectar servicios públicos.

Tratamiento de las aguas contaminadas.

Bombeo.

Construcción de oficinas y áreas de bombeo.

Todos los factores mencionados deben ser investigados de acuerdo a los sitios específicos que se están estudiando, ya que no habrá dos sitios que presenten las mismas características; de tal manera que cada caso requiere mayor o menor énfasis de estudio de los factores anteriormente citados.

En el caso del tiradero de Santa Catarina, en realidad no se hizo un estudio tan profundo en cuanto a si la localización del relleno sería la óptima, pero en base a que ya era un tiradero en forma, y que este contaba con muchos de los parámetros antes mencionados, se optó por convertir el tiradero en un relleno sanitario que reuniera la mayor cantidad de condiciones favorables posibles.

### 2.3.- INVESTIGACION DEL SITIO DEL RELLENO.

a).- Estudio geológico del sitio.

Assumiendo que el resultado del proceso de la selección del sitio es un sitio potencialmente bueno, un detallado estudio geohidrológico es necesario, en orden de verificar datos previos y proveer detallada información del proceso de diseño.

El primer requerimiento básico es un conocimiento más profundo de los suelos y la geología que el realizado en la selección del sitio. Un buen Geólogo (preferentemente con conocimientos de hidrología subterránea, debe ser contratado para: examinar el sitio, elaborar un programa de pozos de monitoreo y obtener la información detallada sobre las condiciones geológicas del lugar.

En muchos de los casos las autoridades o compañías privadas se tratan de ahorrar dinero en este punto al no realizar el estudio geohidrológico. Pero no hay mayor error que el no realizarlo, ya que con la información resultante del estudio se podrán conocer puntos importantes para el diseño y un aspecto de gran importancia como lo es el flujo de agua subterránea, el cual puede sufrir efectos de su pureza por el probable lixiviado que se pueda generar en el relleno y que pudiera contaminar agua susceptible de ser aprovechada como abastecimiento o que ya es usada como abastecimiento de agua potable, lo cual redundaría en un costo mayor que el que se pudiera ahorrar en esta fase de un estudio para relleno sanitario, al contaminar estos abastecimientos.

El estudio geohidrológico deberá de proporcionar como objetivos principales del mismo, la localización del nivel de aguas freáticas y un corte estratégico de los suelos, de tal manera que nos dé información acerca de la disponibilidad de tierra que tenemos para material de cubierta, así como sus características geológicas las cuales nos ayudarán a conocer el volumen disponible de material de cubierta, así como la línea de máxima excavación de la operación del relleno sanitario.

En algunas ocasiones las limitaciones económicas de los municipios impiden llevar a cabo un estudio geohidrológico completo realizado por alguna compañía especializada; en estos casos se deben realizar dos aspectos como mínimo: Primero llevar a cabo pozos a cielo abierto, hasta que se encuentre un material impermeable, en el caso del método de área (que se explicará más adelante) estos pozos no deberán ser mayores de 6 metros cuando las condiciones lo permitan y el mínimo será cuando se encuentre un estrato impermeable, de estos pozos podremos conocer la -

estratigrafía del suelo dándonos una idea bastante aproximada de las condiciones del sitio.

El número de pozos variaría según el área disponible, así como también su configuración.

El segundo es sin duda investigar en las cercanías, en las norias ó pozos profundos, o con las autoridades hidráulicas de la localidad, el nivel de aguas freáticas, de tal manera que se tenga una información lo más aproximada al sitio en cuestión, pero si existe alguna duda considerable, el estudio geohidrológico será necesario llevarlo a cabo, o cambiar de sitio para el relleno sanitario.

#### b).- Climatología.

Todo lo referente a la climatología viene incluido basicamente en el ciclo hidrológico, por lo que a continuación se discute. Además se agrega la influencia de la temperatura y el viento en la operación de un relleno sanitario.

#### c).- Ciclo Hidrológico.

Sin duda los procesos que componen el ciclo hidrológico juegan un papel muy importante en el diseño y la operación de un relleno sanitario; a continuación se describen estos procesos y su influencia en el diseño y operación de un relleno.

#### Precipitación.

Los cambios en la presión del aire y la temperatura asociados con los movimientos de masas de aire causan que se saturen con vapor de agua. Este vapor de agua luego será condensado alrededor con diminutas partículas sólidas que están en suspensión en el aire produciéndose luego su precipitación.

La precipitación tiene influencia en el diseño del relleno, ya que conociendo la precipitación del sitio seleccionado, esta será parte importante en el diseño de los drenajes, el cálculo de lixiviado que se generará potencialmente, el cálculo de agua de escurrimiento, finalmente

te ayuda al diseño de las áreas de trabajo de la operación. En lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvia, puede hacer - que el material de cubierta sea más difícil de esparcir y también difi-cultar su compactación. Otro problema es la dificultad en un momento dado que pueda ocasionar el tránsito de vehículos en los caminos de te-rracerla dentro del sitio.

### Evotranspiración.

El agua que es precipitada sobre la tierra, una gran cantidad es regre-sada a la atmósfera como vapor, a través de acción combinada de la eva-poración, la transpiración y la sublimación.

La evaporación es el proceso por el cual las moléculas de agua en la - superficie del agua o humedad del suelo adquieren suficiente energía a través de la radiación del sol para escapar del estado líquido al esta-do gaseoso.

Para llevarse a cabo la evaporación intervienen uno o más de los si-guientes factores:

- ° La temperatura, con una evaporación más activa cuanto mayor es la - temperatura del agua y del aire. En consecuencia disminuye la evapora-ción en función de la altitud del suelo.
- ° El viento, a causa de la renovación constante del vapor de agua que origina sobre la superficie evaporante.
- ° La presión atmosférica, que provoca un aumento de la evaporación - cuando esta presión tiende hacia un máximo.
- ° La naturaleza de la superficie de evaporación, ya que ésta es más fuerte sobre un suelo irregular en su superficie y a la vez saturada - de agua.

La sublimación difiere de la evaporación porque las moléculas de agua son convertidas desde su estado sólido (nieve o hielo) directamente a vapor, sin pasar por el estado líquido.

La transpiración es el proceso por el cual las plantas pierden agua -- hasta la atmósfera. En muchas regiones es imposible medir separadamente la evaporación de la transpiración, por lo que en la actualidad se le ha dado por llamarlos "evapotranspiración".

El proceso de la evapotranspiración interviene también en el cálculo del lixiviado y en los cálculos de evaporación de lixiviado cuando se trata éste.

Escurrimiento.

El escurrimiento es el agua de lluvia que no se infiltra o no se evapora, esta escurre sobre la superficie y alimenta las corrientes de agua. Esta fracción de agua de lluvia escurrida es la única que puede conocerse con cierto valor en una cuenca considerada.

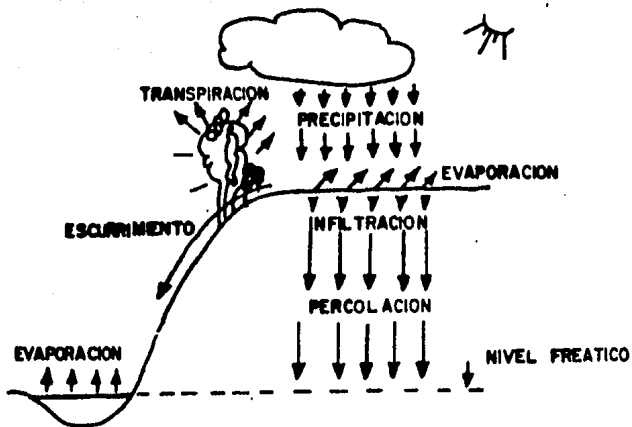
El agua de escurrimiento es una función de la intensidad de la precipitación, la permeabilidad de la superficie del suelo, de la duración de la precipitación, del tipo de vegetación, del área de la cuenca, de la distribución de la precipitación, de la profundidad del nivel de aguas freáticas, de la pendiente superficial.

Los factores que actúan sobre el escurrimiento son de naturaleza meteorológica, geológica y topográfica.

Los factores meteorológicos son: La intensidad y la duración de la lluvia, las condiciones de temperatura y la humedad del aire.

Los factores geológicos son: La permeabilidad y capacidad de retención de los suelos y las rocas tipo (calizas o rocas ígneas fisuradas) y la porosidad (arena, areniscas, aluviones de grano grueso, etc.).

Los factores topográficos son: La extensión de la superficie de la cuenca y su pendiente media. En las zonas áridas todos estos factores pueden contribuir a reducir a cero el coeficiente de escurrimiento.



EL CICLO HIDROLOGICO

FACULTAD DE INGENIERIA U.N. A.M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS



El agua de escurrimiento tiene gran efecto en el diseño y la operación del relleno sanitario, este factor es el de mayor consideración para el diseño de los drenajes exteriores e interiores del sitio, ya que al ser el mayor volumen de agua a controlar, y si no es controlado, causa bastantes problemas que puede llegar a dejar inoperable el sitio en la temporada de aguas. También relacionado al agua de escurrimiento es sin duda la potenciabilidad de generarse lixiviado en el relleno al entrar el agua en contacto con el estrato de desechos.

### Infiltración.

El agua de infiltración es aquella que no ha podido evaporarse ó escurrir, o sea que se introduce en el suelo.

Esta infiltración depende de varios factores, entre los cuales el del suelo es preponderante. Estos factores son:

- La naturaleza del suelo interviene en primer lugar, ya que sobre un terreno impermeable toda el agua de lluvia escurre, y a la inversa, el escurrimiento se vuelve nulo en los terrenos muy permeables.
- La influencia del clima sobre la infiltración es igualmente notable, ya que en las zonas áridas las lluvias fuertes y de corta duración no tienen tiempo de penetrar lo suficiente en el suelo para alimentar el manto freático, y son a menudo retomadas por la evaporación.
- La influencia de la vegetación es igualmente preponderante por su papel regulador de la infiltración y atenuadora de los efectos de la evaporación sobre el suelo y la erosión.

La capacidad de infiltración debe tomarse en cuenta en el diseño de un relleno sanitario, ya que al conocer la capacidad del suelo que nos va a servir como material de cubierta conoceremos el comportamiento del agua de lluvia, ya que el material de cubierta deberá de ser semi-impermeable para minimizar el agua de lluvia que se pueda infiltrar a los estratos de desechos.

### *Temperatura.*

*Las condiciones imperantes a través del año de trabajos en la operación de un relleno sanitario es punto fundamental en el diseño de las necesidades de construcción para los empleados y la maquinaria.*

*En lugares donde las temperaturas en tiempo de invierno bajan del punto de congelación, la operación de cubrir y remover material de cubierta se dificulta y retarda la operación reflejándose todo esto en la elevación de los costos de operación.*

### *Vientos*

*Los vientos son causa de problema en la operación, ya que arrastra los materiales susceptibles de ser llevados por él; por esta razón es parte importante de considerar tanto en el diseño como en la operación, ya que se necesitará diseñar las bardas móviles portátiles para controlar ese problema.*

*También debe considerarse la dirección de los vientos predominantes en el lugar, para evitar en un momento dado la posibilidad de olores desagradables, resultados de una falla en la operación pueden llegar a las zonas habitacionales.*

## **2.4.- METODOS DE RELLENO.**

*En la etapa del diseño de un relleno sanitario después de tener los datos preliminares del sitio elegido y las características de la zona, se puede optar por cualquiera de los métodos de diseño existentes.*

*El método seleccionado dependerá de las características naturales del suelo del sitio elegido y de la cantidad y características de los desechos a ser dispuestos. A continuación se describen los métodos utilizados para disponer desechos mediante un relleno sanitario.*

#### 2.4.1.- METODO DE TRINCHERA.

Este método es utilizado normalmente en los lugares donde el nivel de aguas freáticas no es tan alto, las pendientes del sitio son suaves y las características del suelo son tales, que pueden ser excavadas utilizando equipos normales de movimiento de tierra.

En este sistema la operación consiste en depositar los desechos en la base de una trinchera, donde son esparcidos y compactados en capas hasta formar una celda, para después ser cubierta con el material excavado de la trinchera esparciéndolo y compactándolo sobre la celda de desechos ya elaborada.

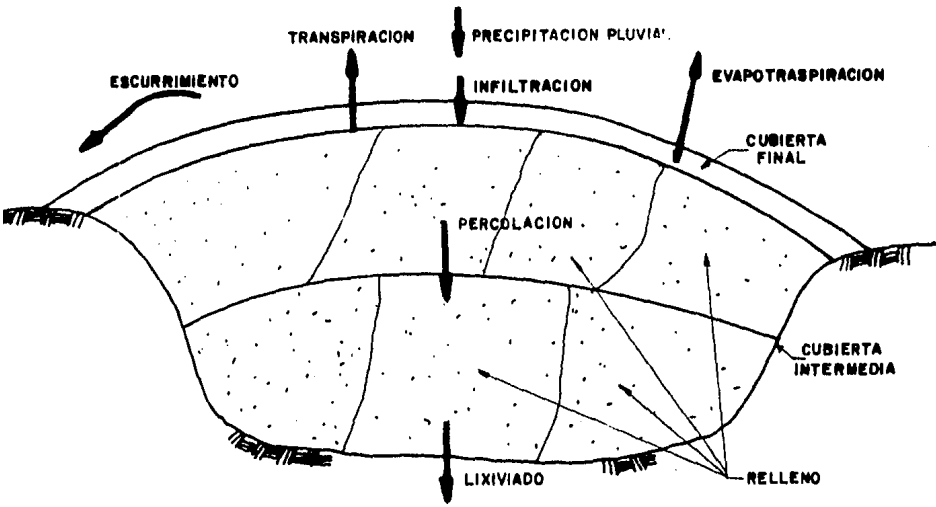
Los suelos que tengan características cohesivas, tales como sedimentos de arcilla, son recomendables para la construcción de trincheras debido a que las paredes de las mismas podrían ser casi verticales y así las trincheras pueden ser construidas en espacios reducidos y pueden estar muy cerca una de otra.

Las trincheras deben estar alineadas perpendicularmente al viento dominante, de tal manera que reduzcan las cantidades de desechos susceptibles de ser arrastrados por éste, y un extremo de la trinchera debe estar ligeramente inclinado para favorecer el drenaje del lixiviado generado.

Aclarando el término "Lixiviado", puede decirse que cuando la capacidad de absorción al suelo se satura, una percolación adicional tiene el efecto de desplazar violentamente la misma cantidad de humedad del relleno. La humedad desplazada de esta manera se denomina lixiviado.

Definición de Lixiviado.- Es el líquido que se ha percolado a través del desecho sólido y que se lleva consigo materiales disueltos o en suspensión en la mayoría de los rellenos sanitarios.

El origen de este líquido es la infiltración de agua dentro del relleno, bien sea la procedente de la precipitación pluvial o la del manto freático de la zona.



FACULTAD DE INGENIERIA	
U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catalina	TE SIS

LIXIVIADO = L      L = PERCOLACION - (EVAPORACION + TRANSPIRACION + ESCURRIMIENTO)

La constitución del lixiviado se ha tratado de determinar mediante pruebas y experimentos, así como recolecciones "In Situ" en la base del relleno, y los resultados más comunes son los siguientes:

Constituyentes encontrados en alto porcentaje.

Hierro (ferrico y ferroso)

Cloruros

Nitrógeno orgánico

Fósforo (fosfatos)

Sulfatos

Trazas de metales pesados

Sólidos en suspensión

Demanda bioquímica de Oxígeno [DBO]

Demanda química de Oxígeno [DQO]

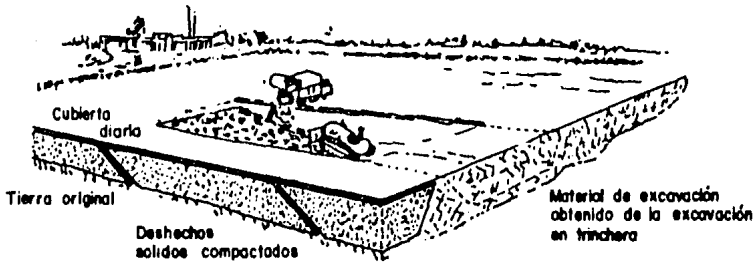
Carbono orgánico total

En un buen diseño, la consideración de la generación potencial de este líquido debe contemplarse, así como la forma en que se pueda canalizar una descarga de este tipo.

En el tema de diseño, se darán soluciones al problema del lixiviado, -- aunque cabe citar el principal método de control de lixiviado es limitar la infiltración por medio de drenajes apropiados y colectores.

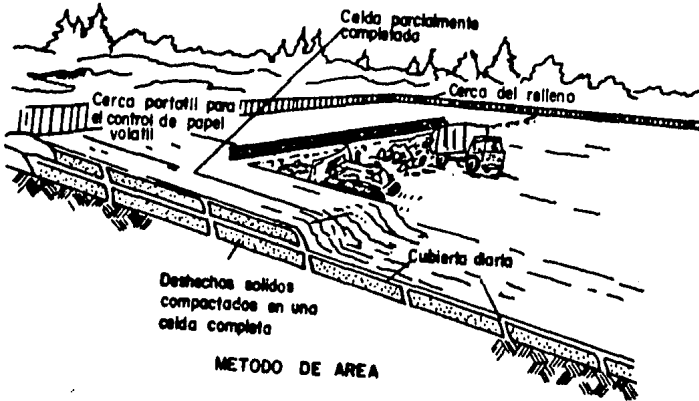
La trinchera debe ser tan profunda como lo permitan las condiciones del terreno, y al menos deberá ser dos veces más ancha que la anchura máxima del equipo utilizado. El equipo mínimo necesario para la operación del relleno por trinchera depende de la magnitud de la operación y del procedimiento usado, dependiendo éste de las condiciones específicas de cada sitio.

En el proceso de excavación en este método de relleno sanitario las retroexcavadoras y las dragallneas son más utilizadas que los tractores de orugas; sin embargo, cuando se trata de la operación de esparcir, compactar y cubrir, los bulldozer montados en orugas se usan para tal fin, ade



**METODO DE TRINCHERA**

El camión recolector vacía su carga en la trinchera, donde un bulldozer la extiende y compacta. Al final del día, se excava material que servirá como material de cubierta en la siguiente celda.



**METODO DE AREA**

más de los tractores especiales para relleno sanitario los cuales son -  
excelentes para esparcir, compactar y cubrir los desechos sólidos.

#### 2.4.2.- METODO DE AREA.

Este método se puede usar prácticamente en cualquier área de terreno dis-  
ponible, de tal manera que se pueda llevar a cabo en canteras abandona -  
das, cañadas, serranías, terrenos planos, depresiones o ciénegas; un pun-  
to importante y que no se debe menospreciar, es que la distancia de trans-  
porte del material de cubierta no sea muy grande, de tal forma que en la  
operación se economice lo más posible.

El procedimiento es similar al utilizado en el método de zanja el cual -  
consiste en depositar los desechos en la base del relleno sanitario, lue-  
go se esparcen y se compactan de manera que se forme una celda para des-  
pués cubrirlos con tierra; de esta forma se inicia la construcción de -  
celdas en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en -  
el otro extremo, siguiendo un plano de operación predeterminado.

Para que cumpla con la condición de ser relleno sanitario, al finalizar  
el trabajo diario se deben cubrir las celdas terminadas y así evitar mo-  
lestias, y eliminar el problema que pueda causar la expansión de los de-  
sechos ya compactados.

En ocasiones frecuentes, el paso de los vehículos de recolección sobre -  
el relleno sanitario cuando estos van a depositar los desechos, ayudan -  
en gran parte a la consolidación del terreno.

Los equipos comúnmente usados para la operación del relleno sanitario -  
por el método de área, son los tractores sobre orugas para el extendido  
y compactado de los desechos, la moto-escrepa para transportar y deposi-  
tar material de cubierta sobre las celdas terminadas y las motonivelado-  
ras para darle la pendiente final al sitio donde se lleva a cabo el re-  
lleno sanitario.

#### 2.4.3.- METODO COMBINADO.

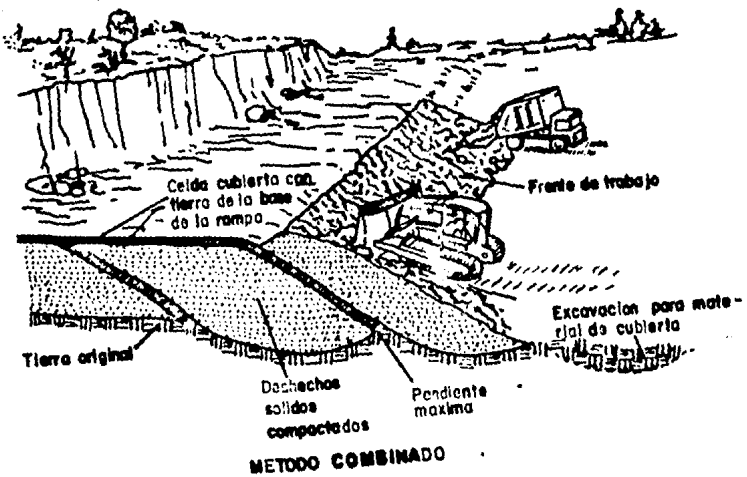
En algunos casos especiales cuando las condiciones geohidrológicas - del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son propicias, se puede llevar a cabo el relleno usando una combinación de los dos - métodos descritos anteriormente.

Existen combinaciones las cuales son muy usadas cuando las condiciones locales lo permiten. Uno es de iniciar por el método de zanja y posteriormente cuando el área ha sido completada, se continúa con el método de área en la parte superior. El otro es conocido como de rampa, y con siste en iniciar con un método de área y excavando el material para cu bierta en donde termina la celda ya construída.

Este método combinado es considerado más eficiente que los dos métodos anteriores, con la salvedad de que se necesitan condiciones particula- res del sitio donde se va a llevar a cabo.

Usando este método se ahorra el transporte de material de cubierta y - una parte de los desechos son depositados debajo de la superficie origi nal, la cual aumenta la vida útil del sitio.





#### 2.4.4.- OTROS METODOS DE RELLENO.

##### Método por Depresión.

En lugares abiertos donde existan depresiones naturales o artificiales, es posible el usar estas, para efectuar operaciones efectivas de llenado y compactación. Los cañones, cañadas, barrancas, canteras y fosos han sido usados con éxito para tal efecto mediante este método; las técnicas para colocar y compactar los desechos sólidos para el relleno de depresiones, varían de acuerdo con la geometría del sitio, las características del material de recubrimiento, la hidrología y geología del sitio y la facilidad de acceso al mismo.

Si el fondo de un cañón es razonablemente plano, el primer relleno del sitio puede llevarse a cabo usando el método de trinchera, previamente descrito, una vez que ha sido completado el relleno en el área plana, se inicia el relleno en la cabecera del cañón terminando en la boca de este. Esta práctica prevendrá la acumulación de agua en la parte posterior del relleno. Los desechos se depositarán sobre el lecho del cañón y desde ahí se empujan contra la cara del cañón hacia arriba para formar una pendiente de 2:1, de esta manera se puede lograr un alto grado de compactación. Se logran así, densidades de compactación hasta de 1 200 Lbs/yd<sup>3</sup>, y densidades aún más altas en las porciones bajas del relleno a medida que aumenta la altura del llenado.

En fosos y canteras que han sido destinados para un relleno sanitario se presenta el problema de como canalizar el drenaje superficial, lo cual suele ser un factor crítico para poder efectuar con éxito la realización del proyecto en dichos sitios. Del mismo modo que en los cañones, las canteras y fosos se rellenan en forma escalonada, y el método de operación es el mismo en esencia. Un factor clave para el éxito en el uso de fosos o canteras, es la disponibilidad de material de relleno adecuado para cubrir cada uno de los niveles conforme se van completando y para proporcionar una última capa en toda la superficie de relleno, cuando éste ha alcanzado su altura final. Debido al asentamiento del terreno resulta conveniente el rellenar las fosas y canteras, etc., a un nivel ligeramente más alto que el del terreno circundante.

## Método por Desechos Sólidos Triturados.

Otro método de relleno que ha sido usado en varios lugares de Estados Unidos, involucra la operación de triturado de los desechos sólidos antes de ser colocados en el lugar del relleno. El estudio más documentado de dichos métodos de operación se hizo en Madison, Wisconsin. De los resultados obtenidos de 1976 a la fecha, se deduce que no es necesario cubrir con tierra el lugar de relleno diariamente. En un relleno donde se use el método por depresión [descrito anteriormente], la capa inferior puede dejarse expuesta hasta que se coloque la siguiente capa. Cuando se ha llegado a la altura final del relleno debe ponerse una capa de tierra cubriendo para preparar el sitio para otros usos.

En el método de relleno por desechos sólidos triturados, existen las siguientes ventajas: ni los olores, ni la dispersión de desechos por el viento representan un problema; tampoco la proliferación de moscas, aún y cuando estas pueden vivir donde hay desechos triturados; las ratas no pueden sobrevivir entre desechos triturados que contengan menos de un 20% de desechos orgánicos. Otra ventaja es que la densidad final lograda por este método es hasta de 35 % mayor que la lograda con desechos sólidos sin procesar.

La principal ventaja de este método es importante en aquellas áreas donde el material de cubierta es escaso.

El método presenta dos desventajas que deben considerarse antes de su adopción.

- 1.- Costo extra del procesamiento e instalaciones necesarias.
- 2.- Dejar el relleno descubierto implica acelerar el proceso de lixiviado, lo que puede resultar un factor limitante para su implementación.

## 2.5.- METODO DE RELLENO SANITARIO ESCOGIDO EN SANTA CATARINA.

Por las condiciones topográficas que presenta el terreno donde se ubica el tiradero, el método de relleno seleccionado es una combinación de los dos métodos usados tradicionalmente en rellenos de trinchera y área.

De acuerdo a la planeación lógica de actividades, inicialmente se realizarán rellenos en rampa para formar caminos, entre los cuales una vez formados quedarán celdas que posteriormente serán rellenadas siguiendo el método de área.

Conforme a la planeación mencionada y a los volúmenes de desechos que se mueven en el presente y se moverán en el futuro dentro del relleno, se propondrá la forma de ataque del relleno en orden cronológico, para dar un buen margen de seguridad a resultados higiénicos satisfactorios:

- 1.- Formación de caminos por el método de rampa.
- 2.- Durante la construcción de los caminos. Formación de rellenos en las partes más bajas del terreno natural, con los volúmenes de desechos sobrantes, que no pueden ser absorbidos por los rellenos de los caminos.
- 3.- Al término de la construcción de los caminos. Formación de los rellenos por el método de área en las celdas dejadas entre los caminos.

A continuación se enumerarán el orden de operaciones que se deberán llevar a cabo para la formación del relleno.

Estas serán analizadas con detalle en el capítulo de construcción del relleno.

Operaciones para la formación del relleno.

- 1.- Despalme, limpia y compactación del terreno natural.
- 2.- Impermeabilización del terreno.
- 3.- Descarga de la basura.

- 4.- Pepena de la basura.
- 5.- Extensión y compactación de la basura.
- 6.- Superficie y espesor de la capa diaria de basura.
- 7.- Recubrimiento de la capa diaria de basura.
- 8.- Formación del relleno hasta la altura de proyecto.

Concluyendo los conceptos considerados anteriormente, podemos decir que el terreno del tiradero se encuentra en medio de una serranía, y que - las condiciones geohidrológicas mencionadas en el primer capítulo, permiten adoptar el sistema combinado, el cual es el óptimo desde el pun-to de vista técnico y económico.

### 3. - DISEÑO

#### 3.0. - ANTECEDENTES.

Una vez que se ha definido el lugar idóneo para la construcción del relleno sanitario y se han hecho las investigaciones correspondientes, se procede al diseño del mismo.

La primera y más importante pregunta en el proceso del diseño, es la - determinación de la elevación promedio de la base del relleno sanitario. Para establecer esta elevación es necesario conocer la separación existente entre la base del relleno y el nivel freático. La determinación de esta separación no es tarea fácil, de hecho existen considerables - desacuerdos al respecto en la forma de determinación. En algunos casos arbitrariamente se especifican ciertas profundidades de separación, sin embargo, sin un análisis específico del subsuelo no hay una base científica para determinar dicho parámetro. Muchos textos ignoran por completo el asunto y sólo se ocupan del uso del suelo como material de cuarta.

Es muy importante para el diseño, el conocimiento del proceso de formación, circulación, y activación del lixiviado según sus etapas, que son:

-Filtración

-Absorción

-Adsorción

-Precipitación Química

-Acción Bacteriológica

A continuación se definen cada uno de estos conceptos, en relación con el lixiviado que se forma en los rellenos sanitarios.

Filtración.- Se define como la retención física por el suelo de sólidos en suspensión en el lixiviado. La faja de suelo existente entre - la base del relleno y el nivel freático, actúa simplemente como un filtro de papel. El suelo filtra partículas sólidas sobre ciertas dimensiones determinadas por el tamaño de los poros en el suelo. Además, con el incremento de retención de partículas sólidas en el suelo, otras partículas más pequeñas van a ir siendo filtradas, ya que el tamaño del

poro se irá reduciendo cada vez más. Las partículas sólidas retenidas de esta forma, las cuales son primordialmente orgánicas en naturaleza, serán descompuestas por la acción de las bacterias propias del suelo; así, el sistema se irá limpiando por sí solo. Sin embargo, el sistema de filtración es solo efectivo para "limpiar" o filtrar partículas sólidas en suspensión en el lixiviado.

Como resultado de la acción biológica en el mismo relleno, el lixiviado contiene material orgánico e inorgánico en solución, que pasa rápidamente a través del sistema de filtrado. Afortunadamente, la mayoría de los suelos tienen la capacidad de absorber líquidos y retenerlos a manera de esponja por un período de tiempo razonable.

Absorción. - Es la habilidad del suelo para retener otros materiales principalmente líquidos y gases en todas las partículas del suelo. Por sí sola la absorción no es un mecanismo de intercambio de los elementos del lixiviado, pero el fenómeno sirve para ayudar a retener la humedad el tiempo suficiente para que sucedan otros mecanismos de ese intercambio. Dichos mecanismos pueden depender de la presencia de bacterias propias del suelo o pueden depender de la presencia de sustancias químicas en las partículas de suelo que reaccionarán con el lixiviado y producirán sustancias químicas más fáciles de descomponer que las que se tenían antes de la reacción química.

Adsorción. - A menudo, se confunde este último término con absorción. En realidad la adsorción es el mecanismo mediante el cual las moléculas son retenidas sobre la superficie de una sustancia. Este fenómeno se presenta entre líquidos, gases y sólidos, pero sólo se tratará lo que sucede con el lixiviado líquido que pasa a través de partículas de suelo sólido.

La adsorción se efectúa cuando una molécula cargada (llamada ión), contenida en el lixiviado, pasa a través de una partícula de suelo, la cual está opuestamente cargada, por ejemplo las arcillas y los materiales or

gánicos poseen una gran cantidad de campos que tienen cargas opuestas debido a sus estructuras moleculares. Las moléculas cargadas positivamente se llaman cationes, mientras que las cargadas negativamente reciben el nombre de aniones. En las moléculas de suelo se pueden encontrar campos cargados tanto negativamente como positivamente.

La carga que predomina en los minerales arcillosos es la negativa, esto significa que cualquier campo negativo "libre", será rellenado por los iones positivamente cargados, contenidos en el lixiviado, ya que las cargas de diferente signo se atraerán, mientras que las del mismo signo se repelen. Lo que sucede muy a menudo en la realidad, es que estos campos se rellenan con la percolación natural de la humedad a través del suelo, sin embargo, la magnitud de la carga de estos "contaminantes naturales" normalmente es muy baja y las sustancias químicas disueltas en el lixiviado van a tener una magnitud de carga iónica mayor, por tanto serán más fácilmente absorbidas que aquellas con una carga iónica menor.

Se puede medir escalarmente la cantidad de partículas cargadas positivamente (cationes) que pueden ser absorbidas por los minerales arcillosos, o en general suelos con moléculas cargadas negativamente. A esa medida de carga se le llama "Capacidad de intercambio catiónico". La medida común es: miliequivalente por 100 gramos. Esto significa el número de gramos (equivalente al peso molecular), de partículas cargadas negativamente en 100 gramos de suelo seco.

La habilidad para retener partículas cargadas en las arcillas en particular es muy importante, no solo en el mecanismo de renovación del lixiviado, sino también en la fertilidad de los suelos en general.

En el proceso de intercambio de partículas del lixiviado, la adsorción juega papel importante porque un suelo con buenas características de intercambio catiónico tiene el potencial para retener la mayoría de los contaminantes más comunes en un lixiviado típico.

Es importante hacer notar que muchos de los iones sustraídos del lixiviado, sólo serán "retenidos" por un período de tiempo antes de ser reempla-



zados por otros. Empero, durante el período de retención, el intercambio de sustancias tendrá oportunidad de ocurrir. También debemos recalcar que no por el hecho de que un suelo tenga un alto índice de intercambio catiónico será el idóneo o perfecto para ser usado en el intercambio de partículas del lixiviado. Esto se dice debido a que si el suelo presenta un alto grado de intercambio catiónico, se debe a que el suelo tiene un alto grado de arcilla en su configuración molecular. Si esto sucede, el suelo no dejará pasar adecuadamente el flujo de humedad, debido a la falta de permeabilidad. Así pues, el movimiento del lixiviado tiende a esparcirse, y no a filtrarse verticalmente. Esto redundará en la capacidad de intercambio de partículas en el lixiviado del suelo profundo, - la cual se verá prácticamente anulada, debido a la trayectoria horizontal del lixiviado.

**Precipitación Química.**- Como resultado de las reacciones bacteriológicas o químicas que tienen lugar durante el curso de percolación a través del suelo, algunos constituyentes del lixiviado, inicialmente tomados en solución, pueden ser precipitados en una forma insoluble. La precipitación, es el proceso que consiste en separar partículas sólidas de un líquido, aparentemente limpio, por medio de cambios físicos o químicos. El sedimento sólido resultante se denomina precipitado. La causa de la separación, se llama precipitante, y el líquido que permanece sobre el precipitado se llama líquido supernatante. En dichos procesos, - el precipitado normalmente se desplaza hacia el fondo de la superficie que lo contiene.

Las sales insolubles son entonces fácilmente filtradas a través de las capas del suelo. El factor principal de las condiciones de precipitación es el pH. En general, mientras más alto es el pH en el complejo - suelo-humedad, mayor será la tendencia a que la precipitación tenga lugar.

**Acción Bacteriológica.**- La actividad bacteriológica que empezó en el relleno, no se detendrá automáticamente si existe movimiento de humedad -

hacia la interface del suelo. Como el medio es propicio para el crecimiento, las bacterias continuaran desarrollándose en la interface del suelo y se adelantará el desintegración de sustancias complejas. Los mecanismos de absorción, adsorción y filtración, ayudarán a retener material nutriente, haciendo posible el adelanto de la desintegración de sustancias por medio de la acción bacteriológica.

Si queremos estar capacitados para diseñar la interface del suelo necesitamos identificar las características del suelo que sean las más favorables para el desarrollo de los mecanismos mencionados anteriormente.

Entendiendo la compleja y variada naturaleza de cada uno de los mecanismos de intercambio de sustancias y transformación del lixiviado, es extremadamente difícil establecer un sólo parámetro que pueda ser usado como un factor clave para el diseño. Sin embargo, podemos identificar el mecanismo más importante de intercambio de sustancias y transformación del lixiviado y diseñar para maximizar su contribución en las características totales del suelo.

En investigaciones recientes, se ha dicho que el mecanismo de intercambio de sustancias más importante es, probablemente, la adsorción. Para ser realistas, los constituyentes del relleno sanitario, serán los que marquen la pauta en cual será el mecanismo más importante de intercambio de sustancias. Así pues, los estudios mencionados anteriormente, basados en un relleno sanitario típico, en donde básicamente tenemos desechos sólidos domésticos, en los cuales los contenidos de hierro y otras sales metálicas, serán manejadas a manera de evitar que formen soluciones antes que se efectúe cualquier movimiento de humedad hacia el suelo. Esto apoya la tesis de que la adsorción fuese el más importante mecanismo en el intercambio de sustancias del lixiviado.

La importancia del pH.- Hablando estrictamente, se dice que el pH es simplemente un método para referirnos a la cantidad de iones libres de hidrógeno (H<sup>+</sup>), en una solución. Por con veniencia, ya que las cantidades que se manejan en un litro de solución son muy pequeñas, el pH es el logaritmo del recí proco de la concentración idónea de hidrógeno. Entonces se tiene  $pH = \log \frac{1}{H^+}$

El pH se mide en una escala del 0 al 14. Cuando el pH es me nor que 7, se dice que es un sistema ácido, mientras que, - cuando es mayor que 7, es un sistema alcalino.

### 3.1.- RESULTADOS DEL ESTUDIO GEOHIDROLOGICO Y GEOTECNICO - REALIZADOS EN SANTA CATARINA.

El objetivo primordial de los estudios realizados, cuyos resultados se presentan sintetizadamente a continuación, es el de analizar y evaluar las propiedades físico-mecánicas del subsuelo del lugar y algunos materiales de préstamo para determinar las condiciones geotécnicas e hidráulicas idóneas de los rellenos sanitarios que constituirán el proyecto en Santa Catarina, Edo. de México.

Los estudios correspondientes fueron encomendados a una compañía particular de Ingeniería, dedicados a estudios de mecánica de suelos y geotécnicos. Las características primordiales que se les pidió determinar fueron las siguientes:

- Potencial de infiltración de la cubierta.
- Potencial de transmisión del subsuelo.
- Capacidad de absorción del subsuelo.

Y adicionalmente los parámetros:

- Potencial para viajar a distancia.
- Velocidad del agua subterránea.
- Valor de la interface.

Este inciso se tratará en dos partes: a) estudio geohidrológico y b) estudio geotécnico.

#### 3.1.1.- ESTUDIO GEOHIDROLOGICO

##### 3.1.1.0.- POTENCIAL DE INFILTRACION DE LA CUBIERTA.

Lo que con esta parte del estudio se intenta conocer, es la capacidad de absorción y de retención de las aguas pluviales por los materiales que constituirán la cubierta de los rellenos sanitarios y en consecuencia poder por diferencias, eva

luar el posible volúmen de lixiviado. Por lo tanto, es necesario determinar la porosidad de dichos materiales al grado de compactación especificado (80% Proctor).

### 3.1.1.1.- METODO DE ENSAYE.

Se preparó una mezcla 70-30% en volúmen de suelos provenientes de la ladera (friccionantes), y del socavón (cohesivos) respectivamente. Una vez homogeneizada la mezcla mediante una secuencia de revolturas con pala y cuchara se obtuvo un espécimen de menor volúmen por el método de cuarteo alternado. La muestra se compactó bajo humedad óptima, hasta alcanzar el 80% Proctor.-S.A.H.O.P. y sin extraerse el molde se puso a secar en un horno, hasta dejar el suelo con un contenido remanente de agua. Una vez parcialmente secada, se pesó la muestra u fué saturada en kerosena, pesándola nuevamente. La muestra saturada, se sumergió en kerosena y se determinó el peso del líquido desalojado. La porosidad expresada decimalmente se obtuvo de dividir aritméticamente el peso del líquido necesario para saturar la muestra entre el peso del líquido desalojado.

#### Resultados.

La porosidad de los materiales a emplearse en la cubierta, expresada en porciento de volúmenes, es del 37.2% aproximadamente. Al repetirse la prueba con un grado de compactación del 85% Proctor la porosidad encontrada resultó ser del 35.8%. Con estos valores, en base a datos de regresión estadística, partiendo del diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad se determinó que el correspondiente coeficiente de permeabilidad es de  $K=2.3 \times 10^{-4}$  cm/seg.

### 1.1.2.- POTENCIAL DE TRANSMISION DEL SUBSUELO.

El objetivo de esta prueba es evaluar las propiedades físico-mecánicas del terreno natural, para repeler, retener y -

transminar el lixiviado del relleno sanitario. El repeler el escurrimiento del lixiviado, es función del grado de permeabilidad del subsuelo sin embargo, influyen otros factores tales como: accidentes geológicos de la superficie (intrusiones, depresiones, fallas tectónicas, etc.); topografía, condiciones de drenaje (acequias, arroyos, etc.), y fisuramiento por desecado natural o inducido. La capacidad de retención del lixiviado es directamente proporcional a la relación de vacíos del suelo, a su porosidad y a su grado de intercambio catiónico. Asimismo, la propiedad de transminación es función también del grado de fisuramiento, grado de saturación natural, tenacidad, porosidad y del mencionado grado de intercambio catiónico.

### 3.1.1.3.- PERMEABILIDAD.

Las muestras cúbicas inalteradas obtenidas en la superficie del terreno natural fueron sometidas a dos ensayos de permeabilidad con carga variable. El haber optado por un permeámetro de carga variable es debido a la baja permeabilidad natural del suelo y a que las dimensiones del aparato pueden ajustarse a grandes lapsos de carga hidrostática y de tiempo. La carga hidrostática máxima a la que se sometió el suelo fue la equivalente a una columna de agua de 30m. El valor promedio del coeficiente de permeabilidad vertical así encontrado fue de:  $K=5.3 \times 10^{-6}$  cm/seg. Esto significa que el terreno natural es adecuado para construir en él rellenos sanitarios. Sin embargo, como se indicó anteriormente, influyen en la permeabilidad otros factores y en este caso específico, el terreno natural es altamente susceptible a generar agrietamientos importantes en tiempo de estiaje. Esto hace necesario que además de proveer al suelo de buenas condiciones de drenaje superficial sea indispensable aplicar alguna capa de protección que reduzca la sensibilidad de contracción volumétrica ante pérdida de humedad y aumente al mismo tiempo la viscosidad y elasticidad del terreno natural.

#### 3.1.1.4.- ABSORCIÓN.

Para determinar esta cualidad del suelo se siguió el método de ensaye indicado en incisos anteriores con la variante de que en este caso se tomó una muestra inalterada de suelo. El porcentaje de absorción del terreno, evaluada a partir de la porosidad natural del mismo, resultó ser 41.4%. Es decir, el suelo puede absorber hasta un 41.4% de agua -- con respecto a su volumen total. Pero como esta determinación parte de haber secado el suelo y en condiciones naturales por ascenso capilar, en condiciones normales de trabajo del relleno sanitario esta situación es bastante improbable de presentarse por lo que este porcentaje puede resultar tanto elevado y se estima que para fines prácticos no se cometería un gran error si se considera un valor del 30.0%.

#### 3.1.1.5.- ADSORCIÓN.

La adsorción es función de la capacidad del suelo al intercambio catiónico de los numerales de arcilla. Como el terreno en sus capas más someras (arriba del N.A.F.) está constituido por suelos cohesivos-friccionantes y la fracción cohesiva la constituyen arcillas bentoníticas, su mineral elemental es montmorilonítico; por lo tanto, según investigadores, este tipo de arcillas es el que puede generar mayor intercambio catiónico, y el cual alcanza valores comprendidos entre 70 y 100 miliequivalentes por 100 gramos. Es decir - que el terreno natural tiene un alto potencial de retención de las partículas sólidas presentes en el lixiviado.

#### 3.1.1.6.- FILTRACION.

La capacidad filtrante del subsuelo, depende primordialmente del tipo, tamaño y forma de las partículas sólidas que lo componen, asimismo influyen preponderantemente su porosidad y grado de saturación. En este estudio, no se efectuó-

prueba alguna de filtración, ya que para que esta prueba resulte efectiva y representativa, tendría que realizarse empleando como fluido drenante una muestra representativa de lixiviado. No obstante, de acuerdo a datos empíricos basados en el coeficiente de uniformidad y diámetro medio de las partículas de la fracción friccional, este tipo de suelos puede retener partículas con un diámetro mínimo comprendido entre 0.001 a 0.002 m.m., además con el paso del tiempo y debido a la alta adsorción generada, estos materiales pueden incrementar notablemente su capacidad filtrante y, por lo tanto, no representan un grave riesgo de provocar contaminación importante en el manto freático.

#### Generalidades.

Es importante hacer notar que en algunos de los ensayos no existe una especificación oficial del procedimiento de laboratorio siendo necesario, en esos casos, haber ideado la metodología y condiciones de prueba. Asimismo, no se presentan resultados sobre los mencionados parámetros de aguas subterráneas, por las siguientes razones:

#### 3.1.1.7.- POTENCIAL PARA VIAJAR A DISTANCIA.

Dentro de esta prueba se trata de determinar la posible zona de influencia de materiales contaminantes del agua freática, es decir, evaluar las condiciones físicas de los estratos más superficiales, para determinar el radio de recorrido horizontal del lixiviado, hasta que por filtración y reacciones químicas este deje de ser un potencial contaminador. - - Esta evaluación tendrá necesariamente que hacerse en forma empírica y de acuerdo a las experiencias que se obtendrán realmente durante la construcción de los rellenos sanitarios ya que es muy difícil reproducir exactamente en un modelo - las lentes de materiales permeables, fisuras, intrusiones, - y en general, todos los factores que intervienen para configurar la permeabilidad horizontal del subsuelo. No obstante



ante tal desconocimiento inicial se recomienda interceptar - el flujo horizontal por medio de drenes ciegos perimetrales de grava y arena para captar y desalojar el lixiviado.

### 3.1.1.8.- VELOCIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA.

Este parámetro es muy variable de un lugar a otro dentro de una misma zona del Valle de México. En especial, esta variabilidad es más notable en las cercanías o fronteras con algunas formaciones montañosas. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, después de costosos y complicados estudios, ha obtenido las velocidades en varias regiones y tipos de suelos del territorio nacional. Sin embargo, al consultar con algunos técnicos de dicha dependencia, se informó que cercana a la zona del futuro relleno no se han efectuado este tipo de determinaciones. No obstante, en base a datos de regresión estadística compilados por Marsal y Nazari,\* se puede afirmar que el coeficiente promedio de permeabilidad horizontal del subsuelo en la formación superficial de esta zona; varía entre 10-5 y 10-7 cm/seg., valor muy bajo, por lo que para fines prácticos, la velocidad horizontal del agua subterránea es bastante baja pero puede aumentar en las cercanías de abatimientos piezométricos.

Valor de la Interfase.

Esto significa la determinación de las características y espesor del colchón de suelo que existirá entre la base del relleno sanitario y el nivel de aguas freáticas. En el presente estudio no se ha calculado este valor, ya que se desconocen las características físico-químicas del lixiviado que se producirá, pero al evaluarse en los estudios los valores índice de absorción, adsorción, capacidad filtrante y permeabilidad; conociéndose los datos del lixiviado, es fácil el cálculo de la interfase.

\*Referencia No. 1

### 3.1.1.9.- IMPERMEABILIZACION DEL TERRENO NATURAL.

Se expuso con anterioridad que como característica general, el terreno natural es adecuado para construir en él rellenos sanitarios. Este criterio se basa en que tiene una relativa baja permeabilidad, una capacidad alta de absorción y de filtración y, también un alto potencial de intercambio catiónico, aunado a una elevada adsorción. Además, si antes de construir dichos rellenos se le da a la superficie de la rasante una adecuada pendiente (2 al 3%), y se construye un sistema de captación y desalojo del escurrimiento pluvial, se reunirán las condiciones idóneas para proteger de contaminación el manto de aguas freáticas. Sin embargo, también se mencionó que ante la pérdida de humedad el suelo tiende a fisurarse o agrietarse, y que en la región hay algunas grietas tectónicas producidas por el corrimiento de los depósitos lacustres en las fronteras con los testigos volcánicos. Estas discontinuidades geológicas pueden convertirse en vías de introducción del lixiviado al agua freática. Por lo tanto se recomienda aplicar en toda la superficie, antes del tendido de las primeras celdillas, una capa de bentonita sódica que actúe como sello e incremente las propiedades filtrantes e impermeables del terreno natural. Con el objeto de determinar el espesor de aplicación de la capa de bentonita, se realizaron varios ensayos variando el espesor de dicho material aplicado sobre una piedra porosa y determinando la permeabilidad resultante para carga hidrostática, también variable (1 a 3m). Se empleó para tal efecto arcilla comercial de la marca Lod-Bent producida por la compañía Arcillas Industriales de Durango. Como resultado de estos ensayos se encontró que es suficiente una película de 4mm de espesor para alcanzar una permeabilidad inicial  $K=1.0 \times 10^{-8}$  cm/seg., y una impermeabilidad total después de 48 horas de aplicada la membrana. Esto es debido a que la bentonita se incrusta en los poros de la piedra evitando totalmente el paso del agua. Fue necesario aplicar una presión equivalente a una columna hidrostática de 10m. para restablecer el flujo de agua.

En base a este experimento se recomienda aplicar entre la rasante y la primera celdilla del relleno, un riego de lodos bentoníticos con las siguientes características:

Viscosidad Plástica :	30 centipoises
Viscosidad Marsh :	100 segundos
Agua Libre :	Inferior a 20cm <sup>3</sup>
pH :	8

Antes de elaborar el lodo bentonítico en grandes volúmenes es aconsejable efectuar ensayos de laboratorio a la bentonita y agua a emplear para definir su proporción de mezclado y en su caso, utilizar aditivos para alcanzar las propiedades antes especificadas. Asimismo, para lograr obtener el espesor mínimo de la membrana bentonítica (4mm), será necesario hacer un riego de prueba a la abertura de las espreas del equipo.

### 3.1.2.- ESTUDIO GEOTECNICO

#### 3.1.2.1.-PROSPECCION Y MUESTREO.

Los trabajos de exploración y de prospección geotécnicas del subsuelo del lugar, en sus capas más someras, consistieron en el muestreo a partir de muestras cúbicas inalteradas obtenidas del fondo y paredes de los socavones generados por la explotación de los estratos más superficiales como materiales de préstamo.

De esta zona se extrajeron dos muestras cúbicas inalteradas y tres muestras alteradas. Asimismo, el muestreo se completó tomando especímenes alterados en los rellenos de cráter y ladera del Cerro de la Caldera.

### 3.1.2.2.- ANALISIS DE LABORATORIO.

Las muestras de suelo obtenidas en los socavones y el cono volcánico fueron sometidas a los siguientes ensayos de laboratorio: clasificación, contenido natural de agua (w), densidad de sólidos (Ss), peso volumétrico natural (m), peso volumétrico seco (d), granulometrías por mallas (G=% gravas, S=% arenas y F=% de finos), límites de Atterberg - (LL=límite líquido y LP=límite plástico), Índice de plasticidad (IP), -- grado de saturación (Gv), relación de vacíos (e), resistencia a compresión axial no confinada (qu) y resistencia al esfuerzo contante (s).

### 3.1.2.3.- ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES.

El subsuelo del lugar, se localiza al S.E. de la denominada zona del lago, llamada así por ser precisamente el fondo del antiguo lago de Texcoco, Este subsuelo en su formación arcillosa superior, está primordialmente constituido por potentes depósitos de arcilla bentonítica de alta plasticidad, interceptados por pequeños estratos y lentes de limo inorgánico de alta compresibilidad y de arena fina, vidrio y cenizas volcánicas respectivamente. El primer estrato resistente normalmente se encuentra en esta zona a una profundidad que varía de 40 a 45m.

Las exploraciones y análisis efectuados para este estudio, indican la siguiente clasificación de suelos:

- a).-Capa Vegetal.- Arcillas orgánicas, color café oscuro y consistencia blanda.
- b).-Paredes de excavaciones.- Limos arenosos poco arcillosos, café con alto contenido de materia orgánica vegetal y coloidal.
- c).-Fondo de excavaciones.- Limos arenosos y arcillosos, cafés, de consistencia blanda a muy blanda y permeabilidad media.
- d).-Abanico de ladera.- Limos arenosos, poco arcillosos, con alto contenido de gravas y piedras andesíticas y de tezontle.
- e).-Cono de ladera.-Gravas, arenas y cenizas volcánicas, con poco contenido de materia orgánica.

De acuerdo a un pozo, a cielo abierto, excavado en el lugar con anterioridad a este estudio, se encontró que el nivel de aguas freáticas se localiza a la elevación 63.30, aproximadamente. Esta elevación está referida a las cotas de las curvas de nivel de la configuración topográfica de la Secretaría General de Obras y Servicios del D.D.F.

#### 3.1.2.4.- HIDRAULICA DEL SUELO.

Se pudo observar en el pozo a cielo abierto que las aguas freáticas en el espejo de dicho pozo presentan signos de gran contaminación de desperdicios industriales y orgánicos en suspensión. La cuantificación del grado y zona de contaminación del manto freático, se tendrá que determinar a partir de estudios de campo más completos y de sus análisis químicos respectivos.

Por otra parte, y de acuerdo a la información que se contó en zonas cercanas al lugar bajo estudio, el manto freático no está comunicado en forma natural y vertical con los acuíferos profundos. La frontera entre ambos está constituida por un estrato de limos finos, muy compactos y fuertemente cimentados, que se localiza en forma general a una profundidad comprendida entre los 30 y 35 m., aproximadamente. Asimismo, se puede afirmar que el manto freático se encuentra muy contaminado en sus depósitos más someros, ya que en esta zona hay varios canales de desagüe de aguas negras, además de los grandes volúmenes de aguas residuales que las industrias cercanas vierten en el suelo.

#### 3.1.2.5.- PROTECCION DE ACUIFEROS.

Aún y cuando en la zona del relleno no son importantes los escurrimientos pluviales superficiales y que los derrames de desagües se captarán a través de colectores, es importante evitar en lo posible la infiltración al subsuelo de aguas pluviales vertidas a través de los rellenos sanitarios. Por lo tanto, es necesario darle mayor impermeabilidad a la superficie del subsuelo que servirá de base a dichos rellenos. Este objetivo, se puede lograr con óptimos resultados y a relativo bajo costo, mediante aplicación de una capa de bentonita hidratada, del suficiente espesor, en toda la superficie donde se construirán los rellenos sanitarios.

De acuerdo a las características físico-mecánicas de la superficie del terreno, el sello impermeable debe generarse a razón de un mínimo de  $1 \text{ dm}^3$  de bentonita en polvo por cada metro cuadrado, sin embargo, la dosificación óptima deberá ser evaluada a partir de los resultados de varias pruebas de permeabilidad inducida.

Además, para un mejor funcionamiento del sello, y como complemento indispensable de éste, será necesario darle suficiente pendiente de escuirmiento a la superficie del terreno natural, y captar las aguas por medio de una red de drenes conectados a un colector general.

### 3.1.2.6.-MATERIALES PARA RELLENO.

Los materiales con que se construirán las denominadas celdillas deben ser predominantemente friccionantes, libres de arcilla y de piedras de tamaño mayor a 7.5 cm. de diámetro.

Los equipos de compactación que se emplearán serán rodillos lisos, de preferencia del tipo vibratorio para mejores resultados en la compactación, y en consecuencia la generación de magnitudes menores de asentamiento de los rellenos.

En base a los análisis realizados, el material idóneo para construir las capas de suelo (celdilla) es el resultante de una mezcla 60-40% en volumen de material extraído en la zona de cráter o de ladera, y de las capas someras del subsuelo (socavones), respectivamente. En caso de no poder emplear materiales provenientes del Cerro de la Caldera, se pueden utilizar gravas y arenas bien graduadas, o bien tezontle triturado. Este último material tiene la desventaja de generar menores asentamientos en el subsuelo, debido a la limpieza de su peso volumétrico.

La cubierta general de los rellenos deberá ser construída por una mezcla 60-40% en volumen de grava controlada y limo arenoso-arcilloso, compactada a un mínimo del 90 al 95% Proctor.

### 3.1.2.7.- RECOMENDACIONES GENERALES.

Para evitar que los gases generados por la reacción químicobiológica de la descomposición de las basuras, queden atrapados dentro de los rellenos sanitarios, es conveniente la instalación de tubos aeradores colocados verticalmente dentro de los rellenos.

Los rellenos de rampa deberán quedar provistos de filtros constituidos con materiales pétreos gruesos o enrocamiento.

Es importante construir pozos de inspección para control de contaminación de mantos freáticos. Asimismo, es conveniente construir pantallas impermeables en los límites de las áreas de relleno.

Los espesores totales de los rellenos sanitarios deben tener espesores uniformes durante su construcción para evitar la generación de asentamientos diferenciales en el subsuelo, los cuales pueden afectar a construcciones ligeras como las que se proyecta edificar en un futuro cercano.

### 3.2.- FACTORES IMPORTANTES QUE DEBEN SER CONSIDERADOS EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS.

Hasta el momento sólo se ha hecho mención a los factores propios del suelo, como son la geohidrología y la geotécnica del sitio, pero se pueden considerar otros factores que son decisivos para el diseño y que se mencionan enseguida.

<u>FACTOR</u>	<u>RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES</u> <u>GENERALES</u>
Acceso	Caminos de acceso pavimentados para el lugar de relleno; caminos provisionales para áreas de descarga.
Diseño de celdas y construcción	Varía, dependiendo de que el gas vaya a ser desalojado; cada día los desechos sólidos deberán formar una celda; profundidad máxima de 3 m.; se deberá cubrir al finalizar la jornada, con 15cm. de material inerte de cubierta. Los espigones extractores de gas se deben instalar con separaciones entre 18.5 y 60m.
Material de cubierta	Maximizar el uso del material del sitio, se utilizará aproximadamente $1m^3$ de material de cubierta para cada 4 a $6 m^3$ de desechos sólidos; mezcle el material de cubierta con material impermeable para controlar la infiltración superficial.



Drenaje

Instalar zanjas de drenaje para desviar el escurrimiento de agua superficial.- Mantenga 1 a 2 % de declive para prevenir el estancamiento. Diseño de colectores de lixiviado, si es necesario.

Requerimiento de equipo

Varían con el tamaño del relleno.

Prevención contra fuego

Utilizar agua del mismo lugar, si no es potable, las salidas de agua deben estar claramente especificadas; una separación apropiada entre celdas previene la propagación del incendio a través de las demás celdas.

Protección del agua subterránea

Desde cualquier manantial subterráneo, si se requiere, instale material impermeabilizante para el control del lixiviado, instale pozos para la inspección de agua subterránea y gases.

Area del terreno

El área del relleno deberá ser lo suficientemente grande para captar los desechos de la comunidad para la que fue concebida por un período de al menos - 1 año, pero preferiblemente de 5 a 10 años.

*Método de relleno*

*Varía con respecto a la disponibilidad de material de cubierta, el tipo de terreno en que se localizará el relleno (condiciones topográficas), y las condiciones meteorológicas del sitio.*

*Pepena y selección de basura*

*Use bardas portátiles en las zonas de descarga. Las cuadrillas de pepenadores deben trabajar al menos 15 días al mes o tanto como se requiera.*

*Extendido y compactación*

*Extienda y compacte la basura en capas menores de 60cm. de altura (grosor).*

*Area de descarga*

*Mantenga áreas de descarga pequeñas. -- No deben exceder los 35m. de lado; se-- deberán operar áreas de descarga separadas para automóviles como para camiones comerciales.*

*Control de ratas*

*Se pueden aplicar diversos venenos para roedores.*

## OPERACION

Comunicaciones	Se deberá contar con comunicación <u>tele</u> <u>fónica</u> .
Días y Horario de operación	Los horarios más comunes son de 5 a 6- días y de 8 a 10 horas de operación al día.
Servicios para los empleados	Baños y agua potable como <u>requerimien</u> <u>tos</u> mínimos necesarios.
Records de operación	Pesaje, transacciones, <u>entradas y sali</u> <u>das</u> , frecuencia de vertido y boletaje- si es que se va a cobrar algo por <u>dere</u> <u>cho</u> a descargar.
Protección del equipo	Se debe prever guardar el equipo bajo- techo para resguardarlo del polvo <u>cu</u> <u>an</u> do no está en uso.
Básculas	Se contará con básculas de pesaje de <u>ca</u> <u>miones</u> y camionetas de basura. Las - básculas deberán tener una capacidad - de 50 toneladas.

Los conceptos mencionados anteriormente constituyen los aspectos más -  
importantes en el diseño de un relleno sanitario, las cuales se anali  
zardn con detalle en secciones subsecuentes.

### 3.3.- INFORMACION BASICA PARA EL DISEÑO DEL RELLENO.

A partir de este momento, se hará referencia exclusivamente a los datos propios del relleno, localizado en Santa Catarina.

Con el objeto de conocer la cantidad y los medios de transporte que se utilizan para descargar la basura en el área de Santa Catarina por parte de las diferentes Delegaciones como Cuauhtemoc, Benito Juárez, Izta palapa, e Iztacalco. etc., se elaboró un cuestionario cuya información más importante se resume a continuación:

#### CANTIDAD DE BASURA QUE DESCARGAN EN SANTA CATARINA LAS DELEGACIONES DE CUAUHTEMOC E

Delegación	Area	Cantidad de basura ton/día.
Cuauhtemoc	33.0	1600
	27.7	1200

A fin de confirmar estas cantidades y conocer las de las otras Delegaciones, se llevó a cabo un muestreo directo en el sitio del tiradero, obteniéndose durante la semana del 3 al 10 de Noviembre, el número y tipo de camiones que entraron de las 8:00 a.m. a las 5:00 p.m., que es el horario oficial de trabajo.

#### 1.- Cantidad de basura depositada por día.

En vista de no contar con básculas que permitiesen determinar las toneladas de basura descargadas en el tiradero, se tuvo que recurrir a obtener capacidades en toneladas de los mismos, primeramente de las Delegaciones, y verificarlas posteriormente a través del fabricante de vehiculos recolectores e información de documentos técnicos sobre la materia.

Partiendo de la información suministrada por la Delegación de Tzacalco, referente a las capacidades en toneladas de los diferentes vehículos - que dispone, así como el tonelaje dispuesto en el tiradero, se verificó contra la información suministrada por el fabricante de los vehículos, deduciéndose que el tonelaje dispuesto en el tiradero por la Delegación, se refería al obtenido de la capacidad de carga total del camión, pero no al tonelaje de la basura transportada.

Según los datos recolectados, un camión de  $10\text{m}^3$  (13 yd<sup>3</sup>) de capacidad con mecanismos compresores, puede transportar de 4 a 6 toneladas netas de basura comprimida, variando el peso específico de la basura procedente de los botes domiciliarios en el orden de 200 a  $300\text{kg/m}^3$ , misma densidad que se logra en transportes que no tienen compactador y cuya basura únicamente es comprimida a través del operador en la caja del mismo.

Con base en los datos anteriores y las capacidades en volumen de basura transportada por las diferentes clases de camiones registradas en el muestreo, se obtuvieron los datos referentes al peso y al volumen de la basura ingresada en el basurero. Estos datos se muestran en las tablas III-1 y III-2, y cuya densidad promedio resultó de  $445\text{kg/m}^3$ , -- ( $6400\text{ t}/14400\text{m}^3$ ).

TABLA No. III- 1

CAPACIDAD REAL EN TONELADAS DE BASURA TRANSPORTADA

Tipo de Camiones	Capacidad de caja en m <sup>3</sup>	Peso específico de la basura transportada.	ton/basura transportada
Tubular	10	0.60	6.0
Carga frontal	15	0.60	9.0
Rectangular	12	0.60	6.6
Carga trasera	12	0.60	7.0
Volteos	6	0.30	1.8
Camionetas	5	0.30	1.5
Torton	19	0.30	5.7
Trailer	37	0.30	11.1
Redillas	13	0.30	3.9

TABLA No. III-2

TONELAJE INGRESADO EN UNA SEMANA

Camión	No. Camiones	Capacidad transportada por unidad. toneladas	Toneladas totales
Tubulares	323	6.0	1938.0
Carga frontal	42	9.0	378.0
Rectangular	221	6.6	1458.6
Carga tra-era	61	7.0	427.0
Volteo	877	1.8	1578.6
Redillas	99	3.9	386.1
Camioneta	24	1.5	36.0
Torton	17	5.7	96.9
Trailers	2	11.1	22.2
TOTAL	1666	TOTAL	6321.40

$$\text{ton. prom./día} = \frac{6321.4}{8} = 790.17 \text{ ton./día.}$$

Considerando un incremento del 15% como coeficiente de incertidumbre.

$$\text{ton.prom./día} = 790.17 \times 1.15 = 908.70 \text{ ton/día.}$$

$$\text{ton.prom./semana} = 908.7 \times 7 = 6360.9 \text{ ton/semana.}$$

### 3.4.- GRADO DE COMPACTACION DE LA BASURA.

Existen pocas pruebas de compactación de basura que arrojen resultados homogéneos que permitan determinar grados de compactación confiables, sin embargo, partiendo de recomendaciones y experiencias realizadas en Estados Unidos y de los datos básicos sobre tonelaje y volúmenes conducidos por los camiones recolectores al basurero de Santa Catarina, se encontró el grado de compactación en función de la densidad que se consigue de la basura por el peso del equipo utilizado y el número de veces que este equipo pase sobre el relleno.

Conforme a experiencias, el grado de compactación inicial que se puede lograr en un relleno, puede llegar a densidades del orden de  $700 \text{ kg/m}^3$ . Lo cual arroja una relación de compactación con respecto a la densidad de la basura a nivel domiciliario, que se consideró de  $300 \text{ kg}$ . -- de  $2:33.1$  ( $700/300 \text{ kg/m}^3$ ).

Posteriormente a esta compactación inicial del relleno lograda con el equipo, se tendrán asentamientos en el relleno que conforme pase el tiempo llegarán a estabilizarse.

Aún cuando estos asentamientos son variables y dependen fundamentalmente de la composición de las basuras, el ancho del relleno o terraplén y las condiciones del subsuelo, para evaluar los asentamientos que se producirán posteriormente a la compactación inicial, se han tomado los resultados de un estudio sobre asentamientos-tiempo, realizado en un tiradero de Nueva York, E.U.\*

De acuerdo a dicho estudio de los asentamientos a esperar después de la compactación inicial, corresponden en porcentaje de altura original, los valores mencionados a continuación. (Tabla No. III-3).



TABLA No. III-3

ASENTAMIENTOS - TIEMPO

Tiempo	Asentamiento en %		
	Máximo	Promedio	Mínimo
1	91	87	80
2	86	76	67
3	81	69	60
4	79	65	54
5	77	63	50

### 3.4.1.- GRADO DE COMPACTACION DE LA PRIMERA ETAPA.

Tomando los valores promedio de consolidación, para aplicarlos a nuestro caso, y obtener una relación de compactación que nos permita tomarlos en cuenta durante la vida útil del tiradero en su primera etapa.

Asentamiento promedio en % = 76

Asentamiento en 1.0m. de altura de relleno = 0.24m.

El asentamiento de 0.24m. equivale a que la capacidad del tiradero se incrementa.

Si la capacidad encontrada para disposición de rellenos sanitarios resultó de 715000m. ésta se verá incrementada en:

Area superior del relleno 20.70 ha = 207000m<sup>2</sup> de altura, que puede rellenarse como consecuencia del asentamiento de 0.24m.

Volúmen adicional = 207000 x 0.24 = 49680m<sup>3</sup> = 50000m<sup>3</sup>.

El nuevo volúmen total será por lo tanto de 715000 + 50000 = 765000m<sup>3</sup>.

Por otra parte el asentamiento producido en el terreno, como consecuencia de las cargas del relleno, según cálculo es del orden de 0.219m., - por lo que siguiendo el procedimiento anterior equivale:

Area superior relleno 207000m<sup>2</sup>.

Altura 0.219

Volúmen adicional = 207000 x 0.219 = 45400m<sup>3</sup>.

De esta forma el volúmen inicial incrementado por los asentamientos del relleno de 765000m<sup>3</sup>., se verá aumentado en:

Volúmen total = 810400m<sup>3</sup>. (incluyendo asentamiento del relleno y del terreno).

Como este volúmen se dará en el tiempo, conforme el terreno vaya siendo rellenado, se ha buscado involucrarlo dentro de la relación de compactación inicial que nos servirá para determinar la vida útil del tiradero.

Por lo anterior, los  $810400\text{m}^3$ , considerándoles de peso específico - -  $700\text{ kg/m}^3$ , logrado con la compactación inicial, arrojan un peso total del relleno de:  $810400 \times 0.700 = 567280$  toneladas.

Si relacionamos este peso total del relleno con el volúmen inicial que se dispone para alojar los rellenos, se tendrá un peso específico de la basura, que incluirá implícitamente las capacidades adicionales dentro del relleno sanitario, como consecuencia de asentamientos del relleno y del terreno.

$$= \frac{567\ 280\ 000}{715\ 000} = 793\text{ kg/m}^3.$$

De donde la relación de compactación relativa resulta:

$$\frac{793}{300} = 2.65$$

Relación de compactación 2.65:1

Como los puntos de partida del peso específico de la basura a nivel domiciliario tiene rangos que pueden variar desde 200 a  $300\text{ kg/m}^3$ , y para este cálculo se consideró en forma conservadora del rango más alto, se adoptó una relación de compactación relativa de: 3:1.

### 3.4.2.- GRADO DE COMPACTACION DE LA SEGUNDA ETAPA.

Tomando los valores promedio de consolidación, para aplicarlos a nuestro caso y obtener una relación de compactación, que nos permita tomarlos en cuenta durante la vida útil del tiradero, considerándole una vida útil del orden de cinco años.

Asentamiento promedio en % = 63

Asentamiento en 1.0m.de altura de relleno 0.33m.

El asentamiento de 0.33., equivale a que la capacidad del tiradero se incremente.

Si la capacidad encontrada para disposición de rellenos sanitarios, resultó de  $2\ 310\ 000\text{m}^3$ ., esta se verá incrementada en:

Area superior promedio del relleno 18.00 ha =  $180\ 000\text{m}^2$ .

Altura que puede rellenarse como consecuencia del asentamiento  $0.33\text{m}^3$ .

Volúmen adicional =  $180\ 000 \times 0.33 = 59\ 400\text{m}^3$ .

El volúmen total será, por lo tanto de:  $2\ 310\ 000 + 59\ 400 = 2\ 369\ 400\text{m}^3$ .

Por otra parte el asentamiento producido en el terreno, como consecuencia de las cargas del relleno, según cálculo, es del orden de 0.75, por lo que si siguiendo el procedimiento anterior equivale:

Area superior relleno  $180\ 000\text{m}^2$ .

Altura 0.81

Volúmen adicional =  $180\ 000 \times 0.75 = 135\ 000\text{m}^3$ .

De esta forma el volúmen inicial incrementado por los asentamientos del relleno  $2\ 369\ 400\text{m}^3$ ., se verá aumentado en:

Volúmen total =  $2\ 504\ 400\text{m}^3$ . (incluyendo asentamientos del relleno y del terreno).

Como este volúmen se dará en el tiempo, conforme el terreno vaya siendo rellenado, se ha buscado involucrarlo dentro de la relación de compactación inicial que nos servirá para determinar la vida útil del tiradero.

Por lo anterior los  $2\ 504\ 400\text{m}^3$ ., considerándoles de peso específico -  $700\text{ kg/m}^3$ , logrado con la compactación inicial, arrojan un peso total- del relleno de:  $2\ 504\ 400 \times 0.700 = 1\ 753\ 000$  toneladas.

Si relacionamos este peso total del relleno con el volumen inicial que se dispone para alojar los rellenos, se tendrá un peso específico de - la basura, que incluirá implícitamente las capacidades adicionales den- tro del relleno sanitario, como consecuencia de asentamientos del re- lleno y del terreno.

$$\frac{1\ 753\ 000\ 000}{2\ 310\ 000} = 759\text{ kg/m}^3.$$

De donde la relación de compactación relativa, resulta:

$$\frac{759}{300} = 2.53$$

Relación de compactación: 2.53

Como los puntos de partida del peso específico de la basura a nivel de municipalitario tiene rangos que pueden variar desde  $200$  a  $300\text{ kg/m}^3$ ., y para este cálculo se consideró en forma conservadora el rango más alto, - se adoptó una relación de compactación relativa de: 3:1.

Es conveniente destacar que la capacidad adicional proporcionada por - los asentamientos del relleno y del terreno, no se ha considerado en - la determinación de la vida útil, como parte del relleno, para absor- - ver con él, los volúmenes de material de cubierta.

### 3.4.3.- DETERMINACION DE ASENTAMIENTOS EN EL TERRENO.

Como consecuencia de la carga adicional producida por el relleno so - bre el terreno, se tendrán asentamientos sobre el mismo, los cuales - fueron evaluados conforme a los datos aportados por el estudio de geo - técnica, usándose para su determinación, la fórmula de Shempton, para -

suelos puramente cohesivos que son los que aparecen subyacendo a los estratos superiores del terreno natural

$$q_c = 1.3 \times 5.7 \times C + D_f \quad (1)$$

En donde  $c$  = cohesión (resistencia al esfuerzo cortante a la presión no confinada).

$D_f$  = peso específico del material que sobrepase el nivel de esplante.

$D_f$  = profundidad de esplante del relleno.

Conforme a los resultados de estudio en la zona:

$$q_c = 0.6 \text{ kg/cm}^2 = 6 \text{ t/m}^2.$$

(resistencia a la compresión no confinada).

De donde,  $C = \frac{qu}{2} = 0.3 \text{ kg/cm}^2 = 3 \text{ t/m}^2.$

Sustituyendo en la fórmula (1) para  $D_f = 0$  (terreno natural)

$$q = 1.3 \times 5.7 \times 3 = 22.23 \text{ t/m}^2 \quad (2)$$

Considerando un factor de seguridad de 3

$$q_{ds} = 7.41 \text{ t/m}^2 \quad (3)$$

Capacidad de carga del terreno natural.

Como sobre el terreno se colocará un relleno en capas de 0.90m., compuesta por 0.6m. de basura con  $= 793 \text{ kg/m}^3$ , y una capa de tierra de 0.15m., con  $= 1400 \text{ kg/m}^3$ , se tendrá un peso por capa

$$0.15 \times 1.4 = 0.6 \times 0.793 = 0.21 = 0.48 = 0.68 \text{ t/m}^2 \quad (4)$$

Si la altura promedio del relleno total es de 2.7m. para la primera etapa:

$$\frac{2.7}{0.9} = 3 \text{ capas}$$

Peso promedio del relleno =  $3 \times 0.68 = 2.04 \text{ t/m}^2$ .

Sin considerar el efecto de empotramiento que le crearía al nivel de desplante, la propia altura del terreno, el factor de seguridad por ca-pacidad de carga es igual:

$$\frac{22.23}{2.04} = 10.9 \quad 3$$

Del cálculo anterior, se deduce que no habrá problemas por capacidad de carga, sino que, lo que se generará son problemas de asentamientos. De acuerdo con pruebas realizadas en esa zona, por cada  $1.25 \text{ t/m}^2$  de carga aplicada, se presentan 12.5 cm. de asentamiento.

Aplicando el valor anterior para el caso del relleno colocado sobre el terreno natural, se tendrá:

$$\frac{2.09}{1.25} \times 12.5 = 21.9 \text{ cm.}$$

DETERMINACION DE ASENTAMIENTOS DEL TERRENO COMO CONSECUENCIA DE RELLENO  
DE LA PRIMERA Y SEGUNDA ETAPA

Siguiendo el criterio de cálculo utilizado para la primera etapa del relleno, y habiéndose determinado una capacidad de carga permisible de  $7.41 \text{ t/m}^2$ , considerando un factor de seguridad de 3.

El peso de las capas de relleno de 0.90m. de altura, será de  $0.68 \text{ t/m}^2$ .

Si la altura promedio del relleno es de 10m. (incluyendo el relleno de la primera etapa).

$$\text{Número de capas } \frac{10}{0.9} = 11.1$$

$$\text{Peso propio del relleno } 11.1 \times 0.68 = 7.55 \text{ t/m}^3.$$

$$\text{Factor de seguridad de carga } = \frac{22.23}{7.55} = 2.95 \quad 3$$

De acuerdo a pruebas realizadas en la zona, por cada  $1.25 \text{ t/m}^3$  de carga aplicada, se presentan asentamientos del orden de 12.5 cm.

$$\text{De dónde el valor del asentamiento será: } \frac{7.55}{1.25} \times 12.5 = 75.5 \text{ cm.}$$



### 3.5.- PROYECCIONES DE APORTACION DE BASURA AL TIRADERO Y DETERMINACION DE LA VIDA UTIL DEL RELLENO.

Según información suministrada por el personal de las Delegaciones Izta calco, Iztapalapa\* y Cuauhtémoc\*, éstas son las que disponen en su totalidad de sus derechos del día en el tiradero de Santa Catarina. Lo anterior pudo ser confirmado durante el muestreo directo realizado, ya - que de las toneladas de desechos llevadas a él, aproximadamente el 50% correspondieron a transportes de dichas Delegaciones.

Sin embargo, este porcentaje puede ser mayor si se toma en consideración que muchos de los transportes no pudieron ser identificados a cuál Delegación pertenecían, quedando consignados en las tablas correspondientes como D.D.F., pero para fines de este análisis se considerarán como pertenecientes a las tres Delegaciones mencionadas, con lo cual - aproximadamente el 86% corresponden a residuos provenientes a éstas Delegaciones.

A partir de la información arrojada por el muestreo, se encontraron los datos básicos que sirvieron para determinar la vida útil del tiradero, así como verificar la cantidad de basura en kg. por persona por año conforme a los índices que se tienen en países con desarrollo similar al nuestro.

Conforme al muestreo realizado, entraron al basurero en 7 días cerca de 1 666 camiones que transportaron cerca de 6400 toneladas equivalentes a un volumen de 14 400m<sup>3</sup> y densidad promedio de 445 kg/m<sup>3</sup>, después de haber sido transportada por vehículos recolectores en los cuales ha si do semicompactada.

Al ser descargada en los frentes del relleno sanitario esta basura adquiere densidades entre 200 y 300 kg/m<sup>3</sup>, a partir de las cuales se inicia el proceso de extendido y compactación. En esta forma el volumen transportado se ve abundado al disminuir su peso específico a 21 360m<sup>3</sup>, en vez de los 14 400m<sup>3</sup>. por semana.

Así pues, el volúmen ingresado en el tiradero en 52 semanas, ascenderá a 1 110 720m<sup>3</sup>., equivalentes a 332 800 toneladas, considerando una densidad de 300 kg/m<sup>3</sup>. Con base en los resultados anteriores y sabiendo que el 86% del tonelaje total de basura dispuesto en el tiradero proviene de las Delegaciones de Iztacalco, Iztapalapa y Cuauhtemoc, cuya población total asciende a 2 740 000 (1984)\* habitantes, se determinó la cantidad de kilogramos de basura por persona por día.

$$\frac{0.86 \times 332\ 800}{2\ 740\ 000} = 105 \text{ kg/persona/año}$$

o sea

$$\frac{105}{360} = 0.3 \text{ kg/persona/día}$$

Cantidad de basura por habitante, que para países como el nuestro es razonable de acuerdo a los índices mundiales, por lo cual le adoptaremos como base para determinar las proyecciones de basura que se producirán los próximos 6 años en las tres Delegaciones antes mencionadas.

Para determinar el incremento de basura anual a esperar, se tomó como base los aumentos de producción mundial consignados en el libro de referencia N.º. 14.

Partiendo del valor obtenido de 0.3 kg/persona/día en 1983, en los próximos años (7 años) se adoptará un incremento de 2.5%.

	1984	_____	0.300	kg/persona/día
para	1985	_____	0.3075	kg/persona/día
	1986	_____	0.3150	kg/persona/día
	1987	_____	0.3225	kg/persona/día
	1988	_____	0.3300	kg/persona/día
	1989	_____	0.3375	kg/persona/día
	1990	_____	0.3475	kg/persona/día

Conforme a lo anterior y las proyecciones de población calculadas para las Delegaciones antes mencionadas, se podrá esperar una producción de basuras de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA No. III - 4

PRODUCCION ANUAL DE DESECHOS EN LAS DELEGACIONES DE IZTAPALAPA, IZTACALCO Y CUAUHTEMOC

Año	Población	Residuos kg/p./día	Producción t/día - t/año	Volúmenes anuales m <sup>3</sup>	Incremento %
1984	2 740 000	0.3000	822 300 000	1 000 000	0.0
1985	2 825 000	0.3075	868 317 000	1 055 000	5.5
1986	2 875 000	0.3150	905 330 000	1 100 000	10.0
1987	2 925 000	0.3225	965 352 000	1 170 000	17.0
1988	3 000 000	0.3300	1012 369 000	1 230 000	23.0
1989	3 050 000	0.3475	1060 386 000	1 285 000	28.5

Aplicando los vectores de incremento anual de los volúmenes de las 3 Delegaciones al volumen total de terminado para el relleno tendrá:

TABLA No. III - 5

PROYECCION ANUAL DE BASURAS INGRESADAS EN LOS VEHICULOS RECOLECTORES PARA EL TIRADERO DE SANTA CATARINA

(Densidad basura 0.300 kg/m<sup>3</sup>)

Año	ton/día	ton/anales	Volúmenes anuales m <sup>3</sup>
1984	908	332 800	1 110 000
1985	960	351 100	1 170 000
1986	1000	366 000	1 220 000
1987	1066	389 000	1 300 000
1988	1117	409 200	1 360 000
1989	1170	427 500	1 425 000

TABLA No. III-6

CAPACIDAD DE RECEPCION DE DESECHOS DEL TIRADERO DE SANTA CATARINA

Volúmen total disponible \_\_\_\_\_ 2,310,000 m<sup>3</sup>

Volúmen de desechos a aceptar \_\_\_\_\_ 6,930,000 m<sup>3</sup>

Fecha	Volúmenes anuales aportados	Volúmen compactado	Volúmen compactado acumulado	Observaciones
Jul. - Dic. 1984	555 000	185 000	185 000	
Ene. - Dic. 1985	1 170 000	390 000	575 000	
Ene. - Dic. 1986	1 120 000	406 000	981 000	Término de la 1a. etapa. Abril 1986.
Ene. - Dic. 1987	1 300 000	430 000	1 411 000	
Ene. --Dic. 1988	1 360 000	454 000	1 865 000	
Ene. - Oct. 1989	1 306 000	435 000	2 300 000	Término de la 2a. etapa.

Vida útil del tiradero = 64 meses equivalentes a: 5 años 4 meses.

### 3.6.- DRENAJE PLUVIAL Y DE RELLENO SANITARIO.

Este drenaje tendrá como finalidad la evacuación (desalojar) del agua pluvial y la proveniente del relleno sanitario.

El proyecto constará de un colector principal y de un subcolector al que se incorporarán una serie de drenes, los cuales además de permitir el drenado propio del relleno, permiten mantener por abajo del relleno el nivel freático.

Este colector contará con una derivación hacia un área de tratamiento donde se concentrarán los lixiviados provenientes del relleno durante la época de estiaje.

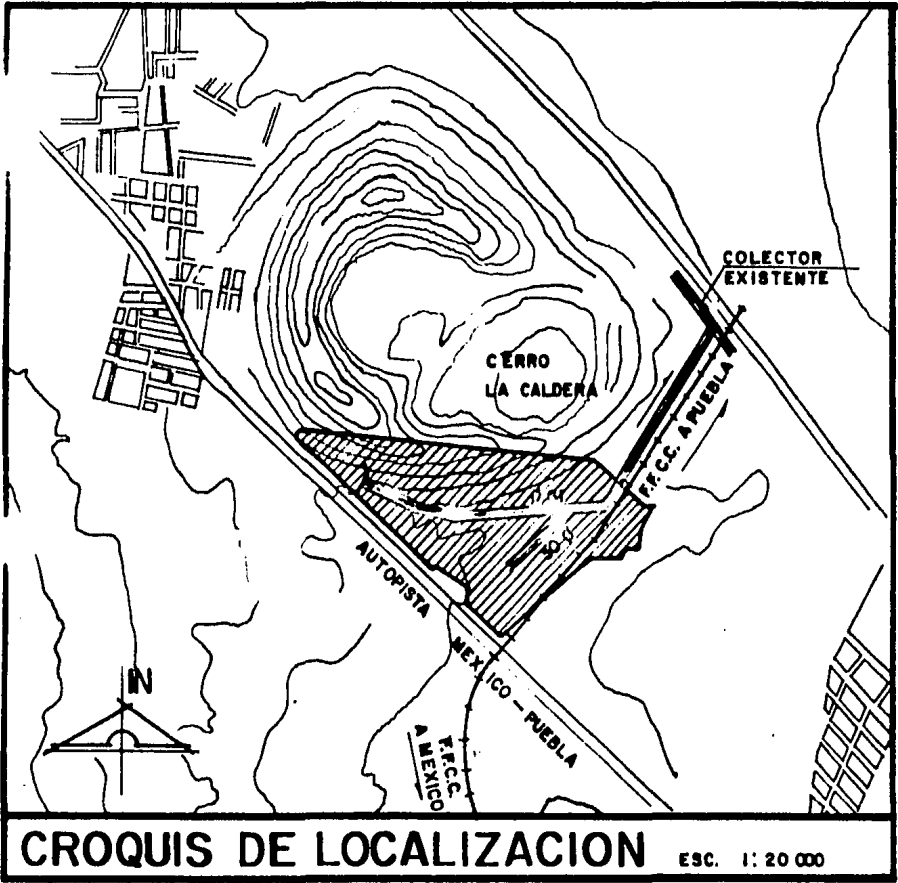
En época de lluvias la concentración de estos lixiviados, será disminuida al diluirse con el agua de lluvia, por lo que podrán ser incorporados directamente al alcantarillado municipal, sin aumentar los problemas de tratamiento en las plantas de agua bajo el colector municipal.

Para el diseño del colector y subcolector se utilizó el método de Burki-Zagler, tomando como intensidad de lluvia máxima las proporcionadas por las estaciones climatológicas cercanas a la zona y cuyo valor resultó ser de 43.5 mm/día con un período de retorno de 4 años.

El diámetro del colector para las condiciones anteriores resultó ser de 0.60 m. en tubería de concreto reforzado, pendiente media de 2.7% y longitud de 1 830 metros..

Los drenes tendrán una sección rectangular de 0.6m. con alturas variables; sobre la trinchera formada se alojará un filtro de grava graduada de 3" a 4" de diámetro y arriba de ésta, grava de 3/4" de diámetro.

Para su incorporación al colector se ha previsto una caja de registro de 1.10 x 0.90 m. y altura variable que se conectará directamente a la tubería o al pozo de visita.



## DRENAJE DEL RELLENO

## PLANTA DE COLECTORES Y DRENES

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS

### 3.7.- CONTROL DE RATAS, GASES Y PROTECCION CONTRA INCENDIO

Los desechos atraen varias especies de roedores entre los que sobresalen por su importancia en cuanto a su potencialidad contaminante las ratas-domésticas. Estos animales son portadores de infecciones fatales para el hombre como son la peste, rabia, etc.

Para la destrucción de estos roedores, se pueden utilizar varios métodos, siendo el más eficaz, de acuerdo a la experiencia en instalaciones similares a las que nos ocupan, el control químico.

Este control puede ser hecho por medio de venenos violentos como Norbomida, ANTU, Fluoracetano (1801), Fluoracetano de sodio (1080) y Fostidio - de zinc.

Estos productos son mezclados con alimentos predilectos de los roedores, en dosis de 1 a 5%.

Todas las sustancias son empleadas en cebos, ya sea en polvo o en líquido para mezclarlas con el alimento.

Estos cebos deberán ponerse en el paso de los animales o en los lugares donde se registre su actividad dentro del basurero.

Existen otras clases de venenos y su selección y utilización en un momento dado podrá ser decidida por un Departamento Técnico creado bajo ciertas necesidades del relleno.

En todos los casos deberá advertirse al personal que labora en el tiradero, la presencia de los cebos con veneno a fin de evitar algún accidente.

Control de Gases.

Para darle salida a los gases de descomposición dentro del relleno, se ha previsto la construcción de espigones que se llevarán sobre toda la altura del terreno hasta la última capa de desechos.



Una vez colocada la cubierta final impermeable sobre todo el relleno, incluyendo los espigones, se deberá colocar arriba de éstos un tubo perforado, que sobresaldrá de la cubierta 1.5m., con lo cual se garantizará la ventilación necesaria.

Estos tubos perforados en su parte inferior penetrarán 0.40m. en el espigón y atravesarán totalmente la cubierta final.

Su construcción se hará conforme se levante el relleno sanitario, teniendo cuidado a la hora de compactar de que las piedras que forman el espigón queden perfectamente empotradas en el relleno.

Los detalles de los espigones, así como su localización se encuentran dibujados en el plano "Localización de espigones en el relleno".

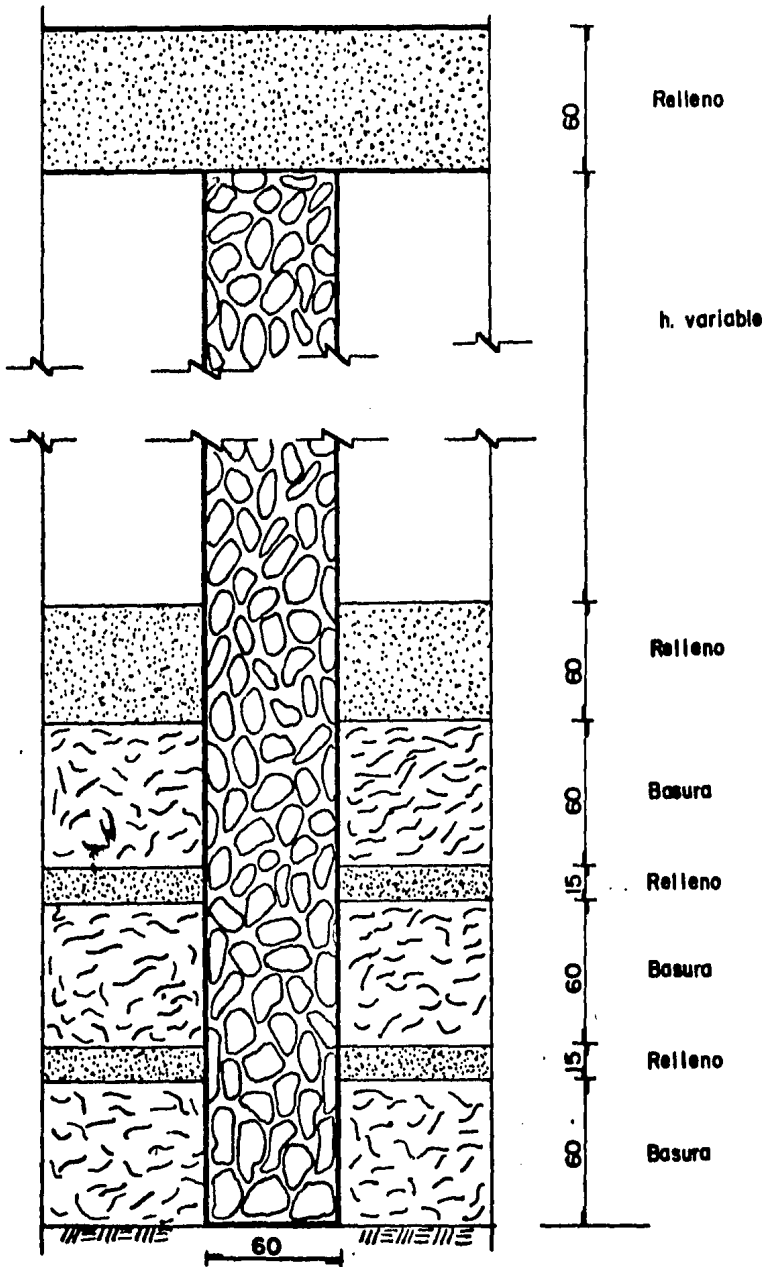
#### Protección contra Incendio.

El riesgo de fuego en un relleno sanitario controlado es notablemente menor que en un relleno abierto ya que la masa del relleno es compacta y la entrada de aire es más limitada siendo la capa de material de cubierta el mejor medio de prevención.

Por los motivos anteriores solo se han previsto los siguientes elementos para combatir el incendio en nuestro caso.

- Reserva de agua a través de colocar una toma de mayor diámetro a la red de distribución y cuya alimentación proviene del tanque de SARH sobre el Cerro de la Caldera, cuya capacidad es superior a los 10 000 m<sup>3</sup>.
- Camión cisterna con bomba de alta presión.
- Bulldozer.

Estos dos últimos equipos servirán para construcción del relleno, por lo que no significan cargo adicional, excepto la bomba a presión.



## DETALLE DE ESPIGON

SIN/ESC

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS

## 4.- CONSTRUCCION

### 4.0.- ANTECEDENTES

En este capítulo se tratará la construcción del relleno, entendiéndose lo anterior como el proceso mediante el cual se van a lograr la forma - ción de los caminos y las celdas que son parte central del relleno sani - tario. También se tratará brevemente a los equipos utilizados en la con - strucción de rellenos sanitarios, tema que se ampliará en el capítulo No. 5 al hablar en forma particular del equipo seleccionado para el relleno de Santa Catarina.

Las actividades principales en el proceso de construcción del relleno - son las siguientes:

- a).-Limpia del terreno
- b).-Formación de caminos
- c).-Formación de celdas
- d).-Recubrimiento de la basura

Estos aspectos serán analizados a continuación en forma muy general.

Limpia del terreno (Desmante).

En el desmante se incluye la remoción de la vegetación que pueden ser hierbas, maleza, matorrales, y árboles.

Antes de iniciar la preparación del sitio es necesario quitar otros ma - teriales, como piedras, muros, e instalaciones remanentes, en caso de ex - istir,

En general hay dos formas de llevar a cabo un desmante: el desmante ma - nual y el desmante me - cánico. El desmante manual, por ser inoperante - para nuestro caso no va a ser tratado en este punto. Debemos decir - que la razón por la cual no se aplica este desmante es que no es muy rá - pido y hay una baja eficiencia en el trabajo a realizar.

Desmante con maquinaria.- (Bulldozer) el bulldozer es la máquina adecuada para realizar el desmante; trabaja mejor cuando el terreno es sufi - cientemente firme para soportarla y cuando no hay hoyancos, zanjas, lo - mas pronunciadas o rocas; las superficies desiguales dificultan mantener

la cuchilla en contacto con el piso y más que remover la vegetación, la entierran en los hoyos.

Sin embargo, existen pocos lugares donde un bulldozer no pueda ayudar a las cuadrillas que desmontan a mano, desmontando superficies en las que pueden operar, moviendo troncos y cortando matorrales, abriendo rutas para los caminos de abastecimiento o extinguiendo incendios.

Los bulldozer tienen una ventaja especial sobre las cuadrillas en lugares donde son abundantes las enredaderas y zarzales, ya que es muy molesto cortarlas pero se arrancan fácilmente con la cuchilla siempre y cuando el operador no avance tanto para no quedar enredado en la mañana.

#### Formación de Caminos.

Es recomendable que las vías de acceso no sean directamente desde una gran carretera, sino que se realice por una vía secundaria. Esto se debe a que la velocidad con que circulan los camiones recolectores de basura es muy lenta y obstruye el libre acceso a las vías rápidas de circulación. Otro factor importante es que el acceso y salida del relleno deben carecer de premura de tiempo, una vez definidas las características de velocidad de los vehículos recolectores. Debido a las grandes velocidades que se manejan en grandes vías resulta incómodo e inoperante alojar un sistema que es lento de naturaleza.

También podrá ocurrir que el acceso a un terreno de larga utilización imponga la utilización de una vía férrea para enlazarse con el relleno. Por lo tanto se tendrá la necesidad de recopilar la información detallada de todas las vías de acceso al terreno elegido.

Los caminos del acceso al relleno se deben construir de modo que el tráfico no se interrumpa por mal tiempo o condiciones climatológicas adversas, como por ejemplo en los períodos de lluvia o por neblina, en este último caso deberán existir señalamientos muy visibles. Los caminos deben tener una anchura mínima de 6.70 metros y un radio mínimo en las curvas de 23 metros, si se prevé el uso de grandes camiones de transbordo. Dependiendo de la cantidad de tráfico de camiones y la proximidad del camino a viviendas puede ser necesario eliminar el polvo, regando el ca

mino con agua o tratándolo con calcio, aceite o macadam penetrante. En la construcción de estos caminos se utilizan con frecuencia técnicas de estabilización del suelo con cemento o con una capa de asfalto sobre la que se hecha gradilla o arena.

Deben instalarse luces para iluminar el camino de acceso y el tajo cuando se trabaja de noche. Puede ser suficiente instalar generadores portátiles en el tajo. Los caminos de acceso se deben mantener limpios de papeles y desechos que den lugar a incendios inconvenientes que ponen en peligro la operación del relleno. Mantener limpios de vidrios, fragmentos metálicos y otros materiales que puedan cortar los neumáticos de los vehículos es otra recomendación que se debe tener muy presente para la construcción y mantenimiento de los caminos.

#### Formación de Celdas.

Las celdas son los compartimentos que se van formando con los desechos sólidos vertidos en el tiradero. El proceso adoptado para la formación de las celdas en el relleno de Sanata Catarina será tratado con más detalle posteriormente.

#### Recubrimiento de la Basura.

Es muy importante el tipo de material que se empleará para el recubrimiento de basura, recomendándose sobre todo que sea material inerte y granuloso. Este material de recubrimiento impide que el viento arrastre y disperse los residuos, ayuda a eliminar los olores, ayuda a evitar que el relleno sea invadido por insectos y roedores, disminuye el peligro de incendios separando los residuos de capas aisladas, evitando de este modo que se propaguen los incendios internos que se puedan producir. El recubrimiento apisonado le da firmeza al relleno y facilita la circulación de vehículos en su superficie. El tipo más corriente de material de recubrimiento para rellenos está clasificado como "Marga arenosa"; debe usarse tierra limpia relativamente exenta de materias orgánicas, ralces de árboles, ramas, piedras de diámetro superior a las 6 pulgadas, así como materiales de construcción voluminosos, como su contenido de arcilla deberá ser pequeño.

La tierra que contiene poca arcilla puede impedir la formación de senegales y con esto se puede evitar que los equipos se queden atascados en tiempos lluviosos y hacer mínima la infiltración de grietas en el recubrimiento. Las grietas permiten el acceso de insectos y roedores a los residuos enterrados y pueden permitir que del relleno se escapen gases malolientes. La cantidad de material de recubrimiento se expresa usualmente como una proporción del volumen de este material al volumen de residuos contenidos. Por ejemplo, la proporción 1:4 indica que se ha utilizado un metro cúbico de material de recubrimiento por cada cuatro metros de residuos compactados. La producción de materiales de recubrimientos varían con el equipo y situación del relleno y el uso final que se le destine cuando el proyecto haya concluido.

Por otro lado, los rellenos en que los residuos se mezclan en forma continua con el material de recubrimiento pueden tener menos espacios vacíos que los convencionales de capas aisladas, aumentando la capacidad y reduciendo al mínimo el volumen por asentamiento. La superficie superior de cada nivel de residuos se cubre con una capa apisonada de material de recubrimiento de por lo menos 15cm. al final de cada período de trabajo, generalmente una vez al día, se recubren todos los residuos que quedan expuestos.

#### 4.1.- BANCOS PARA MATERIALES DE CUBIERTA

Para cubrir los desechos compactados en el caso del relleno de Santa Catarina, se realizó un muestreo de suelos encontrándose tres posibles bancos de explotación clasificados conforme al tipo de material predominante.

Banco sobre abanico de ladera.

Constituido por limos arenosos, poco arcillosos con alto contenido de gravas y piedras andesíticas y de tezontle.

Banco en cono de ladera

Constituido con gravas, arenas y cenizas volcánicas con contenido de materia orgánica.

Bancos sobre el fondo del terreno (socavones).

Constituido por limos arenosos y arcillosos café, de consistencia blanda o muy blanda y permeabilidad media.

Con base en los análisis realizados, el material elegido para construir las capas de material de cubierta resultó ser una mezcla de 70% de material de cualesquiera de los dos primeros bancos y un 30% del banco sobre fondo del terreno (socavones).

Conforme al volumen total del relleno resultante, de las condiciones topográficas del terreno y de la planeación general de los rellenos, se requiere un volumen para material de cubierta equivalente a una cuarta parte del volumen del relleno compactado, o sea que se utilizará aproximadamente un metro cúbico de material de recubrimiento por cada cuatro metros cúbicos de desechos compactados.

En esas condiciones para los 2 310 000 m<sup>3</sup>. de volumen de relleno compactados, se requerirán cerca de 575 000 m<sup>3</sup>. para material de cubierta, correspondiendo 180 000 m<sup>3</sup>. para las necesidades de la primera etapa.

Para obtener este material, se tendrá que recurrir a bancos fuera del relleno ya que el volumen disponible en los bancos mencionados asciende solamente al orden de 227 400 m<sup>3</sup>., suficientes solamente para las capas de la primera etapa.

La explotación de los bancos para satisfacer las recomendaciones de mezclado dadas por el estudio de Geotécnica, que determina la utilización de los mismos en una proporción de 70 - 30 %, de acuerdo a su clase de material deberá hacerse de la forma siguiente:

a).- Banco sobre abanico	81 940 m <sup>3</sup> .
b).- Banco sobre cono de ladera	50 000 m <sup>3</sup> .
c).- Banco sobre fondo	95 500 m <sup>3</sup> .
TOTAL	227 440 m <sup>3</sup> .

La proporción de la mezcla será 70% de los bancos a) y b) y 30% del c); por lo que podrá utilizarse en esta primera etapa  $131\ 900\ m^3$ . de los dos primeros y  $56\ 500\ m^3$ . del último, lo que da un volúmen total de  $188\ 400\ m^3$ . de los  $227\ 400\ m^3$ . disponibles. La diferencia de  $39\ 000\ m^3$ . podrán ser utilizados mezclados con el proveniente de los bancos externos en la -- construcción de la segunda etapa.

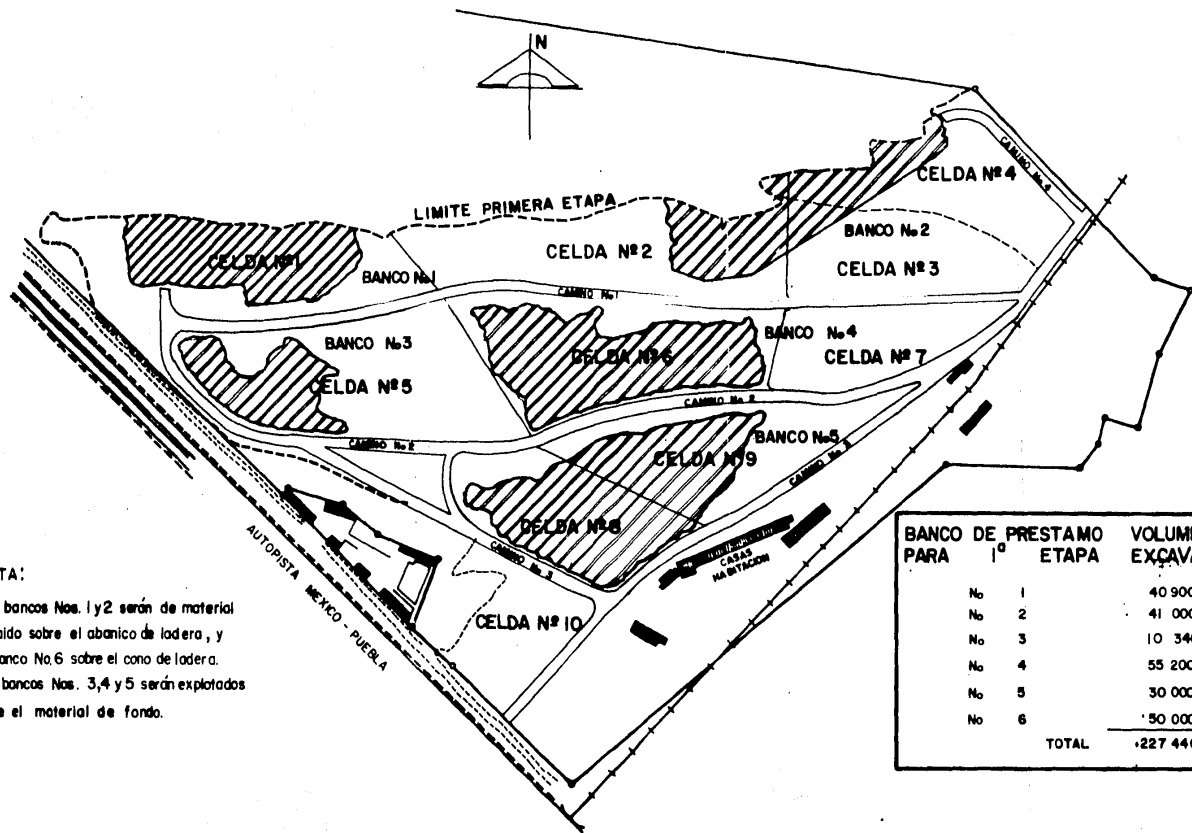
Las excavaciones de estos bancos están considerados como parte de la ca pacidad útil de rellenos.

Para el volúmen faltante,  $395\ 000\ m^3$ ., requeridos para la segunda etapa de relleno será necesario recurrir a bancos de préstamo ubicados fuera del relleno. Para tal fin, se localizaron en las cercanías del relleno dos bancos de préstamo con materiales granulares adecuados para utilizar los en las cubiertas intermedias, cuyo volúmen asciende a  $267\ 000\ m^3$ . - Estos bacos se encuentran ubicados a 10 y 13 kilómetros de distancia del relleno.

El primero de ellos se encuentra en Chicolpan, Edo. de México, aproxim damente sobre el kilómetro 2.5 de la carretera México-Texcoco sobre te rrenos ejidales. El segundo banco es la mina Wachin y se encuentra a 3 - kilómetros del primero siendo éste de propiedad privada. Su capacidad es en forma similar al anterior y muy superior a lo requerido para el - material de cubierta. De este último banco podrá también adquirirse la piedra requerida por los espigones que se empotrarán en el relleno.

Para el material impermeable de cubierta final, se ha seleccionado un - banco de préstamo ubicado en las faldas del cerro del Pino, arriba del poblado de San Isidro, el cual se localiza a un kilómetro del relleno. - El material tiene características de "tepetate", el cual se está usando actualmente en la construcción de la sub-base de la ampliación de la ca rretera federal México-Puebla en su tramo Los Reyes-Ayoxtla. El volúmen disponible es muy superior al requerido para la cubierta que es del or den de  $120\ 000\ m^3$ .





**NOTA:**

Los bancos Nos. 1 y 2 serán de material extraído sobre el abanico de lodera, y el banco No. 6 sobre el cono de lodera. Los bancos Nos. 3, 4 y 5 serán explotados sobre el material de fondo.

BANCO DE PRESTAMO PARA	1 <sup>o</sup> ETAPA	VOLUMEN DE EXCAVACION (m <sup>3</sup> )
No 1		40 900
No 2		41 000
No 3		10 340
No 4		55 200
No 5		30 000
No 6		50 000
<b>TOTAL</b>		<b>227 440</b>

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS

## 4.2.- METODO DE CONSTRUCCION DE CAMINOS

Como primer paso se hará el trazo del camino conforme a los datos del proyecto, delimitandose el ancho de la base conforme a las trazas del camino, y respetando los estándares mencionados anteriormente.

Se despalmará con un bulldozer el ancho de la base de cimentación del camino quitando una capa de terreno natural del orden de 20cm., compactando este mediante un equipo de rodillos lisos agregando agua en proporción del 10% del peso volumétrico del material a compactar (aproximadamente  $1\ 500\ \text{kg}\cdot\text{m}^3$ ).

Formada la caja de cimentación se procederá a la impermeabilización del terreno natural de acuerdo al procedimiento de riego de lodos bentoníticos de las siguientes características:

Viscosidad plástica _____	30 centipoises
Viscosidad Marsh _____	100 segundos
Agua libre _____	inferior a $20\ \text{cm}^3$ .
pH _____	8

Antes de elaborar el lodo bentonítico en grandes volúmenes, es aconsejable efectuar ensayos de laboratorio a la bentonita y agua a emplear, para definir su posición de mezclado y en su caso utilizar aditivos para alcanzar las propiedades antes especificadas. Asimismo, para obtener el espesor mínimo de la membrana bentonítica (4mm.), es necesario hacer un riego de prueba para calibrar la abertura de las espreas del equipo. Los trabajos señalados anteriormente deberán continuarse sin interrupción hasta cubrir la longitud total de caminos de proyecto.

Una vez preparada la base de cimentación del terraplén todos los desechos que lleguen deberán depositarse en montones a lo largo del trazo del camino y junto al hombro del terraplén. Ya depositados los desechos en el frente de trabajo con un bulldozer se extenderá esta primera capa a fin de no dañar la capa de impermeabilización realizada con anterioridad.

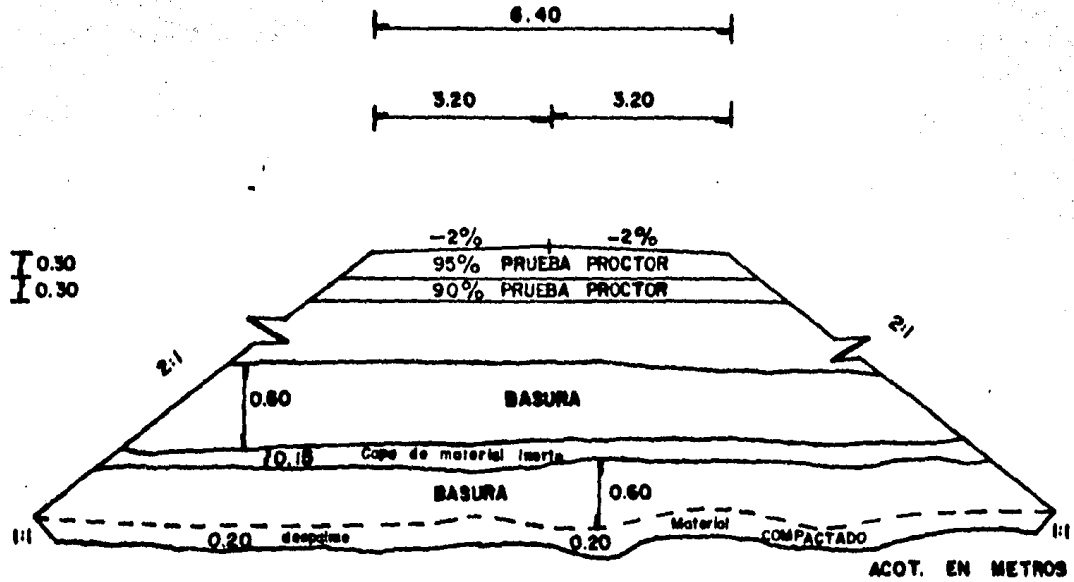
Extendida la basura en capas de 30cm. de espesor, se procederá a compactarla mediante el equipo pesado para relleno sanitario, haciendo pasar este equipo dos veces sobre la basura repitiéndose el procedimiento hasta lograr capas compactadas de 60cm.

Durante el proceso de compactación deberá agregarse agua a los desechos en proporción del 10% de su peso volumétrico ( $300 \text{ kg/m}^3$ ), esta proporción conforme a la experiencia puede ser modificada. Realizada la compactación del frente de trabajo diario se recubrirá con material de cubierta, proveniente de los bancos de préstamo en explotación y cuyo material ha sido previamente mezclado en el sitio de almacenamiento. La capa del material de cubierta ya compactada deberá ser por lo menos de 15 cm. de espesor.

Sobre la primera capa de terraplén compactado los vehículos recolectores volverán a depositar sus desechos a lo largo del hombro del terraplén procediendo a la extensión y compactación en la forma descrita anteriormente, utilizando para este efecto equipo para relleno sanitario. Mediante la sobre-posición de capa de 60cm., se llegará a la altura final del cuerpo del relleno que será 60cm. abajo de las elevaciones de rasante.

El relleno final o capa de cubierta final, será de material impermeable proveniente del banco de préstamo "San Isidro", y será colocado en la misma forma que las capas de cubierta intermedia únicamente que esta tendrá un espesor de 60cm.

Alcanzadas las elevaciones de rasante se dará una afinada a su superficie con una motoconformadora que le dará los bombeos de proyecto a la carpeta. Es conveniente mencionar que los caminos existentes están siendo asfaltados, por lo que si se juzga conveniente podrá seguirse realizando este proceso, haciendo únicamente la modificación al espesor de la cubierta final.



SECCION DE TIPO DE CAMINO



CURVA	CAMINO	CADENAMIENTO			COORDENADAS						Δ	G	R	ST	LONGITUD DE CURVA
					PC		PI		PT						
		PC	PI	PT	N	E	N	E	N	E					
1	1	0+125.45	0+138	0+150.45	5038.20	4353.50	5039.10	4362.50	5042.00	4378.00	12.5° I	10°	114.59	12.55	25.00
2	1	0+273.85	0+292	0+309.85	5073.50	4496.30	5077.30	4515.20	5077.10	4533.20	18° D	10°	114.59	18.15	36.00
3	1	0+503.87	0+512	0+520.12	5067.20	4724.50	5066.80	4733.10	5066.85	4741.30	6.5° I	8°	143.24	8.13	16.25
4	1	0+746.72	0+761	0+773.22	5084.00	4965.50	5085.00	4984.20	5092.20	4989.50	53° I	40°	28.65	14.28	26.50
5	2	0+097.20	0+125	0+150.53	4957.50	4286.00	4939.00	4301.50	4938.10	4332.20	40° I	15°	76.39	27.80	53.33
6	1y2	0+043.46 C N° 2	-0+032.11 C N° 1 -0+018.00 C N° 2	0+029.36 C N° 1	4989.10	4243.20	5033.50	4195.20	5033.70	4259.20	135° D	45°	25.46	61.47	60.00
7	3	0+288.02	0+310	0+325.52	4818.70	4614.50	4810.20	4634.50	4650.40	4830.70	7.5° I	40°	28.65	21.98	37.50
8	2y3	0+162.20 C N° 2	-0+003 C N° 2	0+007.20 C N° 3	4938.10	4343.20	4938.00	4351.70	4933.80	4360.00	23° D	26°	44.07	8.97	17.69

#### 4.3.- METODO DE CONSTRUCCION DE CELDAS

Para la construcción de celdas del relleno, las cuales quedarán delimitadas por el trazo de los caminos y por el método adoptado, será necesario construir previamente una serie de rampas que permitirán la entrada de vehículos recolectores hasta el frente de trabajo. La construcción del relleno de celdas, se iniciará con el despalme e impermeabilización del frente de trabajo en forma similar a la señalada para los caminos.

Sólo con pequeñas excepciones, todos los desechos que lleguen al relleno deben depositarse al pie del frente de trabajo, lo que permitirá aumentar la eficiencia en la utilización de la maquinaria pesada, así como la optimización de tiempo de los vehículos recolectores dentro del tiradero. Depositados los desechos al pie del frente de trabajo, se procederá a extenderlos en capas de 30 cm., mediante el equipo pesado para relleno sanitario, tal y como se describió anteriormente en el método de construcción de caminos.

#### 4.4.- PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA

La programación de los rellenos sanitarios a realizar en Santa Catarina se realizó considerando que el método de explotación del relleno controlado depende fundamentalmente de las características topográficas y geológicas del terreno.

Conforme a la planeación de las actividades a desarrollar en el tiempo de vida útil del tiradero, y de acuerdo a los volúmenes de desechos que ingresarán en el presente y en el futuro, se ha diseñado un programa de construcción que se describe en este capítulo y cuya serie de actividades es la siguiente:

##### Antecedentes

Como se habla mencionado previamente, el sitio del relleno ha sido utilizado como tiradero de basura durante dos años, lapso en el cual se ha logrado acumular una gran cantidad de desechos tal, que ha generado la

necesidad de crear caminos de acceso para depositar dichos desechos. - En realidad existen dos caminos, a los cuales para efecto de nuestro programa se les denominará camino 2 y camino 3, estos caminos de acceso están conformados de materiales de desecho compactados en las capas más inferiores, y de materiales de bancos de préstamo en las capas superiores.

#### Nuevos caminos.

En base a lo anterior se ha proyectado la prolongación a base de rellenos sanitarios de los caminos existentes N<sup>o</sup>. 2 y N<sup>o</sup>. 3 hasta su ligación con el camino futuro N<sup>o</sup>. 1, previa limpieza e impermeabilización del área de su base.

Una vez terminados los caminos anteriormente citados se construirá el camino N<sup>o</sup>. 4 a base de relleno sanitario que servirá a su vez para limitar el acceso al relleno, previa limpieza e impermeabilización del área de su base. Con la terminación del camino No. 4 se estará en el límite de la primera etapa del relleno sanitario. Cabe citar que la vida útil del relleno está dividida en dos partes que son: primera y segunda etapa.

#### Construcción de celdas.

Los caminos existentes No. 2 y No. 3 procurarán la creación de celdas, que se lograrán a base de excavación de material, mismo que será utilizado como material de préstamo en el material de cubierta de los rellenos sanitarios. Esto significa lo siguiente: una vez definida el área de la celda, se procederá a excavar la totalidad de la misma, ya rellena con desechos sólidos, que a su vez serán compactados y sellados con el material que fue excavado anteriormente, para posteriormente ser impermeabilizados y así dar paso a una siguiente capa de relleno.

Mediante este programa de construcción se van a crear las celdas No. 8, 5 y 1, referidos en el Plano de Construcción de Rellenos de la Primera Etapa como Inicio de Operaciones. Estas celdas requerirán aproximadamen



te un año de duración para llegar a la altura del proyecto. Se ha proyectado terminar con la celda número 5 y 8 ya que son las más próximas a los caminos números 2 y 3, existentes. Una vez concluidos los caminos 2 y 3 se podrá dar paso a la construcción de nuevas celdas.

Simultáneamente a la construcción del camino número 4 se ha proyectado - construir el camino número 1 de acceso el cual cerrará el circuito de caminos de la primera etapa. El camino número 1 dará lugar a la construcción de las celdas números 1,2,3 y 4; y contribuirán a la creación de - las celdas 6 y 7 conjuntamente con el camino número 2. Los camino número 2 y 3 contribuirán a la formación de la celda número 9 y los caminos 1 y 4 a la formación de la celda número 4.

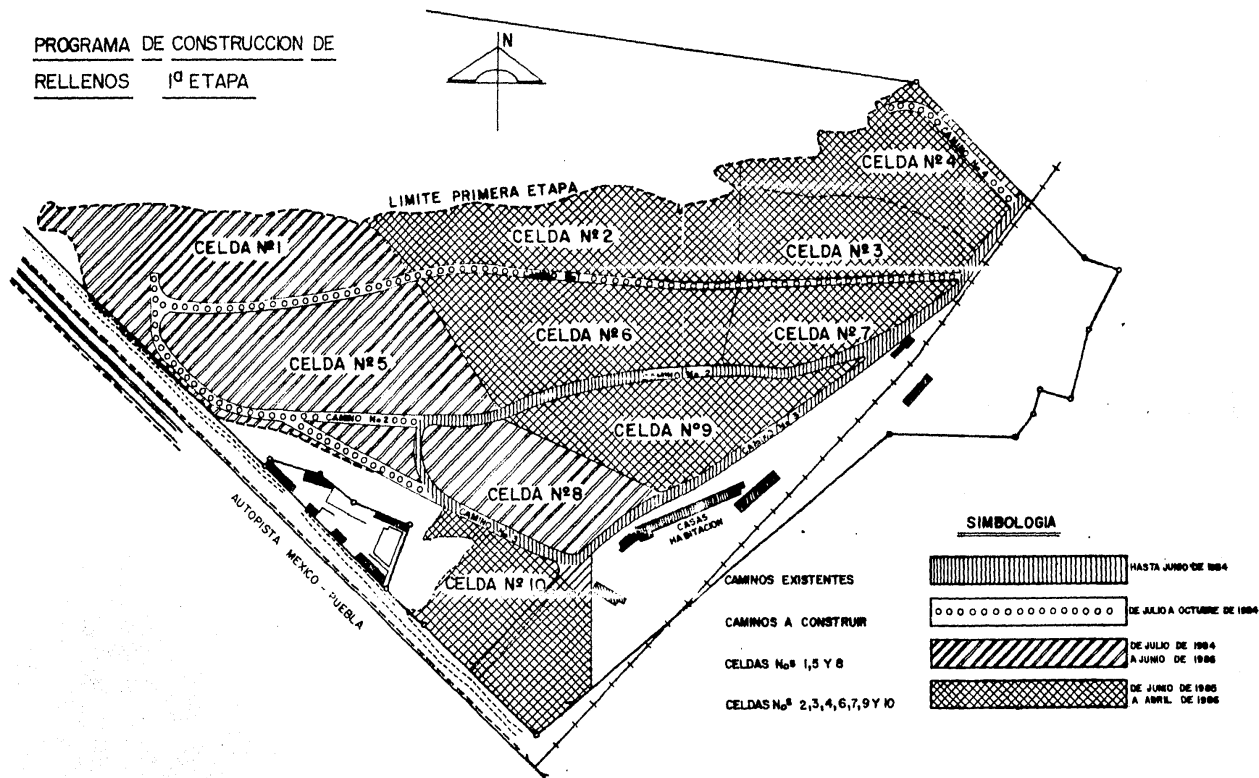
Como se habla notado previamente, el volúmen de material desalojado de - las celdas se aprovechará como material de cubierta de los rellenos. A continuación se mencionarán las capacidades de las celdas más importantes del relleno en la primera etapa.

Celda No. 5.- A partir de la elevación de plantilla 2 273 m.s.n.m., la - celda No. 5 será capaz de producir 10 340 m<sup>3</sup>. de material de cubierta - que servirá a los rellenos que se estén realizando, el volúmen que no se utilice será enviado a una zona de almacenamiento para su posterior mez-clado y utilización con material proveniente de bancos del abanico. La excavación aumentará la capacidad de basuras del relleno, las cuales est-tán incluídas dentro de la capacidad calculada.


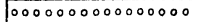


El mismo procedimiento se hará con las excavaciones en las celdas número 1,2,3,4,8 y 9, cuya profundidad de excavación se señala en el Plano No. de Bancos de Préstamo.

En el caso de la excavación de la celda número 6, se ha previsto la remoción previa de la basura hasta ahora almacenada, conduciendo a las celdas 1 ó 5, que conforme al programa se encontrarán en proceso de formación - del relleno.

PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE  
RELLENOS 1ª ETAPA



SIMBOLOGIA

- CAMINOS EXISTENTES  HASTA JUNIO DE 1984
- CAMINOS A CONSTRUIR  DE JULIO A OCTUBRE DE 1984
- CELDAS N°s 1, 5 Y 8  DE JULIO DE 1984 A JUNIO DE 1986
- CELDAS N°s 2, 3, 4, 6, 7, 9 Y 10  DE JUNIO DE 1985 A ABRIL DE 1986

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS

Con la construcción total de los caminos hasta su altura de rasante de terminados para la primera etapa y realizadas las excavaciones cuyo producto servirá para la formación de las capas de cubierta diarias, se tendrán definidas las áreas del relleno de celdas. Por lo anterior, y conforme se ataque cada una de ellas, deberá previa la iniciación del relleno, limpiarse e impermeabilizarse el terreno natural.

Una vez que el relleno en la celda se encuentre 0 cm. abajo de las elevaciones de rasante de los caminos que la limitan se procederá a extender y compactar el material impermeable procedente del banco de préstamos hasta lograr las elevaciones de rasante definidas en el Plano de Rasantes Finales de Relleno de la Primera Etapa, esto sólo en caso de no proseguirse con la segunda etapa. Durante la formación del relleno deberán construirse los espigones que servirán para mejorar el drenado del mismo para permitir la salida de los gases producto de la descomposición de los desechos sólidos.

Excavaciones aproximadas de la primera etapa.

Se citarán a continuación los volúmenes de excavación más representativos dentro de la primera etapa. Estas excavaciones corresponden a la cantidad de material que se destinará como material de cubierta para la formación de celdas de esta etapa.

Excavación socavón en celda No. 5 \_\_\_\_\_ 10 340 m<sup>3</sup>.

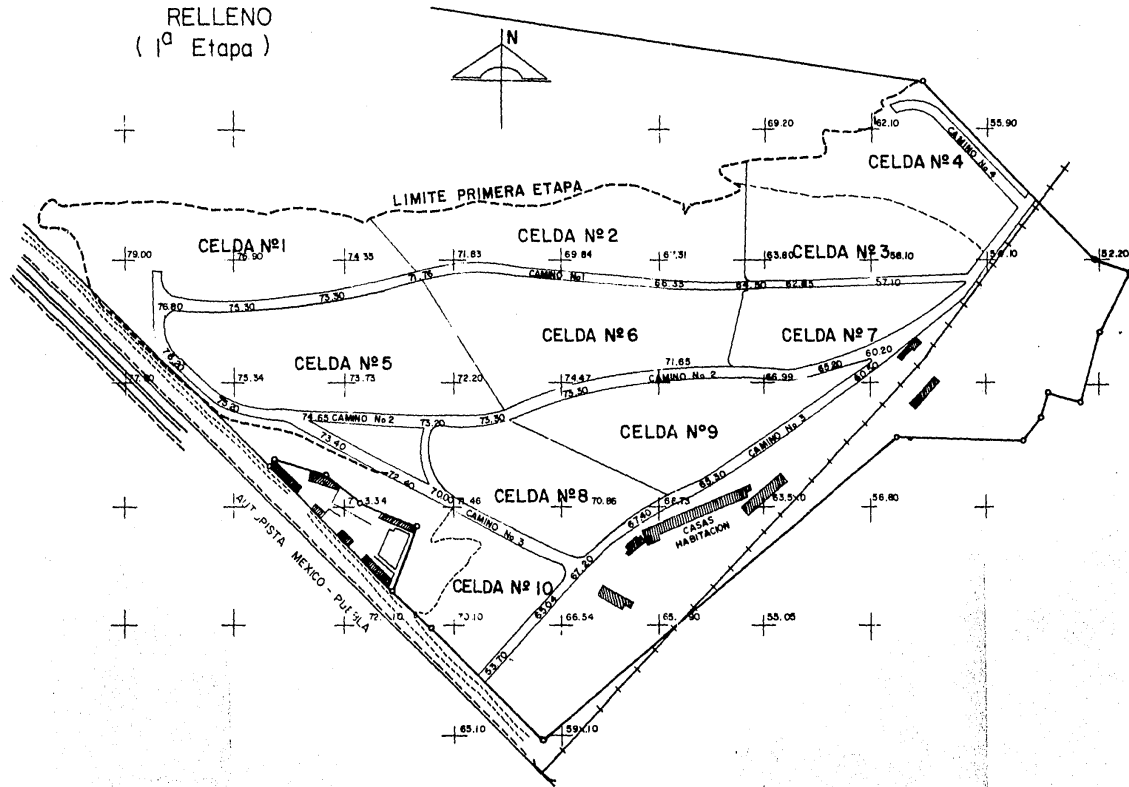
Excavación de socavón en celdas No. 8 y 9 \_\_\_\_\_ 30 000 m<sup>3</sup>.

Excavación ladera en celdas No. 1, 2, 3 y 4 \_\_\_\_\_ 81 900 m<sup>3</sup>.

Remoción de desechos y excavación en celda No. 6 \_\_\_\_\_ 55 200 m<sup>3</sup>.

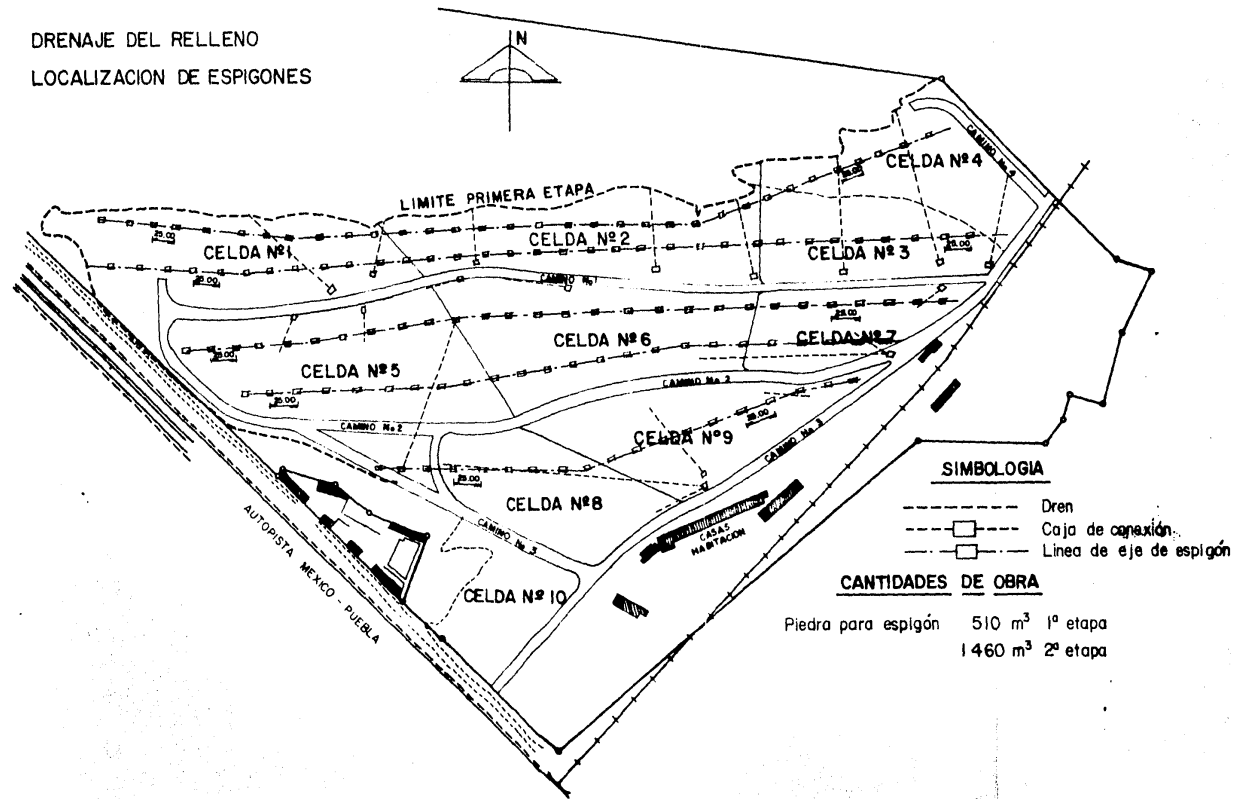
Se mencionan estas excavaciones como relevantes, dado que el material que estas excavaciones van a generar servirán para la formación de nuevas celdas, cuya topografía no permite que sean excavadas sino simplemente rellenas.

RASANTES FINALES DE  
RELLENO  
(1ª Etapa)



FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS

DRENAJE DEL RELLENO  
LOCALIZACION DE ESPIGONES



**SIMBOLOGIA**

- Dren
- Caja de conexión
- Linea de eje de espigón

**CANTIDADES DE OBRA**

Piedra para espigón 510 m<sup>3</sup> 1ª etapa  
1460 m<sup>3</sup> 2ª etapa

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS

#### 4.5.- PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA ETAPA.

Planeación de la segunda etapa de relleno.

La segunda etapa se iniciará inmediatamente al término de la primera, - para lo cual se procederá nuevamente a construir primeramente los caminos que permitirán el acceso de los camiones recolectores a las celdas y como división de las mismas.

En esta forma los dos primeros caminos que se construirán serán los números 5 y 6. El primero de ellos será la prolongación del camino No. 3 de la primera etapa, pero llevando hasta las primeras elevaciones de rasante de esta segunda etapa. El segundo servirá para confinar el área de la celda número 11, que será la primera que empezará a rellenarse.

En la forma antes descrita se proseguirá con la construcción del camino No. 7, con lo cual se tendrá confinada la celda número 12. La construcción del camino No. 8, nos permitirá atacar el relleno de la celda número 13 y así sucesivamente hasta terminar los rellenos de celdas. Es conveniente aclarar que el relleno sanitario en cada una de las celdas llevará como en la primera etapa 60 cm. abajo de las elevaciones finales de rasantes, definidas por los caminos, su relleno con material impermeable procedente del banco de préstamo. Esta cubierta impermeable sellará también la parte superior de los espigones mencionados con anterioridad.

Como se mencionó anteriormente, en esta segunda etapa se construirán los caminos número 5,6,7,8,9,10,11 y12, que permitirán el acceso al relleno de las celdas número 11,12,13,14,15 y16. Los volúmenes de compactación y transportación de material para la construcción de dichos eventos se dan a continuación. (Cuadro No. 2 )

## CAPITULO No. 4

## CUADRO No. 1.- VOLUMENES DE RELLENO EN CELDAS COMPLEMENTARIAS

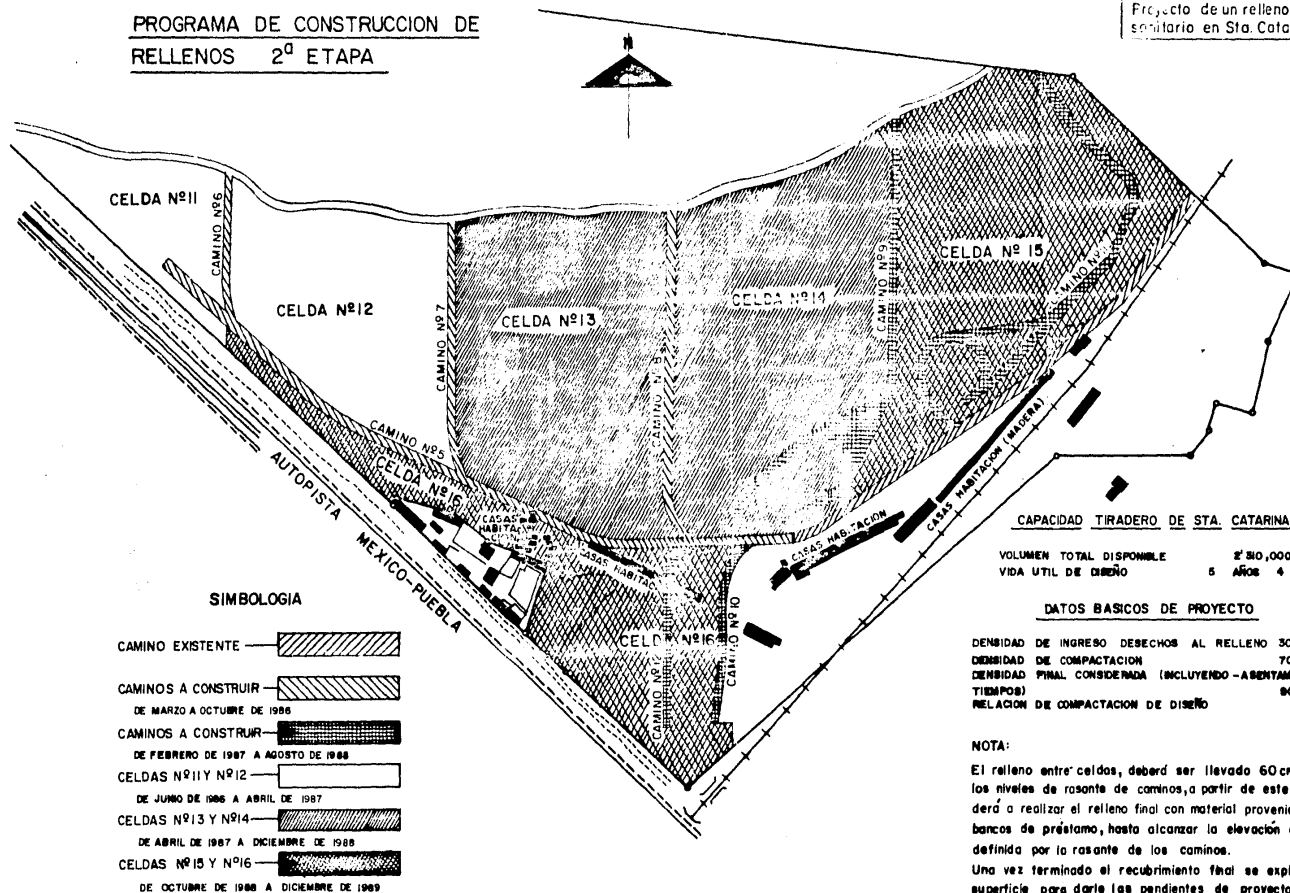
<i>Actividad</i>	<i>Volumen compactado</i>	<i>Volumen transportado</i>
<i>Construcción camino No. 2</i>	<i>70 000 m<sup>3</sup></i>	<i>21 000 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción del camino No. 3</i>	<i>1 500 m<sup>3</sup></i>	<i>4 500 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción del camino No. 4</i>	<i>1 500 m<sup>3</sup></i>	<i>4 500 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en triángulo en celda No. 8</i>	<i>5 400 m<sup>3</sup></i>	<i>16 200 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción camino No. 1</i>	<i>65 000 m<sup>3</sup></i>	<i>195 000 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 1</i>	<i>131 200 m<sup>3</sup></i>	<i>393 600 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 5</i>	<i>131 600 m<sup>3</sup></i>	<i>394 800 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 8</i>	<i>56 710 m<sup>3</sup></i>	<i>170 100 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 2</i>	<i>46 000 m<sup>3</sup></i>	<i>138 000 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 6</i>	<i>67 800 m<sup>3</sup></i>	<i>203 400 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 9</i>	<i>73 700 m<sup>3</sup></i>	<i>221 100 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 3</i>	<i>87 050 m<sup>3</sup></i>	<i>161 100 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 7</i>	<i>5 700 m<sup>3</sup></i>	<i>17 100 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 4</i>	<i>16 670 m<sup>3</sup></i>	<i>50 000 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 10</i>	<i>3 000 m<sup>3</sup></i>	<i>9 000 m<sup>3</sup></i>

CUADRO No. 2.- VOLUMENES APROXIMADOS DE OBRA DE LA SEGUNDA ETAPA

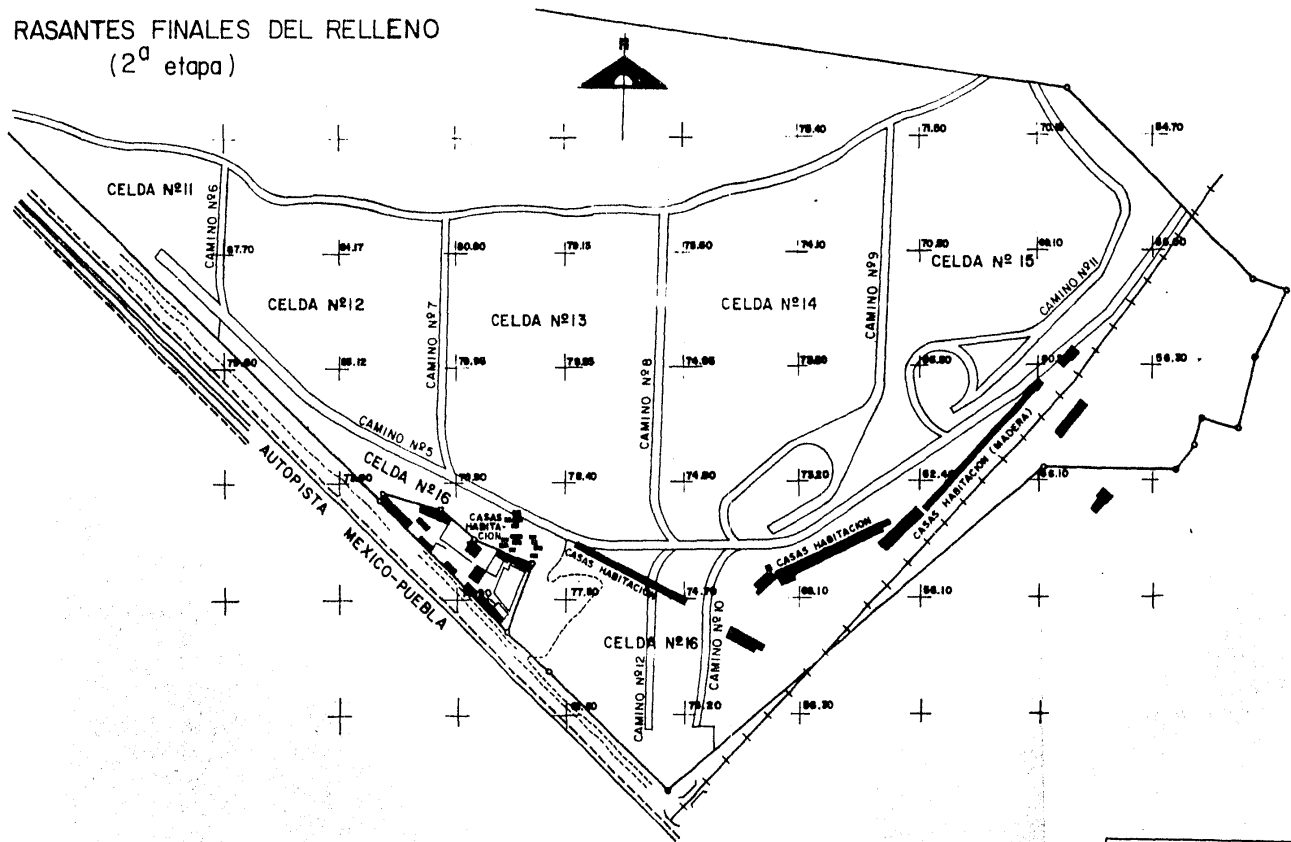
<i>Actividad</i>	<i>Volumen compactado</i>	<i>Volumen transportado</i>
<i>Construcción camino No. 5</i>	<i>73 000 m<sup>3</sup></i>	<i>219 000 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción camino No. 6</i>	<i>16 000 m<sup>3</sup></i>	<i>48 000 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno de celda No. 11</i>	<i>64 500 m<sup>3</sup></i>	<i>193 500 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción camino No. 7</i>	<i>25 100 m<sup>3</sup></i>	<i>75 300 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 12</i>	<i>181 300 m<sup>3</sup></i>	<i>543 900 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción camino No. 8</i>	<i>22 100 m<sup>3</sup></i>	<i>66 300 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 13</i>	<i>308 700 m<sup>3</sup></i>	<i>926 100 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción camino No. 9</i>	<i>33 900 m<sup>3</sup></i>	<i>101 700 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 14</i>	<i>259 200 m<sup>3</sup></i>	<i>777 600 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción del camino No. 10</i>	<i>17 600 m<sup>3</sup></i>	<i>52 800 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 15</i>	<i>330 900 m<sup>3</sup></i>	<i>992 700 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción del camino No. 11</i>	<i>65 950 m<sup>3</sup></i>	<i>198 000 m<sup>3</sup></i>
<i>Relleno en celda No. 16</i>	<i>149 140 m<sup>3</sup></i>	<i>447 400 m<sup>3</sup></i>
<i>Construcción del camino No. 12</i>	<i>47 600 m<sup>3</sup></i>	<i>142 800 m<sup>3</sup></i>
<i>Total segunda etapa</i>	<i>1 594 920 m<sup>3</sup></i>	<i>4 785 100 m<sup>3</sup></i>



PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE  
RELLENOS 2ª ETAPA



# RASANTES FINALES DEL RELLENO (2ª etapa)



FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
Gonzalez Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TE S I S



## PROGRAMA DE APORTACIONES

Año	Volúmen Anual Ingresado m <sup>3</sup>	Volúmen Ingresado Acumulado m <sup>3</sup>	Volúmen Compactado 3:1 m <sup>3</sup>	Volúmen Compactado Acumulado m <sup>3</sup>	Observaciones
JUL - DIC 1984	555 000	555 000	185 000	185 000	Término de la 1ª etapa abril de 1986
ENE - DIC 1985	1 170 000	1 725 000	390 000	575 000	
ENE - DIC 1986	1 220 000	2 945 000	406 000	981 000	
ENE - DIC 1987	1 300 000	4 245 000	430 000	1 411 000	
ENE - DIC 1988	1 360 000	5 605 000	454 000	1 865 000	
ENE - OCT 1989	1 306 000	6 911 000	435 000	2 300 000	

#### 4.6.- EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCION DEL RELLENO

De acuerdo a las aportaciones diarias de desechos en el tiradero, se de terminaron los requerimientos de equipo necesario para satisfacer las - condiciones de movimientos de desechos como de terracerías que permitiera n cumplir con las normas sanitarias establecidas para la operación del tiradero.

Se seleccionó un grupo de equipos mínimos trabajando a su máxima eficien cia, razón por la cual deberá preverse un mantenimiento preventivo muy- eficiente para poder garantizar su trabajo continuo durante los años de vida útil del relleno.

Siendo los volúmenes diarios de aportación de basura, variables de 3 000 a 3 900 m<sup>3</sup>, se buscaron equipos cuya capacidad cubriera como mínimo este último rango, utilizándose para tal fin el manual de la fábrica Caterpillar.

Necesidades diarias determinadas:

- a).- Limpia del terreno en la superficie que variará de 5 100 a 6 500 m<sup>2</sup>. por día durante la vida útil del tiradero.
- b).- Extendido y compactación con dos pasadas, de una capa de basura de 60 cm. de espesor en una superficie similar a la del punto anterior.
- c).- Humectación de una superficie que variará durante la vida útil del tiradero entre 5 100 y 6 500 m<sup>2</sup>., dos veces al día, una sobre la capa de basura y otra sobre el material de cubierta después de la primera pasada del compactador.
- d).- Extendido y compactación de una capa de 15 cm. de espesor de materi al de banco de préstamo de una superficie que variará durante la vida útil del tiradero del relleno entre 5 100 y 6 500 m<sup>2</sup>
- e).- Explotación en banco de préstamo de 750 m<sup>3</sup> / día, mínimo, y carga- y transporte del mismo volumen.

#### 4.7.- RECOMENDACIONES PRELIMINARES PARA LA SELECCION DEL EQUIPO PARA LA CONSTRUCCION DEL RELLENO

El objetivo básico de la selección de equipo es escoger la combinación óptima de cantidad, tamaño, tipo de equipo y accesorios necesarios para la ejecución de las funciones requeridas para la preparación, operación y acabado del relleno sanitario. Con base a lo anterior se tratará en este inciso únicamente un aspecto general de los tipos de equipo y sus características primordiales dejando la selección y especificaciones para el siguiente capítulo.

Las máquinas usadas en rellenos sanitarios pueden clasificarse dentro de las cuatro categorías funcionales:

- a).- Máquinas y equipos para el manejo del material de cobertura.
- b).- Máquinas y equipo empleados para manejar los desechos.
- c).- Máquinas y equipos empleados para labores secundarias y de mantenimiento.
- d).- Máquinas y equipo que pueden usarse para todas las funciones antes señaladas.

En forma similar, las máquinas pueden ser clasificadas de acuerdo con:

- a).- Su movilidad, velocidad y sistema de tracción o locomoción.
- b).- Su habilidad y capacidad de manejo (transporte), remoción y excavación, empuje y compactación de diversos materiales; y
- c).- Su flexibilidad o versatilidad para su uso en diferentes labores de relleno sanitario.

## 5.- OPERACION Y MANTENIMIENTO

El plan de operación de un relleno sanitario es la culminación de un buen diseño, ya que de la operación dependerá el éxito de este. Un plan de operación es esencial para la construcción del relleno, y debe incluir como mínimo los siguientes puntos:

### 5.1.- HORARIO DE OPERACION.

Para el caso del relleno sanitario de Santa Catarina, se ha considerado el horario normal de trabajo de 8:00 a.m. a 17:00 p.m. (9 horas) de lunes a Viernes, y de 8:00 a.m. a 14:00 p.m. (6 horas) sábados y domingos.

Este horario deberá colocarse a la entrada del tiradero indicando además los tipos de desechos que podrán recibirse y los cuales son de las siguientes fuentes de generación: domésticos, comerciales, mercados, instituciones, vía pública, sitios de reunión, parques y jardines, demoliciones y construcción. Se recibirán también los desechos de procedencia industrial y hospitalaria, que no contengan componentes bacteriológicos o químicos que puedan poner en peligro la salud de los operadores del relleno o que propicien el desarrollo de enfermedades epidemiológicas.

Para obtener buenos resultados el relleno debe estar abierto sólo si están los operadores en servicio. Para depositar los desechos que sean conducidos fuera de horas de servicio se colocará un contenedor en la entrada del relleno.

### 5.2.- SISTEMA DE CONTROL DE ENTRADAS.

Se ha previsto la entrada al relleno, tanto del personal administrativo y de campo como de vehículos recolectores, por un sólo acceso que se comunica a través de un camino pavimentado con la carretera federal México- Puebla.

### 5.3.- CONTROL DE PESAJE.

El control de pesaje en la entrada del relleno sanitario es una actividad auxiliar de mucha importancia, ya que aportará datos que servirán para el control del sistema de recolección y a la vez se podrá determinar día a día el volumen dispuesto en el relleno, lo que permitirá estimar la vida útil del relleno sanitario. El tamaño de la báscula fue determinado con base en el mayor tipo de vehículo, utilizado a la fecha con un margen de seguridad que le permitirá aceptar vehículos hasta de 50 toneladas de capacidad. Aún cuando estas básculas requieren poco mantenimiento será necesario seguir para su conservación las recomendaciones del fabricante.

El sistema de pesaje es factor primordial para determinar el sistema tarifario que se establezca en la comunidad. En ese sentido deberá llevarse un control de todos los desechos que entren al sitio de disposición, así como todos los subproductos que sean recuperados si esta operación se permite.

### 5.4.- CONTROL DE TRAFICO.

Se señalarán mediante letreros los caminos de entrada y de salida, así como los diferentes frentes de trabajo del relleno sanitario, esto evitará accidentes y pérdidas de tiempo en la operación de descarga de los desechos sólidos; Dependiendo de la forma de descarga, que puede ser manual o mecánica de los vehículos recolectores, deberán enviarse éstos a diferentes partes del frente de trabajo, para no entorpecer las operaciones del relleno sanitario.

En forma general se ha propuesto tener abiertos frentes alternos de trabajo con el fin de dar tiempo para la posible selección manual de los desechos, aunque esta práctica no es recomendable y debiera evitarse.



## 5.5.- METODOS OPERATIVOS ESPECIALES.

Atendiendo a las características fisiográficas e hidrológicas de los sitios particulares, así como de la disponibilidad de materiales para cubierta, los métodos de operación que se prevén como especiales en la ejecución del relleno sanitario son los siguientes:

a).- Terrenos planos o ligeramente ondulados.

En áreas relativamente a nivel se podrá construir una rampa haciendo una excavación superficial y utilizando la tierra excavada para formar la parte de la rampa que está por encima del nivel de tierra original. En terrenos ondulados la operación podrá iniciarse usando el declive natural. La anchura y la longitud del declive dependerá en parte de la naturalidad del terreno, el volumen de desechos entregados diariamente en el sitio y el número de camiones que posiblemente estarán presentes para descargar al mismo tiempo. La anchura mínima del declive será aproximadamente dos veces el ancho del tractor, lo que permitirá que este se mueva de lado a lado para apisonar los desechos. El declive de la rampa no debe ser mayor de 30 grados.

Los vehículos de recolección depositarán los desechos en la base o en la cima de la rampa y el tractor la extenderá en capas de 30cm. sobre la rampa y la apisonará. Esto se deberá hacer varias veces al día para obtener la consolidación deseada, más que tratar de extender y apisonar una gran acumulación a varios metros de profundidad al mismo tiempo. Al final de las operaciones del día los desechos apisonados en la rampa deberán ser cubiertos con tierra tomada de la zona inmediata a la base de la rampa. Los desechos del día siguiente se esparcirán y serán apisonados en el declive formado por la capa de tierra que cubre los desechos del primer día y cubiertos por excavaciones adicionales frente a la base del declive en avance.

Es conveniente poner un cordón de tierra antes de colocar los desechos a lo largo de una o varias orillas de la parte del declive que está sobre el nivel original del terreno, esto disminuirá la dispersión de papeles y cajas por el viento, y ayudará a contener la zona de trabajo y a facilitar la cobertura de los declives naturales. La tierra colocada

como cubierta sobre la rampa deberá tener por lo menos 15cm. de profundidad, después del apisonamiento y la cubierta del nivel final deberá tener 60cm. de espesor.

c).- Area de terreno con hondonadas.

Quando estas hondonadas son de relativa profundidad se deberán llenar en capas comenzando cada una en el extremo más elevado de la hondonada a fin de no obstruir el desague natural. La cubierta de tierra para la primera capa, a medida que se va a todo lo largo de la barranca, se podrá frecuentemente obtener delante de la base de declive de avance, sin embargo, la cubierta para las siguientes capas o elevaciones usualmente se obtendrán de los lodos de la hondonada. En algunas circunstancias podrá no resultar conveniente el extender la primera capa de celda a todo lo largo de la hondonada antes de comenzar la construcción de las capas superiores. En este caso la primera capa de celdas se podrá construir sólo a una distancia relativamente corta del extremo superior de la hondonada.

En un corte longitudinal esto daría la apariencia de una serie de peldaños cuando se completen las capas superiores. Este procedimiento permitirá obtener una porción de la cubierta para las capas superiores, de ser necesario, del fondo de la hondonada delante de la cara de la primera capa, trayéndola después de las rampas de las otras capas hasta el nivel de operación. Cuando se han terminado las capas superiores, la capa de fondo se puede extender a una corta distancia y construir capas sucesivas sobre ella en la misma forma.

Una ventaja de este método de operación en las hondonadas es que la superficie de las capas se exponen menos a la erosión.

Independientemente de la manera de llenar las hondonadas, la profundidad de cada capa de celdas se deberá limitar usualmente de dos a tres metros y se deberá obtener la consolidación de los desechos y la cubierta al máximo.

c).- Operación en tiempo de lluvias.

En los períodos lluviosos se deberán reservar para las operaciones las áreas cercanas al camino de entrada igualmente en los períodos cortos de lluvias durante las épocas del año normalmente secas. Cuando el tiempo es favorable se podrán llevar a cabo operaciones en áreas alejadas del camino de entrada por medio de los caminos secundarios al frente de trabajo. Se deberá tener siempre un abastecimiento de cascajo o grava para usarlos en caso de urgencia. Los cargamentos de barrido de las calles, de cenizas y de partículas pequeñas entregados para relleno pueden ser también aprovechados para este fin.

5.6.- EQUIPO

Como se ha mencionado anteriormente, se puede clasificar los equipos dentro de los siguientes conceptos:

5.6.1.- EQUIPO PARA LIMPIEZA DEL TERRENO.

Para esta actividad se utilizarán 4 bulldozer de oruga, con capacidad de 180 HP., de Marca Caterpillar. Anteriormente ya se ha explicado el método operativo para la limpieza del terreno.

5.6.2.- EQUIPO PARA EXTENDIDO Y COMPACTACION.

Para realizar esta actividad diaria, se utilizará un compactador para rellenos sanitarios Marca Caterpillar, Mod. 826-C, o similar; cuyas características principales son contar con tambores delanteros y traseros que siguen el mismo curso, desgarrando y aplastando la basura dos veces en cada pasada. El diámetro de cada rueda es de 1.83 metros y su ancho de 1.29 metros, teniendo propulsión en sus 4 ruedas.

Una articulación a la mitad de la distancia entre los ejes contribuye a darle gran maniobrabilidad. Su peso de operación es de 30 770 kg. y tiene un rendimiento superior a las 1 170 toneladas por día ( $3\ 900\text{m}^3$ ), que se requerirán mover en la última etapa del relleno.

Para extendido y compactación del material de cubierta se utilizará un compactador para relleno sanitario Marca Caterpillar, Mod. 815-C, o similar, con características iguales al compactador 826-C, pero de menores dimensiones y peso que los hacen apropiados para la compactación de los 15cm. del material de cubierta. Este equipo podrá sustituir al compactador 825-C en caso de emergencia, o viceversa.

#### 5.6.3.- EQUIPO PARA HUMECTACION DEL RELLENO.

Se utilizará una pipa de 8 000 litros de capacidad que además de humectar el relleno a compactar, contará con una bomba de alta presión para com-atir incendios.

#### 5.6.4.- EQUIPO PARA MANEJO DE MATERIAL DE CUBIERTA.

Para realizar la explotación de los bancos de préstamo se utilizará el siguiente equipo: un Bulldozer marca Caterpillar modelo D-7 o similar - que contará con ripper.

Este equipo podrá ser ayudado por los bulldozer asignados a la limpieza del terreno aumentando la capacidad de explotación del banco con lo cual podrá almacenarse material de cubierta dejando las excavaciones de los bancos de ladera y fondo listos para su posible uso como relleno sanitario.

Un cargador frontal marca Caterpillar modelo 953 o similar puesto en el banco que se encuentre en explotación o en el lugar de almacenamiento del material de cubierta para cargar los camiones de volteo.

Camiones de volteo en número suficiente conforme a las actividades antes mencionadas para transportar el material de cubierta durante la explotación de los bancos y posteriormente para el transporte desde el almacenamiento del material a la zona del relleno en ejecución.

Enseguida se presenta un resumen del equipo principal. (Tabla No. V - I).

TABLA No. V - 1

RESUMEN DE EQUIPO PRINCIPAL

Concepto	Cantidad
Bulldozer Caterpillar D-7 ó similar -----	1
Compactador para rellenos sanitarios ----- Caterpillar 826-C, ó similar	1
Compactador para rellenos sanitarios ----- Caterpillar 815-C	1
Cargador frontal Caterpillar 953 ó similar -----	1
Rodillo liso VAP-70 -----	1

## 5.7.- MANTENIMIENTO Y CONTROL DEL RELLENO.

Para el mantenimiento y control del relleno se propone el organigrama - anexo en el cual existirá una gerencia general con 3 departamentos, los que estarán constituidos de la siguiente forma:

### 5.7.1.- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO.

Este departamento formado por cuatro oficinas que son:

Oficina de Contabilidad.- Esta oficina estará encargada de llevar el flujo de caja de la contabilidad general correspondiente a la compra de - equipo, materiales y refacciones para el mantenimiento, etc.

Oficina de Suministros.- Esta oficina será la encargada de adquirir los materiales requeridos para crear las obras de infraestructura así como los combustibles y refacciones para el equipo.

Oficina de Recursos Humanos.- Será la encargada de la contratación y -- administración del personal que integrará los diferentes departamentos.

Oficina de Subproductos.- Esta oficina controlará el material recolec- tado en la pepena. Este control se llevará a cabo a través del pesado y almacenado del material para que posteriormente sea sacado del tirade no.

### 5.7.2.- DEPARTAMENTO TECNICO.

Este departamento estará formado por 3 oficinas cuyas funciones son las siguientes:

Oficina de Vigilancia y Control.- Esta oficina contará con una caseta de vigilancia para evitar el acceso al tiradero a personas ajenas, así como la entrada de basura clandestina. En esta oficina se llevará a cabo el control del número de camiones y su peso respectivo que entran al tira- dero, por lo que se instalará una báscula de plataforma por donde debe- rán pasar todos los camiones.

Con el personal asignado a estas instalaciones se podrá tener el control de:

- a).-Tonelaje y volúmen de desechos ingresados.
- b).-Tonelaje y volúmen de material de cubierta.
- c).-Tonelaje y volúmen de subproductos egresados.

Por otra parte los archivos del operador de la báscula auxiliarán al sistema de manejo y disposición registrando número, horario y frecuencia - de llegada de los vehículos recolectores y la densidad de los desechos - cuando estos son descargados.

Oficina de Producción de Rellenos.- Esta oficina será la encargada de la supervisión de campo para la ejecución de los rellenos por lo que deberá controlar la operación del equipo de construcción y el equipo de apoyo.

Asimismo se llevará el control del programa de construcción general de los rellenos durante la vida útil del mismo, por lo que se deberá controlar los niveles y trazo a través de una cuadrilla de topografía de las celdas y caminos verificando los taludes de los terraplenes. Deberá estar en contacto directo con el laboratorio a fin de verificar los espesores y densidades de la basura para poder corregir o mejorar la compactación de la misma.

Esta oficina deberá tener un buen control de tráfico a fin de evitar accidentes y pérdidas de tiempo en la operación de descarga de los desechos y de los materiales de cubierta. También deberá contar con personal para la señalización de los caminos de entrada y salida de las celdas correspondientes, dependiendo del tipo de camiones que estén descargando.

Oficina de Procesamiento de Información y Laboratorio.--A fin de dar seguridad sanitaria a la operación de relleno durante la construcción y al finalizar la misma así como la creación de una base confiable para el diseño de futuros rellenos, será necesario contar con personal y equipo - que procese la información y realice una evaluación continua a través de investigaciones de campo y laboratorio.

En esta oficina llamada de procesamiento de información y laboratorio se concentrará toda la información obtenida de los registros, así como la - de costos, de mano de obra, equipo en propiedad o alquilados, operación y mantenimiento, inversiones en infraestructura y costos administrativos.

En el laboratorio se llevarán a cabo las siguientes actividades principales:

- a).-Control de los materiales usados para la cubierta de los rellenos.
- b).-Investigación sobre humectación mas apropiada para compactación de los rellenos.
- c).-Control de temperaturas en las capas del relleno mediante un proceso investigativo de tomas de datos y muestras.
- d).-Control de plagas como ratas y moscas, las cuales deberán ser anuladas en su mayor parte como consecuencia de una buena compactación del relleno y del recubrimiento de tierra diario, sin embargo, será necesario disponer de venenos que dosificados correctamente eliminan dicho problema.
- e).-Análisis físicos de los desechos para conocer la calidad de los mismos, con lo que se podrá determinar la calidad y cantidad de subproductos existentes en los desechos.

Estudio de tiempos y movimientos el cual permitirá conocer el tiempo observado para el cumplimiento del proceso de relleno desde la entrada de la basura hasta su compactación y recubrimiento diario, para concentrar el tiempo standard cuyo conocimiento y aplicación servirá entre otras cosas para: Contar con una base real para la programación de las actividades, del vehículo de recolección y de la maquinaria que ejecuta los rellenos así como la que lo apoya. Muestreo periódico de los abastecimientos cercanos a fin de garantizar que no se están contaminando o tomar medidas para evitarlo.

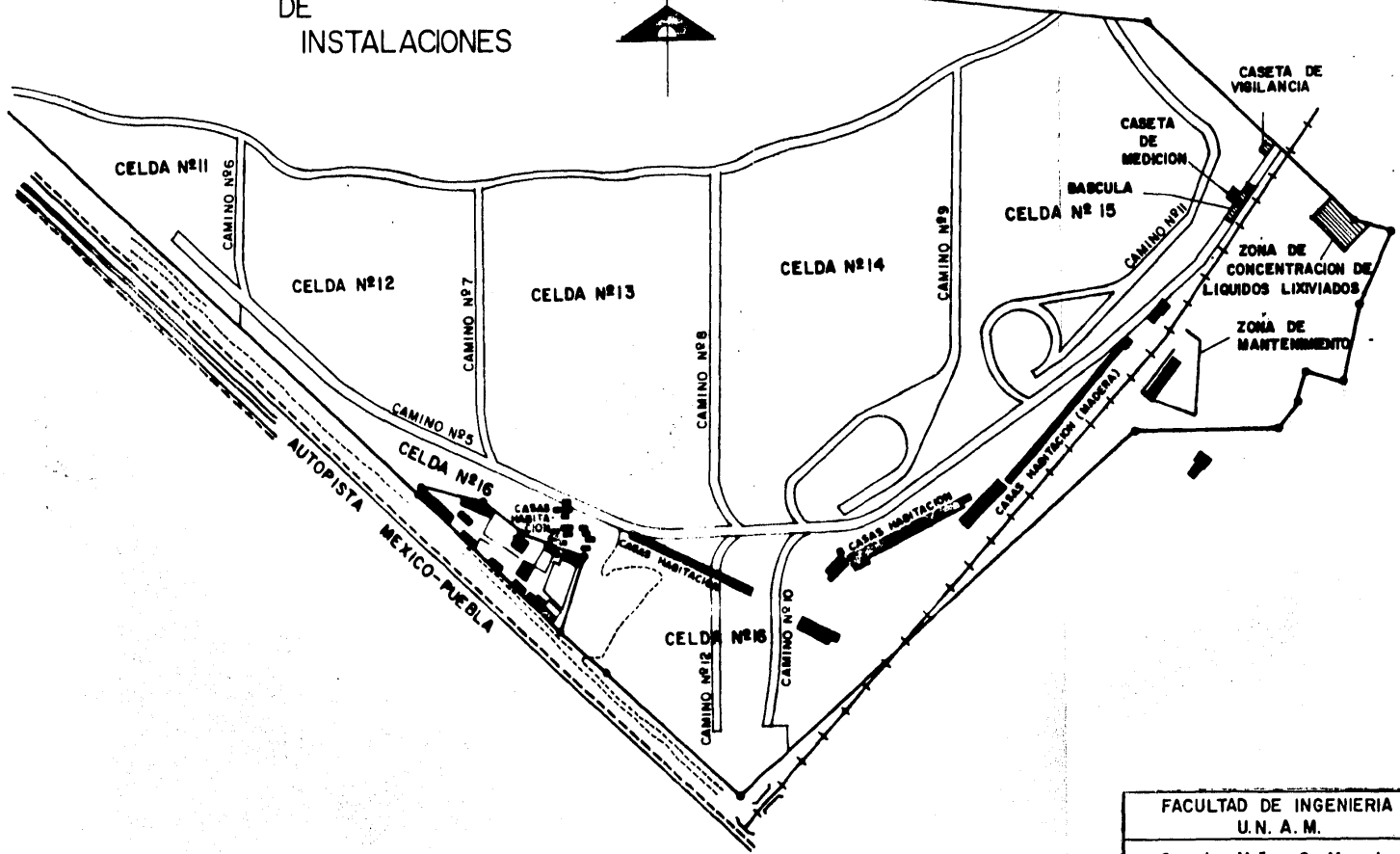
f).-Muestreo de lixiviado para establecer el caudal generado y una vez conocidas sus características físicas, químicas y bacteriológicas proponer el proceso técnico económico más adecuado para su tratamiento.



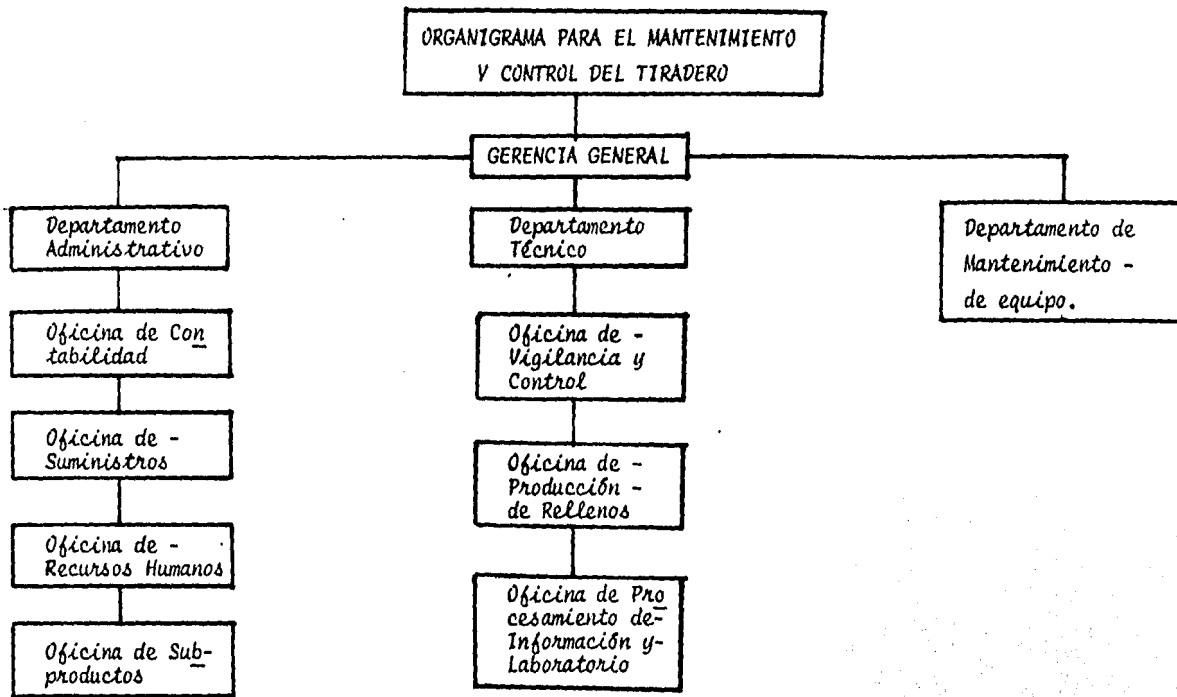
### 5.7.3.- DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO.

Este departamento contará con un taller para mantenimiento del equipo pesado, utilizado directamente en la construcción del relleno así como del equipo de apoyo. Deberá tener personal especializado de acuerdo a la marca y tipo del mismo con objeto de poder dar mantenimiento preventivo en forma eficiente y rápida. Las oficinas de este departamento se ubicarán en el área actual de la entrada del tiradero, como se muestra en el plano de localización de instalaciones. Debido a la gran diversidad de equipos que es factible utilizar en un relleno sanitario no se dan los pormenores del mantenimiento preventivo para cada tipo de uni-dad, sin embargo, se hace notar que es obligación del distribuidor de la maquinaria el proporcionar los manuales de mantenimiento preventivo para cada tipo de unidad adquirida e incluso capacitar al personal que las atenderá.

# LOCALIZACION DE INSTALACIONES



FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
González Muñoz G. Manuel	
Proyecto de un relleno sanitario en Sta. Catarina	TESIS



5.8.- PERSONAL.

Conforme a las necesidades determinadas para lograr una buena operación del relleno que permita disponer la totalidad de los desechos ingresados diariamente en la formación de los rellenos, se requiere como mínimo del siguiente personal:

5.8.1.- PERSONAL TECNICO ADMINISTRATIVO.

<u>Concepto</u>	<u>Personal</u>
<i>Departamento Administrativo:</i>	
Jefe de departamento	1
Secretaria	1
-Oficina de Contabilidad	
Contador	1
-Oficina de Suministros	
Auxiliar administrativo	1
-Oficina de Recursos Humanos	
Auxiliar administrativo	1
-Oficina de Subproductos	
Auxiliar administrativo	1
	<hr/>
Personal total en Departamento Administrativo	6
 <i>Departamento Técnico:</i>	
Jefe de departamento	1
Secretarias	2
-Oficina de Vigilancia y Control	
Policia (uno para turno laboral y otro velador)	2

Auxiliar administrativo	2
-Oficina de Producción de Rellenos	
Ingeniero Civil	1
Auxiliares de Topografía	4
-Oficina de Procesamiento y Laboratorio	
Ingeniero Civil ó Topógrafo	1
Laboratorista	1
Auxiliar Técnico	2
	<hr/>
Personal total en Departamento Técnico	16

Departamento de Mantenimiento de Equipo:

Jefe de Departamento	1
Mecánico especialista en Diesel	2
Mecánico especialista en gasolina	1
Auxiliares mecánicos	6
	<hr/>
Personal total en Departamento de <u>Mantenimiento de equipo</u>	10

5.8.2.- PERSONAL DE CAMPO

<u>Concepto</u>	<u>Personal</u>
Supervisores (Ingenieros Civiles ó Topógrafos)	2
Operadores de maquinaria	6
Ayudantes de campo	3
	<hr/>
Total de Personal de campo	11

En el dado caso de necesitar equipo de apoyo, el personal que opere los vehículos serán considerados por separado dado que la renta de estos - equipos es solamente en caso de emergencia.

Las funciones y características del personal de campo serán las siguientes:

**Supervisor:** Este empleado debe tener los conocimientos y el entrenamiento necesarios para dirigir la obra en progreso, requiriéndose su presencia durante todo el tiempo que el relleno se encuentre en operación.

Dependerá directamente del Departamento Técnico.

**Operadores de Maquinaria:** Un relleno sanitario requerirá el empleo de varios operadores de máquina pesada que sean capaces de manejar y mantener en buen estado el equipo. Además de las condiciones establecidas, el operador deberá poseer el entrenamiento necesario para poder interpretar planos que indiquen elevaciones y contornos, seguir especificaciones de acabado y entender el propósito y los problemas relacionados con la operación de un relleno sanitario.

**Recibidor - Despachador:** Este empleado estará en cargo de la caseta de entrada y de pesar todos los vehículos que entren al sitio. Puede asignarsele cobrar las cuotas de disposición una vez que los vehículos - han sido pesados, para el caso de vehículos particulares. Esta posición requiere que el empleado Este a la mano todo el tiempo que el relleno - permanezca abierto.

**Ayudantes:** Es recomendable el emplear personal que auxilie al resto del personal en la obra, entareas menores de limpieza o para dirigir el tráfico interno durante las horas de mayor movimiento de vehículos.

## 5.9.- COSTOS.

Aunque el relleno sanitario está considerado como el método más económico de disposición, los gastos en que se incurren pueden ser substanciales. De ahí la importancia de compilar y analizar los datos sobre costos como sustentación para una operación eficiente y económica de la obra.

La estimación de costos de un relleno sanitario se basa en la capacidad instalada para manejar los desechos que llegan al sitio, ya que el equipo de la maquinaria pesada no es fraccionable y es necesario tenerlo completo desde el comienzo mismo de la operación al igual que las obras civiles y demás accesorios (básculas, casetas, accesos, cercas, etc). - Indispensables para el cabal funcionamiento del relleno. En este sentido el precio unitario por tonelada de desechos dispuestos dependerá del tamaño de la operación, el método de relleno que se aplique y el valor en el mercado local de los equipos, materiales y mano de obra que se requieren para la operación.

### Clasificación de Costos.

De lo anterior se desprende que una estimación de costos real y apropiada de inversión de capital y operación sólo podrá obtenerse una vez diseñado el relleno sanitario. En todo caso, el análisis de costos debe realizarse cuidadosamente, sin omisión de detalles.

Una adecuada clasificación de costos comprende:

#### 1.- Costos no operacionales que incluyen:

##### 1.1.- Inversión inicial de capital:

- Terreno
- Mejoras
- Edificaciones
- Equipos

##### 1.2.- Costos no operacionales anuales:

- Depreciación (equipo y mejoras)
- Pago de intereses y otros gastos de financiamiento

## 2.- Costos operacionales que incluyen:

- 2.1.- Trabajo directo (conductores, operadores de básculas, vigilantes, etc).
  - Jornales, horas extras, beneficios marginales.
  - Combustibles y lubricantes.
- 2.2.- Operación de equipos:
  - Arrendamiento
  - Combustible y lubricantes
  - Reparación y mantenimiento preventivo (mano de obra, piezas y accesorios, cargos de otras fuentes).
- 2.3.- Material para recubrimiento (si se obtiene de otra procedencia).
- 2.4.- Desembolsos generales:
  - Administración
  - Servicios
  - Cargos de otros departamentos
  - Mantenimiento en general de edificaciones y alrededores.

## 3.- Costo total que incluye:

- 3.1.- Costo de instalación (operacional más depreciación más financiamiento, menos rentas públicas).
- 3.2.- Costos unitarios:

De los costos iniciales el valor de adquisición de terrenos disponibles es generalmente lo más sobresaliente. Los costos de terrenos son considerablemente variables de localidad a localidad e inclusive de un punto a otro dentro de una misma zona metropolitana. Desde luego, reflejados en los costos de terrenos estarán algunos otros gastos adicionales como los de acondicionamiento para la ejecución del relleno.

## Desarrollo de Costos.

En adición al precio del terreno habrán ciertos costos asociados con el desarrollo del sitio para usarlos como relleno. Tales sumas podrán incluir los costos de estudio preliminar sobre los desechos sólidos generados por la comunidad, sumas para la investigación del sitio con respecto a topografía, geotecnia, hidrogeología y condiciones climáticas, pagos a consultores de ingeniería e igualmente para la elaboración del proyecto completo del relleno y especificaciones de la operación del mismo.



La categoría mayor de costos en la ejecución de un relleno sanitario será aquella asociada con el desarrollo físico del sitio, lo cual comprende gastos por concepto de desforestación y limpieza, mejoramiento del terreno, instalación de drenajes, construcción de vías de acceso, instalación de servicios como: electricidad, agua, teléfono, defensas y avisos adecuados o señales para la operación. Adicionalmente serán necesarias obras civiles como: locales para oficinas, almacenamiento, mantenimiento y estacionamiento de vehículos, maquinarias y demás equipos y materiales. Estas estructuras son parte de la inversión inicial para la ejecución de un relleno sanitario. Finalmente, el equipo a ser usado en el relleno significará un amplio rango de costos que pueden referirse a gastos de adquisición o arrendamiento, tal como se plantea para el caso del terreno.

#### COSTOS DE OPERACION.

!

Los costos de operación de un relleno sanitario comprenden los correspondientes a mano de obra, operación y acarreo de material de cobertura, servicios administrativos y otros gastos varios debidos a facilidades de mantenimiento o pago de servicios, etc.

Los costos generales de labor alcanzarán aproximadamente la mitad del total de gastos de operación de un relleno sanitario.

Un tercer costo adicional se refiere a los gastos de equipamiento de maquinaria (combustibles, lubricantes), así como también mantenimiento preventivo y reparación de la misma.

En síntesis, los gastos de operación de un relleno sanitario dependerán del tamaño de la operación y también en cierta proporción de la categoría de los costos de inversión inicial de capital. Por lo general, los gastos operacionales serán relativamente menores en operaciones de gran tamaño.

## **CAPITULO No. 6.- CONCLUSIONES**

**6.1.- CONCLUSIONES.**

**6.2.- RECOMENDACIONES.**

**6.3.- RESUMEN DE RECOMENDACIONES GENERALES PARA OPERACION.**

## 6.1.- CONCLUSIONES

6.1.1.- Entre los principales problemas que afronta la Ciudad de México - se encuentra la contaminación ambiental, y es muy importante el hecho de que las autoridades estén tomando medidas precautorias para el control de este gran problema, que está alcanzando niveles muy significativos.

El problema de los desechos sólidos en la Ciudad de México no es fácil de resolver, pues cada vez son más los inmigrantes y cada vez más insuficientes los servicios que se pueden ofrecer. No obstante, las autoridades han contemplado el problema en el Plan de Desarrollo Urbano del D.F., en el que se habla de un Plan Maestro de Basura, aunque en este documento, en realidad no se puntualiza geográficamente la nueva posi-ción que se piensa darle al tiradero de Santa Cruz Meyehualco.

Se habla también de la elección de una zona cercana al poblado de Chalco, para llevar allí los desechos sólidos de la Ciudad junto con toda la población de pepenadores que viven dentro del tiradero.

Resulta inoperante, el hecho de pensar que aún hoy en día se pretenda llevar el tiradero un poco más afuera de la Ciudad, a una población vecina como lo es Chalco, ya que la política de "lejos y afuera" para ubicar los tiraderos no es posible físicamente. Va no hay más lejos y afuera. La zona metropolitana crece día con día y va integrando a todas sus poblaciones aledañas a la gran urbe. De acuerdo con los proyectos del - D.D.F. para estimular la urbanización de las áreas circunvecinas, la permanencia de los tiraderos a cielo abierto resulta contradictoria.

6.1.2.- Los tiraderos a cielo abierto ofrecen muchas desventajas con respecto a la contaminación ambiental. Propician la procreación de especies dañinas como: ratas, reptiles, moscas y cucarachas; representan peligros potenciales de salud pública, propician malos olores y ambientes desagradables, etc.

- 6.1.3.- Los desechos sólidos contribuyen en gran proporción a la contaminación del suelo, ya sea a causa de la descarga incontrolable de desechos, sean municipales o especiales, o al aspecto desagradable que representa de por sí tener tiraderos a cielo abierto. El relleno sanitario se plantea como una solución de disposición final sanitaria para evitar la contaminación de los suelos y en general para prevenir la contaminación ambiental.
- 6.1.4.- Pueden señalarse al menos 4 tipos de basura claramente diferenciables unos de otros: basura domiciliaria (de las casas habitación); - basura de la vía pública (la que está esparcida en las calles, avenidas, terrenos, etc); basura de mercados, y la basura industrial (que requiere contratos previos con el D.D.F. para establecer un servicio regular por medio de cuotas específicas).
- 6.1.5.- La mayor parte del servicio está destinado a los tres primeros tipos mencionados de basura. Los camiones recolectores recogen parte de la basura de la vía pública y se enfocan principalmente a la basura domiciliaria, aunque la mayoría sostienen contratos verbales con comercios, restaurantes, tiendas, etc., para recoger regularmente sus desechos. Esto aunado a la falta de un mantenimiento adecuado al equipo disponible, hace que la recolección sea ineficiente.
- 6.1.6.- En términos generales puede decirse que de cada tonelada de basura se aprovecha actualmente entre 200 y 300 Kg.; cifras muy bajas, si se comparan con el potencial que guardan.
- 6.1.7.- Los rellenos sanitarios son definitivamente el medio del futuro para la disposición de residuos sólidos. Su bajo costo de creación, operación y mantenimiento con respecto a otros sistemas de disposición lo hace sumamente atractivo para las autoridades municipales de cualquier lugar en donde se presenten problemas de contaminación ambiental por dese

chos sólidos. Además los rellenos sanitarios controlados, son un despliegue de tecnología para evitar contaminar mantos freáticos, geología, flora y fauna, evitar malos olores, roedores, plagas, insectos y reptiles; y como si todo esto no fuera suficiente, sirve de abono para el destino final del sitio, que se sugiere sea para crear áreas verdes, clubes campestres o bosques para oxigenar a una ciudad. Un relleno sanitario - bien planeado debe ser también de producir gas que por medio de procesos químicos se pueda utilizar domésticamente.

Finalmente, es muy importante notar que la contaminación ambiental a nivel mundial ha alcanzado parámetros importantes, y que sólo con el uso adecuado de nuestros recursos tecnológicos, inteligencia y concientización será posible abatir los trastornos que se pueden generar, si nosotros no decidimos lo contrario.

## 6.2.- RECOMENDACIONES.

6.2.1.- Con el fin de que disminuya la contaminación y se aprovechen los subproductos y desechos industriales que ahora son eliminados como desperdicio, se sugiere fortalecer el programa Bolsa de Residuos Industriales que opera como un mecanismo de apoyo a la industria, introduciendo al país modernos procesos de reciclaje y propiciando el mejor aprovechamiento de las materias primas; en forma paralela podría funcionar un Centro de Información Tecnológico de Reciclaje.

6.2.2.- Se sugiere la implementación de Programas Tripartitas de Recolección de basuras, en los que participen conjuntamente las autoridades municipales, los industriales y, cosa muy importante, los ciudadanos. - Esto es debido a que se ha considerado tradicionalmente que el problema de recolección de basura compete exclusivamente a los primeros, idea totalmente errónea. Los programas mencionados serían un refuerzo al sistema actual de recolección. Funcionaría los fines de semana.

6.2.3.- Con base en la vida útil estimada para el relleno sanitario, objeto de este trabajo, es conveniente señalar que se deben buscar otros sitios alternos, con mayor capacidad de recepción, para la creación de rellenos sanitarios.

6.2.4.- Una precaución adicional y muy importante consiste en registrar todos los rellenos sanitarios existentes en el presente, así como los que se vayan a construir, esta precaución es porque en ocasiones, con el tiempo se olvida que un sitio fue un relleno sanitario, y al construir en él, los asentamientos dañarán las obras, pudiéndose provocar accidentes.

El principal objeto de la limpieza pública debe ser la segura y económica disposición de los desechos y el uso de un sitio terminado no deberá estar en conflicto con estos objetivos.

### 6.3.- RESUMEN DE RECOMENDACIONES GENERALES PARA OPERACIÓN.

- 6.3.1.- El organismo responsable de la operación, deberá determinar las fuentes locales de equipo para uso a corto plazo en caso de avería ó exceso de carga.
- 6.3.2.- El frente de trabajo del relleno debe mantenerse tan estrecho como resulte consistente con la buena operación de los camiones y equipo, de manera que el área de material de desechos expuesta durante el día de trabajo sea mínima. Los desechos deben recibir la mayor concolidación posible. Esto facilitará la aplicación de una capa sólida, pareja, de tierra que aminorará el asentamiento.
- 6.3.3.- Los desechos expuestos deben ser cubiertos con tierra tan pronto como resulte conveniente durante la operación, pero siempre antes de finalizar el día, de modo que el depósito de cada día haga una celda cerrada. La cubierta de tierra debe de estar debidamente apisonada a fin de evitar que las moscas después de salir del pupario puedan salir de los desechos compactados a la superficie.
- 6.3.4.- La cobertura final para la superficie y lados inclinados se debe mantener a una profundidad de 60cms.
- 6.3.5.- El nivel final del relleno debe proporcionar un declive del orden - del 2% para permitir el drenaje necesario. Se deben evitar declives mayores porque ocasionan erosión. En caso de que el relleno tenga un borde - o declive lateral, este debe ser tan gradual como sea posible para evitar la erosión. Estos declives deben ser sembrados rápidamente y cubiertos con paja, para disminuir la erosión. hasta que crezca la vegetación.
- 6.3.6.- El material residual expuesto y las superficies adyacentes se deben regar cuando sea necesario para disminuir el polvo. Esta humedad adicional facilitará también la compactación y posiblemente aumentará el grado de descomposición.

6.3.7.- Cuando las cargas de desechos excedan las factibles de colocar durante el día y sean necesarias varias "elevaciones" sucesivas, se debe dar especial atención a lograr una buena compactación, de manera que las capas subsiguientes se puedan construir casi inmediatamente con un mínimo de asentamiento.

6.3.8.- Debe mantenerse el debido control de los papeles volados por el viento. Esto puede hacerse mediante el uso de cercas móviles y también por la rápida colocación del relleno en el área de trabajo.

6.3.9.- La inspección y el control de insectos y roedores se debe llevar a cabo hasta que los rellenos estén estabilizados. Todas las recolecciones de agua superficial resultante de las operaciones del relleno, se deben desaguar, rellenar o tratar con sustancias químicas efectivas, a fin de impedir la producción de mosquitos y olores desagradables.

El tratamiento con sustancias, debe ser temporal y se debe tratar por todos los medios posibles de volver a nivelar el terreno o tomar otras medidas de corrección permanente, lo antes posible.

6.3.10.- Después de completar las operaciones, se debe continuar un programa de mantenimiento hasta que el relleno esté estabilizado. Este programa debe incluir la rápida reparación de grietas, depresiones y erosión de la superficie y declives laterales. Es deseable la siembra de grama u otra vegetación similar en las superficies terminadas lo antes posible, pues una buena siembra disminuye la erosión, mejora la apariencia y disminuye el agrietamiento de la superficie.

6.3.11.- Se debe proveer un área separada o zanja, para eliminar objetos voluminosos, tales como troncos de árboles, ramas grandes, etc.

6.3.12.- Una zanja separada o fosa puede resultar conveniente para la eliminación de pequeños animales muertos, alimentos podridos, entrañas y cantidades de otras materias putrescibles que se deben cubrir inmediatamente.



**REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA.**

## REFERENCIAS

- 1.- *Solid waste disposal. part.1 - Sanitary land fills.*  
Fleming R.R. *American City & i (i)* : 101-104. Jan.
- 2.- *Información metereológica proporcionada por la S.A.R.H. sobre las es-*  
*taciones de Tldhuac e Iztapalapa. Boletines metereológicos. México,*  
1980.
- 3.- *Plan General del Plan Director de la Ciudad de México, 8 de Febrero*  
*de 1980. Diario Oficial del 18 de Marzo de 1980.*
- 4.- *Plan Director de la Ciudad de México, 8 de Febrero de 1980. Diario*  
*Oficial del 18 de Marzo de 1980.*
- 5.- *Plan Piloto para recolección de basura. Dirección General de Servi-*  
*cios Urbanos del Departamento del Distrito Federal. 1976.*
- 6.- *Estudio para el Plan Director de la Ciudad de México. Análisis del*  
*Medio Natural. Instituto de Geografía. U.N.A.M. 1976.*
- 7.- *Desechos sólidos. Recolección, Transportación. Disposición. Investi-*  
*gación. Resumen de antecedentes. D.G.S.U. del D.D.F. México, 1976.*
- 8.- *Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito*  
*Federal.*
- 9.- *Colegio de México. Estudio Demográfico. Dirección General de Plani-*  
*ficación, D.D.F. Vol. II, 1975.*
- 10.- *Censos Oficiales de Población y Vivienda, S.P.P.*
- 11.- *Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distri-*  
*to Federal.*
- 12.- *Estadística de la Delegación Cuauhtemoc, D.F. 1976.*

13.- Estadística de la Delegación Iztapalapa, D.F. 1976.

14.- Residuos Sólidos Urbanos. J. López Garrido, J. Pereyra, M y R Rodríguez Acosta. Editorial Técnicos Asociados. España, 1980.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- *Environmental Protection*. Emil T. Chanlett. McGraw Hill Series in Water Resources and Environmental.
- 2.- *Sistemas de recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos y su aplicación*. Tesis para obtener el título de Ing. Civil. U. Iberoamericana. 1980. Rafael Carriles. R.
- 3.- *Municipal Refuse Disposal*. Institute for Solid Wastes of American - Public Works Association. 3rd. Edition Danville, Illinois. 1970.
- 4.- *Sanitary Landfill design Hand book*. George Noble, Technomic Publishing Co., Inc. 1976.
- 5.- *Solid Wastes, Engineering Principles and Management Issues*; George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Rolf Eliassen..-McGraw Hill Book Company; 1977.