



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**L**as autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

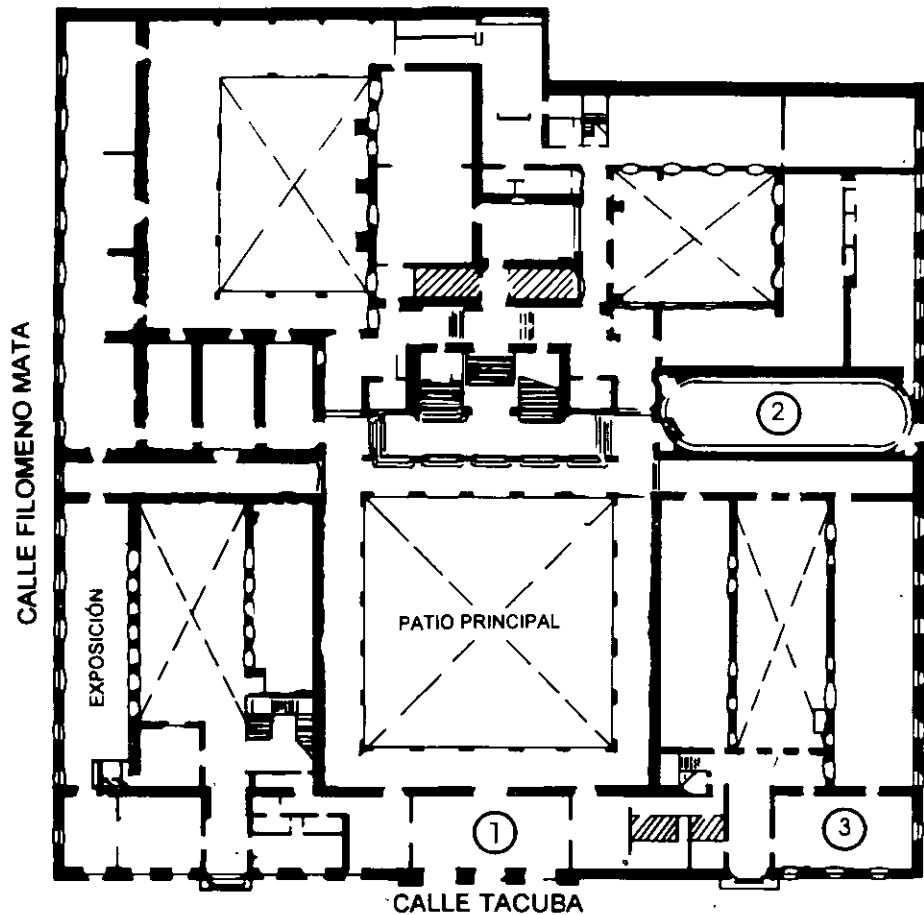
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

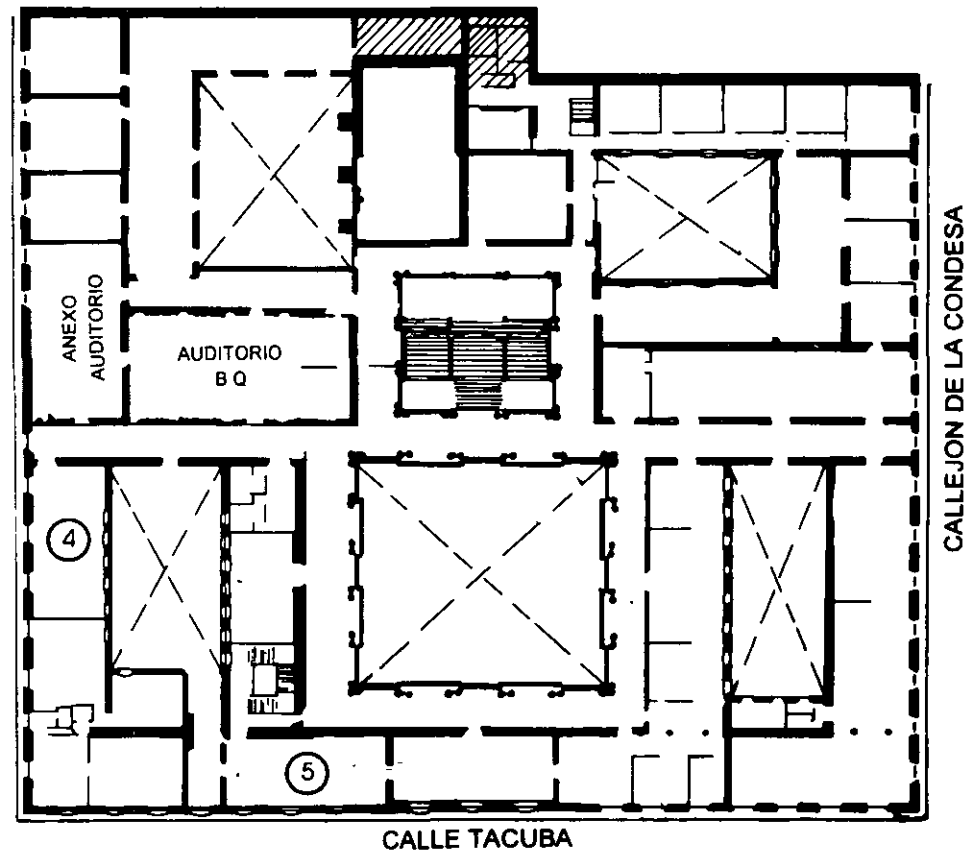
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente  
División de Educación Continua.**

# PALACIO DE MINERIA

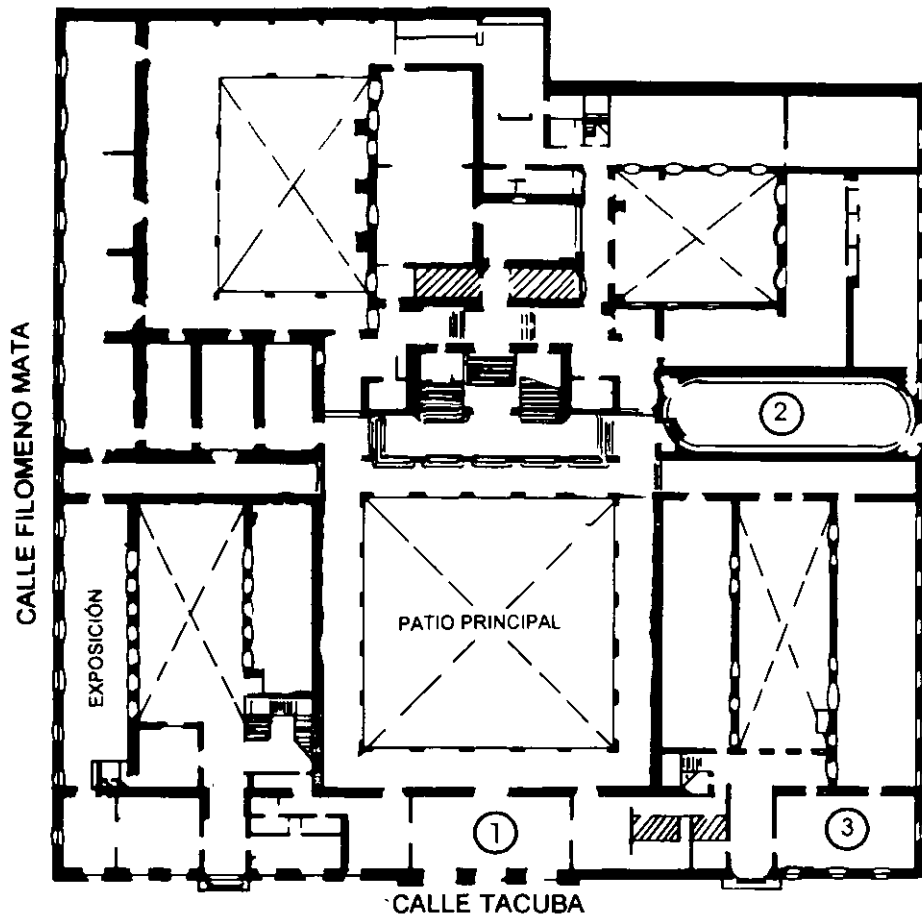


**PLANTA BAJA**

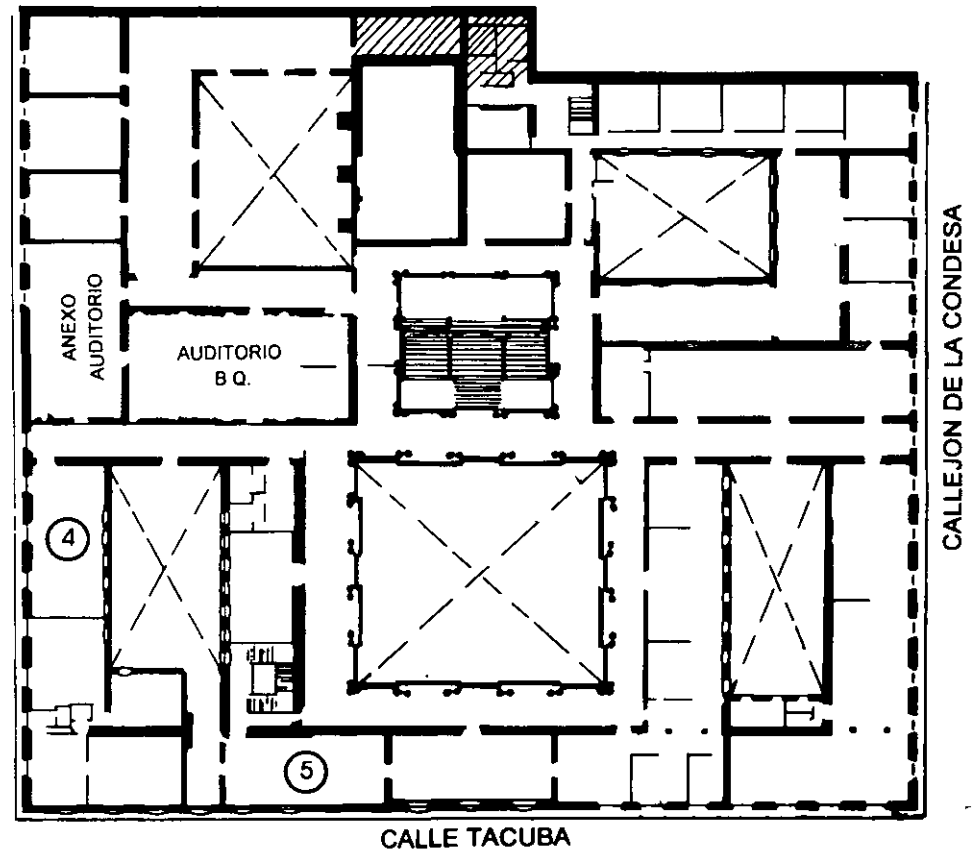


**MEZZANINNE**

# PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



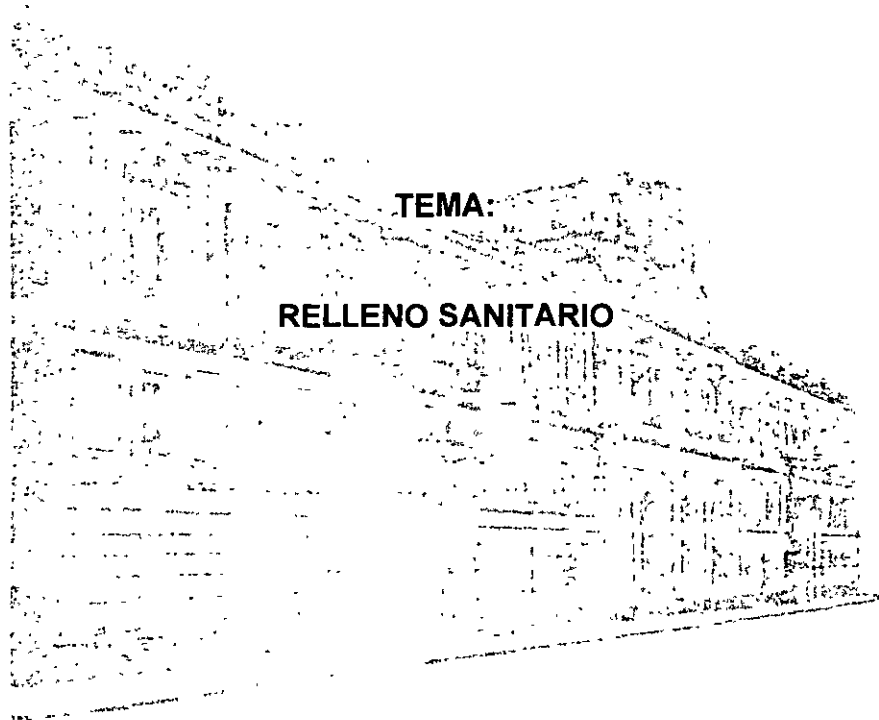
MEZZANINNE



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**



**TEMA:**

**RELLENO SANITARIO**

**ING. HERIBERTO BÁRCENAS RAMÍREZ  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO 2000**

**División de Educación Continua  
Facultad de Ingeniería  
U.N.A.M**

**AMCRESPAC**

**HERRAMIENTAS PARA EL  
CUMPLIMIENTO DE LA NORMA  
OFICIAL MEXICANA NOM-083-  
ECOL-1996**

**TEMA:  
RELLENOS SANITARIOS**

**Responsable:  
Ing. Heriberto Bárcenas Ramírez**

**28 de febrero 1999**

**México, D.F.**

### 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población que ha experimentado en las últimas décadas las principales ciudades de Latinoamérica, debido a la concentración de actividades económicas e industriales, ha propiciado una fuerte demanda de los servicios públicos, rebasando la capacidad de las autoridades para la prestación de éstos con la cantidad y calidad que se requiere. Uno de los servicios que se ve seriamente afectado por el crecimiento urbano, es el Servicio de Aseo Urbano, el cual está integrado por la recolección, barrido, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales.

La disposición final de los residuos sólidos es la última etapa del Sistema de Aseo Urbano de cualquier ciudad y está íntimamente relacionada con la preservación del ambiente, así como con la salud de la población, por lo que se le debe tratar y controlar mediante un sistema adecuado que minimice los impactos negativos hacia el entorno ecológico.

No obstante, que se tiene plena consciencia de la importancia que reviste el mantener una adecuada disposición final de los residuos sólidos municipales, en la actualidad aún prevalece la práctica del "tiradero a cielo abierto" en la mayoría de las ciudades de nuestro país. Tal práctica consiste en el depósito incontrolado de residuos sólidos directamente en el suelo, estimulando la contaminación del aire, agua y suelo, así como generando problemas de salud pública y marginación social, restringiéndose este último aspecto a los individuos dedicados a la "pepena" de subproductos con cierto valor intrínseco.

Dentro de las alternativas viables para la disposición final de los residuos sólidos municipales, y conforme a las condiciones actuales de los países latinoamericanos, se cuenta con el método de relleno sanitario

El relleno sanitario, como ya se mencionó, es el método empleado para la correcta disposición de los residuos sólidos, por lo que como toda obra de ingeniería éste tiene que ser planeado y diseñado previamente para asegurar su correcta construcción y operación.

Históricamente, a nivel mundial, el relleno sanitario ha sido el método más aceptado desde un punto de vista económico para la disposición a largo plazo de los residuos sólidos generados por las comunidades humanas. Aún con la implementación de los sistemas de prevención de la generación de residuos, el

reciclaje o los sistemas de procesamiento, ha permanecido el relleno sanitario como un componente imprescindible de los sistemas de Manejo de Residuos Sólidos Municipales.

Por lo anterior, se puede decir que el relleno sanitario, constituye el componente de mayor relevancia dentro dichos sistemas en cualquier ciudad. Y precisamente debido a esto, en la práctica se ha logrado un desarrollo impresionante en la ingeniería aplicada a este tipo de instalaciones, durante las dos últimas décadas en los países desarrollados, debido a la fuerte reglamentación ambiental que se ha establecido en dichos países.

Ahora bien, actualmente se plantea la necesidad de implantar sistemas alternos que absorban los volúmenes crecientes de residuos, desplazando el uso del relleno sanitario por considerarlo riesgo para el ambiente. Sin embargo, la experiencia en el mundo ha demostrado que el relleno sanitario forma parte integrante de las soluciones alternativas planteadas, dado que siempre habrá que hacer algo con aquellos residuos que no pueden ser reciclados y/o que no tienen un uso específico. De la misma manera, los materiales residuales que permanecen después que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de separación en una Instalación para la Separación de Materiales (MRF, por sus siglas en inglés) o sometidos a un proceso de conversión de productos o energía, deben contar con un sitio de disposición final para su confinamiento.

Dada la importancia que reviste la adecuada disposición final de los residuos sólidos municipales en el control y preservación de la contaminación de los acuíferos, se ha considerado pertinente incorporar el conocimiento del sistema de relleno sanitario como una parte esencial para asegurar la no afectación de los cuerpos de agua subterráneos, por el depósito de los residuos de tipo municipal.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Definición e Historia del Relleno Sanitario.

La disposición final de los residuos sólidos ha sido practicada por varios siglos. En realidad, hace 2000 años los griegos enterraban sus residuos sólidos sin compactar. En 1930, en la ciudad de Nueva York y Fresno, California, iniciaron la compactación de los residuos con equipo pesado y cubriéndolos, así el término de "Relleno Sanitario" fue, inventado.

Un relleno sanitario, es tradicionalmente definido como un método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, de tal manera que proteja el ambiente, mediante el extendido de los residuos en capas delgadas, compactándolas al menor volumen posible y cubriéndolas con tierra al termino de cada día de trabajo.

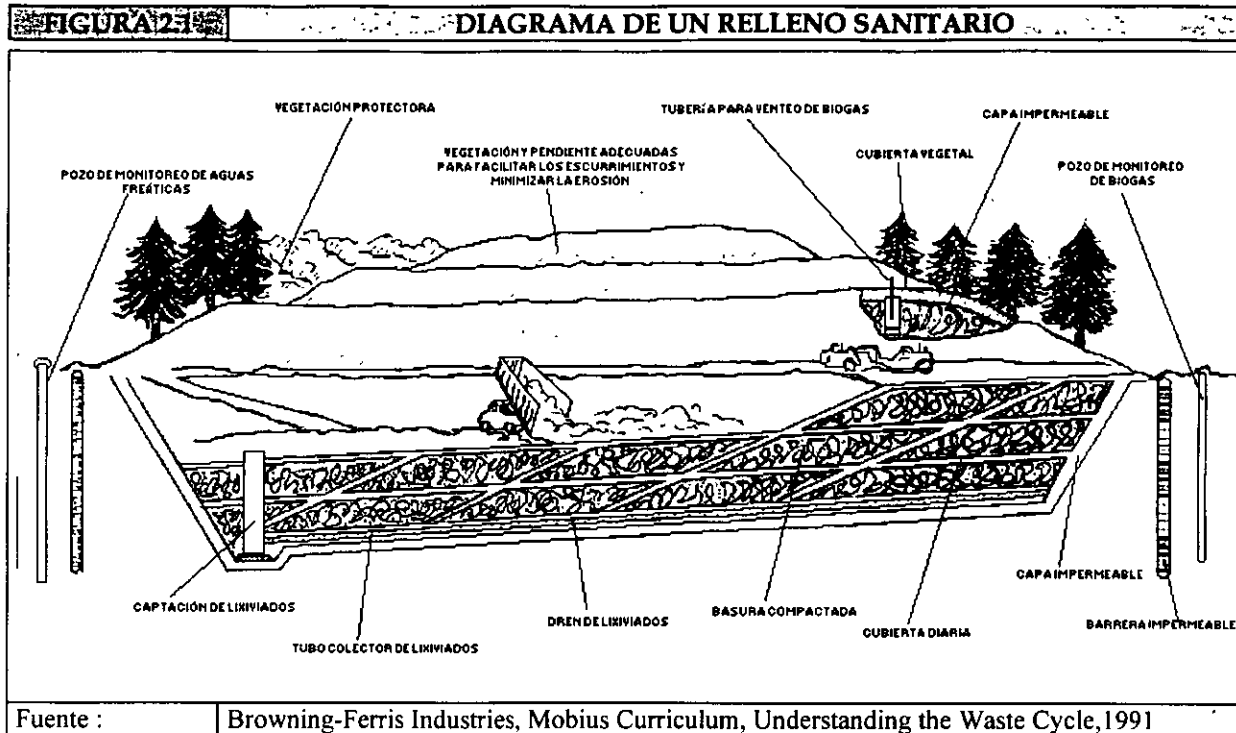
El relleno sanitario es la instalación física usada para la disposición final de los residuos sólidos municipales sobre la superficie del suelo. En el pasado, el termino de relleno sanitario fue usado para denotar simplemente el sitio en el cual los residuos eran depositados en el suelo y cubiertos al final de cada día de operación. En la actualidad, el relleno sanitario se refiere a una instalación ingenieril para la disposición de los residuos sólidos municipales, diseñada y operada para minimizar los impactos a la salud pública y al ambiente. Actualmente, el relleno sanitario moderno cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y modernos y su éxito radica en el adecuado diseño y por su puesto en una óptima operación.

En la **Figura 2.1**, se ilustran un diagrama de un Sistema de Relleno Sanitario con sus diferentes componentes.

### 2.2 El Relleno Sanitario en los Sistemas de Manejo de Residuos Sólidos Municipales.

La disposición final de residuos sólidos segura y confiable a largo plazo, debe ser un componente importante del Manejo Integral de Residuos Sólidos. Ya que estos últimos se consideran como los materiales que ya no tienen un uso y que no pueden ser recuperados para los sistemas productivos.





Cuando se evalúa la utilidad de cada uno de los elementos funcionales, así como la efectividad y economía de todas las interfaces y conexiones entre esos diferentes elementos, se puede desarrollar un Sistema de Manejo Integral de Residuos. En este contexto, dicho sistema, puede definirse como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de manejo factibles, con la finalidad de alcanzar objetivos y metas específicas para el manejo de residuos. Debido a la legislación que se está adoptando, el Manejo Integral de Residuos Sólidos, también está desarrollándose en respuesta a los cambios e implementación de las leyes, los reglamentos y las normas.

También se ha establecido una jerarquización de actividades para el manejo de residuos, en la legislación de diferentes países.

La jerarquización (arreglo en orden de importancia), se puede utilizar para establecer la prioridad de las acciones para implementar los programas de manejo de residuos. La jerarquización del Manejo Integral de Residuos Sólidos más comúnmente adoptada por los países desarrollados y coincidentemente la que recomienda la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), está compuesta por los siguientes elementos: reducción en la fuente, reciclaje, combustión y relleno sanitario, que en otros casos, se modifica de la siguiente manera: reducción en la fuente, reciclaje, transformación o tratamiento y relleno sanitario.

De cualquier forma, los diferentes elementos del Manejo Integral de Residuos Sólidos deben estar siempre interrelacionados en cualquier programa o sistema y haber sido seleccionados para complementarse unos a otros.

El desarrollo e implementación de un plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos consiste en la selección de la mezcla adecuada de tecnologías y alternativas para satisfacer las cambiantes necesidades locales de manejo de residuos al mismo tiempo que se cumple con los ordenamientos legales.

Al final, algo se debe hacer con (1) los residuos sólidos que no pueden ser reciclados y no pueden tener un uso futuro; (2) los materiales residuales que permanecen después que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de separación en una Instalación para la Separación de Materiales (MRF, por sus siglas en inglés); y (3) los materiales residuales que permanecen después que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de conversión de productos o energía.

Existen solamente dos alternativas disponibles para el manejo a largo plazo de los residuos sólidos o materiales residuales: disposición sobre o en el manto térrico y disposición en el fondo del océano. El relleno sanitario, cuarto nivel de la clasificación del Manejo Integral de Residuos Sólidos, involucra la disposición controlada de los residuos sobre o en el manto térrico y es por mucho el método más común de disposición de residuos. El relleno sanitario se encuentra en el nivel más bajo de la jerarquización del Manejo Integral de los Residuos Sólidos, porque representa el último medio deseable para manejar los residuos de la sociedad (Tchobanoglous G., 1993)

### **2.3 Ventajas y Desventajas del Relleno Sanitario.**

#### **2.3.1 Ventajas.**

- ◆ *El relleno sanitario como uno de los métodos de disposición final de los residuos sólidos municipales, es la alternativa más económica; sin embargo, no hay que olvidar que es necesario asignar recursos financieros y técnicos suficientes para la planeación, diseño, construcción y operación.*
- ◆ *La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para la implementación de un sistema de tratamiento tal como la separación, composteo o incineración.*

- ◆ Cuando se dispone de material para la cobertura de los residuos sólidos en el mismo sitio, esta condición es generalmente la más económica de las diferentes opciones para la disposición final.
- ◆ El relleno sanitario es un método final para la disposición de los residuos sólidos, que no requiere de operaciones adicionales, tal como el caso de la incineración o el composteo, los cuales requieren un sitio y de operaciones adicionales para la disposición de los productos finales.
- ◆ Se recuperan terrenos antes considerados como improductivos o marginales transformándolos en áreas útiles para la creación de parques, zonas recreativas y esparcimiento, o simplemente áreas verdes.
- ◆ Es un método flexible, dado que en caso de incrementar la cantidad de residuos por disponer se requiere únicamente de muy poco equipo y personal.
- ◆ El gas metano generado por la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, puede ser atractivo para su aprovechamiento como fuente de energía no convencional, dependiendo de las características del sitio.

### 2.3.2 Desventajas

- ◆ La construcción de un relleno sanitario, por la oposición de la población debido a dos aspectos fundamentales: la falta de conocimiento sobre el método de relleno sanitario y la desconfianza en los servidores públicos de la localidad.
- ◆ Se requiere de una supervisión permanente para mantener un alto nivel de las operaciones y asegurar que no habrá fallas a futuro.
- ◆ Cuando no existen terrenos cercanos a las fuentes de generación de residuos sólidos, debido al crecimiento urbano, el costo de transporte se verá fuertemente afectado.
- ◆ La relativa cercanía de los rellenos a las áreas urbanas puede provocar serios problemas de queja pública.
- ◆ Existe un alto riesgo, sobre todo en los países del tercer mundo, que por la carencia de recursos económicos para la operación y mantenimiento, se convierta el relleno sanitario en tiradero a cielo abierto.

- ◆ *Puede presentarse eventualmente la contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, así como la generación de olores desagradables y gases, si no se toman las debidas medidas de control y de seguridad.*
- ◆ *Los asentamientos diferenciales que sufren los rellenos sanitarios con respecto al tiempo, impide que estos sean utilizados una vez que se han concluido las operaciones.*

### 2.4 Problemática de la Disposición Final de los Residuos Sólidos Municipales.

La disposición final de los residuos sólidos, tradicionalmente, se ha orientado al depósito incontrolado de los mismos, en lugares inapropiados, tales como: barrancas y cauces de ríos, lagos y lagunas, minas abandonadas, zonas pantanosas y áreas geológicamente inestables.

Las causas de la inadecuada disposición final se originan básicamente por las siguientes situaciones:

- Negligencia.
- Insuficiente presupuesto.
- Desconocimiento de las técnicas de disposición final.
- Control del sitio por parte de los diferentes grupos de pepenadores.

Para la instalación de estos sitios, definitivamente, no existe un estudio preliminar, por lo que son creados de manera arbitraria.

La inconsciente disposición final de los residuos sólidos, ha provocado problemas de contaminación del agua, aire y suelo, así como de proliferación de fauna nociva, aspectos que se describen con detalle más adelante. A éstos se adiciona la problemática social de los grupos de pepenadores, primordialmente por las condiciones insalubres en que viven y realizan sus actividades. El temor a perder su única fuente de trabajo, provoca que estos grupos se opongan y desconfíen de cualquier alternativa encaminada a mejorar las técnicas de disposición final y/o a la clausura y saneamiento de los tiraderos a cielo abierto.

Por lo anterior, es de esperarse que la solución a esta situación dentro de la fase del sistema de aseo urbano, deba involucrar acciones de tipo social, porque no hay que olvidar el papel tan importante que juegan dichos grupos en la recuperación de subproductos extraídos de los residuos sólidos, los que constituyen una opción viable bajo otro contexto.

El conocimiento de la dependencia que existe entre los tiraderos, el ambiente y la salud humana, constituye la parte medular para establecer un plan de acción encaminada al control de estos sitios, ya sea mediante su rehabilitación o la clausura y saneamiento definitivo, así como los controles y medidas de mitigación pertinentes para "remediar" los efectos presentes y evitar los que dañen al entorno a futuro.

Por lo anterior, a continuación se señalan los principales problemas que generan los tiraderos a cielo abierto:

### **Contaminación del suelo y de las aguas subterráneas**

Tomando en consideración que en la mayoría de los casos los sitios a cielo abierto carecen de una cubierta de material (tierra), se propicia un medio altamente permeable que permite la fácil entrada del agua de lluvia a los estratos de residuos que se encuentran en el interior del sitio, provocando con ello la saturación del medio y la percolación hacia el fondo; presentándose, a la vez, en este trayecto la disolución de sustancias y la suspensión de partículas contenidas en los residuos sólidos. Simultáneamente, existen otras sustancias que son solubles al agua y generadas como producto de los procesos de descomposición biológica de la materia orgánica incluida en los residuos sólidos, produciendo finalmente un líquido altamente contaminante conocido como **lixiviado**.

Los lixiviados pueden migrar hacia las aguas subterráneas o superficiales, lo que está en función de las condiciones topográficas y geohidrológicas del sitio, generando de esta forma la degradación de la calidad de agua, y poniendo en peligro la salud de la población cuando es utilizada como fuente de abastecimiento o para uso recreativo o pecuario.

El riesgo que puede tener el ser humano, radica en la ingestión de la supuestamente agua potable, el contacto directo que tenga con lagos y ríos, y, finalmente, por la bioacumulación de algunas sustancias como los metales pesados (plomo, cadmio, etc.) en peces o cualquier otro organismo de consumo humano que esté en contacto con agua mezclada con lixiviados.

### **Contaminación del aire**

La disposición de los residuos sólidos a cielo abierto, origina graves problemas a la atmósfera, así como olores desagradables y problemas a la salud de la población circundante a través de los siguientes mecanismos:

- Incendios y/o la quema de residuos sólidos.
- La combustión de biogás.
- Suspensión de polvos y partículas por el viento.

#### 1). Incendios y/o quema de residuos sólidos.

La incineración de diversos materiales combustibles se ocasiona por factores naturales o inducidos. Dentro de los primeros, se cuentan diferentes causas que carecen de respaldos técnicos, tales como:

- El efecto de lupa que pueden provocar los vidrios sobre materiales como cartón y papel o las altas temperaturas en estos, durante días calurosos.
- La presencia de sustancias o materiales de origen industrial que llegan a entrar en combustión, bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad.

Y en los segundos, básicamente:

- Las de incendios de los tiraderos a cielo abierto, que son provocados consciente o inconscientemente por los individuos que directamente se hallan involucrados con las actividades realizadas en dichos lugares.

Dentro de las situaciones más comunes que originan incendios, se tienen las siguientes:

- La quema de los residuos sólidos de manera intencional en algunos tiraderos, con la finalidad de aumentar la capacidad volumétrica del sitio y/o controlar de forma errónea la proliferación de roedores e insectos nocivos.
- La quema incontrolada de materiales plásticos que contienen metales de valor comercial, tales como llantas, cables eléctricos, etc., por parte de los pepenadores, o a la práctica de fogatas por éstos mismos, para diversos fines.

## 2. Combustión de biogás.

Por la degradación biológica a que están sujetos los residuos que se encuentran en estratos bajos, en donde la descomposición de los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno (descomposición anaerobia) producen biogás, el cual está constituido por bióxido de carbono y gas metano, así como por ácido sulfhídrico y elementos orgánicos a nivel traza.

Los elementos traza, integrados en el biogás, son los responsables de los olores desagradables que caracterizan a los tiraderos a cielo abierto, además de ser elementos que causan daños potenciales a la salud, cuando el hombre se expone a éstos por tiempo prolongado (inhalación).

Cuando se presentan incendios en los tiraderos, el biogás es el responsable de avivar y mantener el fuego por sus características combustibles; además de hacer más difíciles las labores de control en este tipo de siniestros.

Los mecanismos de transporte del biogás hacia la población colindante, se dan básicamente a través del viento y suelo, en éste último es posible por medio de una migración horizontal, estimulada por las condiciones permeables del piso y las presiones internas que provoca el mismo gas.

Con relación a los efectos respecto al ambiente, se tiene que los componentes del biogás contribuyen al incremento de los siguientes problemas:

## **Relleno Sanitario**

---

- Al deterioro de la capa de ozono que cubre a la tierra.
- Al efecto de invernadero, que consiste en el incremento de la temperatura de la tierra.
- A la lluvia ácida, propiciada por la presencia de ácido sulfhídrico.

Otro efecto importante que contribuye al impacto del aire y causa molestias a la población, es la generación de olores, los cuales son originados por:

- Descomposición de los residuos sólidos.
- Orgánicos volátiles arrastrados por el biogás.
- Animales en estado de descomposición
- Afloramiento y acumulación de lixiviados en proceso de degradación.

### **Riesgos a la salud de la población.**

Como se mencionó en la sección anterior, las capas inferiores de cualquier tiradero a cielo abierto, son un medio propicio para que exista la generación de biogás, el que se caracteriza por ser un hidrocarburo combustible.

Cuando el gas metano alcanza una concentración del 5 al 15%, se corre el riesgo de explosión o de que se dé la combustión de manera violenta.

A parte de que, en lugares cerrados (casetas de control, viviendas, fosas, alcantarillas etc.) es latente el riesgo de asfixia, ello porque el bióxido de carbono es más pesado que el aire, por lo que este componente desplaza al aire. Ahora bien, los aspectos, antes mencionados, representan un mayor riesgo cuando hay asentamientos humanos en los alrededores al sitio de disposición final.

Dentro de la fauna nociva, que prolifera en los tiraderos a cielo abierto, se consideran dos grupos: roedores e insectos voladores (moscas, mosquitos, etc.) y rastreros (cucarachas).

Los roedores son transmisores de enfermedades mortales, tales como: leptospirosis, la peste bubónica, tifus murino y rabia. Asimismo, dañan la propiedad y contaminan los alimentos.



Los insectos voladores y rastreros, muchas de las veces, son transmisores de gérmenes de enfermedades como la fiebre tifoidea, disentería basilar, amibiasis, encefalitis, entre otros.

### **3. Principios Básicos y Métodos de Operación.**

El relleno sanitario es un método de ingeniería recomendado para la disposición final de los residuos sólidos municipales, por medio del cual los residuos se depositan en el suelo, se esparcen y se compactan al menor volumen posible y se cubren con una capa de tierra al término de las operaciones del día.

La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE, define: *"Relleno sanitario es una técnica para la disposición de los residuos en el suelo sin causar perjuicios al ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública; este método utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y cubriéndolos con una capa de tierra en la frecuencia necesaria o por lo menos al fin de cada jornada"*.

El objetivo del relleno sanitario es establecer una barrera entre el ambiente y los residuos sólidos, reducir y controlar las emisiones gaseosas y evitar la infiltración y fugas de los líquidos lixiviados que contienen una combinación de microorganismos y sustancias tóxicas producidas durante la descomposición de los residuos. La disposición final de los residuos sólidos en un relleno sanitario contribuye considerablemente a evitar el contacto directo de éstos con el ambiente, se previene el acceso y la proliferación de fauna nociva y los residuos se concentra en un área bien definida que puede ser controlada. El objetivo final de la aplicación de esta técnica es lograr que los residuos no causen ningún efecto nocivo en la salud pública ni en el ambiente.

#### **3.1 Métodos para Construir y Operar un Relleno Sanitario**

Los terrenos que se seleccionen para la construcción y operación del relleno sanitario pueden ser planos, ondulados, escarpados, bancos de material de préstamo abandonados o terrenos que presenten una combinación de estas

características, siempre y cuando el sitio cumpla con la Normatividad especificada, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales

El procedimiento de construcción y método de relleno sanitario se seleccionará una vez conocido el perfil del terreno disponible, que podrá ser de trinchera, de área y/o una combinación de ambos.

### **3.1.1 Método de Trinchera o Celda Excavada**

Este método se utiliza normalmente en terrenos planos, en donde existe un buen espesor de material disponible y el nivel freático se encuentra lo suficientemente profundo para evitar la contaminación del acuífero.

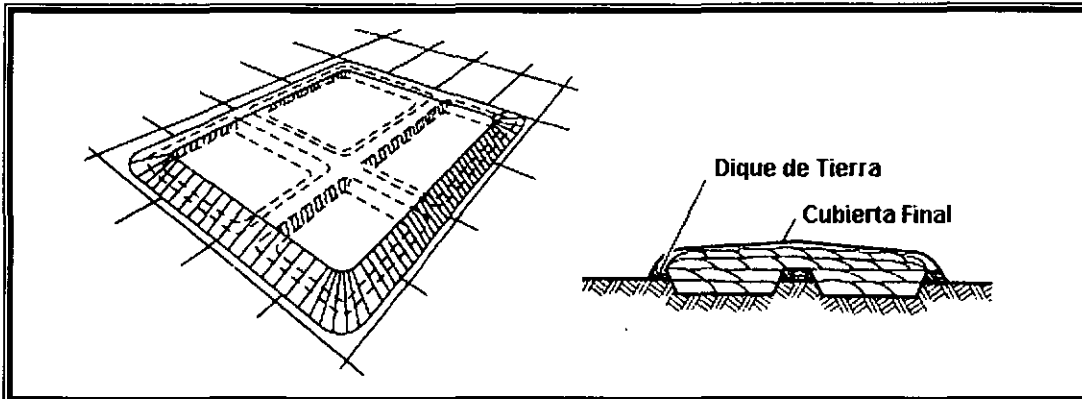
Los residuos sólidos son depositados en celdas o trincheras previamente excavadas, en donde el material, producto de la excavación, es utilizado como material de cubierta diaria y final. El procedimiento consiste en abrir trincheras o celdas a intervalos que sean adecuados para la estabilidad de los taludes y en profundidades de 2 a 3 m, con el apoyo de equipo mecánico; la profundidad de la trinchera o celda estará limitada por la profundidad del nivel de aguas freáticas, la permeabilidad del subsuelo y la dureza del terreno, pudiendo tener en ocasiones hasta 7 m de profundidad.

Los residuos sólidos son depositados en el fondo de la trinchera o celda, se extienden y se compactan con equipo mecánico y posteriormente se cubren con la tierra producto de la excavación, compactándola con el mismo equipo, todo esto en ciclos diarios (ver Figuras 3.1 y 3.2.).

Es importante señalar, que en el pasados este método era concebido exclusivamente como el de trinchera, sin considerar el aprovechamiento de l volumen disponible del nivel del suelo hacia arriba, convirtiéndolo en un método costoso por las extensiones de terreno requerido.

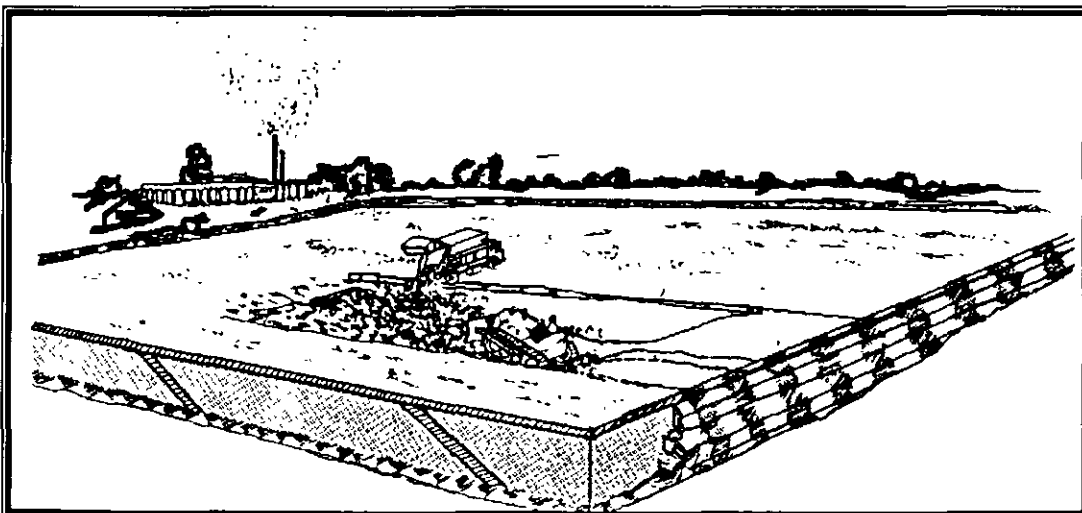
En la actualidad, ante la escasez de terreno y la necesidad de ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios, este método considera la utilización íntegra del espacio disponible de los terrenos, utilizando la variante de la excavación de celdas, la cual se ha vuelto una práctica muy utilizada.

**FIGURA 3.1** MÉTODO DE TRINCHERA O CELDA EXCAVADA



**FUENTE** Tchobanoglous G. Theisen H. and Vigil, S., "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1993

**FIGURA 3.2** EJEMPLO DE LA OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO CON EL MÉTODO DE TRINCHERA



**FUENTE** Brunne D. and Keller D., Sanitary Landfill Design and Operation ; USEPA, Washington D.C., 1972

### 3.1.2 Método de Área

Este método de Área se utiliza cuando en el terreno no es posible excavar una trinchera o celda, o cuando el nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie del terreno. Un punto importante de este método es que el banco de material para la cubierta, deberá estar en áreas adyacentes o lo más cercano posible al sitio de operación.

El método consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo (ver **Figura 3.3 y 3.4**).

Es importante señalar, que cuando se carece totalmente de bancos de material para la cobertura, existen alternativas de utilización de composta o cubiertas sintéticas móviles, cumpliendo de esta forma con los objetivos del relleno sanitario.

### 3.1.3 Método de Rampa.

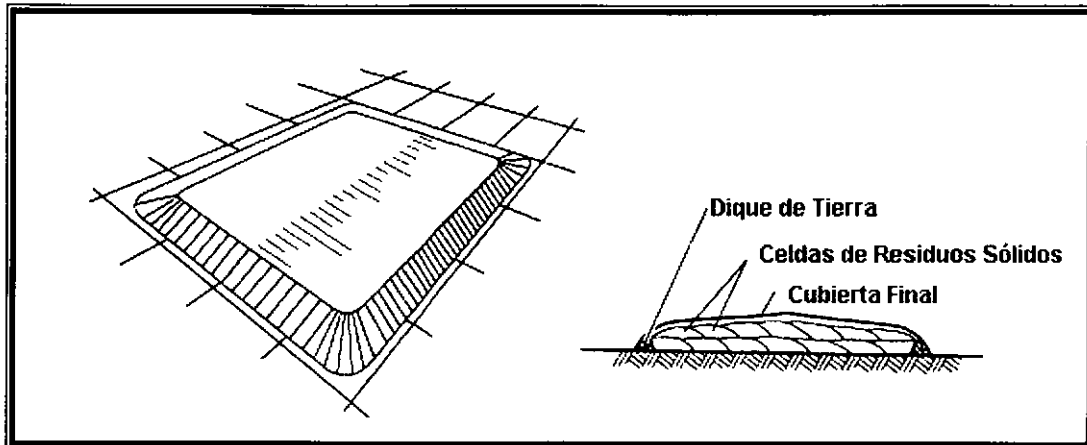
Este método, es considerado como una variante del método de trinchera o de celda excavada y es considerado como el más eficiente ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta y aumentan la vida útil del relleno. En la **Figura 3.5** se presenta un esquema simplificado de la operación de un relleno sanitario utilizando este método.

Los residuos son esparcidos y compactados en pendiente. El material de cubierta es obtenido directamente del frente de trabajo y compactado sobre los residuos sólidos conformados. Frecuentemente, una porción de la excavación se almacena para ser utilizado en un futuro en los trabajos de sello final.

La técnica de depósito y compactado de residuos sólidos a través del método de rampa, varía de acuerdo con la geometría del sitio, las características de disponibilidad de material de cubierta, la geohidrología, el sistema de control de biogás y lixiviados y el acceso al sitio.

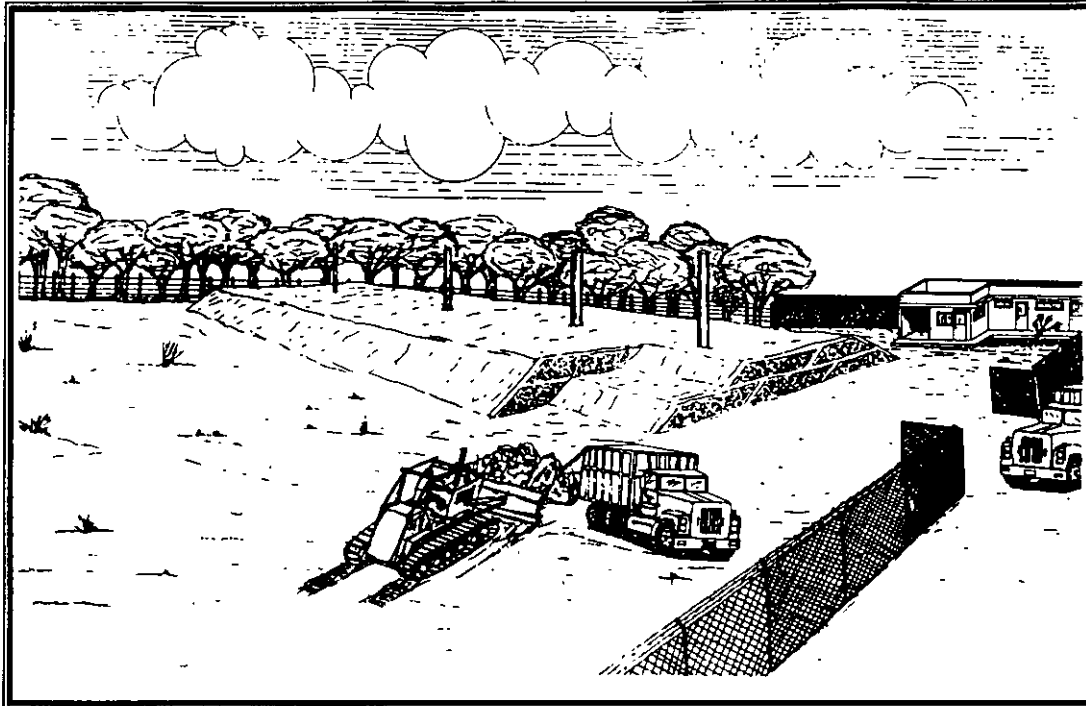
Esta técnica puede utilizarse en barrancas, desfiladeros, oquedades, etc., por lo que el control de escurrimientos frecuentemente es un factor crítico en el diseño y operación.

<b>FIGURA 3.3</b>	<b>MÉTODO DE AREA</b>
-------------------	-----------------------



<b>FUENTE</b>	Tchobanoglous G. Theisen H. and Vigil, S., "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1993
---------------	--

<b>FIGURA 3.4</b>	<b>EJEMPLO DE LA OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO CON EL MÉTODO DE ÁREA</b>
-------------------	--

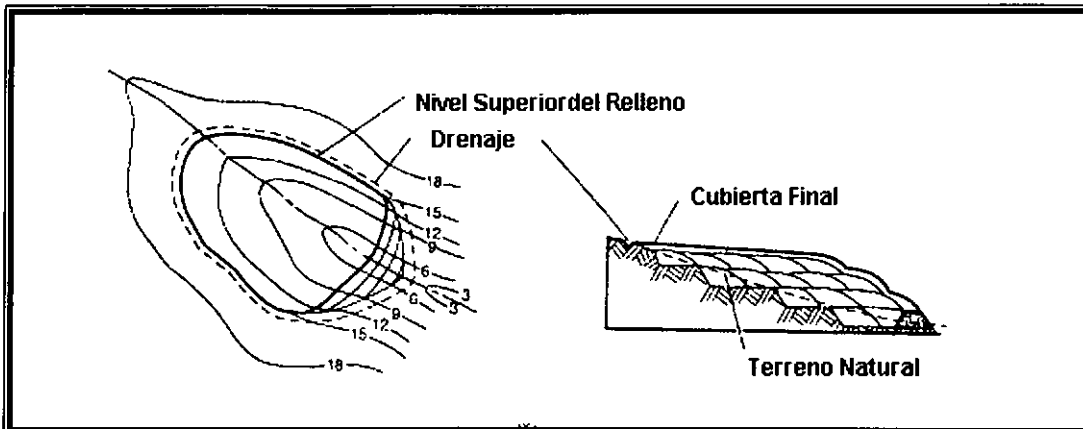


**FUENTE**

SEDESOL, "Manual Técnico-Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal", Primera Edición, 1996.

**FIGURA 3.5**

**MÉTODO DE RAMPA**

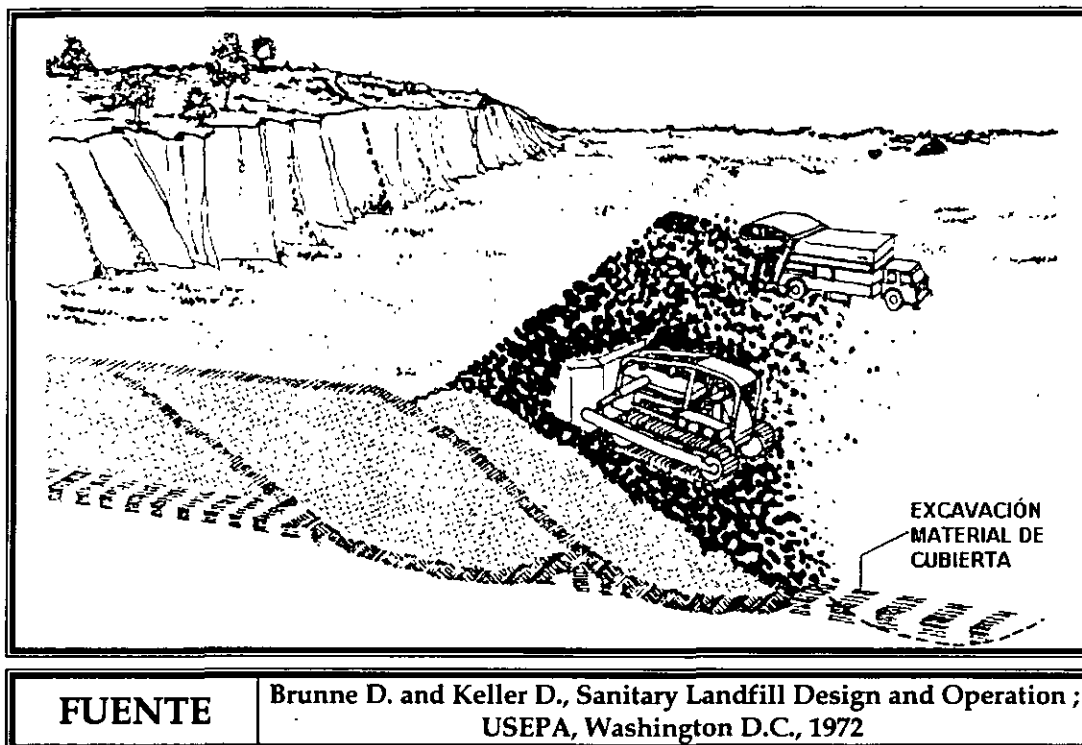


**FUENTE**

Tchobanoglous G. Theisen H. and Vigil, S., "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1993

**FIGURA 3.6**

**EJEMPLO DE OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO CON EL MÉTODO DE RAMPA**



FUENTE

Brunne D. and Keller D., Sanitary Landfill Design and Operation ;  
USEPA, Washington D.C., 1972

### 3.2 Reacciones que Ocurren en el Relleno Sanitario.

Los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario sufren una serie de cambios biológicos, químicos y físicos de manera simultánea e interrelacionada. Estos cambios se describen de manera general, con el propósito de que los operadores de rellenos sanitarios tengan una idea más amplia de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados.

#### 3.2.1 Reacciones Biológicas.

Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son aquellas asociadas con la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos municipales la cual conlleva a la generación de gases y eventualmente líquidos. El proceso de descomposición inicia de forma aeróbica (en presencia de oxígeno), una vez que los residuos fueron cubiertos se inicia esta etapa hasta que el oxígeno es consumido por la actividad biológica. Durante la etapa de descomposición aeróbica se genera principalmente un gas llamado bióxido de carbono. Una vez que el oxígeno se ha consumido, la descomposición se lleva a cabo de manera anaeróbica (ausencia de oxígeno) y en esta etapa la materia orgánica se transforma principalmente en bióxido de carbono, metano y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico. Asimismo, muchas otras reacciones químicas son llevadas a cabo a través de la actividad biológica.

### 3.2.2 Reacciones Químicas.

Las reacciones importantes que ocurren dentro del relleno sanitario abarcan la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que percolan a través de los residuos sólidos, la evaporación y vaporización de compuestos químicos y agua, dentro de la masa envolvente de biogas, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles y semi volátiles dentro de los materiales del relleno, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas. La disolución de los productos de conversión biológica y otros compuestos, particularmente los compuestos orgánicos, dentro de los lixiviados es un punto muy importante, porque estos materiales pueden ser transportados fuera del relleno sanitario con los lixiviados. Estos compuestos orgánicos pueden ser posteriormente incorporados a la atmósfera a través del suelo (cuando se tiene una fuga) o a través de las instalaciones de tratamiento de lixiviados. Otras importantes reacciones químicas que se presentan, son aquellas entre ciertos compuestos orgánicos y las capas de arcilla las cuales alteran las propiedades y estructura de la misma. Las interrelaciones de estas reacciones químicas dentro del relleno sanitario no son bien conocidas.

### 3.2.3 Reacciones Físicas.

Los cambios físicos más importantes en el relleno sanitario están asociados con la difusión de gases dentro y fuera del relleno, el movimiento de lixiviados en el relleno sanitario y subsuelo y los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de los materiales depositados.

El movimiento de gases y las emisiones son consideraciones de particular importancia para el manejo del sistema. Por ejemplo, cuando el biogás se encuentra atrapado, la presión interna puede causar agrietamiento de la cubierta y fisuras, entonces el agua penetra a través de esas grietas y la humedad genera una mayor producción de gas, causando un mayor agrietamiento. La fuga de biogás acarrea trazas de compuestos carcinogénicos y teratogénicos que son incorporados al ambiente. Además dado que el biogás contiene un alto porcentaje de metano, existen riesgos de explosión o combustión.



## 4. METODOLOGÍA PARA LA INSTALACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

De manera preliminar, se puede decir que el relleno sanitario constituye un verdadero proyecto de ingeniería y como tal deberá, reunir una secuencia lógica de pasos que permitan llevar al proyecto a un feliz término. En el Cuadro 4.1, se muestran los pasos a seguir para el establecimiento de un relleno:

CUADRO 4.1		SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO	
ETAPA		CARACTERISTICAS	
<b>A. SELECCION DEL TERRENO</b> Estudio de selección del terreno (opciones)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criterios urbanísticos</li> <li>• Criterios ecológicos.</li> <li>• Criterios operativos</li> <li>• Criterios económicos</li> </ul>	
<b>B. ADQUISICION DEL TERRENO</b>			
<b>C. PROYECTO EJECUTIVO</b> Estudios básicos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio demográfico</li> <li>• Estudio de generación de residuos</li> <li>• Estudio de Geología</li> <li>• Estudio topográfico del terreno</li> <li>• Estudio geohidrológico y geofísico</li> <li>• Estudio de mecánica de suelos</li> </ul>	
Diseño del relleno (principales conceptos)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de operación</li> <li>• Preparación del terreno</li> <li>• Diseño del sistema de disposición final (celdas, franjas, capas y perfil final)</li> <li>• Análisis de contaminación del suelo</li> <li>• Sistema de impermeabilización</li> <li>• Sistema de control de biogas</li> <li>• Sistema de control de lixiviados</li> <li>• Sistema de monitoreo ambiental</li> <li>• Obras complementarias (oficinas, talleres, báscula, caminos drenes, mallas etc. )</li> </ul>	
Determinación del equipamiento		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maquinaria y equipo para la construcción</li> <li>• Maquinaria y equipo operativo</li> <li>• Maquinaria y equipo complementario</li> </ul>	
Manual de operación		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción general</li> <li>• Etapas</li> <li>• Procedimientos para las excavaciones</li> <li>• Procedimientos para la construcción</li> <li>• Procedimientos para el confinamiento de residuos</li> <li>• Organización del personal</li> <li>• Reglamento interno de trabajo</li> </ul>	
Estudio económico		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de inversiones, Costo operativo, Programa de inversiones y costo unitario.</li> </ul>	

<b>SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO (CONTINUACIÓN)</b>	
<b>CUADRO 4.2</b>	
<b>ETAPA</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
Planes de clausura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso final del terreno</li> <li>• Plan de clausura</li> </ul>
Evaluación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación y evaluación de impactos ambientales</li> <li>• Medidas de prevención y mitigación</li> </ul>
<b>D. CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO</b>	
Obras civiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación del terreno</li> <li>• Obras de acceso y protección</li> <li>• Obras de infraestructura</li> <li>• Obras complementarias</li> </ul>
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maqunaria y equipo básico</li> <li>• Equipo complementario</li> </ul>
<b>E. OPERACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administración</li> <li>• Operación</li> <li>• Control técnico</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo</li> </ul>

## 5. DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS.

### 5.1 Metas Básicas del Relleno Sanitario

El diseño del sistema de disposición final debe mantener muy presente las metas (Robinson, W, 1986 y GRCDA, 1988) primordiales para cumplir con la filosofía propia del relleno sanitario, estas metas son las siguientes:

- Cumplir con toda las regulaciones aplicables.
- Proteger el ambiente físico (agua subterránea, agua superficial, suelo y aire)
- Minimizar las molestias de la operación (ligeros, polvo, fuego).
- Minimizar los costos (inicial, operación y total).
- Minimizar el impacto a cuerpos de agua, controlando e impidiendo escurrimientos superficiales.
- Minimizar el tiempo de descarga a los usuarios.
- Proteger a los trabajadores y usuarios.
- Optimizar el espacio del relleno sanitario y prolongar al máximo la vida útil.

- Mantener la estética del lugar

## 5.2 Consideraciones del Uso Final del Sitio.

El uso final del relleno sanitario debe ser considerado durante la fase de diseño, a fin de garantizar el mejor uso futuro del área. La planeación en la fase más temprana posible minimizará los costos y maximizará la utilidad del sitio después de la clausura.

## 5.3 Pasos para el Diseño de un Relleno Sanitario.

Dado que tanto el residente del relleno sanitario y/o personal operativo, tendrán acceso a las memorias del proyecto ejecutivo de relleno sanitario, para conocer el plan de operación propuesto y demás información valiosa para el entendimiento del sistema en su conjunto, a continuación se describen de manera global los diferentes pasos que deben seguirse para asegurar un diseño efectivo:

### 1. Determinación de las cantidades y características de los residuos sólidos por disponer.

- *Actual.*
- *Proyectada.*

### 2.- Recopilación de información para el sitio.

#### a.- Preparación de planos de las condiciones del sitio (dentro y fuera).

#### b.- Preparación de planos base de las condiciones existente cerca del sitio.

- Propiedades aledañas.
- Topografía y pendientes.
- Cuerpos de agua superficial.
- Caminos.
- Instalaciones.
- Usos del suelo.

#### c.- Recopilación de información geohidrológica y preparación de planos del sitio.

## **Relleno Sanitario**

---

- Suelo (profundidad, textura, estructura, densidad, porosidad, permeabilidad, humedad, facilidad de excavado, estabilidad, pH y capacidad de intercambio catiónico).
- Lecho rocoso (profundidad, tipo, presencia de fracturas y localización de afloramientos).
- Agua subterránea (profundidad promedio, fluctuaciones estacionales, gradiente hidráulico y dirección de flujo, velocidad de flujo, calidad y usos).

### **d.- Recopilación de datos climatológicos.**

- *Precipitación.*
- *Evaporación.*
- *Temperatura.*
- *Días de helada.*
- *Dirección de vientos.*

### **e.- Identificación y evaluación de la regulación.**

- Leyes federales, estatales y locales.
- Normas y estándar de diseño.

### **3.- Diseño del área de relleno.**

a. Selección del método de operación: basado en la topografía, tipo de suelo, lecho rocoso y profundidad del acuífero.

b. Especificaciones de dimensiones de diseño.

- Ancho, altura, profundidad de celda.
- Espesor de cubierta diaria, intermedia y final.

c. Especificaciones de los elementos de la operación.

- Uso de la cubierta.
- Método de aplicación de cubierta.
- Requerimientos de importación de material de cubierta.

- Requerimientos de equipo.
- Requerimientos de personal.

#### **4.- Elementos de diseño.**

- a. Control de lixiviados.
- b. Control de biogas.
- c. Control de escurrimientos.
- d. Caminos de acceso.
- e. Áreas de trabajo especial.
- f. Manejo de residuos especiales.
- g. Estructuras.
- h. Instalaciones.
- i. Cercado.
- j. Alumbrado.
- k. Caseta de vigilancia.
- l. Pozos de monitoreo.
- m. Paisaje.

#### **5.- Preparación del diseño.**

- a. Desarrollo preliminar del plan de las áreas de relleno.
- b. Desarrollo de los planos del relleno.
  - Planos de excavación.
  - Secuencia de llenado.
  - Perfil final.
  - Controles del sitio.
- c. Cálculo de volumen de residuos sólidos, volumen de material de cubierta requerido y vida útil.
- d. Desarrollo de los planes definitivos.
  - Áreas de llenado normal.
  - Áreas de trabajo especial.
  - Control de lixiviados y biogas.
  - Control de aguas superficiales.
  - Caminos de acceso.

## **Relleno Sanitario**

---

- Instalaciones generales.
  - Cercado.
  - Instalaciones de monitoreo.
- e. Preparación de plano en planta y con secciones transversales.
- Desplante.
  - Perfil final.
  - Fases intermedias de llenado.
- f. Preparación de detalles constructivos.
- Control de lixiviados y biogas.
  - Control de aguas superficiales.
  - Caminos de acceso.
  - Pozos de monitoreo.
- g. Preparación del plano de uso final.
- h. Preparación del informe.
- i. Preparación del impacto ambiental.
- j. Preparación del manual de operación.

## **6. PROCEDIMIENTOS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS**

Un relleno sanitario localizado y diseñado cuidadosamente puede convertirse en un tiradero a cielo abierto, si no es adecuadamente operado. Cada instalación destinada para relleno sanitario tiene características únicas que solo pueden ser aprendidas mediante el conocimiento, la experiencia y el continuo entrenamiento.

La operación y el mantenimiento adecuado de un relleno sanitario es necesario para:

- Evitar que el relleno sanitario se convierta en un tiradero a cielo abierto.
- Reducir los impactos negativos potenciales en aire, agua y suelo.

- Minimizar o eliminar los impactos hacia las propiedades adyacentes.
- Reducir los costos de operación (a largo plazo).
- Incrementar la capacidad volumétrica y ampliar al máximo la vida útil.
- Establecer y mantener buenas relaciones públicas.
- Reducir los conflictos con las instancias reguladoras o normativas.
- Reducir accidentes, demandas e indemnizaciones.
- Demostrar la capacidad operativa.
- Satisfacer las necesidades de disposición final de residuos sólidos de la región.

Los procedimientos de operación para un relleno sanitario pueden variar, dependiendo de diferentes factores, entre los que se puede citar el tipo de relleno, el clima, las cantidades, tipos de residuos por recibir, la regulación a nivel local, estatal etc. Sin embargo, se pueden establecer ciertas actividades que son muy similares para todos los sitios, como una guía para quienes deben encargarse de su adecuado funcionamiento (GRCDA,1988).

## **6.1 Revisión del Plan de Relleno**

Como punto de partida, se puede decir que cualquier relleno sanitario bien manejado debe contar con un plan de operación y desarrollo futuro. Esos planes definirán de manera clara y precisa, cómo se desarrollará un proyecto de relleno sanitario, abarcando desde la fase de construcción de la primer celda de residuos sólidos hasta la fase de la clausura final del sitio.

El plan de operación que normalmente se prepara dentro del proyecto de diseño, es un elemento básico para utilizarse como una primera fuente de información, sobre los aspectos técnicos del relleno y las actividades que se realizarán para su adecuada operación.

Considerando que la mayoría de los rellenos sanitarios que se proyectan en nuestro país, tienen una vida útil relativamente grande (generalmente más de 10 años), es necesario que el personal consulte regularmente el plan de operación, con la finalidad de que el responsable del relleno sanitario, tenga la plena certeza que las operaciones y el desarrollo del sistema se están realizando, conforme a las especificaciones establecidas en el mediano y largo plazo, o en todo caso, servirá para identificar el momento oportuno para modificar o adecuar los

procedimientos de operación vigentes, principalmente pensando en los cambios que se requerirán conforme a los nuevas disposiciones legales que se promulguen. En este caso, es posible preparar una transición suave hacia un nuevo plan de operación acorde con los cambios actuales.

Las partes de un plan para la operación de un relleno sanitario contendrán como mínimo los siguientes aspectos:

- ◆ **MANEJO DE RESIDUOS EN EL FRENTE.**
- ◆ **DIRECCIÓN DE FLUJO DEL TRÁFICO.**
- ◆ **EXCAVACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN COTIDIANA DEL MATERIAL DE CUBIERTA.**
- ◆ **INSPECCIÓN DIARIA DEL SITIO Y MANTENIMIENTO.**
- ◆ **EL REGISTRO RUTINARIO DE LA CARGA QUE INGRESAN LOS VEHÍCULOS RECOLECTORES.**



### **6.2 Control de Acceso y Operación de Báscula.**

La caseta de control y el área de pesaje representan la primera fase de las operaciones del relleno sanitario y constituye el principal control para:

- ◆ **DETECTAR RESIDUOS SÓLIDOS PROHIBIDOS.**
- ◆ **LOCALIZAR IRREGULARIDADES EN LOS VEHÍCULOS.**
- ◆ **DIRIGIR LOS VEHÍCULOS AL ÁREA ADECUADA.**
- ◆ **COMUNICARSE CON EL CONDUCTOR.**
- ◆ **REGISTRAR LA ENTRADA DE LOS VEHÍCULOS.**

Es indispensable que los rellenos sanitarios cuenten con un sistema de pesaje, dado que se debe conocer la cantidad de residuos sólidos que ingresan, con el fin de establecer parámetros de control de la operación, así como para la asignación de tarifas y cobros. Cuando no hay básculas, el checador de acceso debe ser muy diestro en la determinación precisa del volumen de residuos en los vehículos, normalmente, debe contar con indicadores de capacidad de carga de cada tipo de vehículos, los cuales son generados con base en estadísticas de pesaje de vehículos en otros sitios.



El operador de la báscula registrará en la bitácora los datos de cada vehículo, pesarlo, registrar el peso de la tara (si se conoce), cobrar, generar facturas o recibos y documentos de pesaje, pesar los vehículos después de la descarga para generar los pesos de tara y administrar esta parte de la operación. En el capítulo 7 del presente manual, se muestran formatos tipo para el registro del acceso y pesaje de los vehículos.

### **6.3 Detección de residuos prohibidos.**

Dado que no es posible separar los residuos que son transportados por los vehículos recolectores y/o de transferencia, en la entrada, la revisión del contenido de estos vehículos debe hacerse en el frente de trabajo. Otros tipos de vehículos, especialmente aquellos que no tienen una procedencia definida deben inspeccionarse en la entrada. Estos vehículos representan el grupo más sospechoso para el ingreso de residuos prohibidos al sitio.

Es recomendable que las listas de residuos no autorizados se actualicen de manera regular y entregarse a los controladores de acceso y del frente de trabajo, siendo opcional la entrega de dicho lista a los transportistas para una mejor comprensión de que residuos no pueden ingresar al sitio. Las vehículos que transporten residuos no autorizados deberán detenerse en la entrada y reportarse al residente del relleno para tomar las medidas a que haya lugar. La inspección directa de la carga contribuye a que el transportista sea más cuidadoso de los residuos que transporta y con ello minimizar la posibilidad del ingreso de residuos no autorizados de manera irregular.

#### **6.3.1 Irregularidades en los vehículos.**

Algunas de las posibles violaciones que se pueden detectar en la entrada son:

- ◆ Cargas sin cubrir.
- ◆ Transporte de líquidos y su posible escurrimiento.
- ◆ Negligencia e incumplimiento de medidas de seguridad.
- ◆ Sobre peso en los vehículos.
- ◆ Otros.

Es conveniente para los responsables del sitio coordinarse con la policía municipal y otras instituciones encargadas de la aplicación de la legislación relativa al transporte, con el fin de asegurar que se cumpla con las disposiciones legales establecidas para evitar irregularidades en el peso, la cubierta de la carga

del vehículo, el escurrimiento de líquidos; ya que de lo contrario se pueden originar problemas a la población aledaña a las vías de acceso al relleno, creando descontento y rechazo a la existencia del sitio de disposición final. Independientemente de lo anterior, se debe cuidar que dichas disposiciones se cumplan debido a que se puede poner en riesgo la seguridad de los mismos habitantes. La solución más efectiva a este problema es evitar el acceso de aquellos vehículos que no acaten dichas disposiciones.

### **6.3.2 Control de Tráfico.**

Hay rellenos que tienen varias áreas de operación. En ocasiones las áreas dependen de el tipo de vehículos, tales como los de descarga automática contra los de descarga manual. En otros sitios el tipo de residuos, por ejemplo, residuos de jardinería, determinan a donde debe ir el vehículo. En la mayoría de los rellenos es una práctica de operación cambiar frecuentemente los frentes de trabajo en función de las condiciones del clima y otros factores. Adicionalmente a los señalamientos adecuados, el controlador de acceso o el operador de la báscula, deben proporcionar instrucciones verbales a los conductores, para agilizar las actividades y evitar confusiones.

### ***Comunicación con el conductor***

La mayoría de las operaciones en la báscula y el acceso dependen de la comunicación con los conductores de los vehículos. Los transportistas que ingresan por primera vez necesitarán ayuda para llegar al área de descarga, conocer el reglamento y los procedimientos del relleno, pago de las tarifas, etc. Los vehículos desconocidos deben checarsse para verificar que no están cometiendo irregularidades y sus conductores responder respecto al tipo de residuos que transportan. Esta es el área donde se deben checar los contenedores vacíos para certificar su lavado, contarlos o en todo caso para aprobar su descarga. Lo mismo se aplica para residuos especiales.

La caseta de control de acceso es el lugar donde se establece el trato directo con los usuarios del relleno sanitario. El trato debe ser amable y cortés, pero debe dejarse sentir que el sitio tiene reglas y procedimientos que deben seguirse. Los transportistas deben estar conscientes de que no tienen ningún otro derecho más que la descarga de sus residuos, previamente autorizada y su disponibilidad para el uso de la instalación depende del cumplimiento de todos los requisitos necesarios y del reglamento interior del relleno sanitario.

## Registros.

En la caseta de acceso o en la zona de pesaje se hacen y conservan todos los registros del relleno. El ámbito de esta actividad puede variar de un sitio a otro. La primer función del control de acceso es registrar la entrada y salida de los vehículos. Si es posible, se deben registrar las horas correspondientes. Particularmente en los sitios grandes, es importante saber que todos los vehículos han salido del relleno a la hora de cerrar. La conservación de los registros sobre el tiempo que tarda cada vehículo en revisión puede proporcionar criterios que puedan ser utilizados para mejorar la eficiencia de operación.

El control de planeación, presupuestos y costos requiere de registros exhaustivos y precisos. El peso de los residuos que ingresan al sitio constituye la estadística más importante. Todos los cálculos relacionados con los costos y la eficiencia se basan en esta cifra. El volumen de los residuos recibidos es insignificante para el cálculo de los costos relévanes, la eficiencia de operación, la vida útil esperada y otros parámetros importantes. El encargado del control generalmente debe registrar información sobre:

- ◆ Identificación del vehículo.
- ◆ Peso bruto del vehículo.
- ◆ Tara del vehículo (pesando directamente o de registros anteriores).
- ◆ Fecha y hora de entrada y salida.
- ◆ Tipo de residuos (domiciliarios, industriales, especiales, etc.).
- ◆ Cargos y facturación.
- ◆ Peso del material de cobertura importado.
- ◆ Cualquier información especial.

Estos datos deben resumirse y concentrarse para cada día. Se requieren reportes semanales, anuales o mensuales. La revisión rutinaria de estos registros en forma estadística pueden ayudar a los operadores en la planeación e implementación de los ajustes necesarios para la operación. En el **Capítulo 7**, del presente manual se describe con detalle la forma de llenar dichos registros.

### 6.3.3 Recepción de Residuos.

El residente del relleno debe ser capaz de distinguir entre los residuos no peligrosos que pueden ser aceptados en el relleno y los residuos que la Ley define como peligrosos. Para facilitar la toma de decisiones y por lo tanto prohibir la

entrada de residuos peligrosos al relleno, todos los rellenos deben operar bajo las siguientes condiciones:

➤ *El relleno debe aceptar únicamente:*

- ◆ Los residuos sólidos considerados como no peligrosos por la legislación ambiental vigente. Si se trata de residuos especiales o industriales deben ir acompañados de un certificado de no peligrosidad, emitido por la autoridad competente.
- ◆ En el caso de los residuos industriales, las pruebas de caracterización de un residuo en particular, podrán considerarse válidas durante un año contado a partir de la fecha de su realización, por lo que las cargas subsecuentes de residuos provenientes del mismo proceso podrán ser recibidas únicamente con una declaración del generador de que no se ha modificado el proceso empleado, o en las materias primas utilizadas en la instalación generadora del residuo.

➤ *Cualquier tipo de residuo cuyo estado o clasificación no estén adecuadamente definidos, requiere de una aprobación por escrito, de la autoridad correspondiente, previamente a su aceptación.*

➤ *También para el caso de los residuos especiales o industriales, el transportista deberá presentar además una declaración escrita de que los residuos transportados al relleno son los mismos recibidos del generador y que no se les han agregado materiales adicionales.*

➤ *En ningún caso el relleno deberá aceptar residuos considerados como peligrosos por los listados o las pruebas de laboratorio establecidas por la legislación ambiental vigente. De éstos, los que más comúnmente llegan a los rellenos son los siguientes:*

- ◆ Cadáveres o partes de animales.
- ◆ Residuos hospitalarios (contaminados).
- ◆ Materiales altamente combustibles o explosivos (Gasolinas, aceites, etc.).
- ◆ Excremento o estiércol sin previa estabilización biológica.
- ◆ Residuos de procesos industriales.

➤ *No se deben aceptar en el relleno líquidos, ni suelos o cualquier otro sólido con líquidos.*

➤ *Tampoco es recomendable la aceptación de (Carroll, 1996):*

- ◆ Residuos o materiales cuyo tamaño o peso excedan los límites y/o capacidades de los equipos utilizados para su manejo y disposición final.
- ◆ Residuos de construcción, mantenimiento o demolición de obras civiles o generados por constructores o contratistas profesionales.
- ◆ Partes y accesorios automotrices.

➤ *Opcionalmente y dependiendo de las políticas del organismo responsable y/o de lo que establezca la legislación aplicable, se podrá restringir la recepción de (Carroll, 1996):*

- ◆ Residuos generados fuera de la jurisdicción territorial de la entidad correspondiente.
- ◆ Llantas usadas, con diámetros mayores de 0.80 m. o montadas en el rin, así como en cantidades superiores a cuatro unidades por semana, para los particulares.
- ◆ Baterías automotrices o industriales.

#### 6.4 Prácticas de Disposición de Residuos.

Como se ha mencionado en los primeros capítulos de este documento, existen dos métodos básicos para la operación de los rellenos sanitarios: el de Trinchera y el de Área. Otras opciones son simplemente modificaciones de los dos métodos anteriormente señalados. El método de trinchera es muy difícil de ejecutar, debido a que los diseños actuales demandan la implementación de un sistema de impermeabilización (natural o artificial) de la base del relleno y de sistemas de captación y desalojo de lixiviados. El método de área es actualmente el más utilizado, principalmente porque se adapta con mayor facilidad a la existencia de

la infraestructura mencionada. En todo caso los diseños actuales, admiten excavaciones mayores para alcanzar la profundidad deseada y proceder a la construcción de sistemas de impermeabilización y captación de lixiviados, para posteriormente operar el sitio mediante el método de área.

La *celda* diaria constituye el elemento constructivo primario y común de cualquier relleno sanitario. En la **Figura 7.1**, se muestra la morfología de la celda diaria, para una mejor visualización de la misma. Los residuos sólidos recibidos son esparcidos y compactados en capas dentro de un área perfectamente delimitada y hasta un volumen definido. Al término de cada día de operación, el área ya ocupada con residuos compactados, es cubierta completamente con una capa delgada de tierra, que posteriormente es compactada. De esta forma, los residuos compactados y cubiertos diariamente con este material, constituyen una celda. Una serie de celdas adyacentes en forma lateral o transversal y con una misma altura, forman una *franja*. Una serie de franjas adyacentes y con una misma altura, forman una *capa* y una o más capas, pueden formar el total del área de *relleno sanitario* o una *etapa* del mismo, como se ilustra en la **Figura 2.1**, presentada en la sección 2, de estas notas.

Cuando los residuos son confinados en una celda, las posibilidades de que se inicie fuego interno se reducen al mínimo y en todo caso éste no puede propagarse fácilmente, la fauna nociva como roedores, moscas principalmente, no pueden tener acceso fácil a los residuos para conseguir alimento o madrigueras, también se reduce la cantidad de materiales expuestos a los elementos ambientales con lo que se minimiza la dispersión de residuos, microorganismos y polvos, al igual que se mitigan o eliminan olores y la producción de lixiviados, facilitando finalmente el control de los gases que emanan de las celdas del relleno.

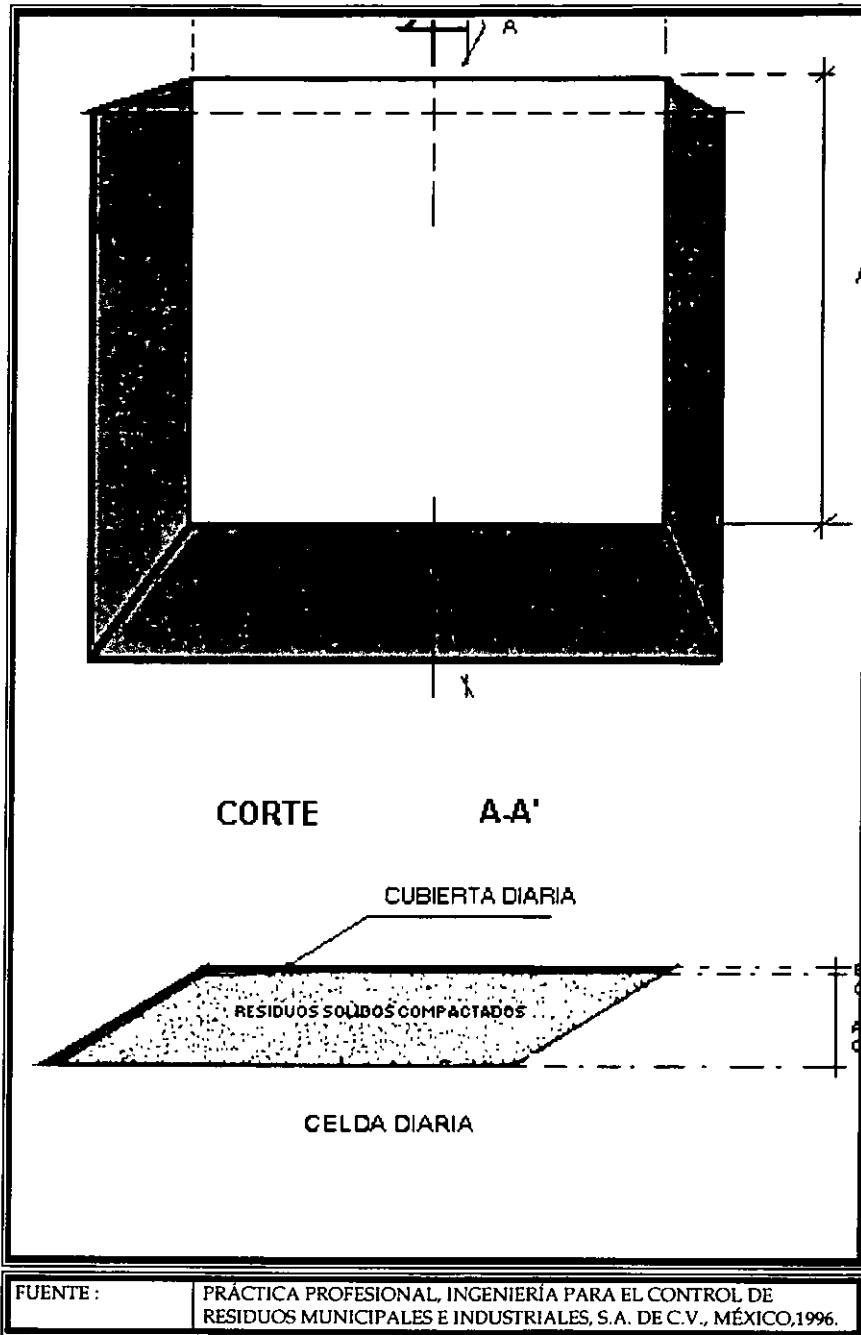
### 6.4.1 Construcción de celda

Una celda es construida mediante la compactación de residuos sobre una pendiente en capas sucesivas del mismo espesor. Los residuos son depositados al pie del frente de trabajo y empujados sobre el talud. Los pasos adecuados para la construcción de la celda se describen a continuación:

- Descargar los residuos sólidos sobre el área que conformará el correspondiente frente de trabajo del día.

- ☑ Usar estacas de nivelación para el control de la altura de la celda y dar la pendiente adecuada para facilitar el drenaje por gravedad. El nivel de la superficie superior de la celda debe ser entre 2 y 5 por ciento, mientras que la altura de celda comúnmente es de aproximadamente 2.4 a 3.5 m.
  
- ☑ Las dimensiones de la celda están especificadas en el proyecto y pueden consultarse también en el plan de relleno. Estas dimensiones deberán coincidir con el volumen de los residuos compactados en el sitio, al final del día de trabajo.

<b>FIGURA 7.1</b>	<b>MORFOLOGÍA DE LA CELDA DIARIA</b>
-------------------	--------------------------------------



6.4.2 Cobertura.

*Cubierta Intermedia.*



La superficie que envuelve la celda diaria terminada y que estará expuestas al ambiente por un período de más de una semana, hasta que se coloque una nueva celda sobre ésta, sufrirá los efectos de las condiciones climatológicas y posiblemente el frecuente paso de vehículos. Normalmente estas superficies son cubiertas adicionalmente, con una capa de **0.30 m** de espesor de tierra compactada. A esta capa se le conoce como cubierta intermedia y tiene la función de proteger a la cubierta diaria y prevenir la intrusión de agua al relleno por un período más largo. Para la colocación de la cubierta intermedia, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Una vez que se tiene una superficie rellena, ya sea una franja o una capa, en la cual no se tenga previsto depositar residuos sólidos por un tiempo largo; se descargará sobre la cubierta diaria, el material para la conformación de la cubierta intermedia.
- Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de 30 cm.

### *Cubierta final*

Cuando el relleno ha alcanzado el nivel planeado, se deberá colocar una cubierta final de no menos de **60 cm** de espesor. Esta cubierta es necesaria para permitir el tráfico ligero y minimizar los efectos que ocasionan los asentamientos diferenciales, tal como el afloramiento de residuos por el efecto de fracturas y agrietamientos. Esta cubierta, también ayudará a evitar que la lluvia fluya hacia el interior de los residuos confinados:

- Una vez que se tiene una área de una capa, etapa o la totalidad del relleno, terminadas; descargar sobre el área por cubrir, el material para la cubierta final.
- Posteriormente, se extenderá el material y se compactará el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de **30 cm**.
- Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de 60 cm.

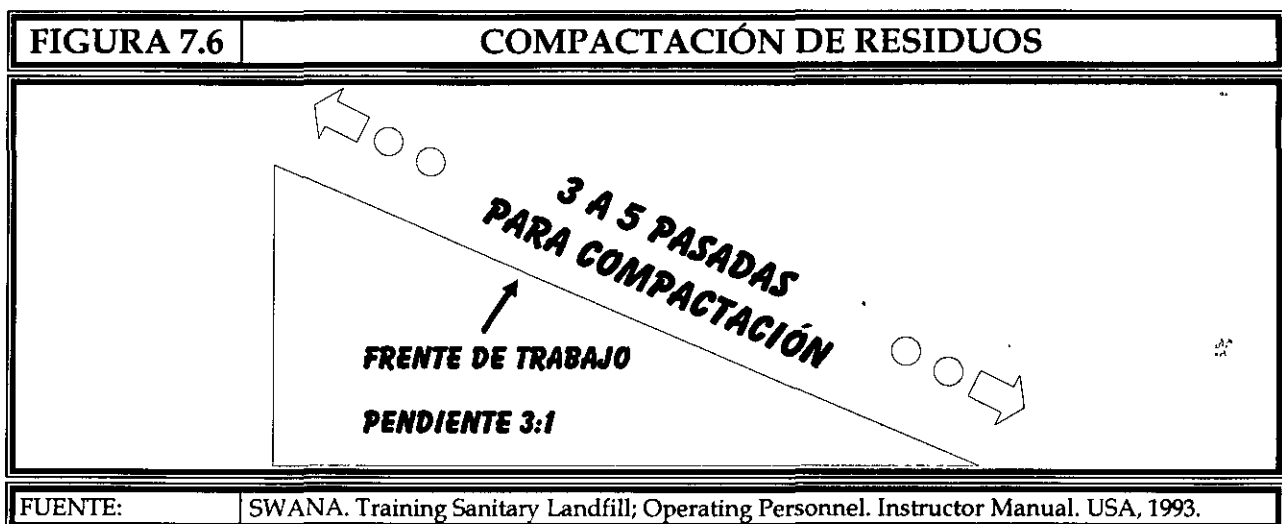
Hay algunas tendencias hacia el uso de geosintéticos como parte de la cubierta final. Para ello es necesario considerar factores de diseño muy especiales que aseguren el funcionamiento efectivo de dicha cubierta.

### **6.4.3 Prácticas de operación recomendables.**

A continuación se presenta una serie de recomendaciones para lograr una efectiva operación del relleno sanitario:

- No se debe realizar disposición alguna cuando no este presente un supervisor. El sitio debe ser cerrado cuando no se cuente con el personal suficiente para la prestación del servicio.
- Mantener el menor ancho posible en el frente de trabajo.
- Mantener una separación de 2.5 a 3.0 m entre los equipos de compactación y los vehículos recolectores o de transferencia.
- Todos los residuos recibidos en el relleno deben ser dispuestos sanitariamente y no deberá exceder un periodo de 48 horas después de su ingreso.
- Los residuos deben trabajarse inmediatamente después de ser depositados en el frente de trabajo y no permitir que se acumulen en montículos o que únicamente los residuos se conformen de una a dos veces por día.
- Para asegurar el máximo aprovechamiento de la capacidad del relleno, la residuos deben vaciarse en la base de la celda o rampa de disposición y trabajarse en ese mismo nivel. Este "fondo de descarga" reduce las posibilidades de esparcimiento de papeles debido al viento, permite máxima compactación y mejora el control de los residuos. Otra ventaja es que cuando los residuos están depositados en un área pequeña, también es menor la cantidad de material de cubierta que se utiliza.
- Los residuos deben ser esparcidos en la superficie del frente de trabajo en capas de entre 30 y 90 cm.
- Nunca se debe depositar residuos en el frente de ataque de aquellas áreas, en donde se estén efectuando maniobras de excavación.

- ☑ Los residuos esparcidos en el frente de trabajo se deben compactar conforme a los requerimientos de compactación establecidos en el proyecto ejecutivo y en concordancia con el plan de operación (generalmente con un mínimo de cuatro pasadas es suficiente, si la compactación se realiza con tractores de rueda metálica o de cadenas).
- ☑ Los residuos son manejados eficientemente, si éstos son esparcidos sobre un talud 3:1, utilizando maquinaria sobre orugas; pero se pueden obtener excelentes resultados en superficies planas, si se trabaja con equipo con ruedas dentadas. Utilizando un talud con determinada pendiente, se favorece el ahorro de material de cubierta, así como un menor tiempo en el extendido y compactado de los residuos. Sin embargo, la pendiente excesiva en los taludes (taludes mayores de 3:1), se obtiene una menor compactación (Ver Figura 7.6).



- ☑ Una vez que se ha cargado, mediante el equipo de movimiento de tierras, una cantidad de material de cubierta, no deberá descargarse en ningún lugar hasta que se defina el lugar en donde se colocará.
- ☑ El material de cobertura se debe humedecer lo suficientemente para lograr la compactación adecuada, además para controlar el arrastre del material por efecto del viento. Ahora bien, se debe tener cuidado de dosificar el agua necesaria para lograr el objetivo propuesto; pero se debe tener mucho cuidado de no agregar agua en exceso, debido a que se generan problemas de atascamiento y/o escurrimientos que afectan las propiedades de la cubierta de material generándose problemas operativos.

## **Relleno Sanitario**

---

- ☑ Es recomendable remover cualquier acumulación de agua pluvial sobre las superficies rellenas, dentro de un período de 72 horas, después de haber identificado dicho problema.
- ☑ Cuando se presentan lluvias de alta intensidad sobre el frente de trabajo, el agua acumulada debe ser bombeada hacia los canales de agua pluvial o fuera del sitio, antes de proceder a la descarga de residuos sólidos.
- ☑ Todas las depresiones que aparezcan sobre las superficies ya trabajadas, deben ser rellenadas lo más pronto posible, para evitar la acumulación de agua y de esta forma minimizar la posibilidad de infiltración de agua hacia los estratos inferiores.
- ☑ La aceleración de la degradación de los residuos depositados en el relleno, mediante la adición de microorganismos o enzimas con acción específica, solamente tendrá sentido, si se cuenta con un plan bien definido que establezca la ubicación del área designada para este programa, composición del o los aditivos, método, cantidad y frecuencia de aplicación, así como las medidas de seguridad requeridas.
- ☑ Si por alguna razón se reciben residuos especiales o industriales (aún siendo no peligrosos), deberán disponerse separadamente de los residuos de origen municipal. No debe haber disposición conjunta.

### **6.4.4 Uso Efectivo de Maquinaria.**

La construcción de un relleno sanitario requiere de equipo pesado, conforme al grado de dificultad que presente el sitio para ello. Generalmente, este elemento de trabajo resulta ser una fuente importante en las inversiones destinadas al control de los residuos sólidos y por lo tanto, su uso efectivo es vital para el desarrollo eficiente de las operaciones en el relleno sanitario. La operación y el mantenimiento del equipo ocupan un lugar clave en los costos asociados con la operación de los sistemas de disposición final. Por tal razón, la adecuada selección del equipo por utilizar, debe realizarse de manera racional y tomando en cuenta el método de operación y las condiciones reales de trabajo a las que estarán sujetas.

Las funciones básicas del equipo para un relleno sanitario caen dentro de las siguientes categorías:

- ◆ Preparación del sitio incluyendo desmonte y despalme.
- ◆ Compactación y manejo de residuos.
- ◆ Excavación, transporte y aplicación de cubierta diaria.
- ◆ Esparcimiento y compactación de la cubierta final.
- ◆ Funciones de apoyo.

Con base en el tamaño de la instalación, el mismo equipo puede ser utilizado en más de una de las tres categorías. La versatilidad se convierte en una consideración esencial para la selección de equipo en situaciones en las cuales será utilizado para más de una sola función.

#### *Funciones relativas al suelo:*

La excavación, el manejo y la compactación de los suelos utilizados como sistema de impermeabilización o material de cobertura son los aspectos que deben considerarse cuando se determinan las funciones del equipo para el relleno. Los procedimientos y equipos utilizados para estas actividades difieren solo ligeramente de los utilizados para otras operaciones de movimiento de tierras. En consecuencia, el grado de mecanización y sofisticación del equipo disponible para el relleno sanitario, en una situación dada, no diferirá marcadamente de las actividades que son características en las operaciones de movimiento de tierras. Esta limitación se extiende a las variaciones en los procedimientos y requisitos específicos que se tienen que reunir, debido a las condiciones topográficas y características específicas del suelo. Por ejemplo, los equipos de ruedas, generalmente son eficientes para la excavación de suelos en los que predominan la arena, la grava, las arcillas limosas y los limos arcillosos. Por otra parte el equipo con cadenas o rieles es recomendable para trabajos en sitios que presentan problemas de accesibilidad y materiales difíciles de manejar. Otras variantes pueden ser de tipo estacionales. Si los suelos se van a mover en distancias menores a 100 m, los cargadores y bulldozers pueden servir perfectamente para ese propósito. Para distancias mayores se deben utilizar otros equipos.

#### *Funciones relativas a los residuos.*

Las funciones del equipo relacionadas con los residuos sólidos son el empuje, extendido, compactación y cobertura.

La función de compactación demanda atención total debido a sus efectos a muy corto y largo plazo sobre la operación del relleno y la velocidad y extensión de los

asentamientos, principalmente porque tiene una influencia importante en la capacidad del relleno (Figura 7.7). El equipo pesado especialmente diseñado para la compactación es aparentemente más efectivo y eficiente que el equipo ligero diseñado especialmente para el movimiento de tierras. Sin embargo, el peso puede ser significativamente compensado, incrementando el número de pasadas de equipo ligero sobre los residuos. El número de pasadas necesarias para obtener la compactación suficiente requerida también depende del contenido de humedad y de la composición de los residuos.

El equipo para el relleno debe ser resistente porque las condiciones para su uso se encuentran muy lejos de las ideales. Los radiadores presentan una alta frecuencia de saturación con partículas, lo que los daña considerablemente y el cuerpo y las partes operativas del equipo pueden dañarse por los residuos protuberantes o voluminosos. Las llantas, aún las de uso rudo, pueden resultar pinchadas o cortadas, reduciendo su vida útil.

### *Funciones de Apoyo.*

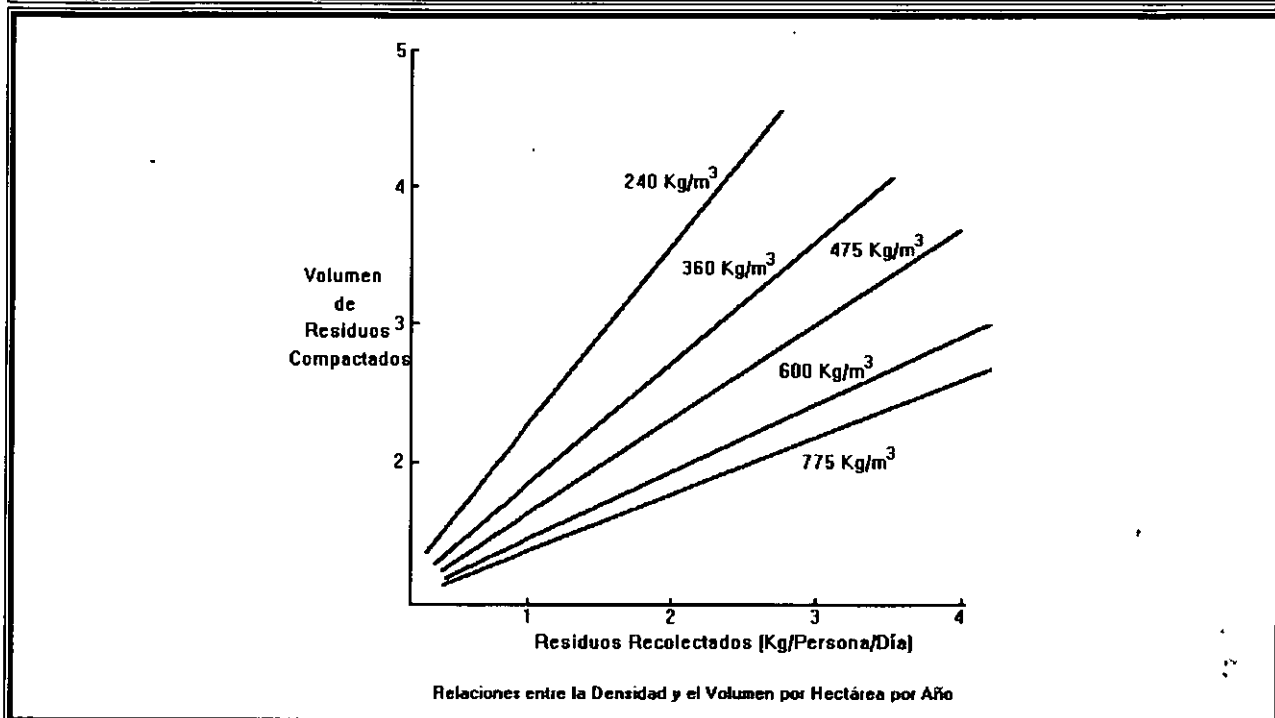
Con respecto a las etapas inicial y subsecuentes de construcción del relleno, se necesitará equipo de apoyo para la instalación de los sistemas de control ambiental tales como las geomembranas impermeables y cubiertas, las instalaciones para el manejo de lixiviados y los venteos para gas.

Las funciones de apoyo durante la fase de operación incluyen la extensión y el mantenimiento de los caminos hasta el frente de trabajo del relleno, control de polvos y combate de incendios. A menos que los vehículos de recolección y transporte estén equipados con sistemas de autodescarga, el equipo de soporte puede ser requerido para ayudar en la descarga. Si el trabajo es abundante la descarga se puede complementar manualmente. Este sería el caso con los vehículos de recolección más viejos. Generalmente algunas de las funciones de apoyo (tales como la ampliación y el mantenimiento de caminos) pueden ser realizadas durante la fase de operación mediante la maquinaria utilizada para la distribución y compactación.

Algunos aspectos especiales sugeridos para aplicarse en la operación de rellenos sanitarios son:

- La descarga se debe realizar a corta distancia del frente de trabajo, evitando que los vehículos recolectores y de transferencia interfieran con la actividades de la maquinaria pesada.
- Cercado completo de las máquinas (lateralmente y en la parte superior);

**FIGURA 7.7** | **DENSIDAD Y VOLUMEN EN EL RELLENO**



FUENTE : CalRecovery, Inc., Handbook for the Design of Sanitary Landfills in Developing Countries, 1995.

- Resguardar carters;
- Proteger el radiador;
- Instalar alarmas;
- Montar guardias;
- Resguardar furgones vacíos (cargadores y tractor con cuchilla);
- Limpiadores anteriores y posteriores;
- Sistema para detectar en las máquinas baja presión de aceite y alta temperatura del agua; pesada carga de aire del sistema de limpieza;
- Ruedas especiales para compactación de rellenos, reemplazare, (en compactadores);
- Extinguidor
- El desmonte se realizará por etapas para no favorecer las tolvaderas.
- Uso de Tractores de Cadenas

## 7. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE ASENTAMIENTOS LIXIVIADOS Y BIOGAS.

### 7.1 Procesos de Descomposición de los Residuos

Antes de analizar las prácticas de manejo de los lixiviados y biogas, es importante comprender de manera general los principios de la descomposición de los residuos dentro del relleno sanitario. El objetivo de comprender dicho proceso, se basa en lo siguiente:

- ◆ La localización y el diseño de las instalaciones están apoyadas en los impactos ambientales potenciales derivados de los productos que resulten de la descomposición.
- ◆ Las prácticas de operación afectan directamente la velocidad de la descomposición de los residuos sólidos.
- ◆ Los efectos adversos pueden ser planeados para minimizar sus consecuencias; y
- ◆ La viabilidad de la clausura y post-clausura es seriamente afectada también por los productos generados durante la descomposición de la materia orgánica.

Todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero la fracción orgánica es la que sufre los cambios más importantes. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos. La descomposición se lleva a cabo a través de procesos químicos y biológicos, como se mencionó en el Capítulo 2 de este manual. En la **Tabla 8.1**, se presentan las diferentes categorías de residuos, los procesos y los subproductos generados.

<b>TABLA 8.1 DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS</b>		
<b>RESIDUOS</b>	<b>PROCESOS</b>	<b>SUBPRODUCTOS</b>
Material orgánico (papel, alimentos, trapo, etc.)	Biológico (Microorganismos)	Líquidos, gases y sólidos.



Residuos inorgánicos ( metales)	Químico (Oxidación)	Compuestos de metales
Otros residuos	Biológicos y Químicos	Según el tipo de residuos
FUENTE:	Governmental Collection and Disposal Association, Inc., Training Course Manual, Maning Sanitary Landfill Operation, 1988.	

### 7.1.1 Velocidad de la descomposición

Hay diferentes factores que afectan la velocidad de descomposición de los residuos sólidos. Estos incluyen las características físicas, químicas y biológicas de los residuos, tales como:

- ◆ Tamaño de partícula.
- ◆ Forma de partícula
- ◆ Densidad
- ◆ Composición.
- ◆ Componentes químicos.
- ◆ Número y distribución de microorganismos
- ◆ Oxígeno
- ◆ Humedad.
- ◆ Temperatura.
- ◆ pH

Debido a la complejidad de las reacciones potenciales e interacciones, la cantidad, la velocidad de generación y los componentes químicos de los subproductos no puede ser fácilmente determinados. Sin embargo, en la mayoría de las veces, es mejor diseñar y operar las instalaciones para reducir la generación de los mismos.

### 7.1.2 Efectos de la descomposición.

Hay tres principales eventos que ocurrirán en el relleno sanitario por la degradación de los residuos sólidos:

- HUNDIMIENTOS Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.**
- GENERACIÓN Y MIGRACIÓN DE BIOGAS.**
- GENERACIÓN Y MIGRACIÓN DE LIXIVIADOS.**

## 7.2 Hundimientos y Asentamientos Diferenciales.

Este es el problema más obvio y más fácil de controlar.

### 7.2.1 Hundimientos.

Los hundimientos (asentamientos uniformes o fallas) de el relleno ocurren lentamente con el tiempo y éste es causado por:

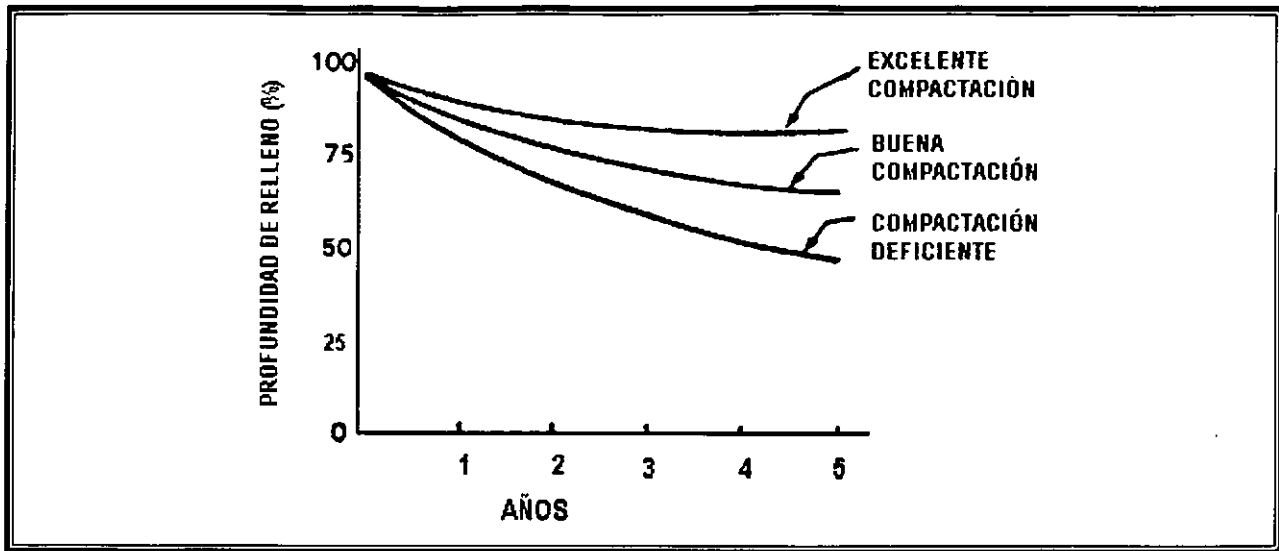
- ◇ **Peso del relleno (con respecto a la altura).**
- ◇ **Descomposición de los residuos sólidos (disminución del volumen)**
- ◇ **Compactación deficiente.**

El control se efectúa por medio de la compactación de los residuos sólidos. En la **Figura 8.2**, se presenta el asentamiento potencial con respecto al tiempo, basado el grado de compactación.

### 7.2.2 Asentamientos diferenciales.

Los asentamientos de ciertas áreas rellenas son llamados asentamientos diferenciales y originan depresiones de diversos tamaños, su ocurrencia se da de manera aleatoria a través del tiempo. Los problemas básicos creados por los asentamientos diferenciales incluyen el encharcamiento de agua, incrementando la generación de lixiviados, la producción de biogas y la reducción del crecimiento de especies vegetales. Los asentamientos diferenciales son provocados por :

- ◇ **Tráfico vehicular**
- ◇ **Compactación deficiente.**
- ◇ **Depósito de grandes cantidades de residuos orgánicos a lado de residuos inorgánicos e inertes ( diferentes velocidades de degradación).**
- ◇ **Llenado irregular de las celdas.**
- ◇ **Asentamiento de materiales o el llenado de huecos provocados por la descomposición.**



FUENTE: Governmental Collection and Disposal Association, Inc., Training Course Manual, Managing Sanitary Landfill Operation, 1988.

### 7.2.3 Control de asentamientos.

Los métodos de control de asentamientos incluyen:

- Buena compactación
- Separado o recuperación de materiales de los residuos voluminosos.
- Compactación de los residuos voluminosos lo más posible
- Mantener el área de trabajo liso y uniforme.
- Acondicionamiento de caminos con materiales inertes.
- Nivelación de áreas para favorecer los escurrimientos.
- Llenar las depresiones con material de relleno si estas son evidentes.
- Durante la construcción del sitio, las grandes depresiones pueden ser rellenadas con residuos fácilmente manejables (domiciliarios) para renivelar.

### 7.2.4 Identificación de la presencia de asentamientos.

La identificación de los problemas de asentamientos se hace a través de la observación directa sobre las áreas rellenadas.

- ◆ Agrietamiento en la cubierta
- ◆ Depresiones visibles.
- ◆ Fracturas profundas.

- ◆ Estancamiento de agua.

### 7.3 Manejo de Lixiviados.

Cuando el agua pasa (percola) a través de varios materiales, remueve algo de los sólidos, a esta agua y lo que contiene se llaman lixiviado.

El lixiviado es de aspecto desagradable, comúnmente tiene mal olor y puede contaminar las aguas subterráneas y superficiales. Contiene materia orgánica e inorgánica. Algunos de estos materiales son tóxicos a los humanos y los animales. Esto significa que el lixiviado se debe mantener alejado de lagos y corrientes, así como del agua subterránea que puede consumir la gente.

La producción de lixiviados se puede prevenir:

- ☑ **MANTENIENDO LOS LÍQUIDOS FUERA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**
- ☑ **MANTENIENDO EL AGUA DE LLUVIA FUERA DEL RELLENO**

La legislación (en países desarrollados) requiere que los lixiviados que hayan sido generados, se recolecten y traten para su disposición final. Este requerimiento dio como resultado la exigencia de dos o más capas de impermeabilización en el fondo de los rellenos. En un sistema de doble capa impermeable se requiere también de un sistema de detección de fugas. Un relleno diseñado y construido con doble capa impermeable tiene una muy baja probabilidad de que el lixiviado pueda escapar, pero existe el riesgo.

Se han probado también capas impermeables hechas con materiales naturales tales como arcilla fina, o sintéticos como plásticos. En el futuro los más utilizados serán los plásticos.

Es necesario perforar pozos de monitoreo de agua subterránea alrededor del relleno. Los requerimientos básicos son de un pozo aguas arriba del área de relleno y tres aguas abajo. Las muestras colectadas de estos pozos se analizan. Esto se hace para asegurar que el lixiviado no llegue al manto freático.

El estancamiento del agua causará el ingreso de más agua al relleno. Las causas más comunes del estancamiento son:

- Depresiones en la superficie del relleno (ver sección 8.3)
- Prácticas inadecuadas de construcción y fallas del sistema de impermeabilización en la reproducción del contorno de superficies planas y pendientes, así como en la operación donde se llega a obstruir el drenaje.

### 7.3.1 Migración de Lixiviados

Las buenas prácticas de operación pueden resultar en una reducción de la generación de lixiviados. No hay técnicas que eliminen absolutamente la generación de lixiviado y éste no representa ningún problema, a menos que migre desde el punto de generación hacia las aguas superficiales o subterráneas.

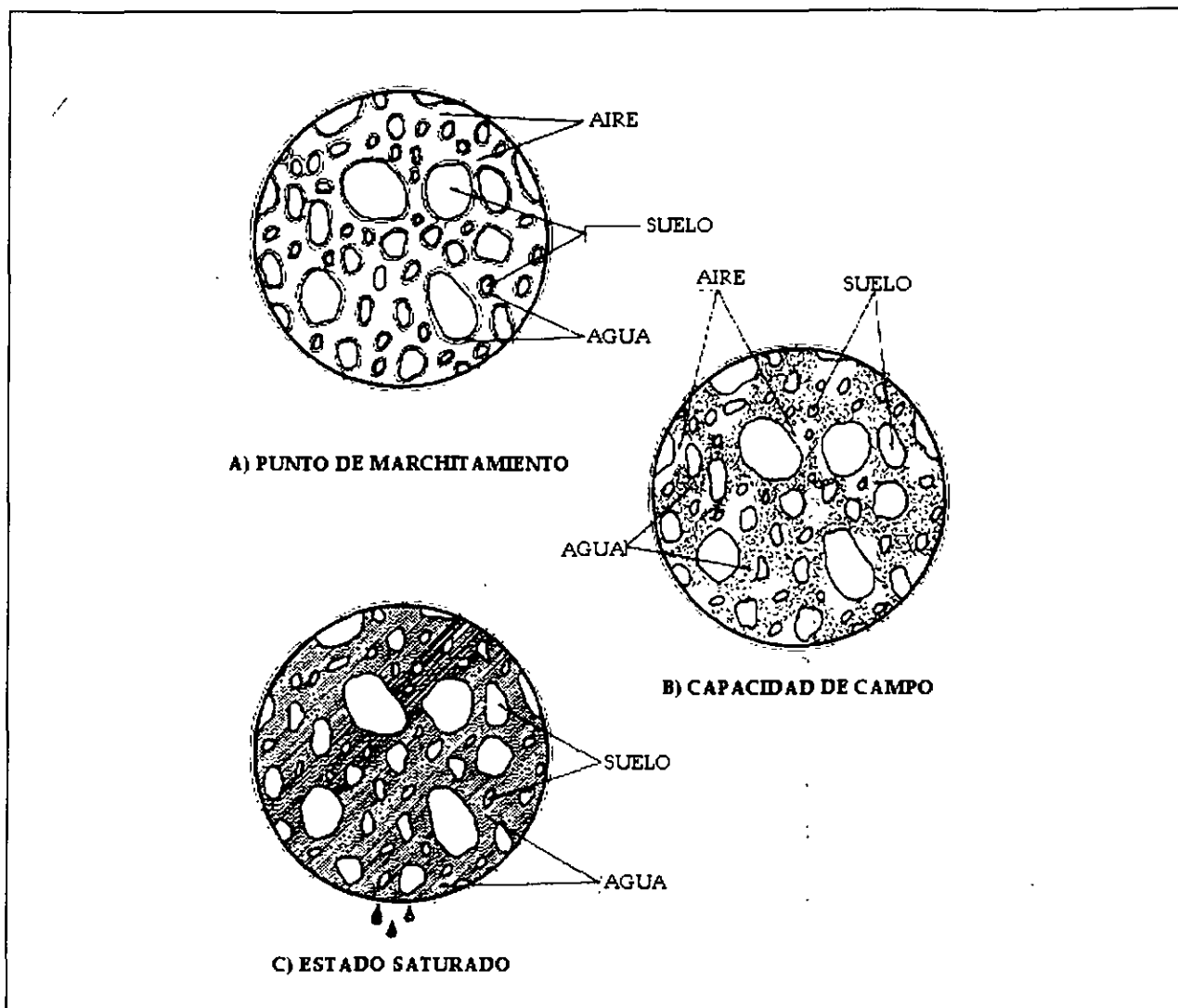
#### *Características de Migración*

La migración de lixiviados ocurre cuando se satura una condición conocida como Capacidad de Campo. Dicha condición se refiere a la capacidad de un material para retener humedad libre en contra de la fuerza de gravedad. Una vez que se alcanza la capacidad de campo, la migración de lixiviados puede iniciar. Capacidad de campo no es lo mismo que saturación. Saturación significa que todos los espacios libres (de otra forma ocupados por aire) están llenos con agua. En la Figura 8.2, se ilustra el fenómeno de la capacidad de campo.

Procesos de Migración que pueden ocurrir:

La migración se puede dar cuando cualquier porción del relleno alcanza su capacidad de campo o desde los vacíos entre los residuos.

El lixiviado también puede migrar a la superficie del suelo (base del relleno) o hasta el agua subterránea (normalmente a lo largo de pendientes o escurrimientos). A lo largo de la vía de menor resistencia dentro del relleno y en el suelo circundante.



FUENTE: Governmental Collection and Disposal Association, Inc., Training Course Manual, Managing Sanitary Landfill Operation, 1988.

### Descarga Superficial del Lixiviado

La descarga superficial normalmente ocurre a lo largo de la base de taludes, en el punto más débil en un sistema de cubierta o donde el suelo tiene la mayor permeabilidad. El uso de suelos impermeables como cubiertas diarias o intermedias puede originar escurrimientos a los lados del relleno. dichos escurrimientos superficiales pueden producir:

- ◆ Olores y condiciones desagradables
- ◆ Contaminación potencial del agua superficial

- ◆ Infiltración del lixiviado al agua subterránea
- ◆ Impacto a la flora del sitio

Si se presenta un escurrimiento, generalmente aparecerá como una descarga oscura, de color café rojizo y olor fétido. Frecuentemente aparecen burbujas en el escurrimiento. Una vez que la descarga se detiene, el suelo presenta una mancha de color café rojizo.

El control de las descargas superficiales se realiza mediante:

- Control de la generación de lixiviados.
- Excavando zanjas alrededor del escurrimiento y rellenándola con suelo de textura fina y bien compactado para interrumpir el flujo.

### ***Descarga de Lixiviado al Agua Subterránea***

La contaminación del agua subterránea se presenta si el lixiviado llega a alguno de estos cuerpos. Un método utilizado, para detectar la migración, es el monitoreo de la humedad del suelo bajo el relleno con lisímetros. Dicho monitoreo se efectúa principalmente para evaluar la calidad del agua, con respecto a la presencia del lixiviado.

Es importante diseñar el programa de monitoreo al mismo tiempo que se diseña el relleno, tomando en cuenta las etapas de construcción.

### ***Control de la Migración de Lixiviados***

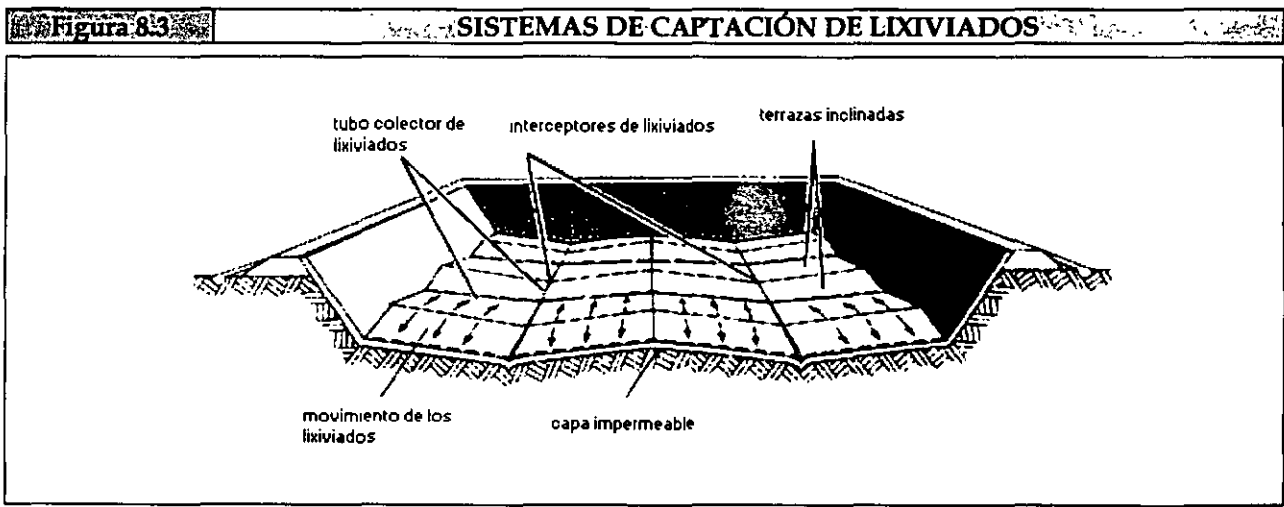
La ubicación adecuada del sitio, el diseño y la construcción pueden dar seguridad en el control de la migración de lixiviados. La infraestructura necesaria incluye sistemas de impermeabilización empleando materiales de baja permeabilidad (naturales y/o sintéticos), colocados con cierta pendiente para conducir por gravedad el lixiviado a los tubos colectores. Estos tubos colectan el lixiviado para su posterior extracción y tratamiento. La operación adecuada de dichas instalaciones, la colocación de cobertura final de acuerdo a las especificaciones del proyecto, y el mantenimiento de la cubierta vegetal reducirán migración de lixiviado.

### **Selección de Sitio**

En México, generalmente se han utilizado para la disposición de residuos sólidos, sitios inadecuados como: minas de materiales permeables, cauces de ríos, hondonadas y barrancas, principalmente; los cuales por el tipo de suelo, ubicación, etc., se han convertido en focos de contaminación de alto riesgo para los seres vivos.

Es por ello que las legislaciones actuales no permiten que los rellenos sanitarios se ubiquen en suelos que faciliten la infiltración de los lixiviados al manto freático; por lo que en la mayoría de los casos tanto los sistemas naturales de impermeabilización hechos con suelos arcillosos, los sistemas artificiales o combinaciones de ambos son necesarios para controlar dicha migración de lixiviados. Aún en ausencia de requisitos legales que exijan sistemas de impermeabilización, las prácticas adecuadas dictarán casi siempre el uso de sistemas de impermeabilización.

En la **Figura 8.3** se ilustran los conceptos de un sistema de colección de lixiviados típico.

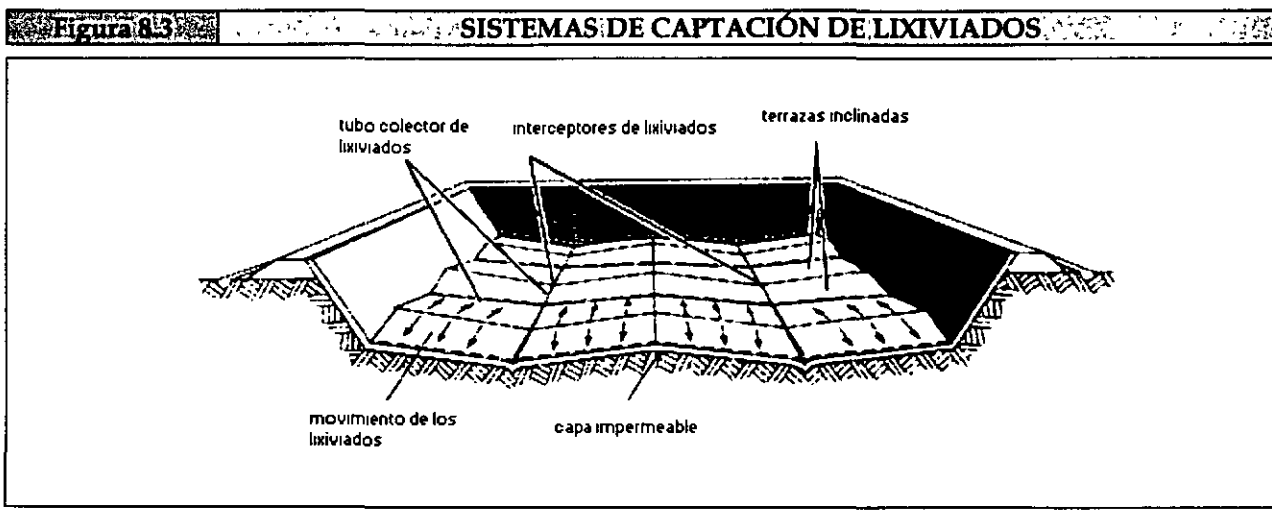




En México, generalmente se han utilizado para la disposición de residuos sólidos, sitios inadecuados como: minas de materiales permeables, cauces de ríos, hondonadas y barrancas, principalmente; los cuales por el tipo de suelo, ubicación, etc., se han convertido en focos de contaminación de alto riesgo para los seres vivos.

Es por ello que las legislaciones actuales no permiten que los rellenos sanitarios se ubiquen en suelos que faciliten la infiltración de los lixiviados al manto freático; por lo que en la mayoría de los casos tanto los sistemas naturales de impermeabilización hechos con suelos arcillosos, los sistemas artificiales o combinaciones de ambos son necesarios para controlar dicha migración de lixiviados. Aún en ausencia de requisitos legales que exijan sistemas de impermeabilización, las prácticas adecuadas dictarán casi siempre el uso de sistemas de impermeabilización.

En la **Figura 8.3** se ilustran los conceptos de un sistema de colección de lixiviados típico.



El uso de materiales naturales requiere de consideraciones especiales para asegurar que:

La permeabilidad del suelo iguale o exceda los estándares legislados.

La densidad del suelo en el sitio sea comparable a la utilizada en la prueba para determinar el coeficiente de permeabilidad.

El espesor del suelo sea el adecuado para proporcionar al sitio la seguridad establecida por el diseñador.

### *Impermeabilización con Materiales Geosintéticos (sistemas de membrana flexible).*

El tipo geosintéticos utilizados pueden ser: georedes, geotextiles, geomallas y geomembranas. Dichos geosintéticos deben ser compatibles con las condiciones físicas de la obra, además de cumplir con un alto control de calidad tanto del mismo material, como de su instalación, algunas fallas que se pueden presentar en dichos materiales, son:

- pinchadura.
- abrasión.
- raspones.
- organismos biológicos.
- asentamientos.
- pérdida de plasticidad.
- choque térmico (Stress).
- luz ultravioleta/luz infrarroja.

Los geosintéticos más frecuentemente utilizados pueden ser fabricados de:

- polietileno clorado.
- polietileno clorosulfonado.
- polietileno de alta densidad.
- cloruro de polivinilo.

### **Impermeabilización**

No existen los sistemas totalmente impermeables. La migración normal del lixiviado a través de las capas impermeables se llama "permeación" para distinguirla de las fugas.

La mayoría de los sistemas convencionales de impermeabilización están diseñados con sistemas de colección y remoción de lixiviados que disminuirán el tirante de los líquidos sobre la superficie impermeable hasta una altura de aproximadamente de 15 cm. Bajo estas condiciones, un sistema de impermeabilización cuidadosamente construido que contenga una capa de 30 cm de arcilla colocada y compactada, con una permeabilidad en el sitio de  $1 \times 10^{-7}$  cm./seg., mantendrá una permeación de aproximadamente 150 m<sup>3</sup>/ha-año, de lixiviado. Sin embargo, el agrietamiento en las arcillas debido a una mala compactación o al resecamiento y el fisuramiento pueden favorecer una mayor fuga de dichos lixiviados.

En contraste una capa de geomembrana sintética de 40 mil (0.0035 ft) deberá permitir no más de 1 m<sup>3</sup>/ha-año de permeación cuando el tirante máximo de lixiviado sobre la superficie impermeable sea de 15 cm.

No obstante que los geosintéticos tengan propiedades de alta resistencia; no dejan de ser susceptibles a sufrir daños durante su traslado e instalación en el sitio; se considera que si la geomembrana llega a tener 20 orificios de aproximadamente 2 cm. de diámetro por ha., reduce su eficiencia de impermeabilización a un valor similar al de una capa de arcilla de 30 cm. Por otra parte 16 agujeros del tamaño de una cabeza de alfiler pueden ser suficientes para dañar una geomembrana. La instalación de estos sistemas sintéticos de impermeabilización sin que se presenten esas imperfecciones es casi imposible. Algunos daños durante la construcción se deben prevenir.

### **Diseño de Capas impermeables.**

Los sistemas convencionales de impermeabilización para rellenos se conforman por capas de arcilla o membranas sintéticas para impedir la migración del lixiviado. Los sistemas compuestos incluyen una capa de arcilla sobre una membrana sintética.

Los sistemas más importantes de impermeabilización son:

- capa natural de arcilla.
- capa de arcilla compactada.
- geomembrana sintética sencilla.
- sistema doble de geomembrana sintética/arcilla.
- sistema compuesto.
- doble sistema compuesto.

Los diferentes sistemas varían enormemente en su capacidad para contener el lixiviado y en su costo de inversión. En la selección de un sistema de impermeabilización, el diseñador de rellenos debe evaluar las necesidades y condiciones específicas y el grado de contención requerido para prevenir la contaminación del suelo o el agua subterránea. También debe preocuparse de las tendencias nacionales y regionales en la legislación de los rellenos que puede influir en gran medida las obligaciones asociadas con el proyecto.

### **Minimización de fugas.**

Las fugas son el resultado de imperfecciones en los sistemas de impermeabilización. Las fugas se pueden presentar tanto en los sistemas construidos con arcillas como en los que utilizan materiales sintéticos. La tasa de flujo en las fugas es directamente proporcional a:

- La altura del lixiviado sobre la superficie impermeable.
- El tamaño de la imperfección.
- La permeabilidad de las capas subyacentes al sistema de impermeabilización.

La primera acción para evitar las fugas de lixiviados, consiste en efectuar una instalación bajo una estricta supervisión. Las pruebas constructivas y destructivas de los sistemas de impermeabilización, conjuntamente con especificaciones de construcción a detalle, son esenciales para eliminar los problemas asociados con materiales de mala calidad, mano de obra deficiente y daños accidentales.

Un método alternativo para reducir las fugas es la construcción de una doble capa impermeable. La doble capa incorpora dos capas de idéntico diseño, una inmediatamente encima de la otra. Comúnmente se encuentra doble geomembrana sintética o doble capa de arcilla en los diseños actuales de rellenos sanitarios. La capa superior se identifica como capa primaria. La capa inferior como capa secundaria. Las fugas a través de la capa impermeable superior o primaria serán una pequeña fracción del total del lixiviado generado. La altura

del nivel de lixiviado sobre la capa impermeable inferior o secundaria siempre será mucho menor que aquella que se da en la capa impermeable primaria. La efectividad de las dobles capas es reforzada por la probabilidad de que una falla en la capa impermeable secundaria no caerá directamente bajo una falla en la capa primaria. En la práctica, se mejora en alrededor de 10 veces la eficiencia de impermeabilización con las dobles capas si se les compara con los sistemas de capa sencilla.

### **Tratamiento de Lixiviados.**

Un sistema de colección de lixiviados se construye con el fin de utilizarse para desplazar el lixiviado del relleno. El proceso consiste en coleccionar, bombear y conducirlo hacia una planta municipal de tratamiento de aguas residuales o para su manejo en el mismo sitio.

### **Sistemas de Tratamiento de Lixiviados.**

Hay varias opciones de tratamiento de lixiviados. La selección del proceso de tratamiento depende de la caracterización final del lixiviado. Las opciones de disposición caen en cualquiera de las cuatro categorías siguientes:

- ◆ Descarga directa a un cuerpo receptor de aguas.
- ◆ Descarga a una planta de tratamiento pública.
- ◆ Recirculación al relleno.
- ◆ Aplicación o tratamiento sobre el suelo.

La recirculación normalmente no utiliza ningún tipo de tratamiento. Por otra parte, el tratamiento extensivo es normalmente necesario para impedir la descarga del lixiviado a las aguas superficiales. Si el lixiviado se descarga una planta de tratamiento pública, el grado de tratamiento preliminar depende de la capacidad de la planta y de lo que acepte el operador de la misma.

## **Recirculación del Lixiviado.**

El tratamiento de lixiviados puede ser complementado por la recirculación de ese lixiviado de regreso al interior de las celdas del relleno. Esta técnica también tiene el beneficio de acelerar la estabilización de los materiales orgánicos presentes. El uso de la recirculación no elimina la necesidad final de tratamiento. Eventualmente, el lixiviado en exceso tendrá que ser removido y tratado.

Se pueden utilizar tres diferentes tipos de sistemas de recirculación de lixiviados: **irrigación por aspersión, flujo superficial e irrigación por inyección.**

### ***Irrigación por Aspersión:***

Se realiza mediante el bombeo periódico del lixiviado a través de las boquillas de aspersión situadas a intervalos de 15 a 30 m. de separación a lo largo y ancho del relleno. La ventaja de la irrigación por aspersión es que el lixiviado puede quedar sujeto a tratamiento por aereación durante el proceso de aspersión y vía adsorción por el material de cobertura durante su infiltración.

### ***Flujo Superficial:***

Es una técnica en la que se utilizan trincheras, tubos sobre la superficie del relleno o campos de infiltración para distribuir el lixiviado recirculado. El lixiviado es periódicamente bombeado a los sistemas de distribución y se permite su infiltración al interior del relleno. El tratamiento se da en la superficie mediante medios biológicos, adsorción y absorción.

### ***Irrigación por Inyección:***

Los lixiviados se distribuyen al interior del relleno mediante pequeños tubos o medios de infiltración (porosos), enterrados bajo la cubierta final. Ya que el sistema se instala bajo la superficie, la irrigación no es afectada por las condiciones climatológicas y tiene la ventaja de minimizar los problemas potenciales de olores.

A pesar de las ventajas potenciales de la recirculación de lixiviados, no se utiliza ampliamente. Las desventajas de la recirculación de lixiviados incluyen altos costos de inversión, concentraciones crecientes de metales en el lixiviado, saturación de la capacidad de campo, lo que puede finalmente detener la actividad biológica y la desaprobación legal en muchos casos de este

procedimiento. La actitud legislativa, en los países desarrollados, puede ser el resultado de las tendencias recientes para prohibir el manejo de líquidos en los rellenos sanitarios.

### **Tecnologías de Tratamiento de Lixiviados.**

Las tecnologías para el tratamiento de lixiviados pueden clasificarse de manera general en dos categorías: biológica y fisicoquímica. Hoy existe la tecnología adecuada para tratar en forma efectiva los lixiviados provenientes de los rellenos para residuos sólidos municipales. Los factores que requieren atención especial tanto en el diseño como en la operación son: la dificultad potencial para obtener una caracterización representativa de los lixiviados, la variación de la calidad de los lixiviados con respecto al tiempo y la falta de datos basados en casos de tratamiento de lixiviados anteriormente implementados.

### **7.4 Manejo del Biogas.**

El biogas se produce de la degradación de los materiales orgánicos. El proceso se llama descomposición anaerobia. Los dos principales gases formados son metano ( $\text{CH}_4$ ) y bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El metano es del grupo de los alcanos, una mezcla del 5 al 15 % de metano en aire puede causar una explosión si existe una fuente de ignición.

El biogas se puede desplazar por el subsuelo e inclusive fuera del relleno. Si el gas se acumula dentro o bajo estructuras tales como edificios, drenajes u otros sistemas de conducción, puede ocasionar explosiones; es por ello que se construyen pozos de monitoreo en perímetro del sitio, con el fin de evaluar la cantidad de biogas que puede acumularse en dichas zonas no controladas.

Existe una creciente preocupación acerca de la liberación sin control del gas proveniente de los rellenos sanitarios a la atmósfera, por ser una amenaza para la salud humana y el ambiente, por ello existe una creciente presión para que el biogas sea extraído y por lo menos venteado.

Muchos rellenos en el mundo ya cuentan con sistemas para control del biogas. Esto asegura a que se minimice su emigración de manera incontrolada. El gas colectado puede ser incinerado en un quemador o utilizado como fuente de energía alterna en diversos usos, por ejemplo: para la calefacción de espacios

cerrados o para el funcionamiento de equipos, como combustible doméstico o industrial, etc.

#### 7.4.1 Biogas.

La cantidad y composición del biogas depende entre otros factores, del tipo de materia orgánica contenida en los residuos sólidos, del grado de descomposición de ésta, etc. Se considera que los residuos con una gran fracción de material orgánico de fácil degradación producirán mayor cantidad de biogas. La tasa de producción de biogas es gobernada por la velocidad a la que los residuos se descomponen, así como a factores ambientales. Cuando la descomposición cesa, la producción de gas también se termina. La producción de gas comienza casi inmediatamente después de que los residuos sólidos son confinados en el relleno. Además del metano y el bióxido de carbono, en el biogas se pueden encontrar otros componentes, de los cuales se deriva su olor característico, así como orgánicos no metálicos que pueden impactar la calidad del aire cuando son desalojados hacia la atmósfera.

En la **Tabla 8.4**, se presentan las características típicas de los componentes del biogas.

<b>TABLA 8.4</b>		<b>COMPONENTES DEL BIOGAS</b>	
<b>COMPONENTE</b>		<b>% DEL COMPONENTE (VOLUMEN, BASE SECA)</b>	
METANO		47.5	
BIÓXIDO DE CARBONO		47.5	
NITRÓGENO		3.7	
OXÍGENO		0.8	
HIDROCARBUROS PARAFINICOS		0.1	
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS Y CÍCLICOS		0.2	
HIDROGENO		0.1	
ÁCIDO SULFHÍDRICO		0.01	
MONÓXIDO DE CARBONO		0.1	
COMPUESTOS TRAZAS		0.5	
CAPACIDAD CALORÍFICA		300-550	
GRAVEDAD ESPECIFICA		1.04	
CONTENIDO DE HUMEDAD		SATURADO	
TEMPERATURA( EN LA FUENTE)		41 °C	



### **7.4.2 Factores que influyen en el desplazamiento del biogas.**

El movimiento del biogas dentro de los estratos del relleno depende de la siguiente información:

- ◆ Espesor de los estratos, y edad de los residuos sólidos.
- ◆ Composición física de los residuos sólidos depositados.
- ◆ Permeabilidad del terreno y del material de cobertura.
- ◆ Características y clasificación del suelo adyacente al relleno
- ◆ Porcentaje de compactación de los residuos y del material de cubierta.

### **7.4.3 Evaluación del suelo para detectar la presencia del biogas.**

La emigración del biogas hacia zonas no controladas puede detectarse de la siguiente forma:

- ◆ Percibiendo su olor característico.
- ◆ Revisando fracturas o grietas de la cobertura mediante un explosímetro.
- ◆ Observando incendios o desprendimiento de vapores entre las celdas así como en zonas circundantes.
- ◆ Muestreando sitio donde se sospeche que hay emigración de biogas.

Respecto al muestreo, se tienen las siguientes recomendaciones:

La profundidad del muestreo varía dependiendo de la geología y la distancia al relleno. Las pruebas iniciales se realizan normalmente entre 30 y 45 cm bajo la superficie del suelo debido a la capacidad limitada del equipo de prueba. Las pruebas se deben realizar principalmente, en el perímetro de zonas habitacionales.

### **Pozos de Monitoreo de Biogas.**

Son estructuras que se construyen principalmente en las zonas circundantes al sitio, con el fin de evaluar y detectar el biogas acumulado en tres estratos del suelo. Tales instalaciones permanentes:

- El fácil análisis de rutina.
- Las ubicaciones de prueba uniformes.
- La verificación de los resultados con pruebas repetidas.

### **Equipo de Monitoreo.**

Se utilizan explosímetros para detectar la presencia de metano. Estos equipos pueden utilizarse para varios propósitos como:

- ◆ Medición del porcentaje de gas en relación al límite explosivo inferior.
- ◆ Medición de la concentración total de gas como un porcentaje referido a gases totales.

Dichos equipos presentan variantes como:

- ◆ Alarmas auditivas.
- ◆ Alarmas visuales.

El equipo para límite explosivo inferior es más útil porque el peligro de explosión es una preocupación primordial. El límite explosivo inferior del metano es 5% en volumen en el aire, y es la concentración más baja de gas que puede producir una explosión si existe una fuente de ignición.

El límite explosivo superior del metano en aire es 15% en volumen, y es la máxima concentración de una gas que causa una explosión. Si las concentraciones de metano rebasan el 15% pueden provocar incendios pero no explosiones.

### **Características de las Emisiones de Biogas a la Atmósfera.**

El biogas también contiene menos del 1% de compuestos orgánicos no metálicos. Así la migración del biogas propicia un mecanismo de transporte para los compuestos orgánicos no metálicos contenidos en los residuos del relleno. Algunos de estos compuestos pueden causar daño a la salud humana y al ambiente.

### **Las Emisiones del Biogas a la Atmósfera.**

Las emisiones del biogas a la atmósfera requiere de la estimación, tanto su concentración, como del flujo de éste. Se han desarrollado varios modelos teóricos para estimar la tasa de generación que es alrededor de la mitad del total del volumen del biogas. El modelo de Scholl Canyon parece ser uno de los más utilizados para la estimación de las emisiones de los compuestos orgánicos no metálicos.

La única forma para verdaderamente estimar la generación de biogas o sus tasas de emisión, de un relleno sanitario, es a través de la realización de pruebas en el mismo sitio. Estas pruebas son extremadamente caras, por lo tanto, se requiere un método económicamente más accesible para dichos estudios.

### **Control del Biogas.**

Se pueden utilizar varios tipos de sistemas para controlar las emisiones y la migración del biogas (sistemas activos y pasivos), dependiendo de la cantidad que se genere. Dicho control puede consistir en:

- ◆ Venteo a la atmósfera
- ◆ Combustión en pebeteros o quemadores
- ◆ Incineración
- ◆ Recuperación como fuente alterna de energía

Para ello pueden utilizarse los siguientes sistemas:

### **Sistemas de Control Activo.**

Son pozos construidos a diferentes profundidades, equipados con un ducto y equipo mecánico, como sopladores y bombas de extracción. Estos sistemas incluyen:

- ◆ Pozos de extracción y/o trincheras (captación).
- ◆ Pozos de inyección de aire o trincheras (barreras).

La selección, el diseño y los costos de los sistemas son específicos para cada sitio y están determinados en base a investigaciones de campo, requerimientos de desempeño y planes del desarrollo del sitio.

#### ***Sistemas Perimetrales de Pozos de Extracción de Biogas***

Estos sistemas pueden ser de extracción natural y consisten de una serie de pozos verticales instalados en el perímetro del sitio.

#### ***Sistemas Perimetrales de Trincheras de Extracción.***

Consiste en una línea de zanjas interceptoras equipadas con grava y tubos de P.V.C. perforados o ranurados.

#### ***Sistemas Perimetrales de Pozos de Inyección de Aire.***

Consisten en una serie de pozos verticales instalados en suelo natural, entre el límite de los residuos sólidos depositados y del área de amortiguamiento requerida.

#### ***Trinchera Perimetral de Inyección de Aire.***

Es similar al de trinchera de extracción descrita anteriormente.

### **Sistemas Pasivos de Control.**

Su construcción es semejante a la de los sistemas activos, excepto su forma de extracción, ya que ésta se realiza de manera natural.

Dichos sistema incluyen:

## **Relleno Sanitario**

---

- ◆ Sistemas de trincheras de venteo (barrera).
- ◆ Quemadores y venteos (captación).

### ***Sistema de Trincheras de Venteo.***

Consiste en una trinchera interceptora rellena de grava que contiene un tubo horizontal perforado o ranurado. El tubo se conecta a ductos verticales que permiten la acumulación del biogas para ventearlo a la atmósfera.

### ***Quemadores y venteos.***

Los quemadores y venteos son instalaciones sencillas de tubo colocado dentro del estrato de residuos sólidos para permitir el venteo del biogas a la atmósfera. Un sistema de quemadores pasivos es muy similar a un sistema de venteo, excepto que el gas se quema y es necesaria cierta infraestructura adicional para mantener la combustión.

### **Estructuras de Protección para los Sistemas de Control del biogas.**

Dichas protecciones pueden ser de metal, concreto, tabique, etc., previamente diseñadas en base a los requerimientos del sistema a proteger.

### **Recuperación y Uso de Biogas.**

La recuperación y usos del biogas producido en rellenos sanitarios, se ha desarrollado en varias ciudades de Estados Unidos. Los grandes rellenos en California, New York y otros estados, fueron de los primeros en aprovechar el gas a gran escala para fines comerciales.

Entre algunos de sus usos se pueden mencionar los siguientes:

- Combustible para uso industrial.
- Combustible para generación de electricidad
- Combustible para uso doméstico.
- Combustible para vehículos.
- Producción de metanol.

En todos los casos se requiere cierto grado de procesamiento antes de poder utilizar el biogas. Las compañías que instalan sistemas de recuperación de biogas

indican que para un proyecto sea económicamente viable a gran escala se deben reunir las siguientes condiciones:

- ◆ El relleno debe contener como mínimo 1'000,000 de ton. Mientras mayor sea el contenido orgánico es mejor.
- ◆ El sitio debe estar en operación o tener cinco años de haber cerrado.
- ◆ El espesor de los estratos de residuos sólidos debe ser como mínimo de 12 m.
- ◆ El material de cobertura es necesario que sea impermeable para reducir el movimiento del biogas.

### **Calidad del Biogas para su Uso.**

Como ya se mencionó las concentraciones del biogas fluctúan entre el 50 y 55% para el metano y 45 y 50% para el dióxido de carbono. Lo cual equivale a un valor energético del biogas entre 4.5 y 5.0 kilocalorías por m<sup>3</sup>. Los gases con este valor energético se llaman gases de calidad media. Puede ser utilizado directamente en calderas, calefactores, máquinas de combustión interna, entre otros. Los contaminantes presentes en el biogas pueden causar corrosión, abrasión y desgaste excesivo de las cámaras de combustión.

El biogas puede tratarse para remover las impurezas y mejorarlo hasta obtener 9 kilocalorías por m<sup>3</sup>. Este gas se llama gas de calidad para gasoducto y puede ser inyectado a los sistemas de distribución existentes, convertirse en fertilizante o licuarse. Se deben realizar análisis de mercado y viabilidad económica para definir el uso más adecuado.

### **Procesamiento del Biogas para su Aprovechamiento.**

Si el biogas va a ser aprovechado como energético, debe procesarse por las siguientes razones:

- ◆ Control de la corrosión en las instalaciones.
- ◆ Control de la humedad y otros compuestos no deseables.
- ◆ Mejoramiento de su valor energético.
- ◆ Requerimientos de la legislación ambiental.

## **Relleno Sanitario**

---

El control de la corrosión en las instalaciones importante debido a que los componentes como el ácido sulfhídrico, bióxido de Carbono, etc., siempre están presentes en el biogas. Cada relleno sanitario es diferente y el biogas producido varía de un sitio a otro, consecuentemente, la naturaleza corrosiva del biogas también diferente.

La necesidad de reunir las especificaciones comerciales relacionadas con el agua y algunos hidrocarburos es de particular importancia principalmente cuando el biogas tiene que ser transportado a largas distancias mediante gasoductos subterráneos. Es por ello que se deberán eliminar los condensados que se presentan en las instalaciones.

Se requiere mejorar la calidad energética del biogas únicamente hasta el grado mínimo aceptable por el consumidor en los sistemas de distribución de gas. Alrededor de 9 kilocalorías por m<sup>3</sup>., es el máximo valor energético obtenible en biogas procesado. Algunos consumidores han aceptado valores energéticos de 8.5 kilocalorías por m<sup>3</sup>. en sus líneas de distribución.

Otra consideración para el procesamiento del biogas son los requerimientos de la legislación ambiental. Los hidrocarburos traza y los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera, son asuntos que deben evaluarse antes de seleccionar el proceso de tratamiento.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
2.1 DEFINICIÓN E HISTORIA DEL RELLENO SANITARIO.	4
2.2 EL RELLENO SANITARIO EN LOS SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.	4
2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RELLENO SANITARIO.	6
2.3.1 VENTAJAS.	6
2.3.2 DESVENTAJAS	7
2.4 PROBLEMÁTICA DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.	8
<b>3. PRINCIPIOS BÁSICOS Y MÉTODOS DE OPERACIÓN.</b>	<b>13</b>
3.1 MÉTODOS PARA CONSTRUIR Y OPERAR UN RELLENO SANITARIO	13
3.1.1 MÉTODO DE TRINCHERA O CELDA EXCAVADA	14
3.1.2 MÉTODO DE ÁREA	16
3.1.3 MÉTODO DE RAMPA.	16
3.2 REACCIONES QUE OCURREN EN EL RELLENO SANITARIO.	19
3.2.1 REACCIONES BIOLÓGICAS.	19
3.2.2 REACCIONES QUÍMICAS.	20
3.2.3 REACCIONES FÍSICAS	20
<b>4. METODOLOGÍA PARA LA INSTALACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO</b>	<b>21</b>
<b>5. DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS.</b>	<b>22</b>
5.1 METAS BÁSICAS DEL RELLENO SANITARIO	22
5.2 CONSIDERACIONES DEL USO FINAL DEL SITIO.	23
5.3 PASOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO.	23
<b>6. PROCEDIMIENTOS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS</b>	<b>26</b>
6.1 REVISIÓN DEL PLAN DE RELLENO	27
6.2 CONTROL DE ACCESO Y OPERACIÓN DE BÁSCULA.	28
6.3 DETECCIÓN DE RESIDUOS PROHIBIDOS.	29
6.3.1 IRREGULARIDADES EN LOS VEHÍCULOS.	29



## **Relleno Sanitario**

---

6.3.2 CONTROL DE TRÁFICO.	30
6.3.3 RECEPCIÓN DE RESIDUOS.	31
<b>6.4 PRÁCTICAS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS.</b>	<b>33</b>
6.4.1 CONSTRUCCIÓN DE CELDA	34
6.4.2 COBERTURA.	36
6.4.3 PRÁCTICAS DE OPERACIÓN RECOMENDABLES.	38
6.4.4 USO EFECTIVO DE MAQUINARIA.	40

## **7. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE ASENTAMIENTOS LIXIVIADOS Y BIOGAS.**

---

<b>7.1 PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS</b>	<b>44</b>
7.1.1 VELOCIDAD DE LA DESCOMPOSICIÓN	45
7.1.2 EFECTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN.	45
<b>7.2 HUNDIMIENTOS Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.</b>	<b>45</b>
7.2.1 HUNDIMIENTOS.	46
7.2.2 ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.	46
7.2.3 CONTROL DE ASENTAMIENTOS.	47
7.2.4 IDENTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE ASENTAMIENTOS.	47
<b>7.3 MANEJO DE LIXIVIADOS.</b>	<b>48</b>
7.3.1 MIGRACIÓN DE LIXIVIADOS	49
<b>7.4 MANEJO DEL BIOGAS.</b>	<b>58</b>
7.4.1 BIOGAS.	59
7.4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESPLAZAMIENTO DEL BIOGAS.	60
7.4.3 EVALUACIÓN DEL SUELO PARA DETECTAR LA PRESENCIA DEL BIOGAS.	60





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

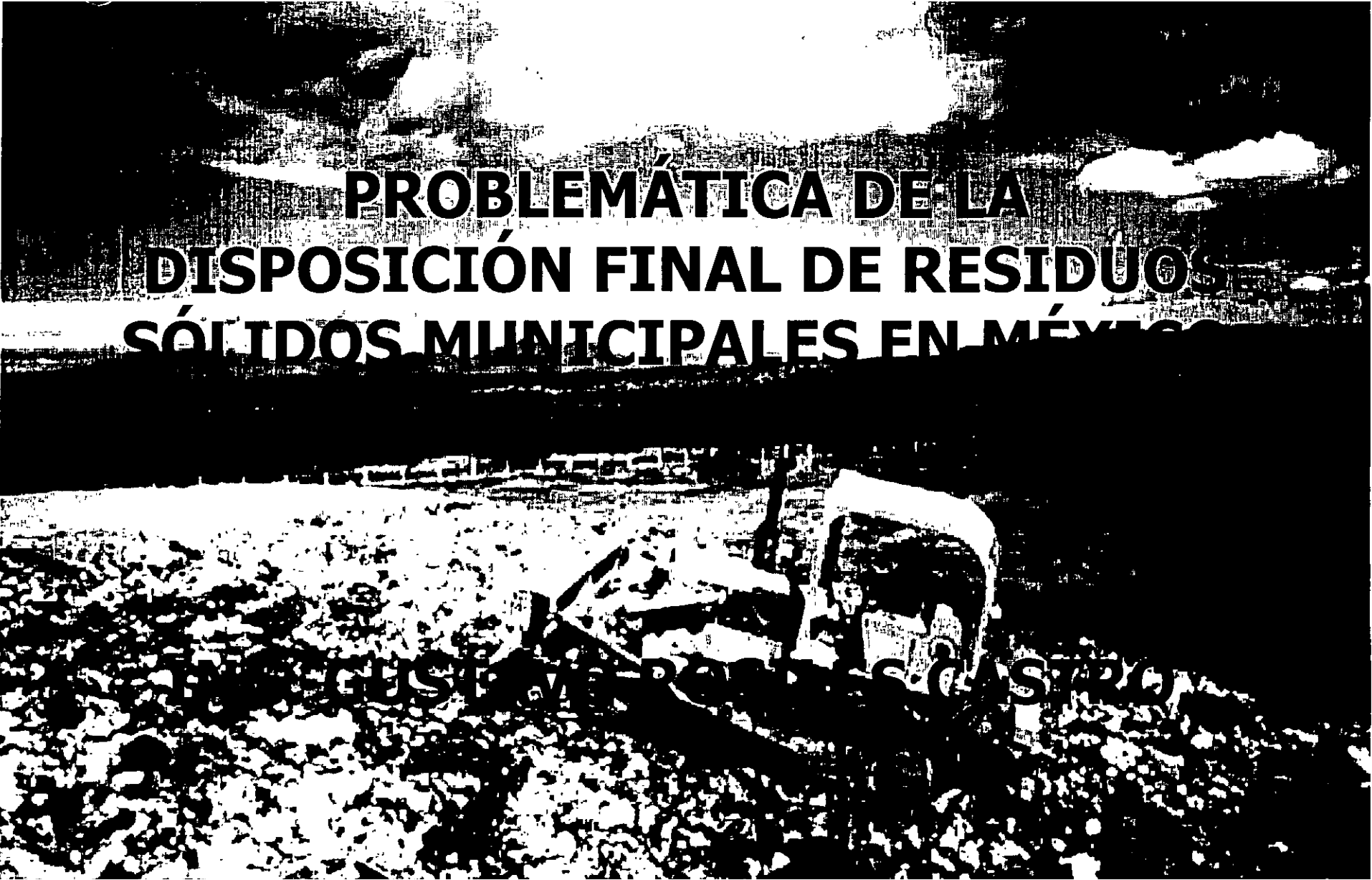
**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**

**TEMA:**

**PROBLEMÁTICA DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS  
MUNICIPALES**

**ING. GUSTAVO ROSILES CASTRO  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO 2000**



# PROBLEMÁTICA DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MÉXICO

ESTADO DE QUERÉTARO



# PROBLEMÁTICA

# GENERACIÓN DE BASURA

---

TIPO DE LOCALIDAD	NÚMERO DE LOCALIDADES	POBLACIÓN (Mill, Hab.)	GENERACIÓN (t / día)
ZONAS METROPOLITANAS	<b>7</b>	<b>31</b>	<b>37,425</b>
100 CIUDADES (Ciudades Medias)	<b>126</b>	<b>31</b>	<b>28,131</b>
LOCALIDADES URBANAS PEQUEÑAS	<b>267</b>	<b>29</b>	<b>16,093</b>
LOCALIDADES SEMIRURALES Y RURALES	<b>199,600</b>	<b>8</b>	<b>2,916</b>
<b>TOTAL</b>	<b>200,000</b>	<b>99</b>	<b>84,565</b>

# COMPOSICIÓN DE LOS RSM

(Valores en %)

SUBPRODUCTO	FRONTERA NORTE	NORTE	CENTRO	SUR	D.F.
RESIDUOS ALIMENTICIOS	27	21	39	16	34
RESIDUOS JARDINERÍA	16	20	7	27	5
VIDRIO	7	6	9	4	11
CARTON / PAPEL	16	15	15	14	20
METAL	4	3	3	5	3
OTROS	30	35	27	34	27
GENERACIÓN PÉR CAPITA	0.96	0.89	0.78	0.68	1.3

# COBERTURA DE SERVICIOS Y TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL

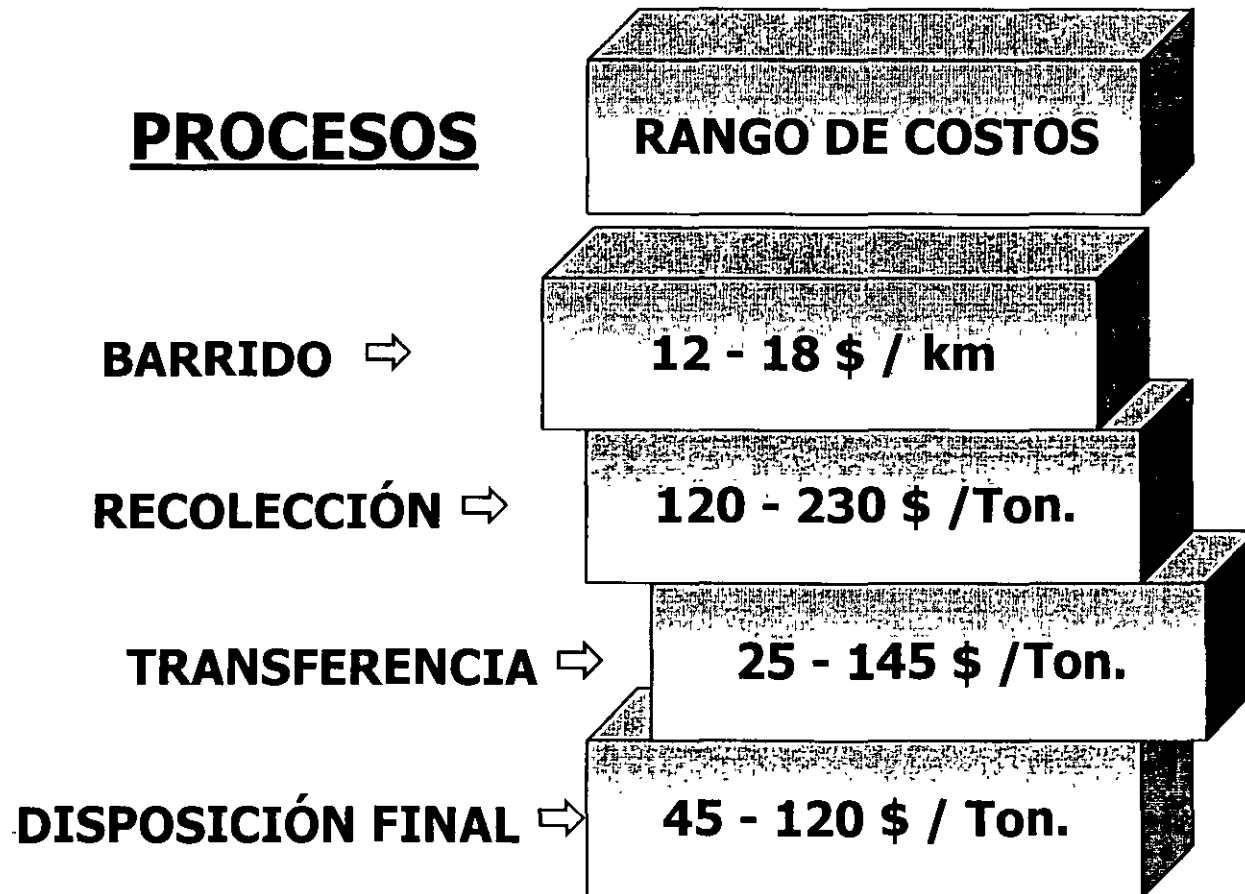
TIPO DE LOCALIDAD	COBERTURA %	
	RECOLECCIÓN	DISPOSICIÓN ADECUADA
ZONAS METROPOLITANAS	95	85
100 CIUDADES	80	42
ÁREAS URBANAS PEQUEÑAS	70	4
SEMIRURALES Y RURALES	60	0
TOTAL	80	52



# INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO

<b>TIPO DE LOCALIDAD</b>	<b>BARRIDO</b>	<b>RECOLECCIÓN</b>	<b>TRANSFERENCIA</b>	<b>DISPOSICIÓN FINAL</b>
<b>ZONAS METROPOLITANAS</b>	<b>Manual Mecánico</b>	<b>Compactadores 95% Volteos 5%</b>	<b>100%</b>	<b>Relleno Sanitario 85% Disposición Controlada 15%</b>
<b>100 CIUDADES</b>	<b>Manual Mecánico</b>	<b>Compactadores 60% Volteos 40%</b>	<b>15%</b>	<b>Relleno Sanitario 42.2% Disposición Controlada 7.8% Tiradero a Cielo Abierto 50%</b>
<b>ÁREAS URBANAS PEQUEÑAS</b>	<b>Manual</b>	<b>Compactadores 10% Volteos 90%</b>	<b>-----</b>	<b>Relleno Sanitario 4% Disposición Controlada 10% Tiraderos a Cielo Abierto 86%</b>
<b>RURALES Y SEMIRURALES</b>	<b>Manual</b>	<b>Volteos 100%</b>	<b>-----</b>	<b>Tiraderos a Cielo Abierto 100%</b>

# COSTOS DE OPERACIÓN CIUDADES MEDIAS



# EFFECTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA SALUD DEL HOMBRE

---

## 1.- DIRECTOS (en recolectores y segregadores):

- ⇒ Enfermedades infecciosas intestinales
  - Parasitosis intestinales.
  - Enfermedades diarreica aguda.
- ⇒ Enfermedades respiratorias.
- ⇒ Enfermedades de la piel.
- ⇒ Lesiones: en manos, pies, espalda, hernias, etc.
- ⇒ Enfermedades transmitidas por vectores.
- ⇒ Más los efectos indirectos.

# EFFECTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA SALUD DEL HOMBRE

---

## 2.- INDIRECTOS (Población general):

⇒ Alimentación de animales comestibles y domésticos con desechos.

⇒ Triquinosis, Cisticercosis, Helmintiasis, Intoxicaciones alimentarias, etc.

⇒ Accidentes:

- Por proliferación de fauna nociva, aves de rapiña, etc.
- Por disminución de la visión al quemar la basura, etc.

# Efectos de los Residuos Sólidos Municipales en la Salud del Hombre:

## 2.- Indirectos (población general):

---

v VECTOR

v Mosca común:

v Cucaracha::

v ENFERMEDAD

v Fiebre tifeidea, salmonellosis, disenterias, Diarrea Infantil, Otras Infecciones.

v Fiebre tifoidea, Gastroenterítis, Infec. Intestinales, Disenterias, Lepra, Intox. Alimentaria, Cólera.

# Efectos de los Residuos Sólidos Municipales en la Salud del Hombre:

## 2.- Indirectos (población general): (continuación)

---

v VECTOR

v Mosquitos:

v Ratas:

v ENFERMEDAD

v Paludismo, Fiebre amarilla,  
Dengue, Encefalitis, viral.

v Peste bubónica, Tifo murino,  
Leptospirósis, Fiebre de Harverhill,  
Ricketsiosis vesiculosa, Enferm.  
Diarréicas, Desinteria, Rabia.

# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **TIRADERO**

- ⇒ Lugar donde se depositan, sin control ni protección, los R.S.M.
- ⇒ Es un importante foco de contaminación.
- ⇒ No se vigila el tipo de residuos depositado..
- ⇒ No se prepara el sitio para mitigar la contaminación de agua, suelo y aire.
- ⇒ Los terrenos aledaños se devalúan por los efectos de la contaminación.
- ⇒ Se realiza acciones de pepena.
- ⇒ Se producen constantes incendios.

# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **TIRADERO**

- ⇒ Presencia de fauna nociva y animales domésticos:
  - Ratas
  - Moscas
  - Vacas
  - Perros
  
- ⇒ La operación se realiza sin controles ambientales y sanitarios.
  
- ⇒ Los residuos no son cubiertos diariamente.



# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **RELLENO SANITARIO**

- ⇒ Es una **obra de ingeniería** que permite depositar los RSM bajo condiciones de seguridad ambiental y sanitaria.
- ⇒ Sólo se admiten residuos municipales.
- ⇒ El valor de los terrenos aledaños no es afectado.
- ⇒ No se produce fauna nociva, olores, descomposición del paisaje, ni alteración del ambiente en general.

# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **RELLENO SANITARIO**

- ⇒ Se prepara el sitio con la infraestructura necesaria para eliminar la contaminación del agua, suelo y aire.
- ⇒ No es un foco de contaminación.
- ⇒ No se realizan acciones de pepena.
- ⇒ Se cubren y compactan los desechos diariamente.

# DISPOSICIÓN FINAL EN RELLENO SANITARIO.

---

ES LA TÉCNICA PARA LA DISPOSICIÓN DE LA BASURA EN EL SUELO, CON LAS CARACTERÍSTICAS SIGUIENTES:

- sin causar prejuicios al **medio ambiente:**
- sin molestias, riesgos ni peligros para la **salud**
- utiliza **principios de ingeniería** para confinar los RS en el menos área posible.
- Se **cubre** la basura depositada con una capa de tierra al final de cada jornada.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**


**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**

**TEMA:**

**PROBLEMÁTICA DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE  
RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MÉXICO.**

**ING. GUSTAVO ROSILES CASTRO  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO - MARZO 2000**



# **PROBLEMÁTICA DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MÉXICO**

**ING. GUSTAVO ROSALES CASTRO**



# PROBLEMÁTICA

# GENERACIÓN DE BASURA

---

TIPO DE LOCALIDAD	NÚMERO DE LOCALIDADES	POBLACIÓN (Mill, Hab.)	GENERACIÓN (t / día)
ZONAS METROPOLITANAS	<b>7</b>	<b>31</b>	<b>37,425</b>
100 CIUDADES (Ciudades Medias)	<b>126</b>	<b>31</b>	<b>28,131</b>
LOCALIDADES URBANAS PEQUEÑAS	<b>267</b>	<b>29</b>	<b>16,093</b>
LOCALIDADES SEMIRURALES Y RURALES	<b>199,600</b>	<b>8</b>	<b>2,916</b>
<b>TOTAL</b>	<b>200,000</b>	<b>99</b>	<b>84,565</b>

# COMPOSICIÓN DE LOS RSM

(Valores en %)

SUBPRODUCTO	FRONTERA NORTE	NORTE	CENTRO	SUR	D.F.
RESIDUOS ALIMENTICIOS	27	21	39	16	34
RESIDUOS JARDINERÍA	16	20	7	27	5
VIDRIO	7	6	9	4	11
CARTON / PAPEL	16	15	15	14	20
METAL	4	3	3	5	3
OTROS	30	35	27	34	27
GENERACIÓN PÉR CAPITA	0.96	0.89	0.78	0.68	1.3



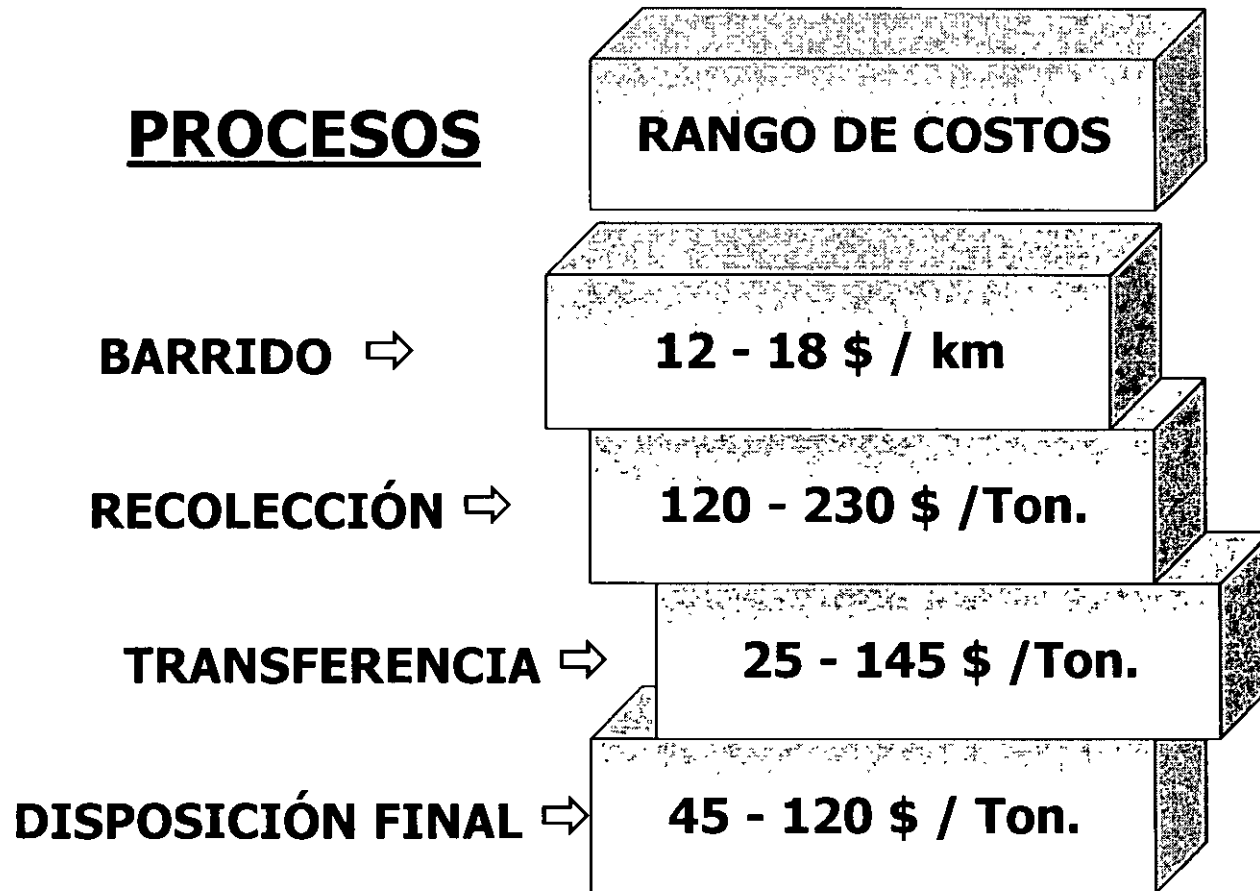
# COBERTURA DE SERVICIOS Y TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL

TIPO DE LOCALIDAD	COBERTURA %	
	RECOLECCIÓN	DISPOSICIÓN ADECUADA
ZONAS METROPOLITANAS	95	85
100 CIUDADES	80	42
ÁREAS URBANAS PEQUEÑAS	70	4
SEMIRURALES Y RURALES	60	0
TOTAL	80	52

# INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO

<b>TIPO DE LOCALIDAD</b>	<b><u>BARRIDO</u></b>	<b><u>RECOLECCIÓN</u></b>	<b><u>TRANSFERENCIA</u></b>	<b><u>DISPOSICIÓN FINAL</u></b>
<b>ZONAS METROPOLITANAS</b>	<b>Manual Mecánico</b>	<b>Compactadores 95% Volteos 5%</b>	<b>100%</b>	<b>Relleno Sanitario 85% Disposición Controlada 15%</b>
<b>100 CIUDADES</b>	<b>Manual Mecánico</b>	<b>Compactadores 60% Volteos 40%</b>	<b>15%</b>	<b>Relleno Sanitario 42.2% Disposición Controlada 7.8% Tiradero a Cielo Abierto 50%</b>
<b>ÁREAS URBANAS PEQUEÑAS</b>	<b>Manual</b>	<b>Compactadores 10% Volteos 90%</b>	<b>-----</b>	<b>Relleno Sanitario 4% Disposición Controlada 10% Tiraderos a Cielo Abierto 86%</b>
<b>RURALES Y SEMIRURALES</b>	<b>Manual</b>	<b>Volteos 100%</b>	<b>-----</b>	<b>Tiraderos a Cielo Abierto 100%</b>

# COSTOS DE OPERACIÓN CIUDADES MEDIAS



# EFECTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA SALUD DEL HOMBRE

---

## 1.- DIRECTOS (en recolectores y segregadores):

- ⇒ Enfermedades infecciosas intestinales
  - Parasitosis intestinales.
  - Enfermedades diarreica aguda.
- ⇒ Enfermedades respiratorias.
- ⇒ Enfermedades de la piel.
- ⇒ Lesiones: en manos, pies, espalda, hernias, etc.
- ⇒ Enfermedades transmitidas por vectores.
- ⇒ Más los efectos indirectos.

# EFECTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA SALUD DEL HOMBRE

---

## 2.- INDIRECTOS (Población general):

⇒ Alimentación de animales comestibles y domésticos con desechos.

⇒ Triquinosis, Cisticercosis, Helmintiasis, Intoxicaciones alimentarias, etc.

⇒ Accidentes:

- Por proliferación de fauna nociva, aves de rapiña, etc.
- Por disminución de la visión al quemar la basura, etc.

# Efectos de los Residuos Sólidos Municipales en la Salud del Hombre:

## 2.- Indirectos (población general):

---

- v VECTOR

- v Mosca común:

- v Cucaracha::

- v ENFERMEDAD

- v Fiebre tifeidea, salmonellosis, disenterias, Diarrea Infantil, Otras Infecciones.

- v Fiebre tifoidea, Gastroenterítis, Infec. Intestinales, Disenterias, Lepra, Intox. Alimentaria, Cólera.

# Efectos de los Residuos Sólidos Municipales en la Salud del Hombre:

## 2.- Indirectos (población general): (continuación)

v VECTOR

v Mosquitos:

v Ratas:

v ENFERMEDAD

v Paludismo, Fiebre amarilla, Dengue, Encefalitis, viral.

v Peste bubónica, Tifo murino, Leptospirósis, Fiebre de Harverhill, Ricketsiosis vesiculosa, Enferm. Diarréicas, Desinteria, Rabia.

# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **TIRADERO**

- ⇒ Lugar donde se depositan, sin control ni protección, los R.S.M.
- ⇒ Es un importante foco de contaminación.
- ⇒ No se vigila el tipo de residuos depositado..
- ⇒ No se prepara el sitio para mitigar la contaminación de agua, suelo y aire.
- ⇒ Los terrenos aledaños se devalúan por los efectos de la contaminación.
- ⇒ Se realiza acciones de pepena.
- ⇒ Se producen constantes incendios.



# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **TIRADERO**

- ⇒ Presencia de fauna nociva y animales domésticos:
  - Ratas
  - Moscas
  - Vacas
  - Perros
  
- ⇒ La operación se realiza sin controles ambientales y sanitarios.
  
- ⇒ Los residuos no son cubiertos diariamente.

# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **RELLENO SANITARIO**

- ⇒ Es una **obra de ingeniería** que permite depositar los RSM bajo condiciones de seguridad ambiental y sanitaria.
- ⇒ Sólo se admiten residuos municipales.
- ⇒ El valor de los terrenos aledaños no es afectado.
- ⇒ No se produce fauna nociva, olores, descomposición del paisaje, ni alteración del ambiente en general.

# DIFERENCIAS ENTRE UN RELLENO SANITARIO Y UN TIRADERO

---

## **RELLENO SANITARIO**

- ⇒ Se prepara el sitio con la infraestructura necesaria para eliminar la contaminación del agua, suelo y aire.
- ⇒ No es un foco de contaminación.
- ⇒ No se realizan acciones de pepena.
- ⇒ Se cubren y compactan los desechos diariamente.

# DISPOSICIÓN FINAL EN RELLENO SANITARIO.

---

ES LA TÉCNICA PARA LA DISPOSICIÓN DE LA BASURA EN EL SUELO, CON LAS CARACTERÍSTICAS SIGUIENTES:

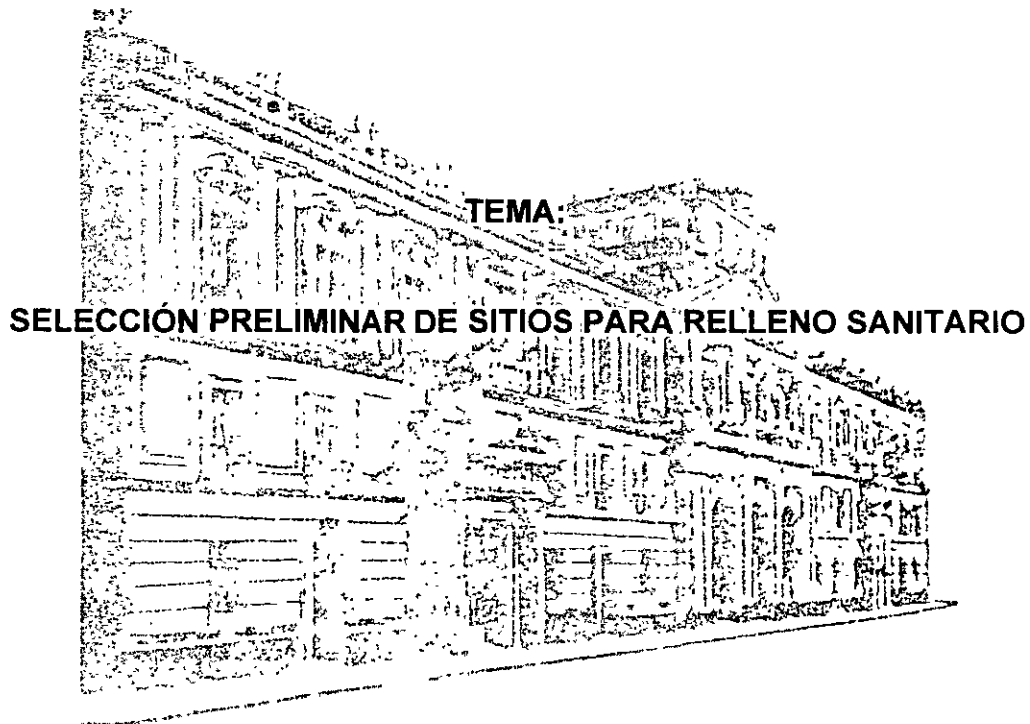
- sin causar prejuicios al **medio ambiente:**
- sin molestias, riesgos ni peligros para la **salud**
- utiliza **principios de ingeniería** para confinar los RS en el menos área posible.
- Se **cubre** la basura depositada con una capa de tierra al final de cada jornada.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**



**ING. JOSÉ JUAN MORALES REYES  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO - MARZO 2000**

**División de Educación Continua  
Facultad de Ingeniería  
U.N.A.M**

**AMCRESPAC**

**HERRAMIENTAS PARA EL  
CUMPLIMIENTO DE LA NORMA  
OFICIAL MEXICANA NOM-083-  
ECOL-1996**

**TEMA:  
SELECCIÓN PRELIMINAR DE SITIOS  
PARA RELLENO SANITARIO**

**Responsable:  
Ing. José Juan Morales Reyes**

**28 de febrero 1999**

**México, D.F.**

## SELECCIÓN PRELIMINAR DE SITIOS PARA RELLENO SANITARIO

José Juan Morales Reyes

*Coordinador de Cursos de AMCRESPAC y Gerente Técnico de INCREMI, S.A. de C.V.*

La selección de un sitio es el primer paso en el diseño de un relleno sanitario. La importancia de una adecuada planeación del proceso de selección es vital para asegurar que el diseño cumpla con todos los requerimientos que aseguren su adecuada ubicación y futura operación. El reconocimiento no solamente de factores técnicos, sino también de factores ambientales, económicos, sociales y políticos, es vital. El objetivo del estudio de selección de sitios es encontrar un sitio donde la disposición de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) pueda realizarse económicamente con el mínimo trastorno del ambiente y la salud humana. De forma general y a nivel internacional se ha establecido que un relleno sanitario ideal debe tener las siguientes características:

- Compatible con los planes de uso del suelo, del área en que se asienta.
- Fácilmente accesible en cualquier clima, para los vehículos esperados durante su etapa de operación.
- Contar con medidas de seguridad, contra la contaminación potencial del agua superficial y subterránea.
- Contar con medidas de seguridad, contra el movimiento incontrolado del gas originado por los residuos sólidos depositados.
- Contar con la cantidad adecuada de material de cobertura, de fácil manejo y compactación.
- Estar ubicado en un área donde la operación del relleno no impactará en forma negativa los recursos sensibles del ambiente.
- Ser lo suficientemente grande para recibir los residuos de la comunidad por servir durante un intervalo de tiempo razonable.
- Ser el sitio más económico disponible y cumplir con los requisitos para la disposición de residuos sólidos, conforme a las restricciones de la legislación aplicable o en su defecto conforme a los criterios internacionalmente aceptados.

## **1 Metodología para la Selección preliminar.**

El uso de una metodología específica para la selección de un sitio para disposición final de residuos sólidos es benéfico, ya que de esta forma se puede mostrar que se analizó un buen número de sitios potenciales y con los criterios más significativos, antes de seleccionar un sitio en particular para los estudios detallados y la posible implementación del relleno. El proceso recomendado generalmente en la selección de sitios para la instalación de un relleno sanitario consiste en las siguientes etapas:

- 1. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ZONAS DE ESTUDIO**
- 2. IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES**
- 3. EVALUACIÓN PRELIMINAR**

## **2 Identificación y Evaluación de Zonas de Estudio.**

En este caso se considera conveniente delimitar aquellas áreas que dentro de la extensión del territorio municipal, presentan las condiciones menos adversas para albergar un sitio de disposición final de RSM. El primer paso es la determinación del radio máximo del área de estudio, con base en las distancias de transporte desde las estaciones de transferencia y/o los centroides de las áreas potenciales de servicio; y el segundo paso, la determinación de las restricciones legales, físicas, demográficas, sociales, estéticas y sanitarias.

Una forma de identificación de las zonas factibles es a través de la utilización de cubiertas (acetatos) que se superponen sobre un plano, cada acetato identifica las áreas con limitaciones moderadas o severas para determinado criterio. Dentro de los criterios que se utilizan, destacan los siguientes:

- ◆ Geología.
- ◆ Hidrología subterránea.
- ◆ Zonas de preservación ecológica.
- ◆ Zonas susceptibles de desarrollo urbano.
- ◆ Hidrología superficial.
- ◆ Uso potencial del suelo.
- ◆ Topografía.
- ◆ Infraestructura de comunicación y conducción.
- ◆ Importancia arqueológica e histórica.
- ◆ Edafología.
- ◆ Climatología lluviosa.



◆ Climatología en sequía.

De esta manera, se eliminan las zonas menos deseables, por sus diversas características, que corresponderán a las áreas restringidas.

Las investigaciones del subsuelo deben ser realizadas para aquellos sitios potenciales con las características más deseables.

Una vez, sobrepuestas las cubiertas con los criterios en donde se identifican aquellas áreas con limitaciones para ubicación de un sitio de disposición final, se procede a descartarlos y ha enfocarse el análisis sobre aquellas zonas que tienen vocación para los fines perseguidos. Un ejemplo de esta metodología se ilustra en la **Figura 1**.

### **3 Identificación de Sitios Potenciales**

Una vez conocidas las áreas que pueden ser estudiadas y después de establecer el tamaño del relleno requerido para recibir los residuos del área poblacional o urbana de interés, por un cierto número de años, la búsqueda de sitios viables dentro de dichas áreas puede comenzar, manteniendo siempre presentes las restricciones tanto técnicas como legales, que se estudien para la ubicación de sitios.

### **4 Evaluación preliminar de los Sitios Potenciales**

En la metodología para la evaluación preliminar de los sitios potenciales se toman en cuenta consideraciones técnicas, económicas, de aceptación pública y legales. La metodología puede incluir diversos sistemas de evaluación, así como algunos análisis de tipo subjetivo. Normalmente se recomienda realizar la evaluación de 5 a 7 sitios potenciales e identificar los problemas de cada uno, ya que las investigaciones de campo pueden proporcionar información complementaria. Sin embargo, el grado de detalle y la intensidad de la investigación variará de un sitio a otro.

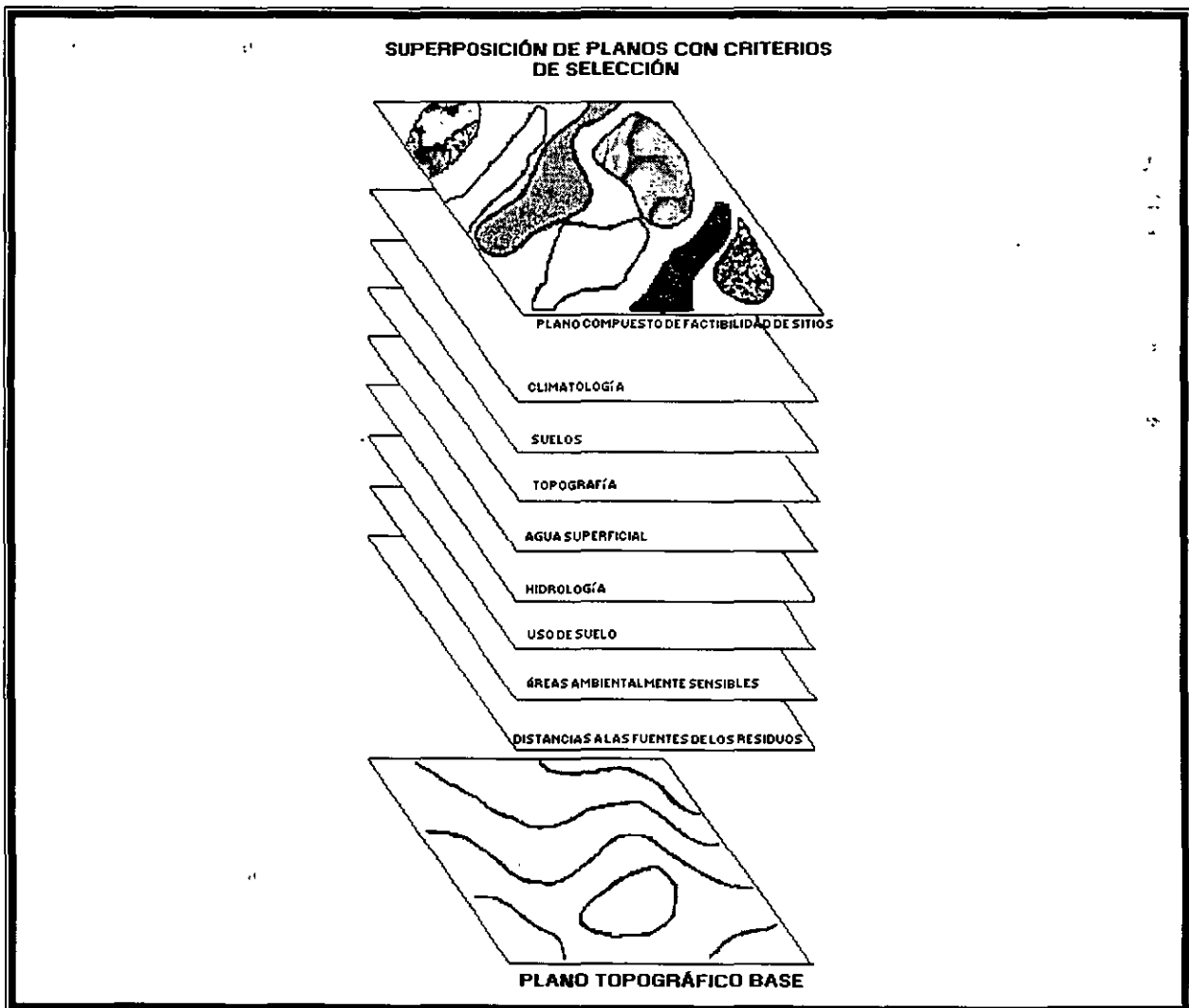
Dentro de las consideraciones técnicas se tienen las siguientes :

◆ **Consideraciones Técnicas.**

- a) Distancia de transporte.
- b) Tamaño y vida potencial del sitio
- c) Topografía.
- d) Agua superficial.
- e) Suelos y geología

- f) Agua subterránea.
  - g) Cantidad y compatibilidad del suelo (material de cobertura).
  - h) Vegetación.
  - i) Áreas ambientalmente sensibles.
  - j) Áreas de importancia arqueológica e histórica.
  - k) Accesos al sitio.
  - l) Uso del suelo.
- ◆ Consideraciones económicas.
  - ◆ Consideraciones de aceptación pública.

**FIGURA 1 SELECCIÓN DE SITIOS**



En la etapa final de ésta evaluación preliminar se debe considerar, además de los resultados del proceso anteriormente descrito, las alternativas de uso del sitio terminado y determinar el uso más conveniente para cada sitio potencial. Lo ideal será que el uso final sea acorde con los planes de desarrollo de la zona en que se asienta el sitio y además presente la mayor prioridad en la clasificación realizada previamente.

En el **Cuadro 1**, se muestran los principales factores con algunas características que permitirán a los Ayuntamientos mejorar el proceso de selección de sus terrenos para ubicar los rellenos sanitarios. Obviamente la selección debe estar respaldada por especialistas y por estudios técnicos y científicos para garantizar la prevención y control de la contaminación ambiental, así como el cumplimiento de la anteriormente referida.

Es importante señalar que independientemente a este criterio de selección, para el caso de México, existe la Norma Oficial Mexicana **NOM-083/ECOL-1996**, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. En el **Cuadro 2**, se presentan los principales criterios que hay que considerar para elegir el terreno que tenga mayor vocación y en La Figura 5.2, se muestra diagrama de flujo del proceso de selección de un sitio de disposición final de residuos sólidos, para que se cumpla con la norma de referencia.

Para validar la selección del sitio, la norma contempla el desarrollo de estudios básicos: geología, hidrogeología y estudios complementarios, los cuales se mencionan en la sección siguiente. Un punto importante que contempla la norma es la aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes, con los cuales se pueden elegir sitios de disposición final de residuos sólidos, implantando obras que acrediten técnicamente que no se afectaría negativamente al ambiente. También es importante que los estudios básicos se conduzcan considerando la Norma **NOM-083/ECOL-1996**

## **5 Descripción de parámetros a considerar.**

### ***1 Geología. ¡Error! Marcador no definido.***

Después de analizar la geología de la zona, con base en la información recopilada se determinan aquellas zonas que cuentan con suelo de formaciones geológicas que por sus características impliquen un riesgo, dejándolas como áreas restringidas. En este mismo aspecto, es importante determinar la ubicación de las fallas geológicas ya que de acuerdo con la Norma Oficial se debe respetar una distancia de 100 m del límite de la zona de fracturación al sitio propuesto.

## ***2 Edafología.***

Se deben determinar los tipos de suelo que no son aptos para la ubicación de un relleno sanitario, a este respecto se puede mencionar que los llamados vertisoles se encuentran entre los suelos deseables para las zonas susceptibles de elección, por otro lado los no aptos para el fin que se persigue los denominados chernozem y castañozem.

## ***3 Zonas Urbanas.***

Para garantizar que las zonas elegidas no se verán afectadas en un corto tiempo por el crecimiento urbano se utiliza la información proporcionada en el Plan de Desarrollo Urbano de la Zona bajo estudio, para tomar en cuenta las zonas que en un futuro serán destinadas al desarrollo habitacional y a partir de estos límites proporcionar una franja de 1,500 m a los límites del sitio propuesto.

## ***4 Ecología.***

En éste caso se debe consultar el inventario de áreas naturales protegidas, para definir la superficie que ocupan las mismas, en caso de encontrarse dentro del área de estudio y deberá restringirse además de la superficie que ocupa la misma, aquella correspondiente al área de amortiguamiento que oficialmente tenga asignada.

## ***5 Arqueología.***

En este aspecto se debe consultar al Instituto Nacional de Antropología e Historia la ubicación de las zonas arqueológicas más cercanas y se les proporciona un radio de 1 km. como área restringida, cabe hacer la aclaración de que la legislación existente no menciona éste concepto, por lo que se determinó esta distancia en función de criterios internacionales, para darle un cierto margen de protección a las zonas arqueológicamente ya estudiadas, dejando abierta la posibilidad de aprovechar más área para continuar exploraciones y proteger zonas que aún no se han excavado y en las que se localicen más joyas arqueológicas.

## ***6 Hidrología Superficial.***

Con el objeto de evitar contaminación a los cuerpos de agua y corrientes superficiales se debe ubicar los cuerpos existentes en las cercanías del sitio y restringir las áreas que establece la Norma a lo largo de todo su curso y a cada lado, dentro del área de interés.

## ***7 Hidrología Subterránea.***

Para prevenir posibles contaminaciones de los mantos freáticos bajo los rellenos sanitarios, se analizar la cartografía correspondiente para determinar todas aquellas zonas en que el agua subterránea se encuentre a una distancia menor a la que se calculó como interfase requerida, según la ecuación que para tal efecto se presenta en el cuerpo de la misma norma e identificando las zonas con posibilidades altas de contar con acuífero, mediante la carta de aguas subterráneas del INEGI.

### 8 Efectos Climáticos.

En éste rubro, se debe considerar las zonas con precipitación alta, considerando como alta una mayor de 625 mm (de Mayo a Octubre) en la temporada de lluvias, y mayor a 75 mm (de Noviembre a Abril) en época de estiaje. Las zonas con éstas características también se marcan como restringidas.

Conceptos	Opciones		
	Excelente	Buena	Regular
Vida útil	Mayor de 16 años	10 a 15 años	Menor de 10 años
Tierra para cobertura	Autosuficiente	Acarreo cercano	Acarreo lejano
Topografía	Minas a cielo abierto hondonadas naturales	Hondonadas	Otros
Vías de acceso	Cercanas y pavimentadas	Cercanas, transita- bles	Lejanas y transitables
Vientos dominantes	En sentido contrario a la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana
Ubicación del sitio	De 5 a 10 km. de la mancha urbana	Entre 3 y 5 ó 10 y 15 km. de la mancha urbana	Menor de 3 km. y mayor de 15 km. de la mancha urbana
Geología	Impermeables	Semimpermeables	Permeables
Geohidrología (Manto acuífero)	Más de 50 m de profundidad ó inexistente	Entre 30 y 50 m de profundidad y pobre	Menor de 30 m de profundidad y de mediano a rico
Hidrología Superficial	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales (> 50 m)	Cerca de corrientes superficiales (< 50 m)
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo

**CUADRO 2**

**CRITERIOS PARA UBICACIÓN DE SITIOS DE  
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS  
MUNICIPALES  
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083/ECOL-1996**

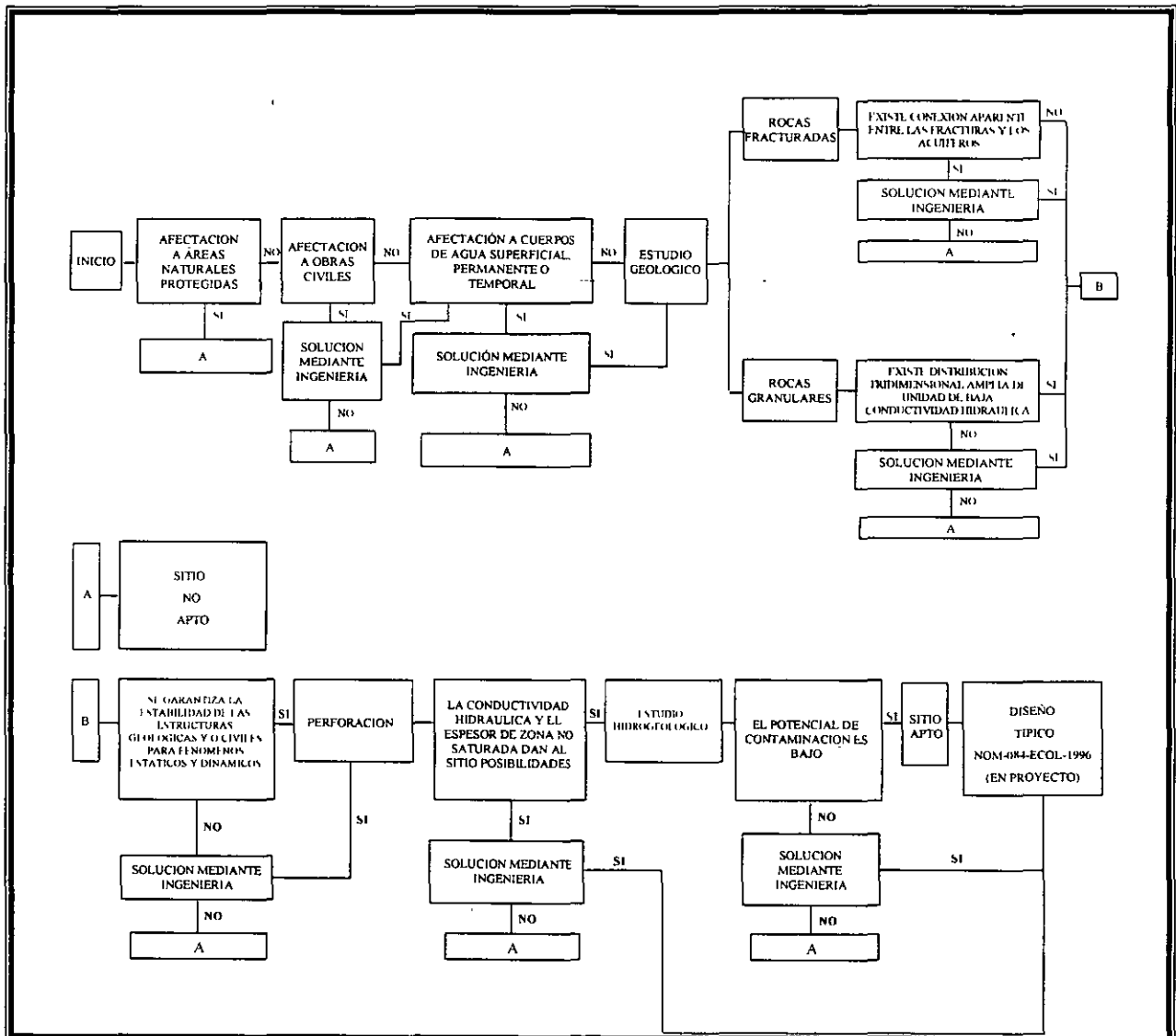
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
<p align="center"><b>ASPECTOS GENERALES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Restricción por afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las distancias mínimas a aeropuertos son:</li> </ul>
	<p align="center">De 3000 m (tres mil metros) cuando maniobren aviones de motor a turbina.</p>
	<p align="center">De 1500 m (mil quinientos metros) cuando maniobren aviones de motor a pistón.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas.</li> <li>Se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, polductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.</li> <li>Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m (mil quinientos metros), a partir del límite de la traza urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2500 habitantes<sup>1</sup></li> </ul>
<p align="center"><b>ASPECTOS HIDROLÓGICOS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se debe localizar fuera de zonas de inundación con períodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se debe ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.</li> <li>La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 m (mil metros) como mínimo y contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.</li> </ul>
<p align="center"><b>ASPECTOS GEOLOGICOS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debe estar a una distancia mínima de 60 m (sesenta metros) de una falla activa que incluya desplazamiento en un período de tiempo de un millón de años</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables; es decir, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.</li> </ul>
<p align="center"><b>ASPECTOS HIDROGEOLOGICO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea <math>&lt;3 \times 10^{-10}</math> seg<sup>-1</sup>.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales granulares, se debe garantizar que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea <math>&lt;3 \times 10^{-10}</math> seg<sup>-1</sup>.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.</li> </ul>

**NOTA**

**(1) En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.**

FIGURA 2

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LOS ESTUDIOS PARA LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS



...

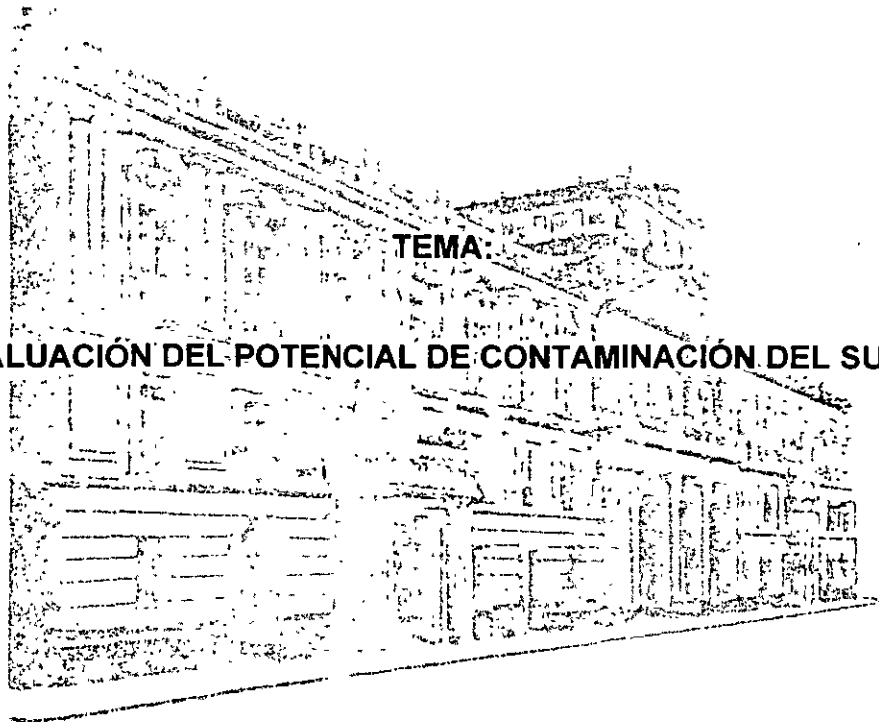




**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**



**TEMA:**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN DEL SUELO**

**ING. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO – MARZO 2000**

# **EVALUACION DEL POTENCIAL DE CONTAMINACION DEL SUELO**

**Ing. Felipe López Sánchez**

**SEPI-ESIA IPN**

## **RESUMEN**

Se presentan los principales mecanismos del movimiento y atenuación de la contaminación de suelos.

Se analizan las formulaciones para evaluar la contaminación del suelo por carga orgánica e inorgánica y se dan criterios para seleccionar el espesor nominal de un geosintético.

## MECANISMOS DE CONTAMINACION DEL SUELO

- ADVECCION
- DISPERSION
- DIFUSION MOLECULAR
- INTERACCION HIDROQUIMICA

- ADVECCION

Transferencia de contaminantes con la misma velocidad y dirección con que se mueve el agua que los transporta. Es el principal mecanismo de tal manera que si se eliminan los otros procesos, el modelo casi no se altera.

La advección por el flujo de agua subterránea tiene un rango:

$$10^{-6} \text{ cm/seg.} \leq V \leq 10^{-1} \text{ cm/seg.}$$

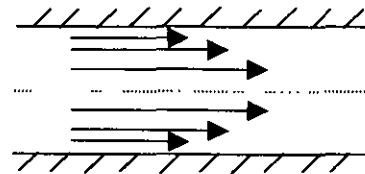
- DISPERSION

Fenómeno de aspersado causado por las variaciones de velocidad.

La dispersión es función de la acción mecánica.

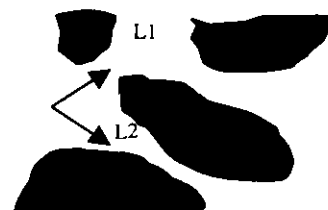
### ACCION MECANICA

El hecho de que el fluido es viscoso implica una velocidad nula sobre la superficie sólida, creando un gradiente de velocidad en la fase líquida de los tubos capilares.

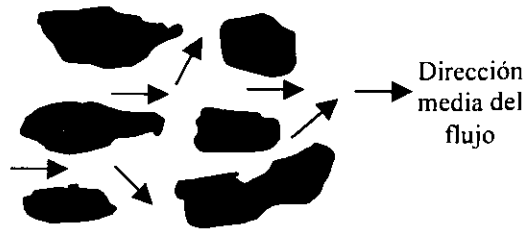


Las variaciones de las dimensiones de los poros crean discrepancia entre las velocidades a lo largo de los ejes de los poros.

$$\text{Si } L_1 < L_2 \Rightarrow V_1 > V_2$$



Las líneas de corriente fluctúan con respecto a la dirección media del flujo.



- DIFUSION MOLECULAR

Tiene validez (aplicabilidad) cuando la velocidad del agua subterránea es casi nula.

Está regida por la 1ª ley de FICK

$$\frac{\partial C}{\partial t} = Dm \frac{\partial^2 C}{\partial X^2}$$

$$F = - Dm \frac{dc}{dx} ; \quad C_i(x, t) = C_0 \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dmt}} \right)$$

La masa de contaminantes difundida, que pasa por una sección transversal dada por unidad de tiempo, es proporcional al gradiente de concentración del contaminante.

- INTERACCION HIDROQUIMICA

Entre el fluido y el suelo a veces ocurren procesos importantes que cambiarán la calidad del agua subterránea por los constituyentes químicos disueltos.

## MECANISMOS DE ATENUACION DE LA CONTAMINACION DEL SUELO

- FILTRACION
- ABSORCION
- ADSORCION
- ACCION BACTERIOLOGICA

- FILTRACION

La capa de suelo que existe entre la superficie y el nivel de aguas freáticas actúa como un filtro natural. Los sólidos orgánicos retenidos son estabilizados por la acción bacteriana, y los inorgánicos pueden cambiar sus características por acción química.

Limitante: sólo retiene partículas suspendidas dependiendo de la porosidad del suelo.

- ABSORCION

Este mecanismo funciona reteniendo la humedad y varios elementos contenidos en el lixiviado, el tiempo suficiente para que un proceso químico y/o bacteriológico se presente.

- ADSORCION

Ocurre cuando una molécula cargada (ión) del lixiviado pasa sobre una partícula de suelo que contiene una carga contraria, a la cual se adhiere.

Un suelo teniendo una buena característica de intercambio catiónico, tiene un gran potencial de retención de los contaminantes presentes en el lixiviado.

- ACCION BACTERIOLOGICA

Básicamente la acción bacteriológica actúa acompañada de los mecanismos antes descritos, cuando se presenta material orgánico.

**ANALISIS DE LA CONTAMINACION DEL SUELO POR CARGA INORGANICA (CATIONICA).**

Este análisis, se realizará empleando la siguiente formulación:

$$I = 4 \frac{C}{CIC (PV)} i$$

Donde:

C = 411 meq/l., que es la concentración catiónica del lixiviado (recomendado por EPA)

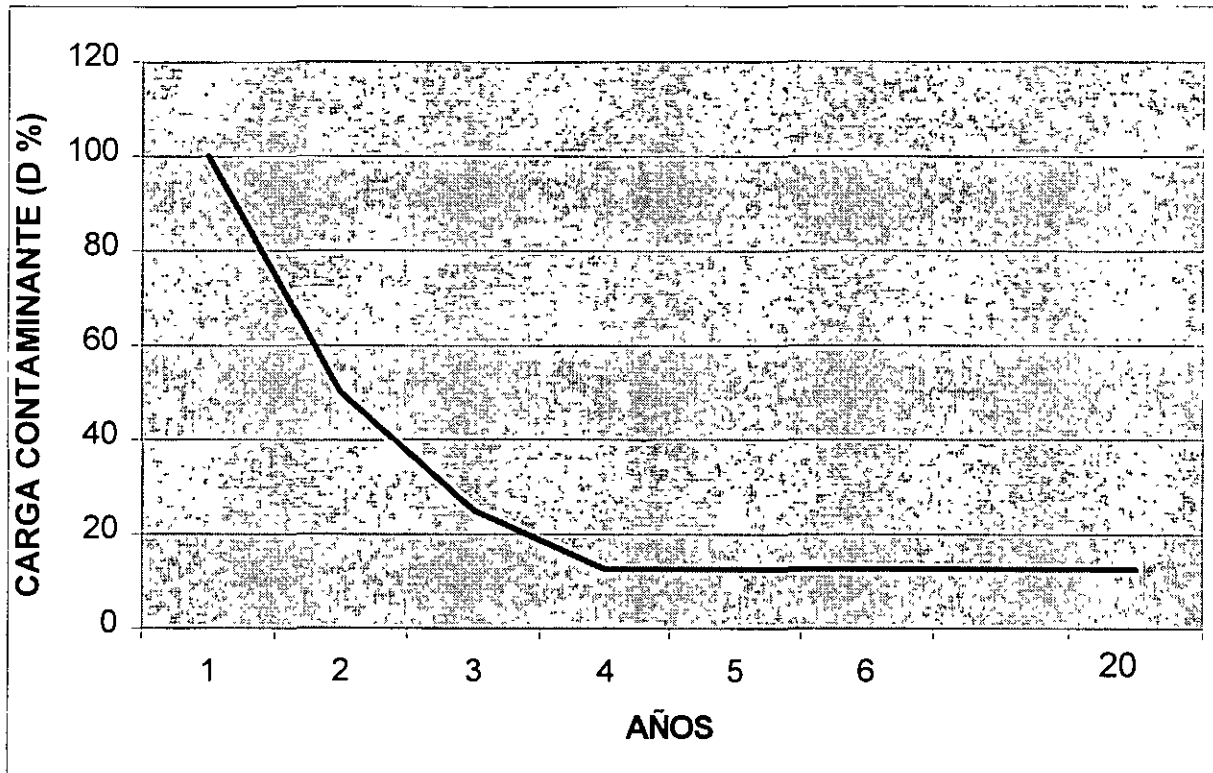
CIC = Capacidad de intercambio catiónico del suelo, en meq / 100 gr. de material.

PV = Peso volumétrico del Suelo (kg / m<sup>3</sup>).

i = Humedad lixiviable de los residuos sólidos, en m / m<sup>2</sup> – año.

I = Interfase de suelo requerida para atenuar la contaminación por carga catiónica, en mts.

VARIACION DE LA CARCA CONTAMINANTE DE LOS LIXIVIADOS EN EL TIEMPO



t (AÑOS)	D %	Σ D %
0	100	100
1	50	150
2	25	175
3	12.5	187.5
4	12.5	200
5	12.5	-
6	12.5	-
20	12.5	400

## ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR CARGA ORGANICA.

Este análisis se efectuará con las expresiones siguientes:

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

Donde:

J = Celdilla de mezclado que se analiza.

C<sub>j</sub> = Concentración del contaminante en la celdilla que se analiza, (mg / l).

Q = Gasto que se filtra a través del suelo por la sección transversal "A" (m<sup>3</sup> / día).

A = Sección transversal de las celdillas, (m<sup>2</sup>).

B = Espesor de las celdillas, (m).

n = Porosidad del suelo, (Adimensional).

k = Coeficiente de decaimiento del contaminante, (Día<sup>-1</sup>).

C<sub>j-1</sub> = Concentración del contaminante en la celdilla anterior a la que se analiza, en el sentido del flujo, (mg/l)

G<sub>j</sub> = Coeficiente de retardo en la celdilla que se analiza, (Adimensional).

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

K<sub>1</sub> = Coeficiente de transferencia del contaminante, de fase líquida a fase sólida.

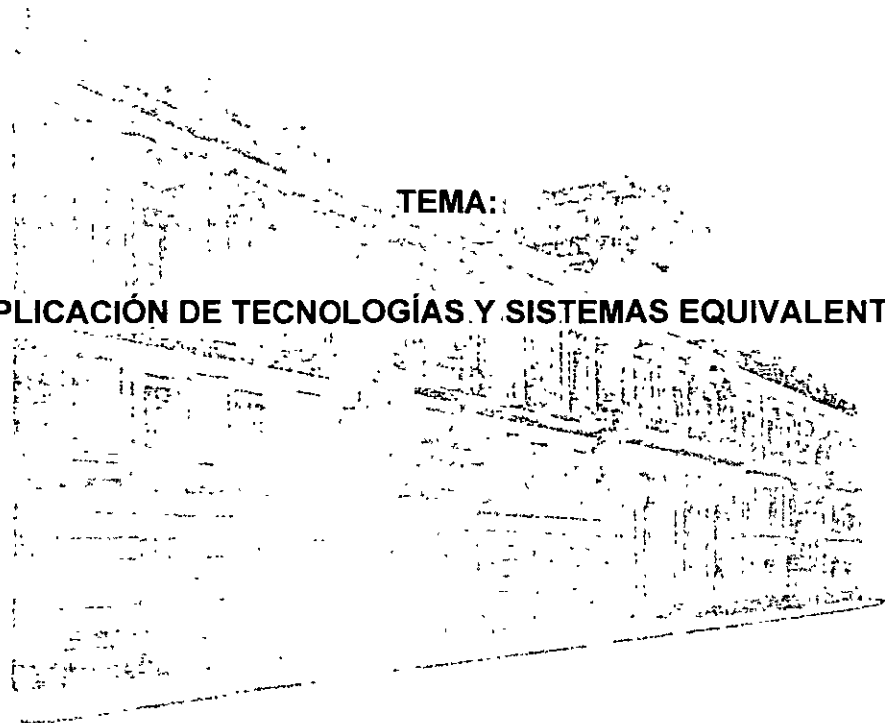




**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**



**TEMA:**

**APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS EQUIVALENTES**

**ING. JOSÉ LUIS ALEJANDRO RAMÍREZ MANZANO  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO – MARZO 2000**

# **APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS Y SISTEMAS EQUIVALENTES**

Alejandro Ramírez Manzano

Coordinación de cursos,  
Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos  
y Peligrosos, A.C.

Fco. I. Madero No. 113, Col. Barrio San Miguel, 08600 México, D.F. Tel. (5) 579.91.64

## **RESUMEN**

Se describen algunos elementos a considerar para el diseño y ejecución de Sistemas Impermeables a base de Geosintéticos, poniendo énfasis en los aspectos a vigilar que con frecuencia son ignorados, a pesar de su relación directa con los resultados obtenidos.

## **GEOSINTETICOS UTILIZADOS EN RELLENOS SANITARIOS**

Los Geosintéticos son materiales de plástico que se producen en forma de hojas o láminas y se utilizan en la industria de la construcción, combinados con suelo y agregados. Sus funciones son las de tomar esfuerzos, filtrar, drenar, impedir la mezcla de materiales, funcionar como barreras hidráulicas, etc.

Se tienen los siguientes grupos principales:

**Geomembranas**

**Geotextiles**

**Georedes**

**Geodrenes**

**Geomallas contra erosión**

**Geocompuestos de bentonita**

## **PROPIEDADES GENERALES DE LOS PLASTICOS.**

Los plásticos son los componentes principales en los geosintéticos. En la actualidad, muchas industrias sustituyen ventajosamente materiales tradicionales tales como agregados, suelos, metal, vidrio, etc., por materiales de plástico, que poseen, en general, las siguientes propiedades:

- Ligereza, existiendo materiales menos densos que el agua.
- Ductilidad
- Maleabilidad
- Elevada elasticidad

- Resistencia Mecánica
- Resistencia a agentes químicos, la cual varía dependiendo del material
- Posibilidad de mejorar sus propiedades mediante aditivos o procesos mecánico-térmicos
- Rangos variables de resistencia al intemperismo, existiendo algunos que deben ser protegidos y otros que pueden ser expuestos a la intemperie por lapsos largos, sin experimentar deterioro.
- Baja absorción de agua
- Resistencia a la biodegradación, la cual varía según el material de que se trate
- Se pueden unir entre sí, mediante diversos procedimientos como termofusión, adhesivos, solventes y alta frecuencia, principalmente.
- Transparencia en distintos grados

La familia de los Plásticos es muy extensa. Los productos de esta naturaleza que se utilizan para fabricar geosintéticos es apenas una pequeña fracción de los polímeros que se utilizan en la sociedad moderna.

En general, las propiedades específicas de un plástico dependen de la combinación de muchas variables, las cuales son, entre otras:

- Naturaleza química: Grupos funcionales, peso molecular, dispersión del peso molecular, ramificaciones de la cadena principal, incorporación química de componentes (copolímeros)), incorporación física de aditivos, tipo de formulación, etc.
- Historia de esfuerzos, temperaturas y exposición a agentes ambientales durante su vida útil.
- Procesos de transformación o formado
- Procesos de acabado.

De este modo, el nombre genérico de un plástico o polímero, tal como "Polipropileno", "Polietileno de Alta Densidad", "Poliéster", etc., no es útil para caracterizarlo, por la gran cantidad de materiales que bajo la misma denominación pueden producirse, con propiedades notoriamente diferentes.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GEOSINTÉTICOS**

- 1) Geomembranas.- Son láminas que se emplean como barreras hidráulicas. Se fabrican en rollos anchos, los que se unen entre sí en el sitio de su ubicación final, mediante procesos de termofusión. El tipo de geomembrana más usual en rellenos sanitarios es el Polietileno de Alta Densidad, por su alta resistencia química, muy baja permeabilidad y alta resistencia a su exposición

a la intemperie. Sin embargo de lo anterior, existen rellenos sanitarios municipales que han utilizado con éxito geomembranas de PVC (Policloruro de Vinilo) y laminaciones de geotextiles con bentonita tratada.

- 2) Geotextiles.- Se emplean como elementos frontera entre materiales de diferente granulometría, para formar drenajes para manejo de los lixiviados. Así, su función es la de filtración, mediante mecanismos específicos que varían de acuerdo a la construcción del geotextil (tejidos o no tejidos). Los de mayor masa se emplean como elementos de protección para evitar la perforación de las geomembranas con agregados. Los más utilizados son los de polipropileno y los de poliéster.
- 3) Georedes.- Son elementos estructurales que se utilizan para mantener cubiertas de materiales granulares en los taludes de las celdas, en ángulos en los que no podrían soportarse por si solos. También se utilizan en obras de ampliaciones verticales de celdas, para incrementar el factor de seguridad contra fallas globales. Las georedes más utilizadas son fabricadas con Polipropileno y Polietileno de Alta Densidad, por su mayor resistencia química.
- 4) Geodrenes.- Se utilizan como subdrenes para coleccionar y conducir los lixiviados hacia cárcamos, cuando se colocan por encima o debajo de geomembranas. También se utilizan para captar y conducir el biogas hacia los quemadores.
- 5) Geocompuestos de Bentonita.- Son laminaciones de bentonita resistente a lixiviados entre dos capas de geotextil. Dependiendo de diversos factores, se utilizan como barrera primaria, barrera secundaria o como elemento para sellar eventuales perforaciones en geomembranas. Se fabrican en rollos que se traslapan y unen entre sí con bentonita.
- 6) Geomallas.- Son estructuras formadas con filamentos de plástico o combinaciones de fibras naturales con fibras de plástico que se instalan sobre los taludes, para evitar su erosión. Se pueden usar como elementos de protección permanente o temporal y combinadas o no, con siembra de vegetación.

## **CLASIFICACIÓN DE BARRERAS IMPERMEABLES GEOSINTÉTICAS**

- 1) Polietileno de alta densidad.- Su Principal uso es como barrera primaria, en la mayoría de rellenos sanitarios y confinamientos controlados.
- 2) Geocompuestos de Bentonita laminada.- Se utilizan como barrera secundaria, como barrera sellante de perforaciones de geomembranas y como barrera primaria en algunos casos específicos, dependiendo de la composición de los

residuos y de su efecto en la bentonita. También se utiliza como elemento de cobertura final.

- 3) Policloruro de Vinilo Plastificado (PVC).- Se utiliza principalmente como cobertura; algunas formulaciones especiales se han utilizado en rellenos sanitarios.

## COMPORTAMIENTO MECANICO

El Polietileno de Alta Densidad muestra una elongación a ruptura elevada, de aproximadamente 700%, con fluencia en la zona de 12-14% de elongación. No debe doblarse pues con relativa facilidad se agrieta en las zonas dobladas. Requiere instalarse con equipo y personal especializado. Las uniones entre rollos se efectúan por fusión.

El PVC pueden ensamblarse en grandes paneles que se doblan y transportan a la obra y se unen entre sí mediante procedimientos sencillos de fusión, aplicando adhesivos o solventes.

La estabilidad dimensional de ambos materiales varía mucho con la temperatura.

Los geocompuestos de bentonita laminada son materiales muy pesados (pesan >5 kg/m<sup>2</sup>) que requieren estar confinados para desarrollar su función sellante de orificios.

## GEOMEMBRANAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

En la actualidad se ha generalizado el empleo de geomembranas de polietileno de alta densidad como barreras impermeables, por las siguientes ventajas que presentan contra las capas de suelo compactado:

**Continuidad.**- Las capas de arcilla compactada contienen pequeños conductos en su estructura a través de los cuales se establece el flujo de líquidos. Estos conductos se presentan por agrietamiento, al perder humedad la arcilla. También se presentan conductos horizontales en la frontera entre capas. La razón de esto es que las barreras de suelo no son materiales continuos, sino el producto del acomodamiento y densificación de partículas.

**Resistencia en su plano.** Esta propiedad les confiere la facilidad de ser manipuladas e instaladas mediante procesos rápidos que generan fuerzas de tensión que puede soportar el material.

**Muy bajo Coeficiente de Permeabilidad.** Esta propiedad es cientos de veces de veces menor que la correspondiente a arcillas compactadas y por lo mismo se determina en

forma indirecta, a través de la medición de transmisión de vapor a través de la geomembrana. Esto trae como consecuencia que se pueden construir sistemas impermeables con espesores despreciables, en lugar de tener que compactar gruesas capas de arcilla.

**Muy alta resistencia al ataque de lixiviados.**- Aunque en sentido estricto la resistencia se debe determinar para el lixiviado específico que se desea contener, la experiencia muestra que este polímero es resistente a lixiviados de rellenos sanitarios municipales. En el caso de lixiviados de materiales altamente contaminantes, industriales o peligrosos, se recomienda verificar la compatibilidad. La prueba EPA 9090 se utiliza para tal propósito y la misma consiste en someter una muestra del geosintético al ataque del lixiviado durante varios meses, determinándose al término del lapso de exposición, la resistencia mecánica remanente en el producto ensayado.

**Muy alta resistencia a la pérdida de propiedades por intemperismo.**- Es prácticamente el único material que puede permanecer expuesto a la intemperie por lapsos de más de 10 años. Aunque existen otras geomembranas, como las de Polietileno Cloro Sulfonado, que también son altamente resistentes al intemperismo, su alto costo ha limitado su empleo.

**Ligereza.**- Propiedad importante desde el punto de vista logístico, ya que se puede lograr la impermeabilización sin grandes acarreos y en lapsos muy cortos.

**Es termoplástico.**- Por esta característica, puede ser unido mediante equipo de alta producción, (termofusión), además de permitir reparaciones mediante soldadura (equipo de extrusión).

## **CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DE SISTEMAS IMPERMEABLES A BASE DE GEOMEMBRANAS.**

La tecnología moderna emplea conceptos muy simples pero muy efectivos, basados en el conocimiento de los materiales y sus limitaciones, así como en la experiencia. En general, se manejan los siguientes conceptos:

- **Es posible lograr Sistemas Impermeables, no Productos Impermeables.** Existen productos de muy baja permeabilidad, pero no absolutamente impermeables. Adicionalmente, por factores muy difíciles de eliminar totalmente, tales como pequeños daños a la geomembrana durante la instalación, imperfecciones en el producto o en sus uniones que no son fáciles de detectar, etc., es necesario considerar que existirán fugas de a través de una geomembrana, pero que pueden ser prevenidas mediante productos, obras o sistemas auxiliares, con lo que sí se pueden lograr **sistemas impermeables**.

Considerando como sistema al área de donde no deben existir fugas, cuando las necesidades del proyecto lo justifiquen, según se indica en el siguiente punto, se pueden utilizar las siguientes herramientas:

- a) Utilizar sistemas o productos para detectar, coleccionar y conducir eventuales fugas a través de la geomembrana, hasta cárcamos. Para esto se utilizan capas granulares drenantes o geodrenes y barreras dobles, que pueden ser geomembranas como barrera primaria y capas de arcilla compactada como barrera secundaria.
  - b) Proporcionar altas pendientes, para conducir rápidamente las filtraciones hacia obras preparadas para recibirlas y conducir las al cárcamo, evitando de este modo la salida de lixiviados del sistema.
- **Evaluar las consecuencias de eventuales fugas.** Para determinar el grado de seguridad requerido, se debe revisar si por las características del sitio y del proyecto en general, las fugas serían irrelevantes, tolerables, indeseables o catastróficas y diseñar el sistema en consecuencia. Como ejemplo, pequeñas fugas en un sitio en el cual subyace a la geomembrana una capa gruesa de arcilla densa, pueden ser tolerables, no así el mismo grado de fugas de lixiviados en un relleno sanitario que se encuentra muy cercano a un acuífero.
  - **Se debe diseñar sin asignar a la geomembrana una función estructural.** Esto quiere decir que aunque las geomembranas tengan resistencia, las estructuras sobre las que se instalan deben estar diseñadas para evitar que el producto sintético se vea sometido a esfuerzos originados por hundimientos locales, asentamientos, subpresiones, abrasión, alargamientos y tensiones, etc.
  - **Proporcionar protecciones para la geomembrana.** Comparadas con los materiales tradicionales de construcción, las geomembranas son elementos frágiles y por lo tanto deben ser protegidos para que mantengan su integridad. De hecho, el mayor número de fugas se tiene a través de agujeros en los productos, ocasionados por una instalación defectuosa y no supervisada. Los medios de protección a la geomembrana pueden ser **productos de cubierta**, como los geotextiles o capas de arena, que evitan su perforación, **procedimientos cuidadosos** que reduzcan la presión aplicada sobre la geomembrana, mediante el empleo de equipo que transmita baja presión, o bien el rebaje gradual de espesores de capas de cobertura gruesas que se van reduciendo hasta llegar al espesor deseado, y **restricciones**, como puede ser la limitación del tránsito en las áreas donde se encuentra instalada la geomembrana, etc.
  - **Ejecutar procedimientos rigurosos de Aseguramiento de la Calidad.**

## CONSTRUCCION, SUPERVISION Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

**La suposición de que la simple instalación de una geomembrana garantiza que no existirán filtraciones es errónea.** De acuerdo a la experiencia, en un porcentaje importante de instalaciones, existen fugas a través de geomembranas, aunque sea de muy pequeña magnitud, las que se originan a través de defectos en el producto o en sus uniones que son imperceptibles a simple vista, daños por el tráfico de personas o equipo sobre ellos, por la circulación de equipo pesado, por haber sido colocados sobre superficies inadecuadas o no preparadas adecuadamente, por no considerar medidas para contrarrestar la existencia de pequeñas fugas, etc. En otras palabras, errores en el diseño, selección de geomembrana, procedimiento constructivo, supervisión inadecuada y la falta de programa de Aseguramiento de la Calidad. El éxito entonces se obtiene mediante Diseños, Productos, Supervisión y Aseguramiento adecuados.

Después de diferentes programas de inspección de instalaciones en las que se utilizaron geomembranas, hace más de 15 años, en diversos países, se han tomado una serie de medidas para garantizar su correcto funcionamiento. Las medidas consisten en la aplicación de rigurosos controles, como se indica a continuación.

1. Utilizar los servicios de empresas especialistas que cuenten con el personal técnico, equipo, experiencia y sistemas internos de control de calidad, llevando a cabo los siguientes controles:

### Pruebas No Destructivas.

#### a) Pruebas de Aire Comprimido

Sirven para verificar la continuidad de la soldadura entre rollos de geomembrana

#### b) Pruebas de Vacío

Sirven para verificar la eficiencia de la soldadura en trabajos de detalle

### Pruebas Destructivas.

Se trata de pruebas de tensión ejecutadas en muestras de uniones entre rollos, para verificar la eficacia de la unión.

Equipo de Pruebas de Tensión.



2. Utilizar los servicios de empresas especialistas en geosintéticos, para que efectúen la función de Aseguramiento de la Calidad, la cual debe incluir:
- a) Revisión y adecuación del proyecto, desde la etapa de la planeación de la ejecución, hasta la construcción. Lo anterior es necesario debido a que los cambios que frecuentemente existen en las obras y las decisiones de campo, pueden acarrear el descuido del funcionamiento del sistema de geosintéticos, en el que generalmente descansa el éxito de la instalación.
  - b) Revisión de toda la documentación de calidad de los suministros y el cumplimiento de las especificaciones de proyecto, o su adecuación.
  - c) Evaluación de la capacidad de la empresa instaladora de los geosintéticos.
  - d) Revisión y autorización (o modificación) al contratista de instalación, del plan de trabajo que presente previamente a la iniciación de sus operaciones.
  - e) Supervisión de los métodos de instalación de las geomembranas, poniendo énfasis en el empleo del equipo correcto, personal con suficiente experiencia y el cuidado en el manejo de la geomembrana.
  - f) Verificación de las pruebas de control de calidad que la empresa instaladora debe ejecutar y reportar.
  - g) Funcionar como un asesor del supervisor de la obra, en lo relativo a la definición de los procedimientos correctos desde las etapas previas a la colocación del producto sintético, hasta su cobertura, para garantizar su integridad

### **MEDIDAS GENERALES PARA MANTENER LA FUNCIONALIDAD DE LAS GEOMEMBRANAS**

- A) Las geomembranas deben instalarse sobre suelo estable y compactado, en cuya superficie no existan piedras u otro tipo de objeto que puedan perforarlas.
- B) No deben instalarse en situaciones en las que se someterán a esfuerzos mecánicos, sino adecuar la estructura de apoyo para proteger al producto.
- C) Se debe evitar la manipulación excesiva del material.
- D) Se utilizan geotextiles con masa mínima de 400 g/m<sup>2</sup>, para proteger geomembranas contra la perforación, si esta se apoyará o cubrirá con material granular, como es el caso de sistemas de barreras dobles con subdrenaje intermedio.

- E) Se debe preparar y dar el mantenimiento al terreno y a los materiales de relleno, para que conserven la estabilidad suficiente para permitir la realización de las actividades de instalación de la geomembrana, evitando condiciones lodosas que deterioran la calidad de la instalación y removiendo de la superficie a cubrir, piedras y otros objetos que puedan dañar a la geomembrana. Lo anterior implica inclusive la continua remoción de agua de lluvia, agua freática, hielo, nieve o granizo, durante la instalación de la geomembrana.
- F) Rellenar y compactar los materiales que según proyecto van colocados encima de la geomembrana, siguiendo procedimientos que garanticen que dicho producto no es dañado por las operaciones indicadas.
- G) La geomembrana puede ser almacenada al aire libre, pero debe protegerse del lodo y de daño mecánico, vandalismo, etc. La Contratista debe ser responsable de la custodia de los materiales, instalados o no.
- H) En necesario lograr que La Contratista de terracerías y La Subcontratista de instalación de geomembrana trabajen en coordinación, para que la cobertura de capas de terracería cuyo contenido de humedad no se desea que cambie, se realice inmediatamente después de que el laboratorio ha revisado y aprobado el contenido de humedad y otras propiedades de dicha capa, tales como espesor, grado de compactación y permeabilidad.
- I) En caso de que la geomembrana resulte dañada accidentalmente, deberá ser reparada de inmediato.

## CONCLUSIONES

La experiencia acumulada desde el nacimiento de la industria de las geomembranas ha traído las siguientes enseñanzas:

1. El simple hecho de que se especifique el uso de geomembranas y se instalen dichos materiales, no garantiza que se obtendrá el resultado deseado.
2. Es necesario reducir los factores que afectan la eficacia del funcionamiento de sistemas que contienen geomembranas, reduciendo los factores conocidos que en el pasado han resultado en fallas. Estos factores son, principalmente:
  - a) Errores en el diseño que resultan en la transmisión de esfuerzos que la geomembrana no puede tolerar.
  - b) Errores en la instalación, que resultan en geomembrana perforada por la utilización de equipo y procedimientos de instalación inadecuados o personal sin experiencia.
  - c) Errores en la selección de la geomembrana, al no adaptarse la misma a las condiciones de uso o de instalación que se tiene previsto utilizar.

- d) Inadecuado diseño al no considerar medidas pertinentes en caso de existir una fuga del sistema, lo que se maneja con obras auxiliares cuya magnitud depende del tipo de consecuencias que tiene la fuga. Las obras auxiliares tienen que ver con el drenaje y preparaciones para recibir e interceptar las eventuales fugas.
- e) Falta de inspección de la calidad de la geomembrana adquirida por personal experimentado.
- f) Falta de supervisión calificada para las actividades de la Subcontratista de Instalación de geomembranas.

### **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Apse, Juris. "Polyethylene Resins for Geomembrane Applications". Seminario: Durability and Aging of Geosynthetics, Geosynthetics Research Institute, Drexel University. Elsevier Applied Science. 1989.
2. Giroud and Fluet. Jr. "Quality Assurance of Geosynthetics Lining Systems". Publicación Especial sobre Aseguramiento de la Calidad de Geomembranas, Revista "Geotextiles and Geomembranes". 1986.
3. Murillo, F. Rodrigo. "Hidráulica de Geosintéticos". Simposio sobre Geosintéticos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1990.
4. Koerner, Robert M. Designing with Geosynthetics. Editorial Prentice Hall, Inc. . Cuarta edición. 1994
5. Murillo, F. Rodrigo. "Experiencias con Geomembranas". Simposio sobre Geosintéticos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1990.
6. Ramírez M. Alejandro. "Los Geosintéticos y el Ingeniero de Diseño". Simposio sobre Geosintéticos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.1990.
7. Ramírez M. Alejandro. "Utilización de Geosintéticos en Rellenos Sanitarios". Simposio: Geotecnia y Medio Ambiente, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.1990.
8. Dewsnap et al. Quality Assurance of Polyethylene Liners. Revista Geotextiles and Geomembranes. Vol. 3 No. 4, 1986.

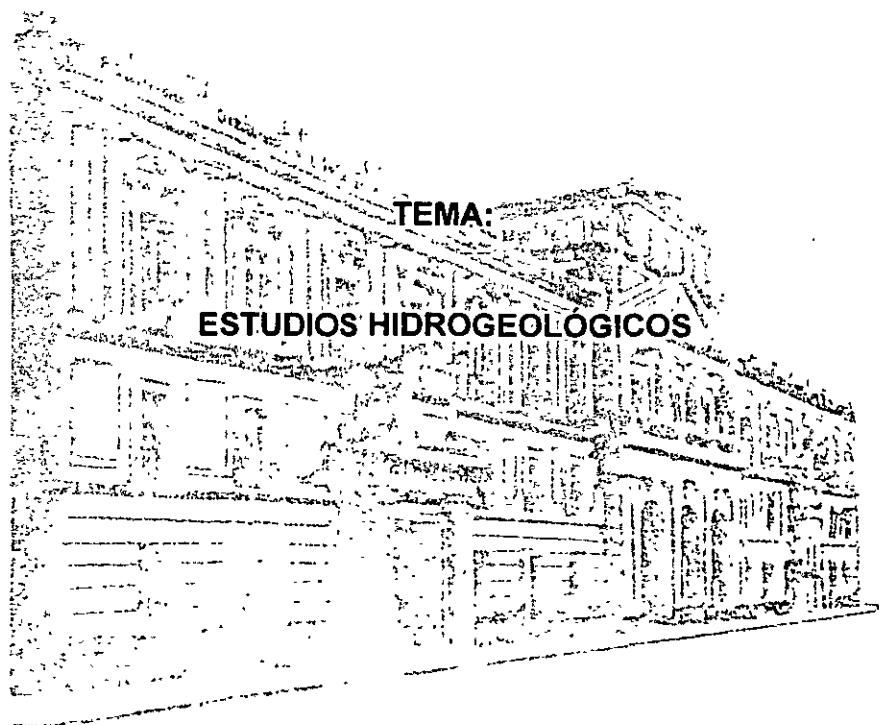
9. Geosynthetics Research Institute. Drexel University. Durability and Aging of Geosynthetics, Sesión II. Elsevier Applied Science. 1989.
10. Haxo, H. E. Quality Assurance of Geomembrane Used as Linings for Hazardous Waste Containment. Revista Geotextiles and Geomembranes. Vol. 3 No. 4, 1986.
11. A Design Primer: Geotextiles and Related Materials. Sección 14: Geomembrane Protection. Industrial Fabrics Association International. 1990.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**



**TEMA:**

**ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO – MARZO 2000**

***BASES DE GEOHIDROLOGÍA EN EL ESTUDIO DE  
SITIOS SELECCIONADOS PARA RELLENOS  
SANITARIOS MUNICIPALES***

**POR: Ing. Juan Manuel Lesser Illades**

**Febrero del 2000**

# BASES DE GEOHIDROLOGÍA EN EL ESTUDIO DE SITIOS SELECCIONADOS PARA RELLENOS SANITARIOS MUNICIPALES

POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

## 1.- ROCAS Y ACUÍFEROS

La corteza terrestre se encuentra formada por diferentes rocas y materiales que varían en su capacidad geohidrológica. Mientras que algunas tienen porosidad y permeabilidad, permitiendo el paso del agua, otras se presentan compactadas e impermeables.

Para su explicación, se tomó como ejemplo a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se agruparon los diferentes tipos de rocas y/o materiales en relación a su composición y a sus características geohidrológicas en: (1) rocas fracturadas y piroclásticas; (2) materiales granulares; (3) rocas impermeables; (4) materiales impermeables y; (5) materiales semipermeables. A continuación se describen estas unidades.

*Rocas fracturadas y piroclásticas.*- Un ejemplo de *roca fracturada* corresponde a los *basaltos*. Estos, son el producto de erupciones volcánicas a partir de centros eruptivos, de donde son eyectadas corrientes de lavas de composición basáltica, muchas de las cuales forman los flancos de los volcanes. Algunas de dichas coladas de lava se extiende hacia los valles en donde se encuentran formando acuíferos.

Las coladas de basalto al enfriarse, se enjutan provocando el fracturamiento de la roca, lo que ocasiona que permitan fácilmente la infiltración, circulación y almacenamiento de agua.

Los *piroclásticos* son fragmentos de material expulsados por un volcán durante las erupciones explosivas. Cuando los fragmentos presentan tamaño fino se les denominan cenizas, que al compactarse forman las *tobas*. Fragmentos de mayor tamaño y que son importantes geohidrológicamente son los denominados *tezontles*. Estos, corresponden a la misma roca basáltica que, en el momento de ser eyectada, incluye abundantes gases, lo cual hace que presente una textura de apariencia de esponja. Es común que durante las erupciones volcánicas los fragmentos de la lava sean lanzados al aire, acumulándose sobre los flancos de los conos volcánicos. Los *tezontles* asociados con las lavas

fracturadas, presentan una alta permeabilidad y permiten la fácil infiltración y circulación del agua en el subsuelo.

*Materiales granulares.*- Como su nombre lo indica, los *materiales granulares* corresponden a fragmentos de rocas que semejan granos, los cuales se clasifican de acuerdo a su tamaño. Se originan por la erosión y transporte de rocas que forman elevaciones topográficas. El principal agente erosivo lo constituyen las corrientes superficiales, las cuales mueven o transportan los fragmentos de roca de las partes altas de las sierras hacia las porciones bajas, donde son acumulados o depositados. Durante su trayecto, los fragmentos son redondeados obteniendo la apariencia de granos. El tamaño de estos puede variar desde fracciones de milímetro hasta varios centímetros. Los materiales granulares más finos (con diámetros menores de 1/256 y 1/16 mm) se conocen con el nombre de *arcillas y limos* respectivamente. Los materiales granulares de mayor tamaño (entre 1/16 y 2 milímetros) se denominan *arenas*, tamaños mayores de 2 milímetros corresponden a *gravas y cantos rodados*. Al encontrarse sueltos estos granos se denominan "materiales". Cuando se encuentran consolidados por cementación u otro proceso reciben el nombre de "roca". Los materiales granulares finos (arcillas y limos) presentan baja permeabilidad y se clasifican como impermeables al flujo subterráneo. Por lo que respecta a las arenas y gravas, éstas presentan permeabilidades altas y constituyen buenos acuíferos. Generalmente las arenas y las gravas incluyen un cierto porcentaje de arcilla; su permeabilidad esta en relación a la mezcla resultante.

*Rocas impermeables.*- Son rocas que impiden el paso de agua a través de ellas. Cuando las rocas se presentan densas y sin fracturamiento, impiden el flujo de agua a través de ellas lo cual hace que se comporten como *impermeables*.

*Materiales impermeables.*- Conforme se mencionó en párrafos anteriores se hizo la distinción entre "roca" (cuerpo de material compacto) y "materiales", siendo estos últimos los constituidos por fragmentos no consolidados. Cuando estos materiales son de tipo arcilloso, como es el caso de sedimentos lacustres arcillosos de lagos, entonces presentan una baja permeabilidad y pueden clasificarse como impermeables. En ciertas zonas, su permeabilidad puede llegar a permitir el paso de reducida cantidad de agua y se clasifican como materiales semipermeables (ver párrafo siguiente). Las arcillas están constituidas por fragmentos de tamaños menores de 1/256 mm. El agua que puede saturar a estos materiales, en su mayor parte es retenida por atracción molecular hacia cada uno de los granos de arcilla, como se ilustra en la figura No. 2.1 y solamente un porcentaje



muy reducido de agua circula a través de los espacios sobrantes. En general, las arcillas se consideran como material impermeable, especialmente para propósitos prácticos, ya que los pozos perforados en estos materiales rinden caudales de agua muy reducidos, generalmente menores de 1 lps lo que hace que se clasifiquen como negativos.

*Materiales semipermeables.*- Cuando los materiales granulares consisten en una mezcla de arcillas y arenas, los espacios libres entre granos permiten la circulación de cierta (aunque reducida) cantidad de agua, ocasionando que la permeabilidad del material sea mayor que en las arcillas pero menor que en las arenas.

*Acuífero.*- Se denomina *acuífero* a un cuerpo de roca que se encuentra saturado y presenta una permeabilidad tal que permite la circulación de agua en cantidades económicamente significativas y que puede ser explotada a través de pozos. Existen diferentes acuíferos entre los cuales destacan los siguientes: *Acuífero libre*; es aquel en el que la superficie del nivel estático se encuentra a la presión atmosférica. *Acuífero confinado*; es aquel que se encuentra sujeto a una presión, generalmente ocasionada por el encajonamiento del agua entre dos cuerpos impermeables. *Acuífero colgado*, es aquel que circula sobre una capa impermeable localizada arriba del nivel estático de un acuífero regional. *Acuífero semiconfinado*; es aquel que se encuentra cubierto por un material semipermeable (figura 2.2).

*Acuitardo.*- Es una capa que retiene pero no evita el flujo del agua hacia un acuífero adyacente. El acuitardo no permite un paso rápido del flujo del agua pero puede servir como una zona de alta capacidad de almacenamiento. También se define como un material que acepta la entrada de agua pero que la cede lentamente

## **2.- FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS**

### **Ciclo hidrológico**

En la corteza terrestre el agua en su gran mayoría se encuentra formando parte del ciclo hidrológico.

El agua de lluvia que se precipita sobre los continentes tiene tres caminos a seguir: Evaporarse para formar las nubes; escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten sus aguas al mar e, infiltrarse en el subsuelo para formar

acuíferos. Esta agua infiltrada posteriormente es drenada por corrientes superficiales o aflora en forma de manantiales, para evaporarse o seguir su camino al mar donde también parte de ésta se evapora y continua en su ciclo natural conforme se ilustra en la figura No. 2.3. Las aguas que no se encuentran en movimiento dentro del ciclo hidrológico se caracterizan por incrementar su contenido salino y se conocen como aguas fósiles; la proporción de agua fósil respecto a agua dentro del ciclo hidrológico es sumamente baja.

El agua subterránea que forma los acuíferos proviene principalmente de la lluvia, donde parte de esta al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. El agua infiltrada, en ocasiones pasa por zonas cercanas a cámaras magmáticas donde incrementa su temperatura o puede permanecer atrapada entre sedimentos en forma de agua fósil.

### **Distribución del agua en el subsuelo**

La distribución del agua en el subsuelo se ilustra en la figura 2.4, donde se muestra el límite de la zona saturada que se denomina nivel estático. La porción que se encuentra bajo el nivel estático en la roca saturada se denomina acuífero. La zona no saturada que corresponde a la porción entre la superficie del terreno y el nivel estático recibe también el nombre de zona vadosa. Cuando los acuíferos corresponden a materiales granulares, en los pozos se produce un efecto de capilaridad que permite la ascensión del agua, dando origen a una zona denominada de aguas capilares.

### **Zonas de recarga**

Son las principales áreas donde se infiltra el agua de lluvia. Generalmente corresponden a porciones permeables ubicadas topográficamente altas, permiten la infiltración y circulación de agua hacia los acuíferos. Estas áreas son las principales zonas de recarga.

### **Zonas de descarga**

La salida o descarga natural del agua de los acuíferos, se realiza en forma natural a través de manantiales o del drenado por medio de ríos. Actualmente, la salida del agua de la mayor parte de los acuíferos, se realiza mediante la extracción por el bombeo de pozos.

## **Niveles estático, dinámico y freático**

En un acuífero libre, se define como *nivel estático* a la porción superficial del acuífero (figura 2.6). En contraste, se define como *nivel dinámico* al que se refleja en un pozo al encontrarse operando, razón por la que también se le denomina *nivel de bombeo*.

*Nivel piezométrico* generalmente se utiliza para los acuíferos confinados donde el nivel corresponde a la presión a que está sujeta el agua del acuífero.

Recibe el nombre de *nivel freático* el nivel que presentan los acuíferos someros, cuya agua en ocasiones se denomina también como aguas freáticas.

## **3.- PROPIEDADES DE LOS ACUÍFEROS**

### **Permeabilidad (K)**

Dentro de los conceptos fundamentales de las características de las rocas que forman acuíferos, se encuentra el concepto de *permeabilidad*, el cual es la propiedad de un medio poroso o fracturado para permitir el paso de un fluido. Se define como el flujo de agua por unidad de tiempo que cruza una sección unitaria bajo un gradiente también unitario. Se expresa en metros por segundo. Si el fluido es agua, a la permeabilidad se le conoce también como *conductividad hidráulica*.

En la tabla No. 2.1 se muestran valores de permeabilidad para diferentes materiales, las arcillas tienen una permeabilidad del orden entre  $10^{-7}$  y  $10^{-9}$  m/seg; los materiales granulares  $1 \times 10^{-5}$  m/seg y; los basaltos  $5 \times 10^{-2}$  m/seg.

Porosidad  $n = V_h/V_t$   
 $V_h =$  Volumen de huecos  
 $V_t =$  Volumen total

Porosidad efectiva ( $S_y$ ) = rendimiento

$S_y = V_d/V_t$   
 $V_d$  Volumen drenado  
 $V_t$  Volumen total

---

Coefficiente de almacenamiento

$S =$  Coeficiente de almacenamiento

$S_s =$  Coeficiente específico =  $\frac{S_s}{b}$

$b =$  Espesor del acuífero

Acuífero libre 2 – 30%

Acuífero confinado 0.001 – 0.00001

---

(K) Permeabilidad = Conductividad hidráulica

Flujo en una sección unitaria

(T) Transmisibilidad

= Flujo sobre una franja de longitud =  $b$

$b =$  Espesor del acuífero

### Transmisibilidad (T)

La *transmisibilidad* es otra forma de expresar la facilidad con que puede circular el agua en un acuífero. Se define como la cantidad de agua que puede fluir a través de una sección unitaria bajo un gradiente unitario y un tiempo instantáneo. En la figura No. 2.5 se muestra la diferencia entre la transmisibilidad y la permeabilidad, siendo la transmisibilidad la descarga que ocurre a través de un segmento unitario respecto a la anchura pero una altura ( $b$ ) que equivale al espesor del acuífero, mientras que la permeabilidad corresponde a una descarga que ocurre a través de una sección unitaria y, para ambos casos, bajo un gradiente hidráulico unitario.

### *Coefficiente de almacenamiento (S)*

Es el volumen de agua que puede contener o almacenar una roca permeable dentro de los huecos que presenta.

### *Rendimiento específico (Sy)*

Es el volumen drenado entre el volumen total (material + agua) en acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento varía por lo general del 2 al 30% (0.02 a 0.30) mientras que en acuíferos confinados va de 0.001 a 0.00001.

## **4. ACUITARDOS**

### **Funcionamiento**

En contraste con el funcionamiento de los acuíferos tratados en el inciso 2.2, en el presente inciso se mencionan las características de los acuitardos.

Un *acuitardo* corresponde a una roca o material de baja permeabilidad que retarda pero no previene el flujo del agua de o hacia el acuífero adyacente. Las arcillas lacustres en muchos casos constituyen acuitardos.

### **Recarga y descarga de los acuitardos**

La recarga de los acuitardos se genera por la infiltración de las aguas de lluvia o bien de las aguas que circulan a través de arroyos y canales, en forma similar a la recarga de los acuíferos pero con la diferencia de que la recarga de un acuitardo es muy lenta.

Su descarga se lleva a cabo también en forma muy lenta, generalmente como “lloraderos” que llegan a formar manantiales incipientes.

### **Permeabilidad de los acuitardos**

La permeabilidad de los acuitardos y en especial de las arcillas que se encuentra cubriendo la parte plana del Valle de México, presentan valores de entre  $10^{-7}$  y  $10^{-9}$  m/seg.

## **Nivel freático**

El nivel de saturación en las arcillas que forman el acuitardo de la Ciudad de México se encuentra muy cerca de la superficie, por lo general a profundidades del orden de 3 metros. A este nivel somero se le denomina nivel *freático*.

## **Asentamientos del terreno**

Las arcillas que se encuentran cubriendo la parte plana del Valle de México corresponden a sedimentos de los antiguos lagos. Tienen un espesor que fluctúa entre 40 y 60 metros en la mayor parte del valle, el cual se acuña hacia las elevaciones topográficas. En las partes centrales de las zonas de Texcoco y Tlahuac-Chalco, las arcillas se encuentran intercaladas y/o mezcladas con horizontes de arenas, y llegan a presentar espesores de más de 100 metros. Las arcillas están saturadas y presentan un nivel freático a entre 2.5 y 3.5 metros de profundidad. Bajo ellas, se encuentra un acuífero que actualmente, funciona como libre, teniendo el nivel estático a cierta profundidad bajo el acuitardo, lo que provoca que éste último presente un “goteo” o drenado vertical hacia el acuífero. La pérdida de agua del acuitardo ocasiona una pérdida de su volumen, que se traduce en el asentamiento del terreno que es típico en la Ciudad de México.

Las arcillas tienen una compresibilidad que va de 0.11 a 6 centímetros cuadrados por kilogramo, una relación de vacíos que varía de 2 a 15 y; una permeabilidad entre  $1 \times 10^{-9}$  m/seg.

## **5.- CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NATURALES**

El agua de lluvia que se infiltra al subsuelo circula a través de las rocas disolviendo las sales y minerales que las forman, produciendo cambios en su composición química. Por lo tanto, la composición química del agua subterránea dependerá del tipo y grado de solubilidad de las rocas y sales naturales con las que el agua tiene contacto al circular por el subsuelo.

### **Composición química del agua de lluvia**

El agua de lluvia al precipitarse sobre la corteza terrestre arrastra materiales finos que se encuentran suspendidos en la atmósfera y que en muchos casos son transportados por el

viento. La composición química general del agua de lluvia según Garrels y Mackenzie (1971), es la siguiente:

Na	1.98 ppm	Ca	0.09 ppm	HCO <sub>3</sub>	0.12 ppm
K	0.30 ppm	Cl	3.79 ppm		
Mg	0.27 ppm	SO <sub>4</sub>	0.58 ppm		

La contaminación de la atmósfera produce modificación en la composición química de las aguas de lluvia, generalmente ocasionando la presencia de lo que se denomina como “lluvia ácida”. Sin embargo, la concentración total de sales en un agua de lluvia se caracteriza por presentar valores bajos, generalmente menores de 40 miligramos por litro.

### **Calidad del agua en acuíferos basálticos**

Los basaltos son rocas fracturadas constituidas por minerales ferromagnesianos. Presentan bajo grado de solubilidad, la alta permeabilidad de las rocas disminuye la capacidad de disolución de sales por el agua.

Por lo tanto, el agua de lluvia que se infiltra y circula por rocas basálticas se va a caracterizar por presentar bajos contenidos salinos, principalmente de bicarbonatos y sodio (del agua de lluvia), y en algunos casos magnesio, fierro y manganeso (de los minerales ferro-magnesianos).

Durante las erupciones volcánicas son comunes las emisiones de gases que contienen sales, las cuales se acumulan por lo general alrededor de los cráteres o centros eruptivos. Ocasionalmente éstas sales pueden ser transportadas y depositadas a lo largo de fallas y fracturas, por medio de soluciones hidrotermales. Por ello, ocasionalmente el agua de los acuíferos basálticos llega a tener contacto con dichos horizontes salinos e incrementa notablemente su concentración, como es el caso de los flancos de la Sierra de Santa Catarina y algunas porciones del pie de la Sierra del Chichinautzin

### **Origen de acuíferos con agua salada.**

Otro origen de sales en el subsuelo se puede encontrar en la circulación de flujos de agua regional. Es común que estos flujos, después de circular grandes distancias y a gran profundidad, tengan contacto con sales las cuales son disueltas por el agua. Pueden

existir también focos termales que ocasiona el incremento de temperatura en el agua, lo que a su vez facilita la disolución de sales. El agua de flujos regionales puede circular y en muchas ocasiones llegar a ascender hasta la superficie o cerca de ella, a través de fallas o fracturas. El agua con altos contenidos salinos se llega a manifestar en varias formas: (1) la presencia de manantiales, en ocasiones termales, con agua salada; (2) el depósito de sales a lo largo de fracturas con mecanismos semejantes a los que en minería son comunes y se conocen como depósitos hidrotermales y; (3) la acumulación o entrapamiento de agua salada en ciertos horizontes.

Durante la perforación de un pozo, se puede llegar a atravesar una falla o un horizonte donde se encuentre atrapada el agua salina o las sales que se pueden incorporar al acuífero a través del pozo.

Las aguas naturales generalmente tienen un largo tiempo de estancia en el subsuelo. Las aguas saladas naturales, se caracterizan por la ausencia de organismos.

## **6.- VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN (RIESGO GEHIDROLÓGICO)**

### **Riesgo**

El riesgo de que un acuífero pueda ser contaminado está en función tanto de las características propias del acuífero como de los materiales que se encuentren a su alrededor y que en determinados casos puedan servir de protección al acuífero o de permitir en mayor o menor grado su contaminación.

Por definición, el riesgo es la probabilidad de que se presente un efecto indeseable y obtiene como producto de la probabilidad del riesgo por la frecuencia.

El manejo del riesgo es la decisión de las acciones que deben de tomarse ante una contingencia.

El riesgo ambiental es la probabilidad de efectos adversos sobre humanos y otros seres vivos como resultado de agentes químicos, físicos o biológicos que ocurren en el medio ambiente.



El análisis de riesgo a la salud es la determinación de la probabilidad de afectación y mortandad sobre el ser humano.

### **Vulnerabilidad.-**

La forma para medir el riesgo geohidrológico es lo que se conoce como vulnerabilidad de los acuíferos.

Cada lugar presenta diferentes características químicas y físicas que permiten en mayor o menor grado la contaminación de los acuíferos. Un método para calcular la vulnerabilidad es el denominado DRASTIC, publicado por la EPA (Environmental Protection Agency). Este método toma en cuenta los factores siguientes:

- Profundidad al nivel estático
- Recarga neta
- Tipo de roca
- Tipo de suelo
- Pendiente del terreno
- Zona vadosa
- Permeabilidad

Su nombre esta formado por las siglas en ingles de los factores mencionados: **Depth, Recharge, Aquifer, Soil, Topography, Impact Conductivity.**

### **Profundidad al nivel estático**

La profundidad al nivel del agua es un factor importante en la vulnerabilidad de los acuíferos, debido a que está en relación con la distancia que el contaminante va a viajar antes de alcanzar al acuífero, dando oportunidad para que existan procesos como la oxidación, adsorción y en general la atenuación del contaminante. Por otra parte, las aguas que se encuentran a profundidad implican mayores tiempos de estancia en el subsuelo. Mientras mayor sea la profundidad al nivel estático, la vulnerabilidad será menor.

En la tabla 2.2 se muestran los valores con que el programa DRASTIC de la EPA clasifica la vulnerabilidad de los acuíferos. Cuando la profundidad al agua se encuentra a

entre 0 y 1.5 metros se le asigna un valor de 10 puntos, mientras que cuando el agua se encuentra a profundidades mayores de 30 metros, el valor con que se califica es de 1 punto. Además, la calificación asignada es multiplicada por el peso específico de cada factor, que se consigna en la misma tabla.

### **Cantidad de recarga (recarga neta)**

La recarga típica de los acuíferos es la precipitación pluvial, la cual se infiltra a través del subsuelo hasta el acuífero. La recarga neta consiste en la cantidad de agua que se infiltra por unidad de área. El agua que se infiltra transporta al contaminante. De acuerdo al volumen de agua existirá un parámetro de dispersión y dilución del contaminante. La cantidad de agua que se recarga es el principal vehículo para el transporte de contaminantes. Mientras mayores sean los volúmenes de recarga, mayor será el potencial de contaminación al subsuelo, lo cual se cumple hasta que la cantidad de recarga es tan grande que causa dilución del contaminante. En la tabla 2.3 se muestran valores para calcular la vulnerabilidad a partir de recargas netas de agua al subsuelo.

### **Tipo de roca**

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación está influenciada también por el tipo de materiales que constituyen el subsuelo. Materiales granulares pueden “filtrar” a los contaminantes presentes en el agua al existir procesos de adsorción, reacción o dispersión. En los acuíferos formados en rocas fracturadas prácticamente no se presenta la atenuación de contaminantes, por lo que estos son más vulnerables a la contaminación.

En la tabla 2.4 se presentan las calificaciones que el programa DRASTIC aplica a diferentes tipos de rocas, observándose que los basaltos son muy vulnerables, calificándose con el valor 9, en contraste con otros tipos como se indica en la tabla.

### **Tipo de suelo**

Incluye a la porción superficial del terreno donde generalmente existe una actividad biológica significativa. En esta clasificación, se considera al suelo como la porción superficial de terreno con una profundidad máxima de 2 metros. Los suelos tienen un impacto significativo en la cantidad de agua que se puede infiltrar en el subsuelo y por lo tanto en la habilidad para mover a un contaminante en forma vertical a través de la zona

vadosa. La presencia de materiales finos tales como arcillas, disminuyen la permeabilidad y restringen el movimiento de contaminantes. Por otra parte, existen procesos de filtración, biodegradación, adsorción y volatilización, que remueven partículas contaminantes.

Otra variables es el tipo de suelos, el cual puede variar de una grava a arena y arcilla. En la figura 2.5 se muestra una tabla con calificaciones de acuerdo al tipo de suelos.

### **Pendiente del terreno**

La topografía del terreno ayuda a controlar que el contaminante permanezca en un sitio (donde la pendiente tiende a ser horizontal) o sea arrastrada hacia otros sitios (donde la pendiente es fuerte). Este efecto se encuentra asociado con el grado de infiltración, siendo este menor en las zonas donde la pendiente del terreno es fuerte y mayor donde la pendiente es moderada o nula. En la tabla No. 2.6 se muestran los rangos de calificaciones de acuerdo a la pendiente del terreno.

### **Zona vadosa**

La zona vadosa o zona de aereación, es la que se encuentra entre la superficie del terreno y el nivel estático. En esta porción se producen procesos de biodegradación, neutralización, filtración, reacciones químicas, volatilización y dispersión. El grado de biodegradación y volatilización decrece con la profundidad. De acuerdo a la composición de los materiales que constituyen a la zona vadosa, esta presenta un rango de calificación de vulnerabilidad el cual se muestra en la tabla No. 2.7.

### **Permeabilidad**

La permeabilidad es la facilidad que presenta un medio para que circule el agua a través de él. En zonas donde la permeabilidad es alta, existirá mayor vulnerabilidad a la contaminación. Donde los materiales presentan transmisibilidades bajas, el factor de contaminación disminuye.

Para calcular este factor, inicialmente se mide la permeabilidad del material, ya sea mediante pruebas de bombeo o bien en forma general utilizando tablas como la del tipo de la mostrada en la figura No. 2.8. Posteriormente y conociendo el valor de

permeabilidad, se obtiene la calificación de la vulnerabilidad respecto a este parámetro, la cual se muestra en la tabla No. 2.9.

### **Cálculo de la vulnerabilidad de una zona**

Aplicando los valores de vulnerabilidad para cada uno de los factores mencionados, en los párrafos anteriores se obtiene un valor de vulnerabilidad para un sitio. Así por ejemplo, en una zona con rocas basálticas y una porción de medios granulares las calificaciones serían de 164 y 35 conforme se muestra en la tabla 2.9, siendo los basaltos de mayor vulnerabilidad que los materiales granulares.

Tabla 2.2.- Valores de vulnerabilidad  
De acuerdo a la profundidad al nivel estático

Rango en metros	Valor
0-1.5	10
1.5-4.5	9
4.5-9.0	7
9.0-15.2	5
15.2-23.0	3
23.0-30.0	2
30.0-0+	1
Peso específico: 5	

Tabla 2.3.- Recarga neta

Rango en mm	Valor
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
250-+	9
Peso específico: 4	

Tabla 2.4.- Tipo de roca

Tipo	Rango	Valor Típico
Lutita	1-3	2
Rocas ígneas y metamórficas	2-5	3
Rocas ígneas y metamórficas intemperizadas	3-5	4
Secuencias de capas de arenisca, caliza y lutita	4-6	5
Tilita	5-9	6
Arenisca	4-9	6
Caliza	4-9	6
Arena y grava	4-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza cástica	9-10	10
Peso específico: 3		

Tabla 2.5.- Tipo de suelo

Tipo	Valor
Capa delgada o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Carbón	8
Agregado de arcillas	7
Mezcla Arenosa	6
Mezcla	5
Mezcla limosa	4
Mezcla arcillosa	3
Abono	2
Arcilla	1
Peso específico: 2	

Tabla 2.6 Pendiente del terreno  
(ángulo de inclinación en %)

Rango %	Valor
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1
Peso específico: 1	

Tabla 2.7 Zona vadosa

Tipo	Rango	Valor típico
Capa confinante	1	1
Limo o arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-7	6
Arenisca		
Horizontes de caliza, arenisca y lutita	4-8	6
Arena y grava con alto contenido de limo y arcilla	4-8	6
Rocas ígneas y metamórficas	4-8	4
Arena y grava	6-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza carstica	8-10	10
Peso específico: 5		

Tabla 2.8.- Permeabilidad en varios tipos de roca  
Conductividad hidráulica  
(m/s)

Rango	Valor
$5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-5}$	1
$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-4}$	4
$3 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-4}$	6
$5 \times 10^{-4} - 9 \times 10^{-4}$	8
$9 \times 10^{-4} +$	10
Peso específico: 3	

Tabla 2.9.- Ejemplo del cálculo de vulnerabilidad

Factor	Sierra de basaltos	Valle de material granular Cubierto por arcillas
Nivel estático	5	5
Recarga neta	36	4
Tipo de roca	27	6
Tipo de suelo	20	2
Pendiente del terreno	1	10
Zona vadosa	45	5
Permeabilidad	30	3
Suma	164	35
Clasificación	altamente vulnerable	reducida vulnerabilidad

3.2.3 Aspectos geológicos

3.2.3.1 Dena estar a una distancia mínima de 60 m (sesenta metros) de una falla activa que incluya desplazamiento en un periodo de tiempo de un millón de años.

3.2.3.2 Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, es decir, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.

3.2.3.3 Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.

3.2.4 Aspectos hidrogeológicos

3.2.4.1 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración ( $f$ ) sea  $< 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

3.2.4.2 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales granulares, se debe garantizar que el factor de tránsito de la infiltración ( $f$ ) sea  $< 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

3.2.4.3 La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.

3.2.5 Consideraciones de selección

3.2.5.1 En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua superficial y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería.

4. Procedimientos

4.1 La selección de un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios.

4.2 Estudios geológicos

4.2.1 Se deben realizar estudios geológicos de tipo regional y local, de acuerdo con las siguientes características:

4.2.1.1 Estudio geológico regional

Determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos de agua, exploración geotécnica, petrolera o de otra índole.

4.2.1.2 Estudio geológico local

Determinar las unidades litológicas en el sitio, su geometría, distribución y presencia de fallas y fracturas. Asimismo, debe incluir estudios geofísicos para complementar la información sobre las unidades litológicas. El tipo de método a utilizar y el volumen de trabajo, debe garantizar el conocimiento tridimensional del comportamiento y distribución de los materiales en el subsuelo hasta una profundidad y distribución horizontal adecuada a las características geológicas e hidrogeológicas del área en que se ubica el sitio.

4.2.1.3 Si los resultados geológicos y geofísicos preliminares muestran que no existe conexión aparente entre las rocas fracturadas con acuíferos o que la distribución de unidades litológicas de baja permeabilidad es amplia, se debe realizar un mínimo de una perforación en la periferia del sitio.

4.3 Estudios hidrogeológicos

4.3.1 Los estudios hidrogeológicos deben considerar cinco etapas:

- 1) Evidencias y uso del agua subterránea.
- 2) Identificación del tipo de acuífero.
- 3) Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo.
- 4) Análisis del sistema de flujo.
- 5) Evaluación del potencial de contaminación.



#### 4.3.1.1 Evidencias y uso del agua subterránea

Definir la ubicación y distribución de todas las evidencias del agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, a escala regional y local. Asimismo, se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

#### 4.3.1.2 Identificación del tipo de acuífero

Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semi-confinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.

#### 4.3.1.3 Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo

Determinar la profundidad al nivel piezométrico en el sistema acuífero, dirección y velocidad del agua subterránea a partir de los parámetros de conductividad hidráulica, carga hidráulica y porosidad efectiva.

Conocer la composición química del agua subterránea.

Determinar la conductividad hidráulica (K), la fracción de carbono orgánico (FCO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes estratos del subsuelo de la zona no saturada.

#### 4.3.1.4 Análisis del sistema de flujo

Con base en la información geológica y de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3 de esta Norma Oficial Mexicana y de otros elementos hidrogeológicos, tales como zonas de freatofitas, zonas de recarga y descarga, etc., se debe definir el sistema de flujo local y regional del área de estudio.

#### 4.3.1.5 Evaluación del potencial de contaminación

Se debe integrar toda la información obtenida de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2, 4.3.1.3 y 4.3.1.4 de esta Norma Oficial Mexicana, para determinar si el sitio es apto o si requiere obras de ingeniería. Para ello se debe considerar la gráfica del Anexo 2.

Esta gráfica define la condición de tránsito de la infiltración aceptable que deben tener los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, su valor de frontera está definido por  $(f) \leq 3 \times 10^{-10} \text{seg}^{-1}$ , que representa el factor de tránsito de la infiltración, el cual relaciona a la velocidad promedio final de infiltración contra los diferentes espesores de los materiales de la zona no-saturada incluyendo la porosidad de ellos, según la siguiente fórmula:

$$f = (K \cdot i) / (U \cdot d)$$

Donde:

f = factor de tránsito de la infiltración, ( $\text{seg}^{-1}$ )

d = espesor de la zona no-saturada, (m).

U = porosidad promedio efectiva de los materiales de la zona no-saturada, (adimensional).

i = gradiente hidráulico, (adimensional).

K = conductividad hidráulica promedio de los materiales de la zona no-saturada, (m/s).

La velocidad promedio (v) se calcula a partir de la conductividad hidráulica saturada (K) de los materiales del subsuelo en la zona no-saturada, dividida por la porosidad promedio efectiva (U), considerando un gradiente hidráulico unitario (i), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$v = K/U.$$

El valor de (f) obtenido, para el caso de que se trate, debe graficarse para determinar su aptitud y viabilidad. Los sitios aptos son aquellos cuyo factor de tránsito de la infiltración es:

$$f \leq 3 \times 10^{-10} \text{seg}^{-1}$$

#### 4.3.1.6 Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes

Previo autorización de los gobiernos de los estados o, en su caso de los municipios, con arreglo a las disposiciones de la presente Norma Oficial Mexicana, se pueden elegir sitios de disposición final de residuos sólidos municipales que no reúnan alguna de las condiciones establecidas anteriormente, cuando se realicen

# ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN SITIOS SELECCIONADOS PARA LA INSTALACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MUNICIPALES

## TEMA DE ACUERDO A LA NOM-083-96

### **A Evidencia y uso del agua subterránea**

- Definir las ubicación y distribución de todas las evidencias de aguas subterráneas a escala regional y local
  - Volúmenes y extracción
  - Tendencias de la explotación
  - Planes de desarrollo
- 

### **B Identificación del tipo de acuífero**

- Identificar unidades hidrogeológicas
  - Extensión y geometría
  - Tipo de acuíferos
  - Relación entre unidades hidrogeológicas
- 

### **C Parámetros hidráulicos, análisis de agua y características elementales de los estratos del subsuelo**

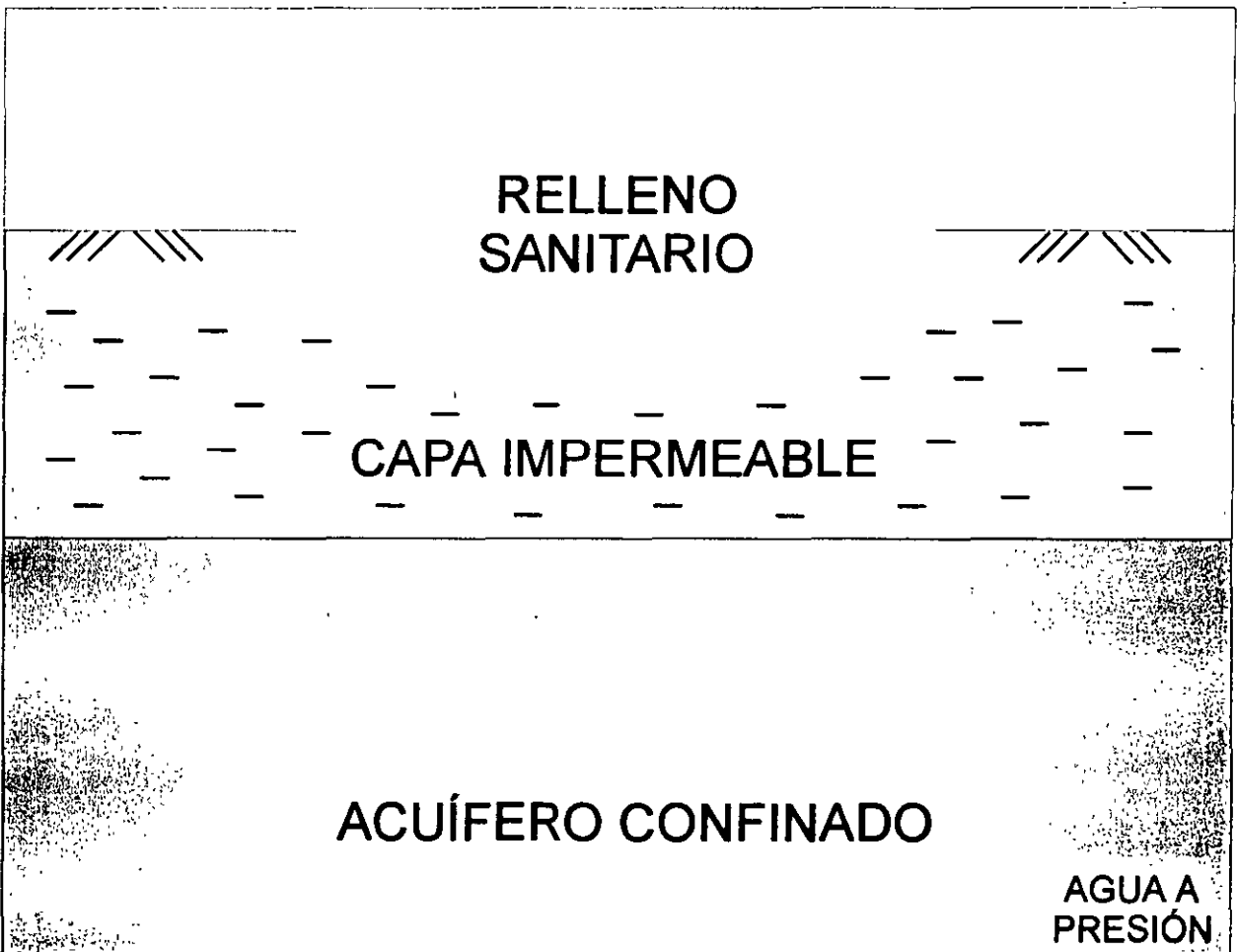
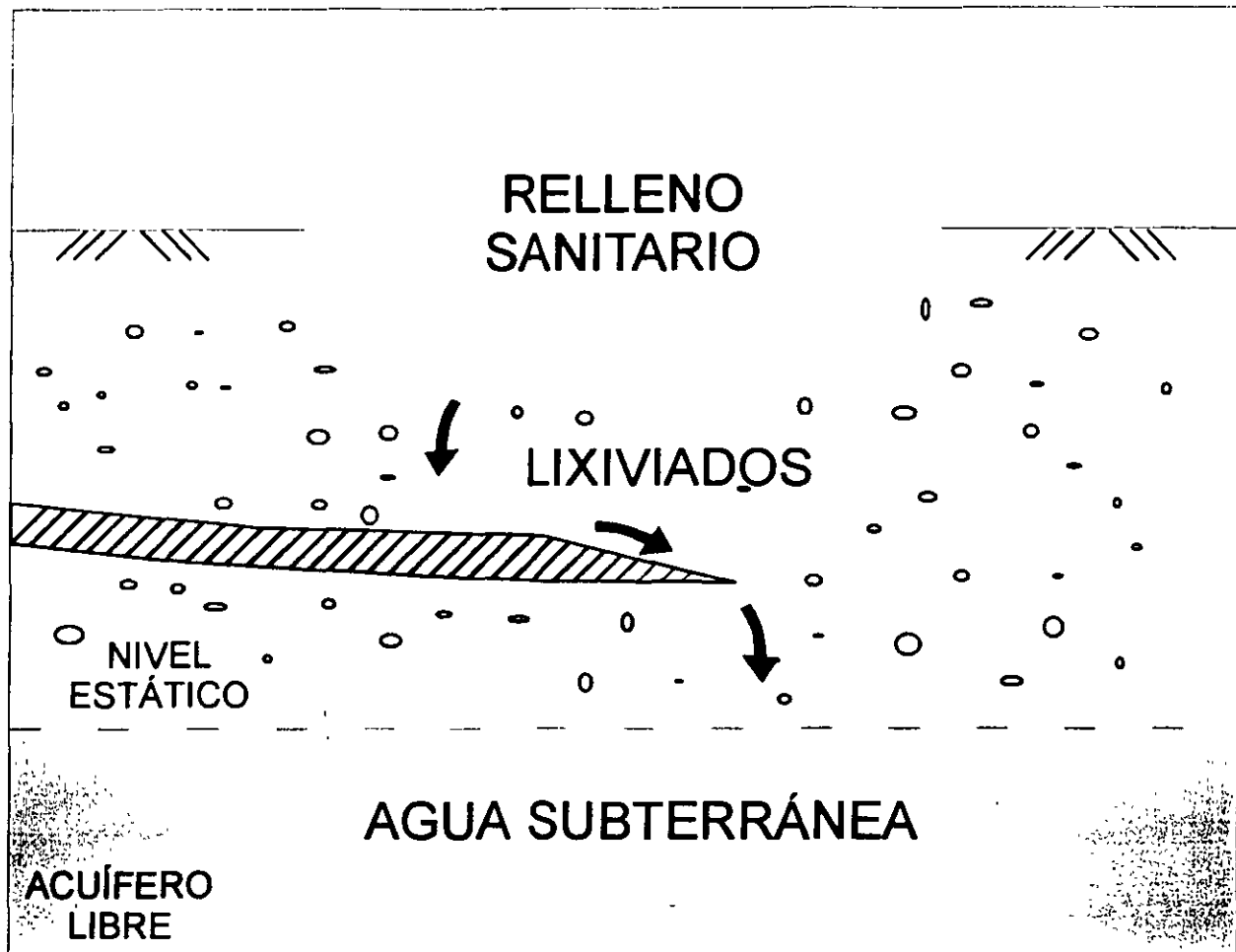
- Profundidad al nivel estático
  - Dirección del agua subterránea
  - Conductividad hidráulica
  - Porosidad efectiva
  - Composición química del agua subterránea
  - Fracción de carbono orgánico
  - Capacidad de intercambio catiónico
  - Extensión del área de influencia de pozos en operación
- 

### **D Análisis del sistema de flujo**

- Zonas de recarga y descarga
  - Flujo local y regional
- 

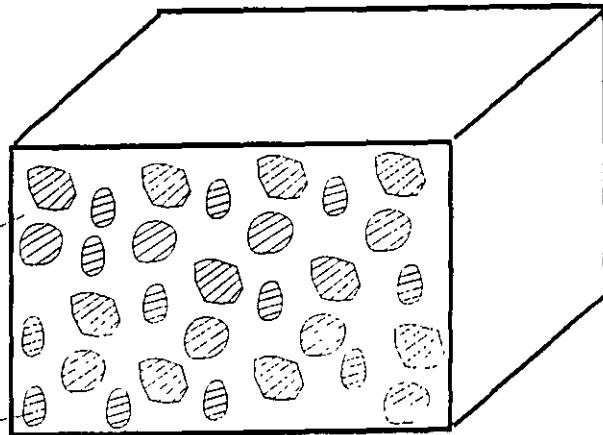
### **E Evaluación potencial de contaminación**

- Determinar si el sitio es apto
- Factor de tránsito de la infiltración



ESPACIOS POROSOS  
50% DEL VOLUMEN  
TOTAL

GRANOS DE ARCILLA  
50% DEL VOLUMEN  
TOTAL



ESPACIOS POR  
DONDE PUEDE  
CIRCULAR EL AGUA  
EN EL ACUIFERO

AGUA PELICULAR  
ADHERIDA POR  
RETENCIÓN  
MOLECULAR

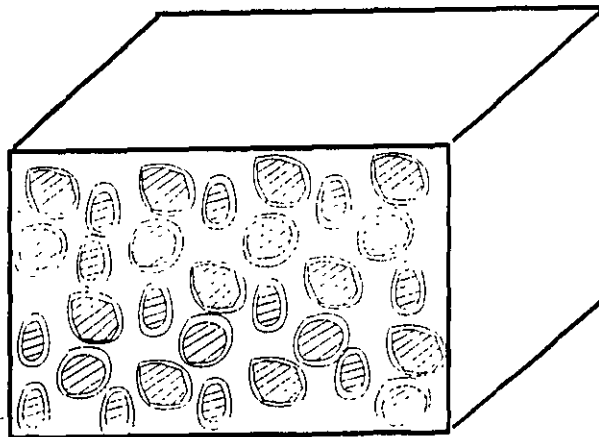
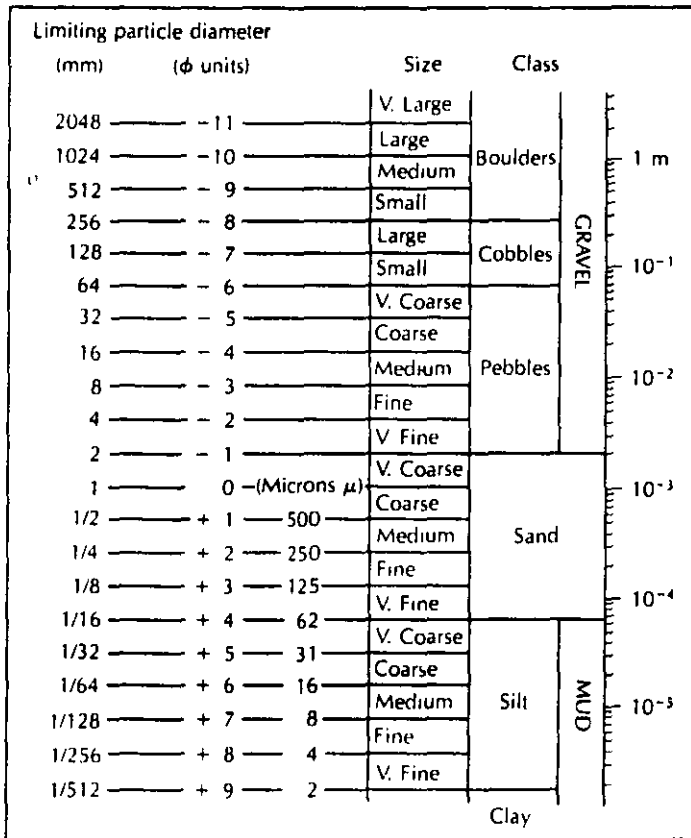


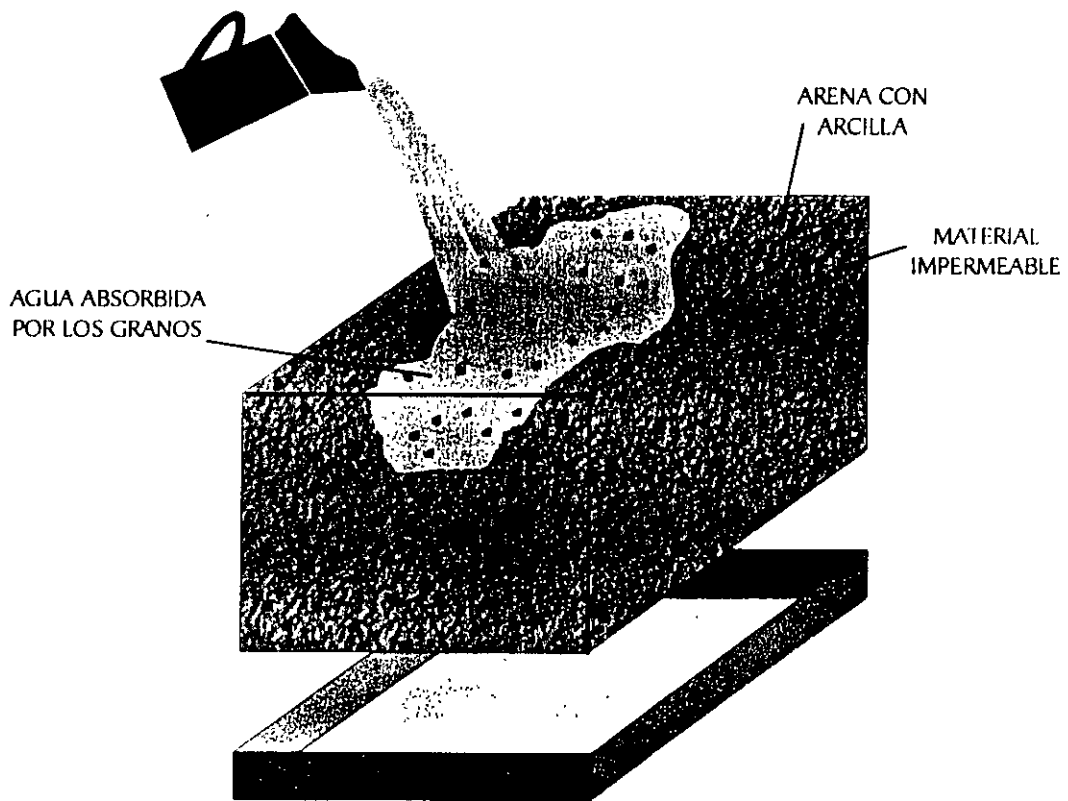
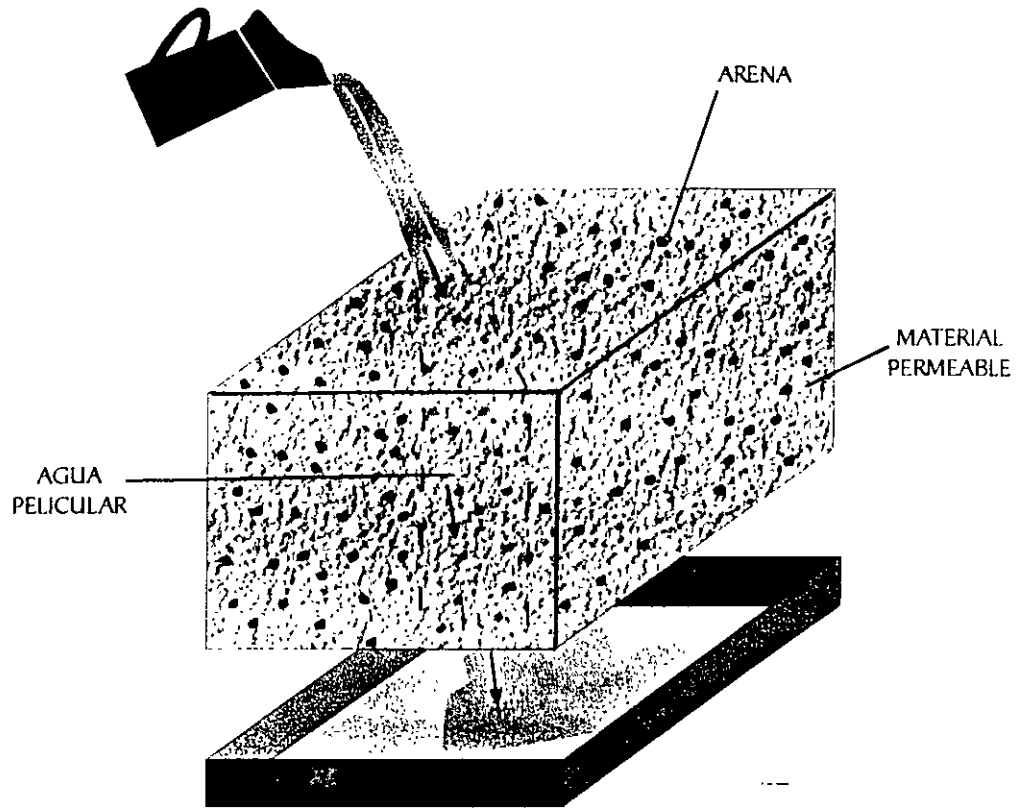
FIGURA 2.1.- RETENCIÓN DE AGUA PELICULAR

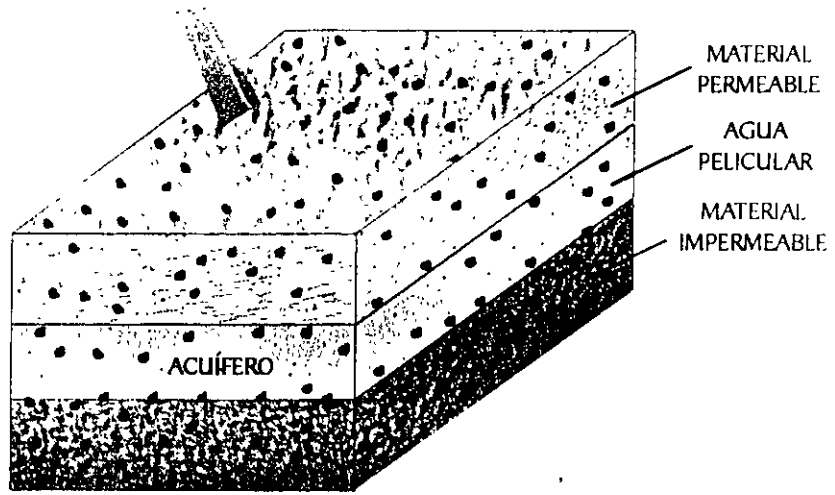
**ARCILLA** < 1/256 mm  
**LIMO** 1/256-1/16 mm  
**ARENA** 1/16-2 mm  
**GRAVA** > 2 mm  
**CANTOS RODADOS Y BLOQUES**

POROSITY OF EARTH MATERIALS



**FIGURE** Standard sizes of sediments with limiting particle diameters and the  $\phi$  scale of sediment size, in which  $\phi$  is equal to  $\log_2 s$  (the particle diameter). Source: G. M. Friedman and J. E. Sanders, *Principles of Sedimentology* (New York: John Wiley & Sons, 1978). Used with permission.





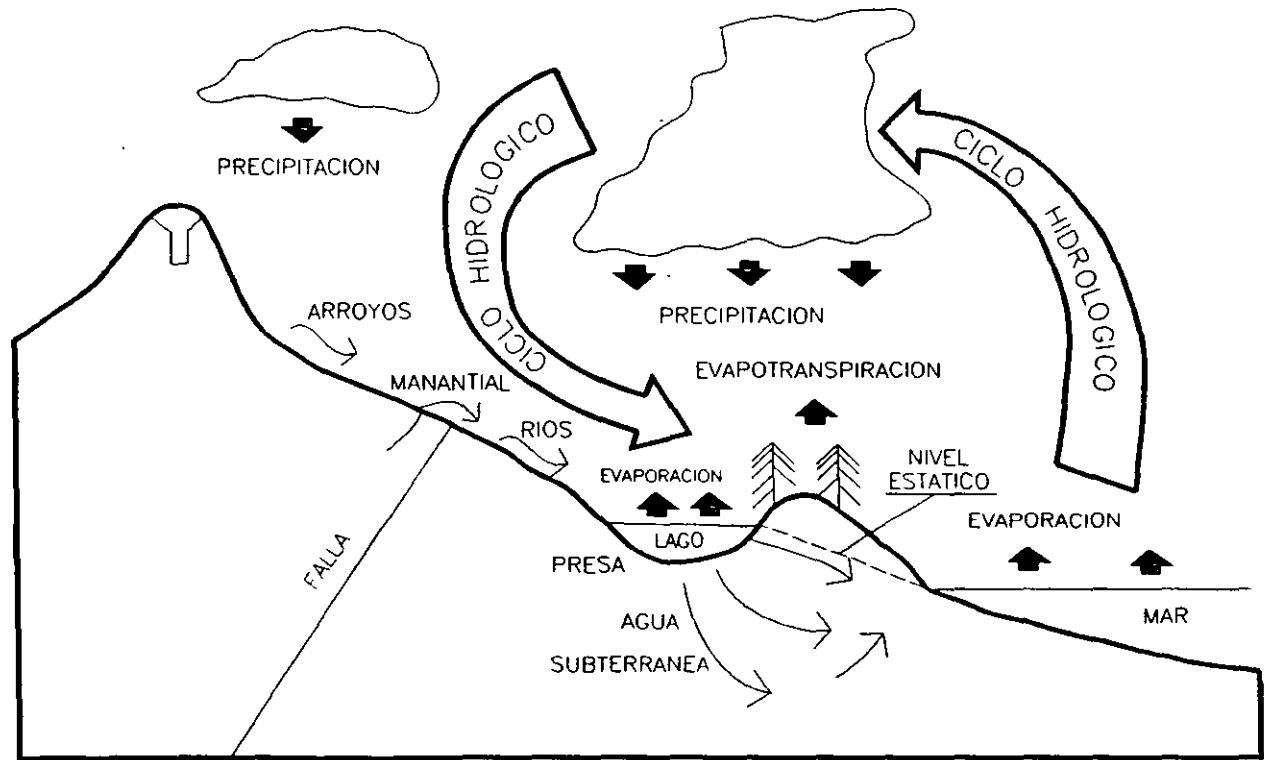
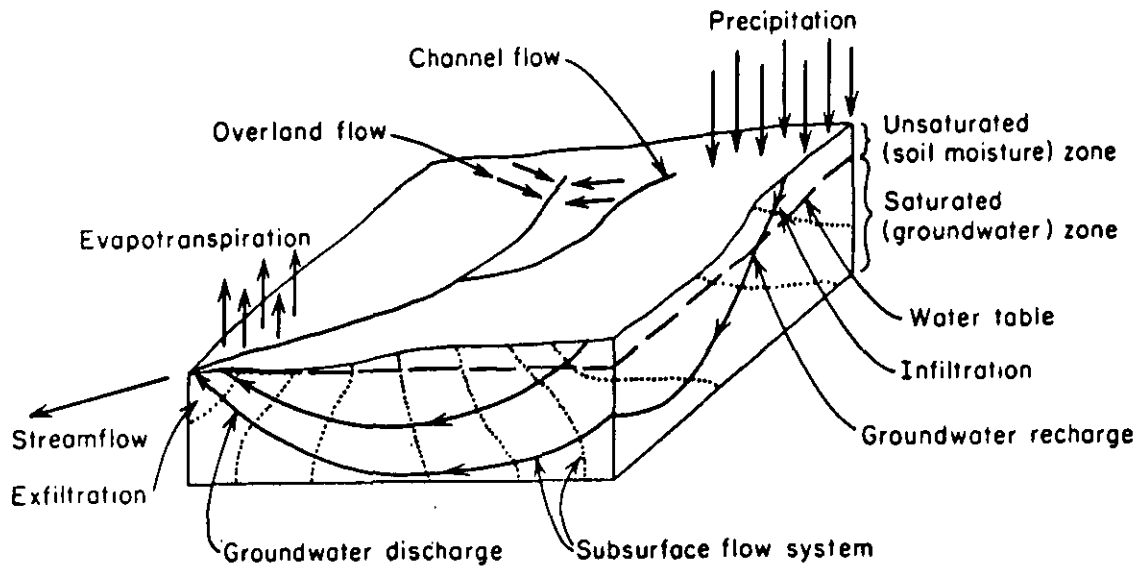
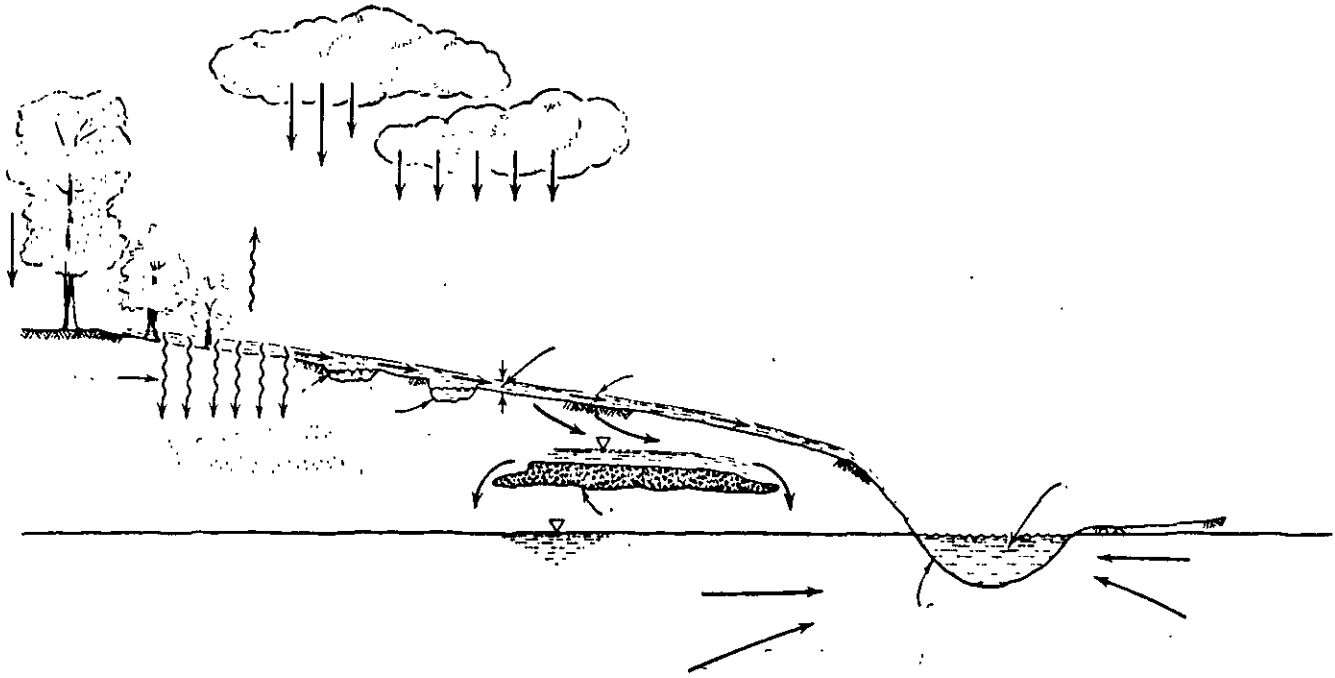


FIGURA 2.3  
CICLO HIDROLOGICO



# CICLO HIDROLOGICO



..... Equipotential lines

← Flowlines

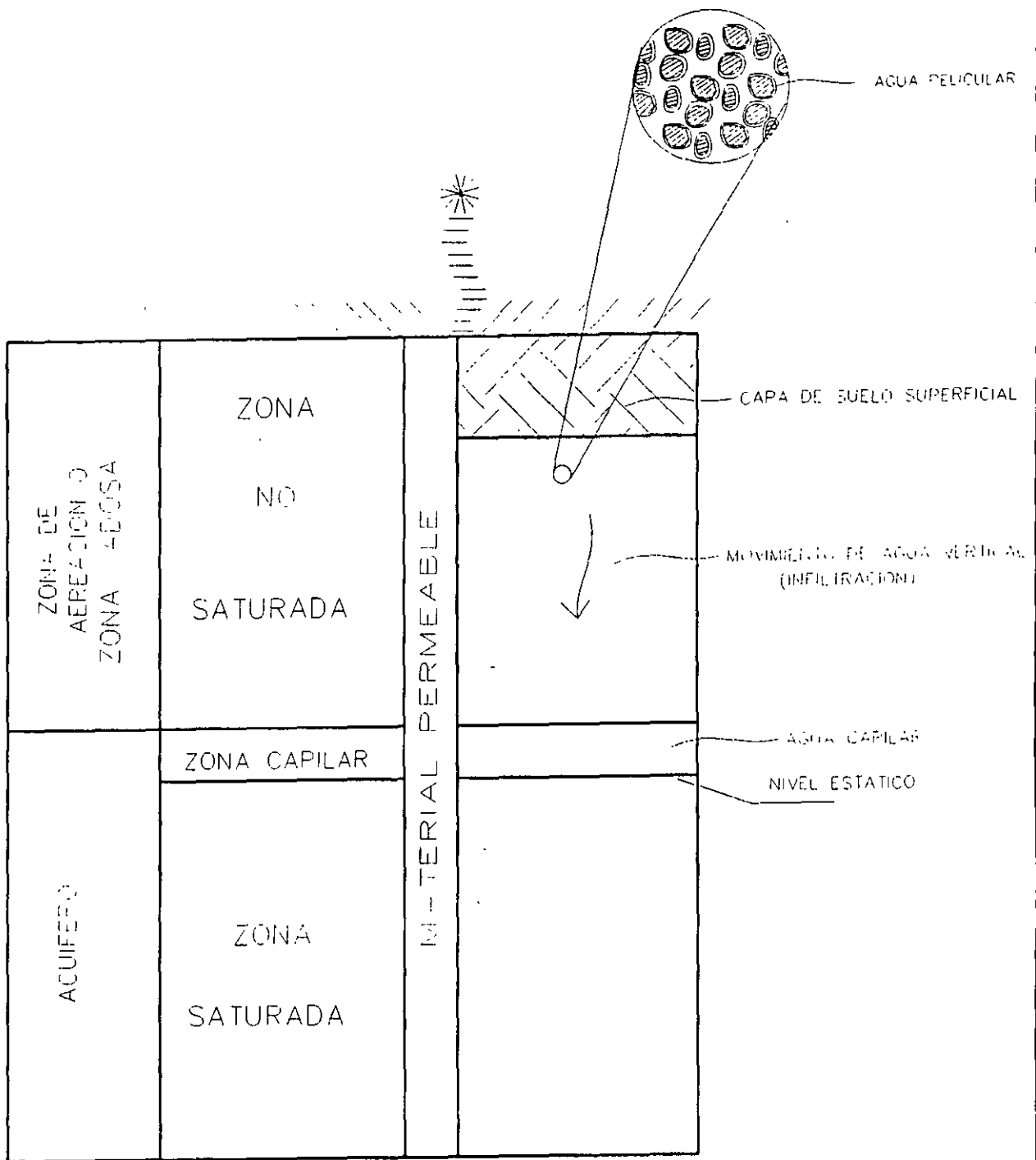
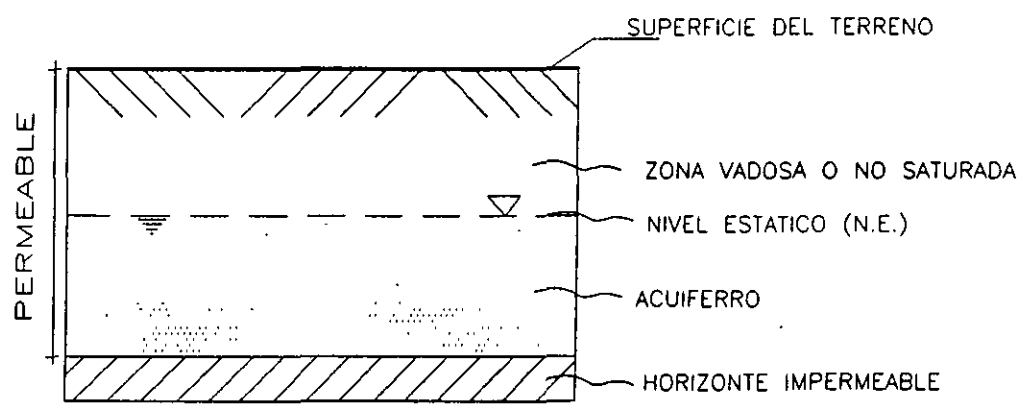
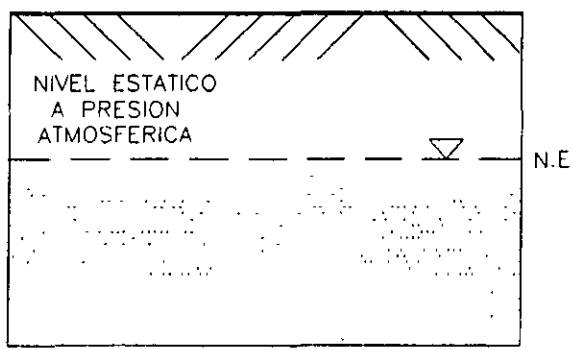


FIGURA 2.4 DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO

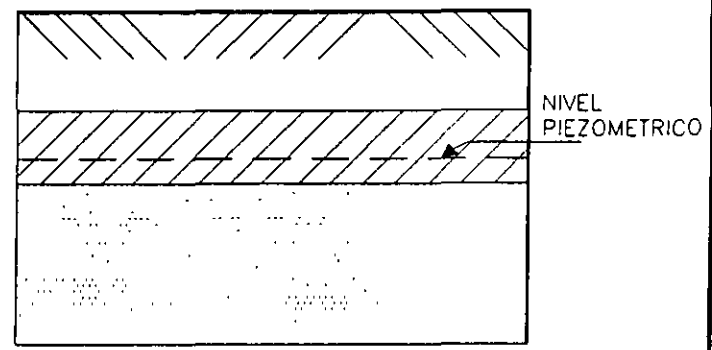
FIGURA 2.2 TIPOS DE ACUIFEROS



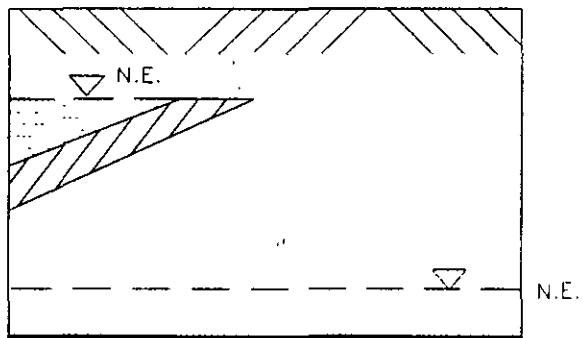
ACUIFERO LIBRE



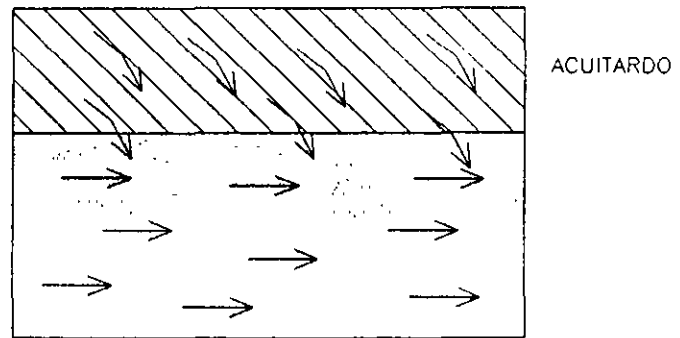
ACUIFERO CONFINADO



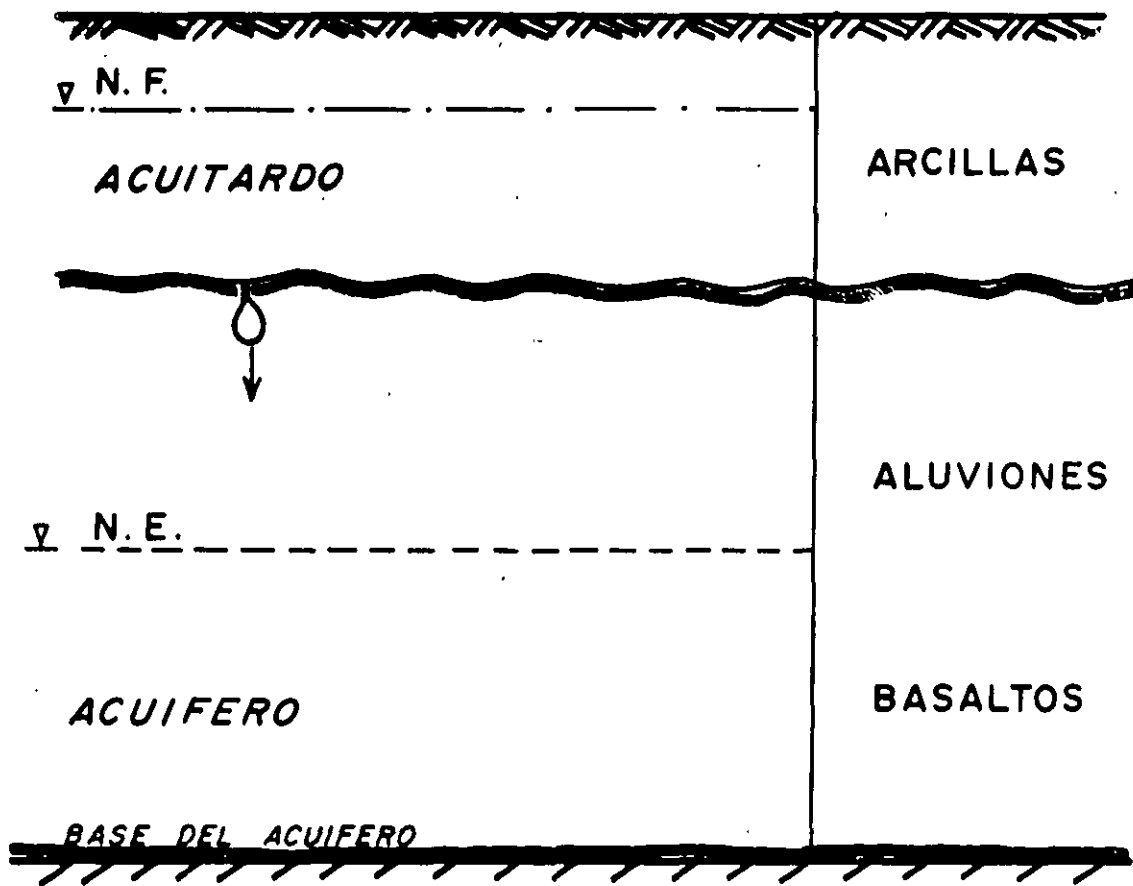
ACUIFERO COLGADO

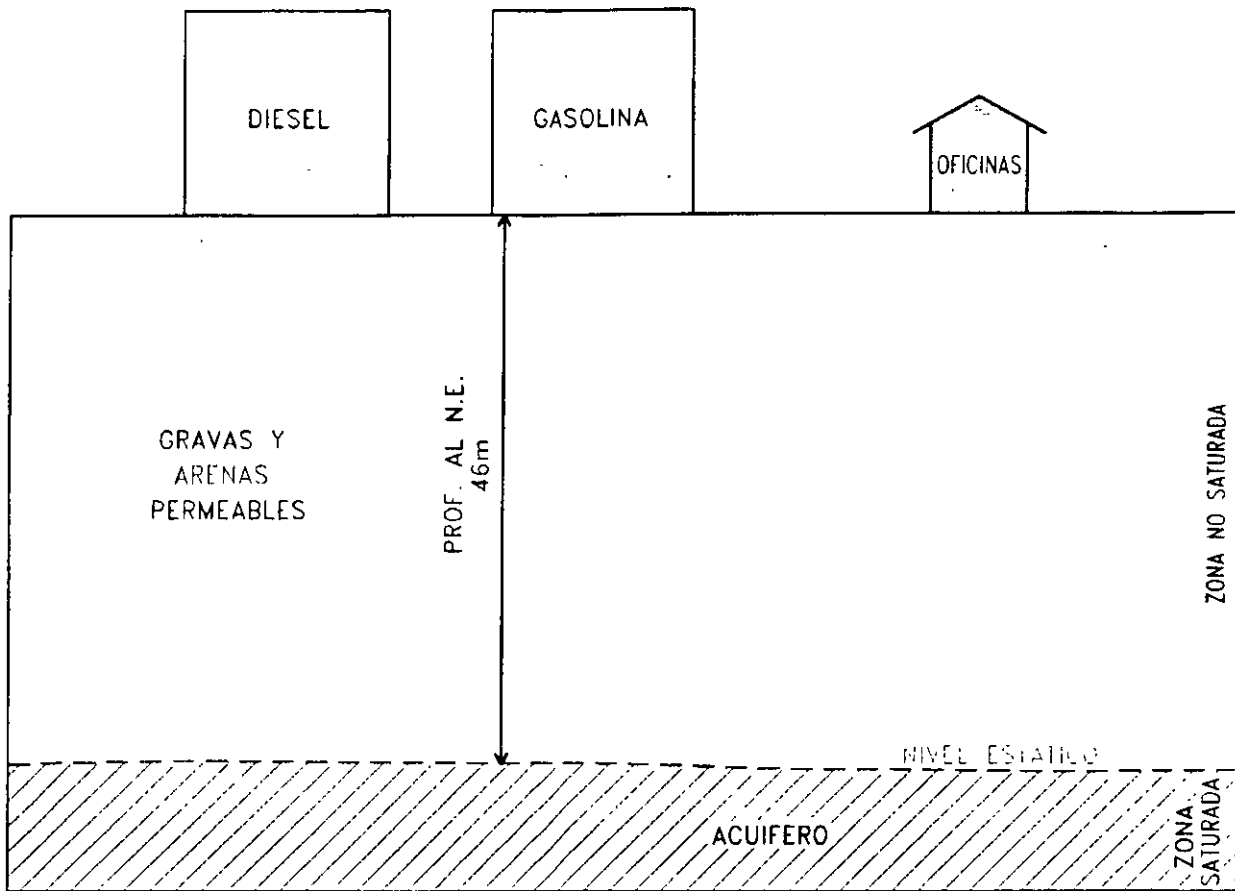


ACUIFERO SEMICONFINADO

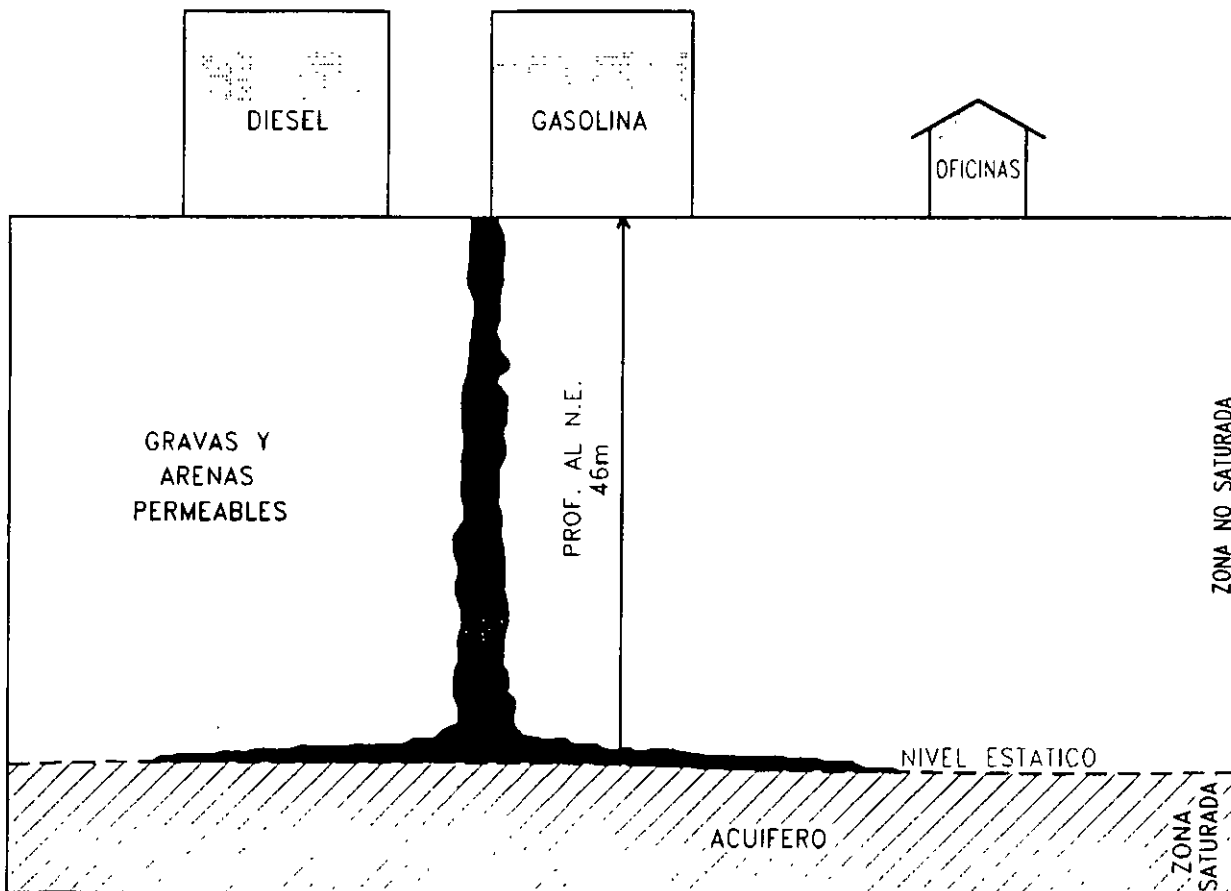


# CLASIFICACION GEOHIDROLOGICA DEL SUBSUELO DEL D.F.

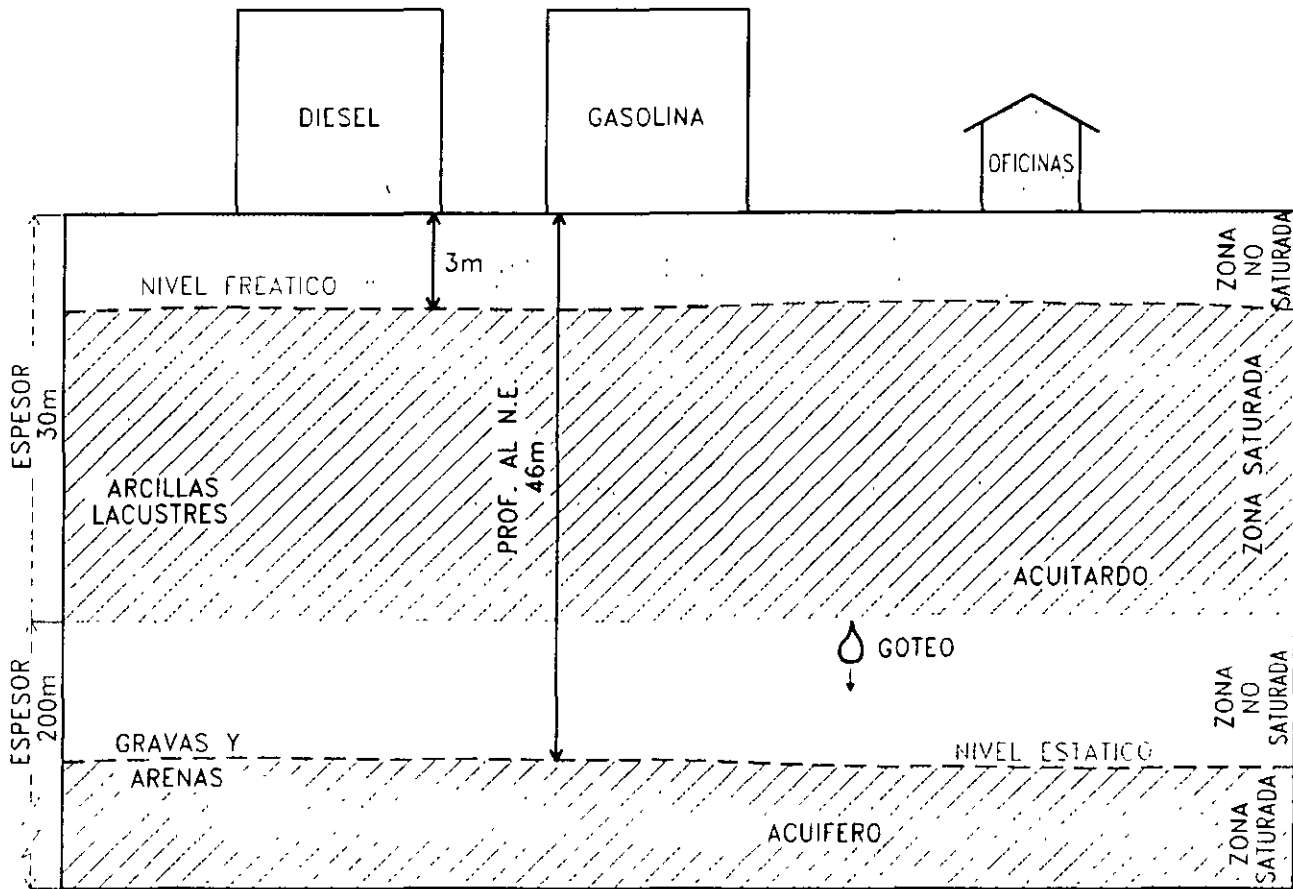




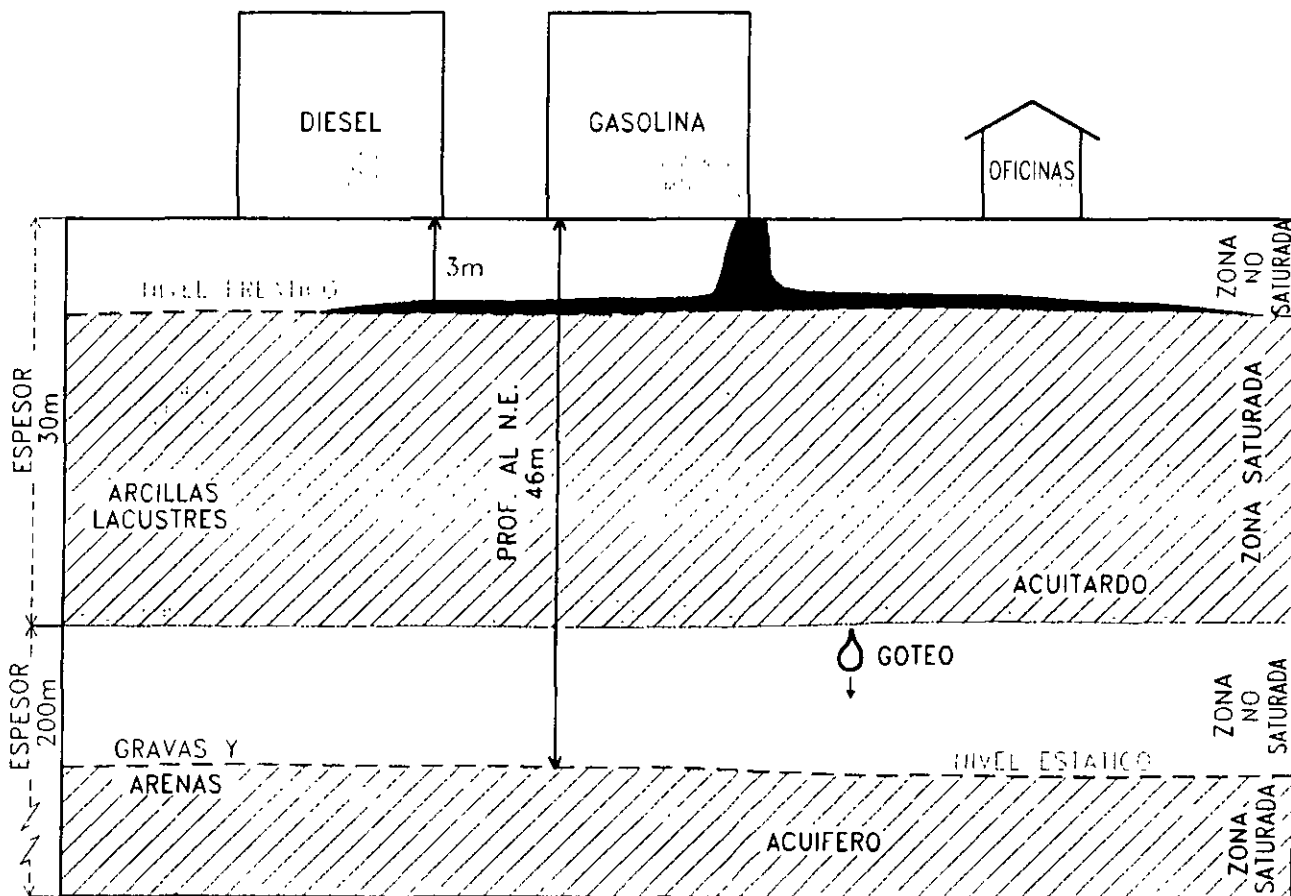
CROQUIS SIN ESCALA



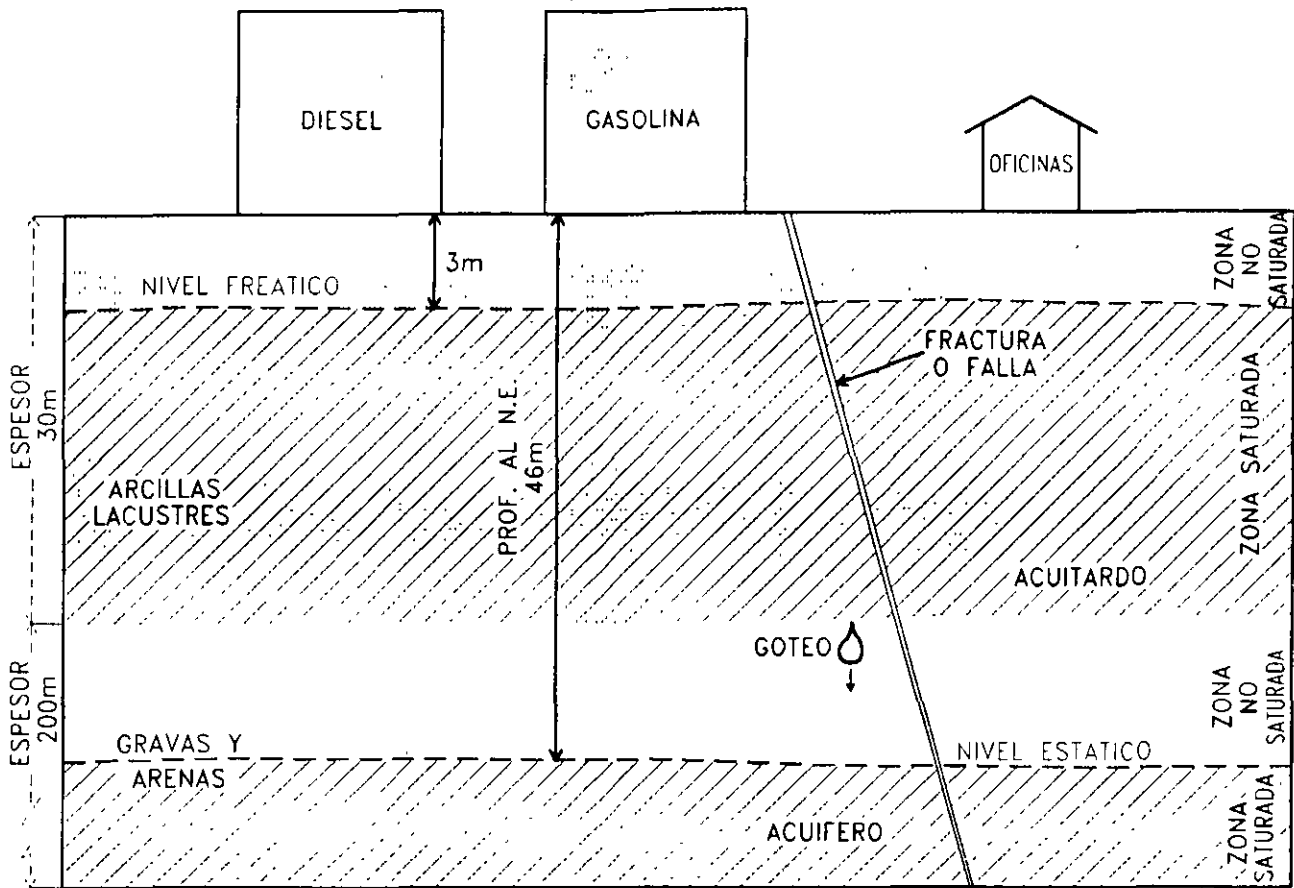
CROQUIS SIN ESCALA



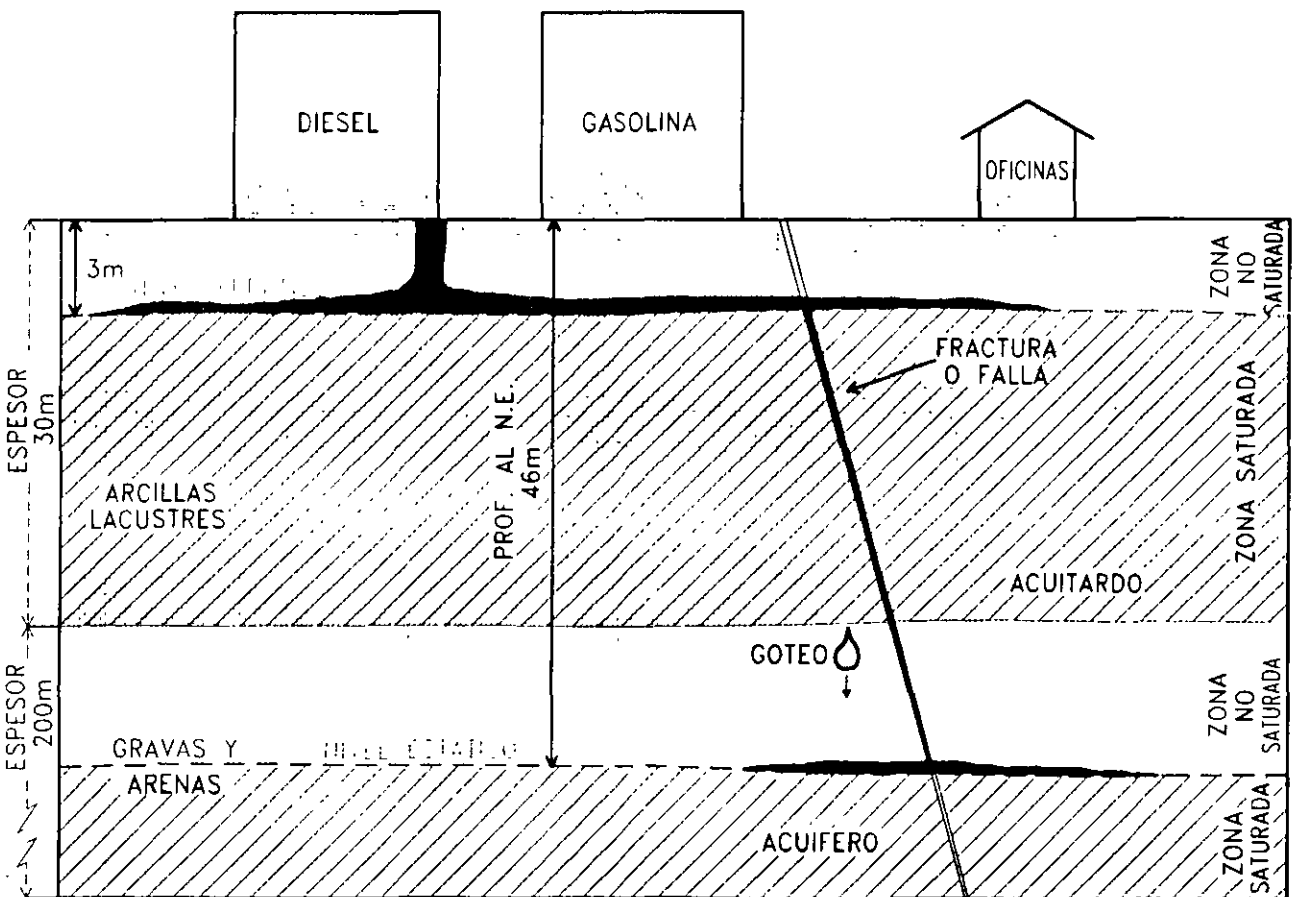
CROQUIS SIN ESCALA



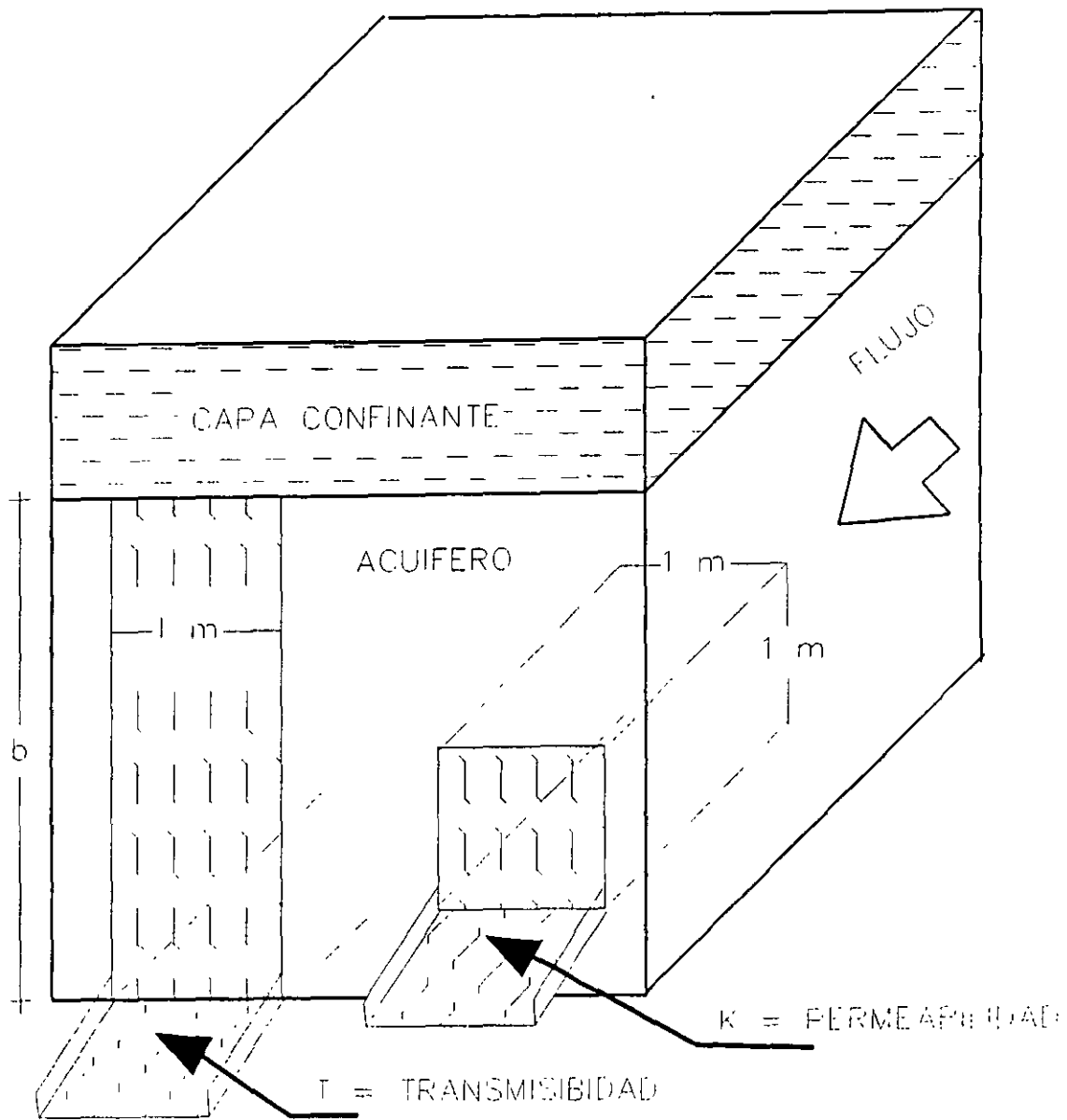
CROQUIS SIN ESCALA



CROQUIS SIN ESCALA



CROQUIS SIN ESCALA



$b$  = ESPESOR DEL ACUIFERO

FIGURA 2 5  
TRANSMISIVIDAD Y PERMEABILIDAD



Table Range of Values of Hydraulic Conductivity and Permeability

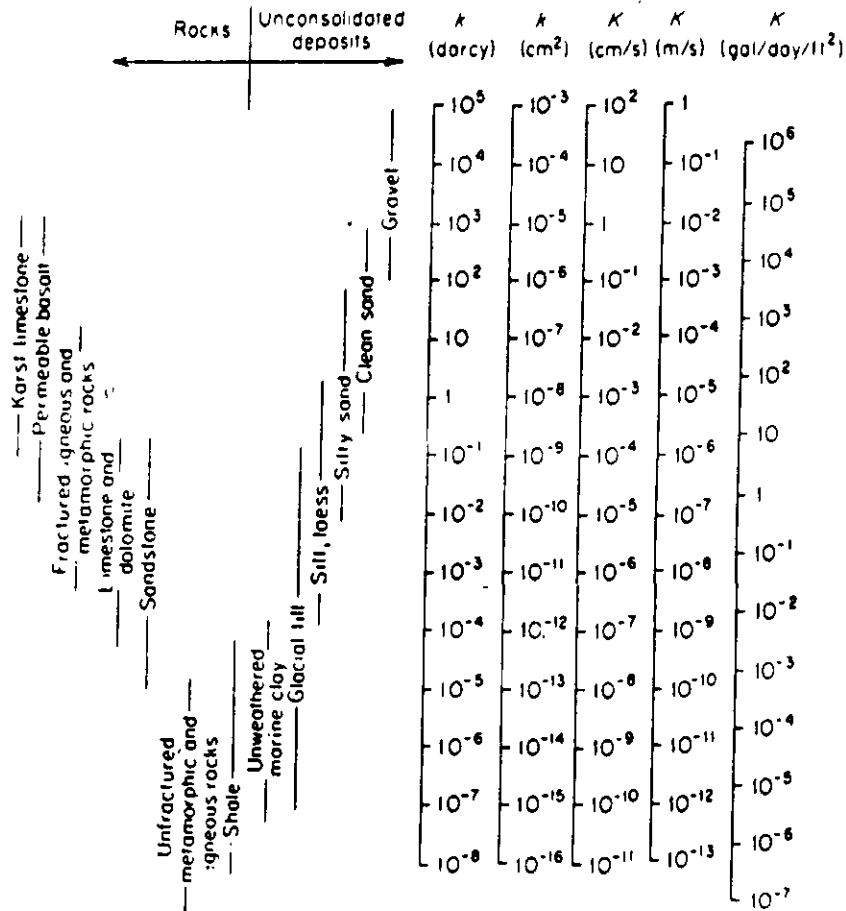


Table Conversion Factors for Permeability and Hydraulic Conductivity Units

	cm <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	darcy	m/s	ft/s	U.S. gal/day/ft <sup>2</sup>
cm <sup>2</sup>	1	1.08 × 10 <sup>-2</sup>	1.01 × 10 <sup>8</sup>	9.80 × 10 <sup>-2</sup>	3.22 × 10 <sup>3</sup>	1.85 × 10 <sup>6</sup>
ft <sup>2</sup>	9.29 × 10 <sup>2</sup>	1	9.42 × 10 <sup>10</sup>	9.11 × 10 <sup>3</sup>	2.99 × 10 <sup>6</sup>	1.71 × 10 <sup>12</sup>
darcy	9.87 × 10 <sup>-9</sup>	1.06 × 10 <sup>-11</sup>	1	9.66 × 10 <sup>-6</sup>	3.17 × 10 <sup>-3</sup>	1.82 × 10 <sup>1</sup>
m/s	1.02 × 10 <sup>-2</sup>	1.10 × 10 <sup>-6</sup>	1.04 × 10 <sup>3</sup>	1	3.28	2.12 × 10 <sup>6</sup>
ft/s	3.11 × 10 <sup>-4</sup>	3.35 × 10 <sup>-7</sup>	3.15 × 10 <sup>6</sup>	3.05 × 10 <sup>-1</sup>	1	6.46 × 10 <sup>3</sup>
U.S. gal/day/ft <sup>2</sup>	5.42 × 10 <sup>-10</sup>	5.83 × 10 <sup>-13</sup>	5.49 × 10 <sup>-2</sup>	4.72 × 10 <sup>-7</sup>	1.55 × 10 <sup>-6</sup>	1

De: Freeze and Cherry, 1979.

$$f = (k i) / (u * d)$$

f = factor de tránsito

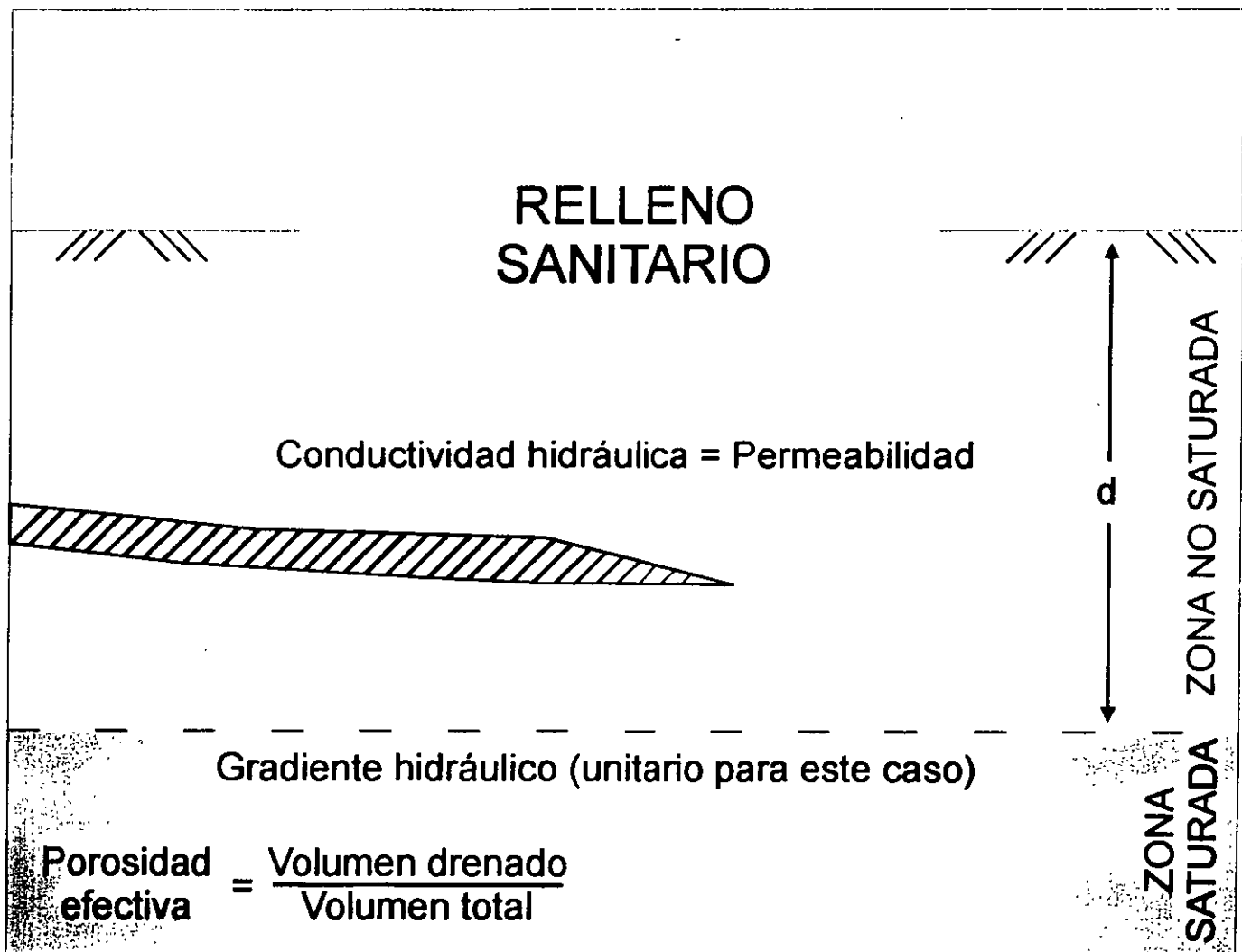
k = conductividad hidráulica

i = gradiente hidráulico

u = porosidad efectiva

d = espesor de la zona no saturada

$$f \leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$$



## EJEMPLO 1 ARENAS

$$k = 10^{-4} \text{ m/seg}$$

$$i = 1$$

$$u = 0.10$$

$$d = 20 \text{ m}$$

$$f = \frac{1 \times 10^{-4} \text{ m/seg}}{2 \text{ m}}$$

$$f = 0.5 \times 10^{-4} / \text{seg}$$

## EJEMPLO 2 ARCILLAS

$$k = 10^{-10} \text{ m/seg}$$

$$i = 1$$

$$u = 0.3$$

$$d = 20 \text{ m}$$

$$f = \frac{10^{-10} \text{ m/seg}}{\text{m}} = 0.16 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$$

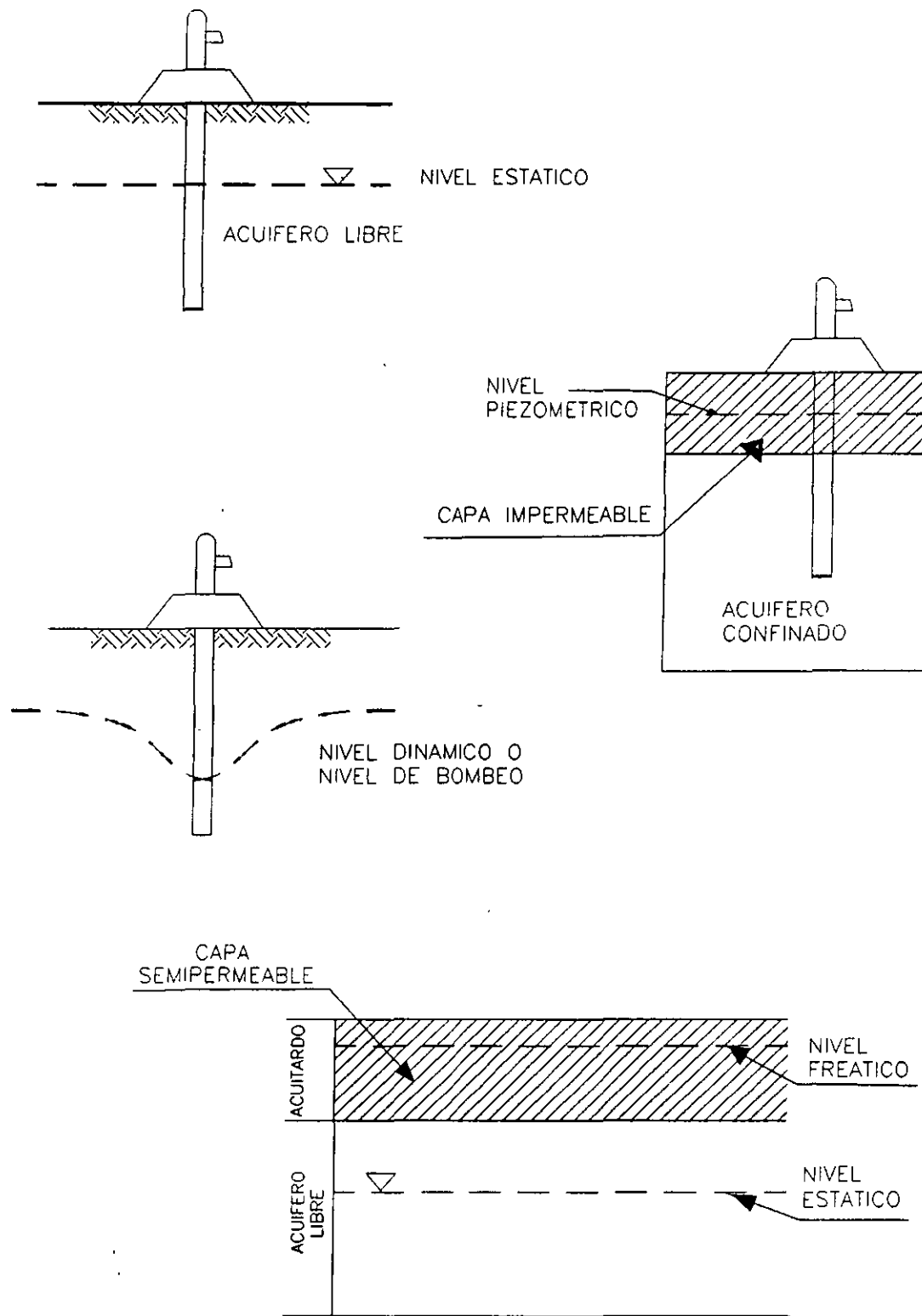
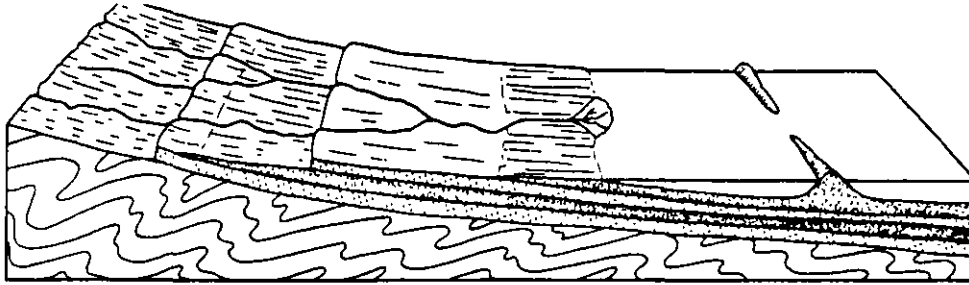
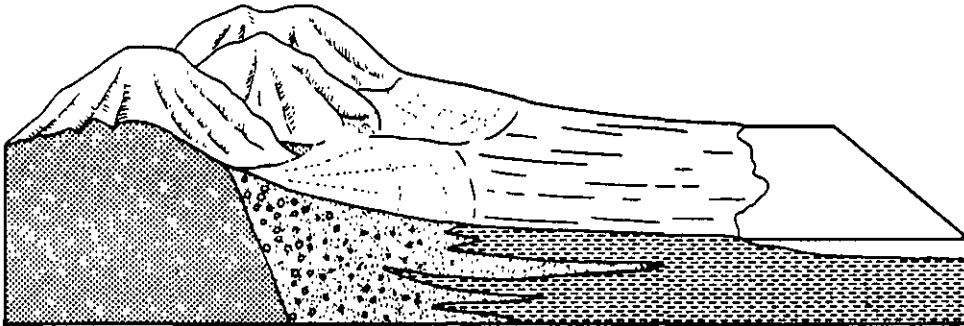


FIGURA 2.6 DIFERENCIACION ENTRE NIVEL ESTÁTICO, DINÁMICO, CONFINADO Y FREÁTICO

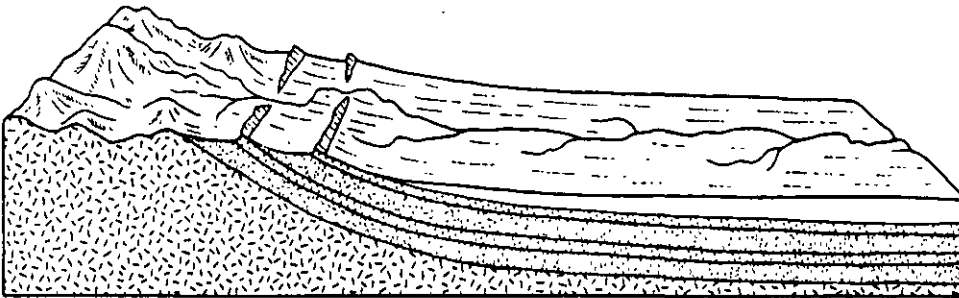
# ASPECTOS GEOLOGICOS PARA LA FORMACION DE ACUIFEROS CONFINADOS



Confined aquifers created by alternating aquifers and confining units deposited on a regional dip.



Confined aquifers created by deposition of alternating layers of permeable sand and gravel and impermeable silts and clays deposited in intermontane basins.



Confined aquifer created by upwarping of beds by intrusions.

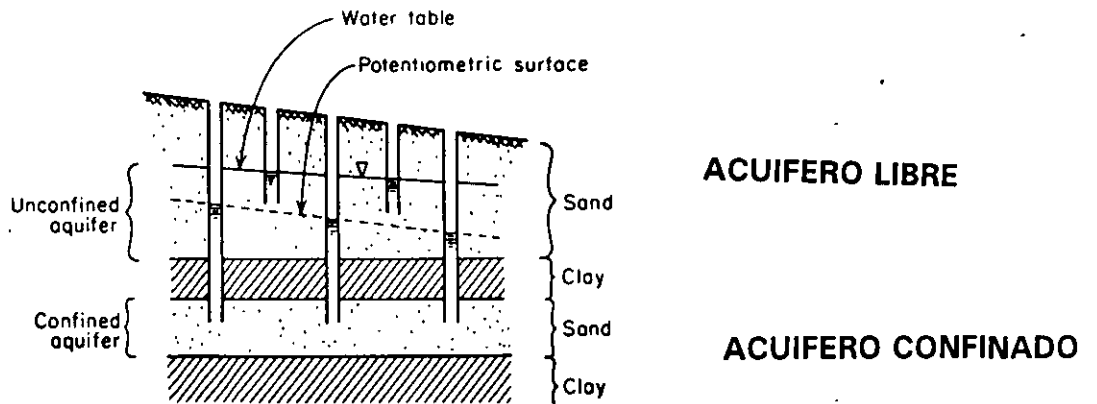
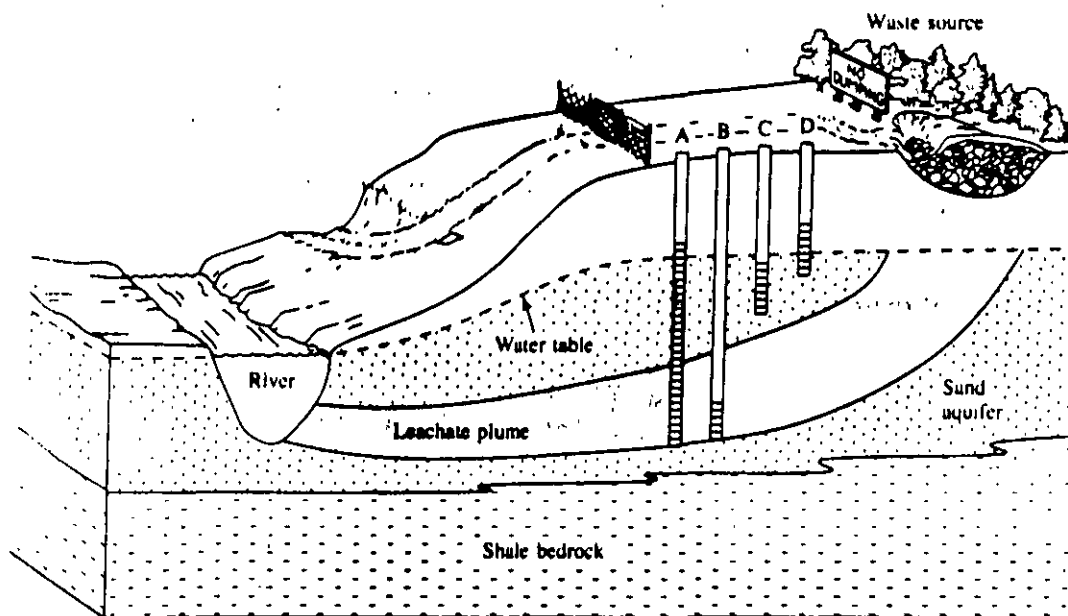


Figure 6 - Unconfined aquifer and its water table; confined aquifer and its potentiometric surface.



Effect of monitoring well—screen length on water-quality sampling. Monitoring well A is screened through the thickness of the aquifer. It intersects the plume of leachate but the reported concentration will be less than the actual concentration as water is withdrawn from both contaminated and uncontaminated parts of the aquifer. Piezometer B is also screened to intersect the plume of leachate. Reported concentration will be representative of the leachate. Piezometer C and water table monitoring D don't intersect the plume, indicating that it is deep in the aquifer.

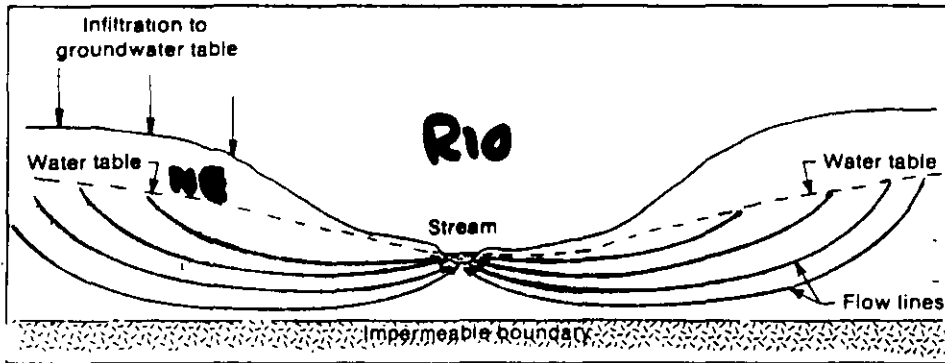


Figure 1 Cross section through a stream valley showing flow lines in the groundwater system.

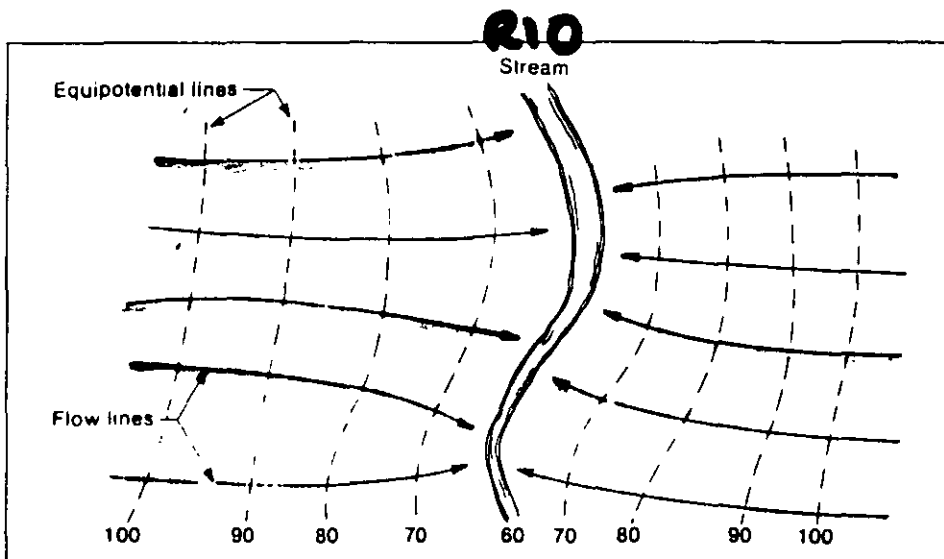


Figure 2 Looking down on the stream valley from above with the water table exposed. The dotted lines represent points of equal groundwater elevation.

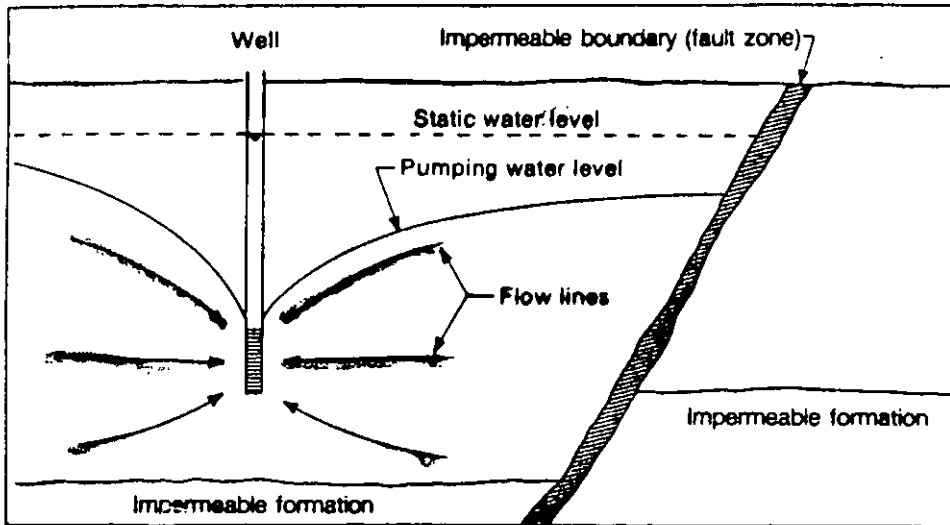


Figure 4.16. Cross section near a pumping well showing the flow lines followed by water moving toward the well.

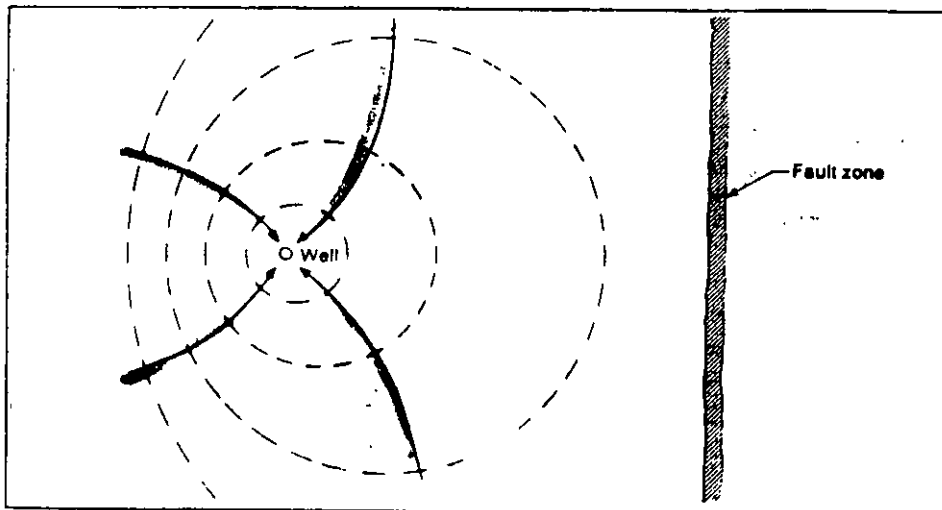
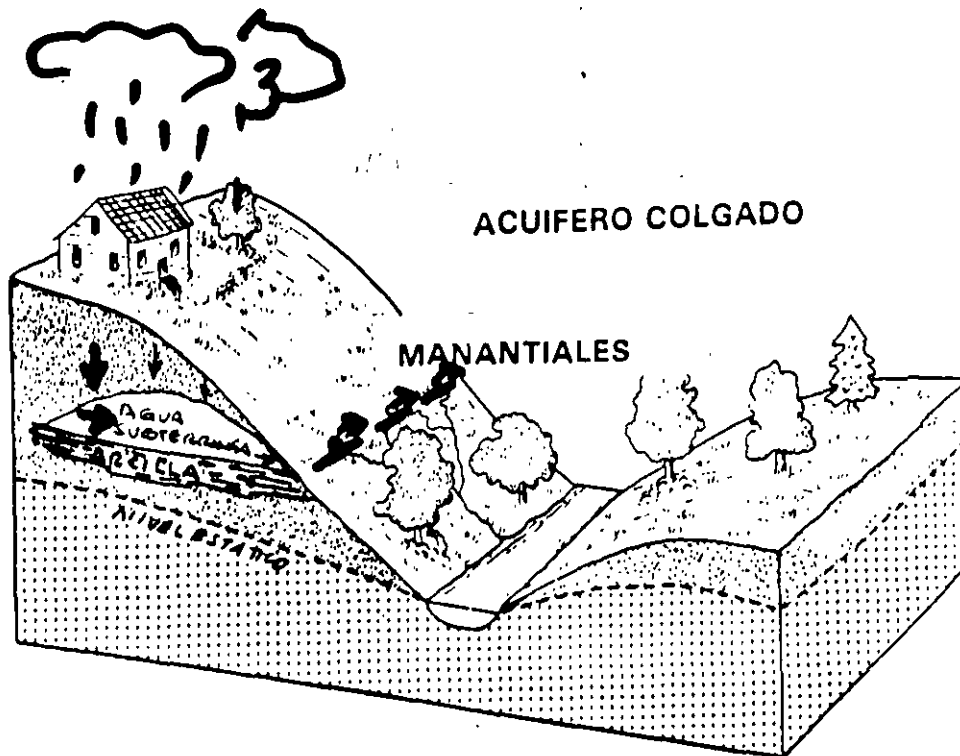
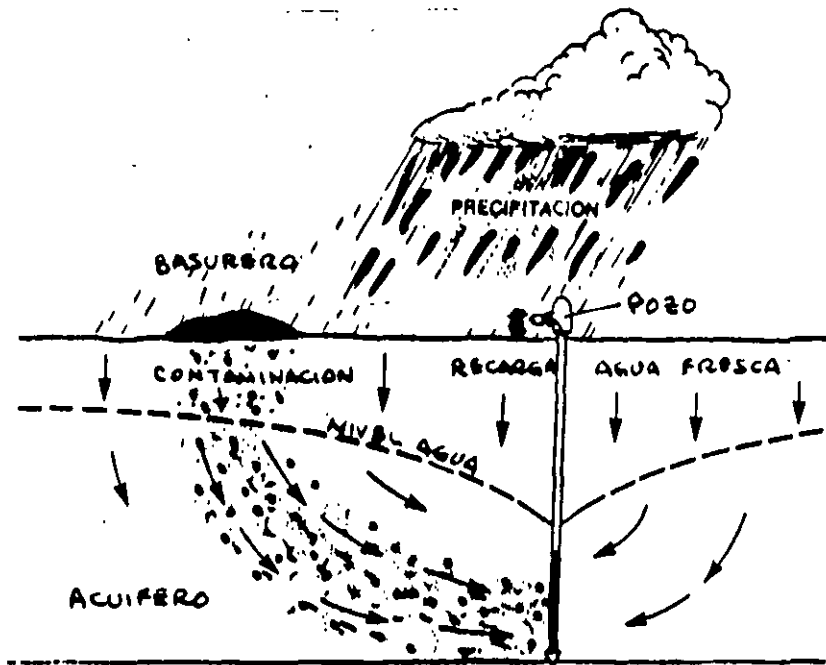
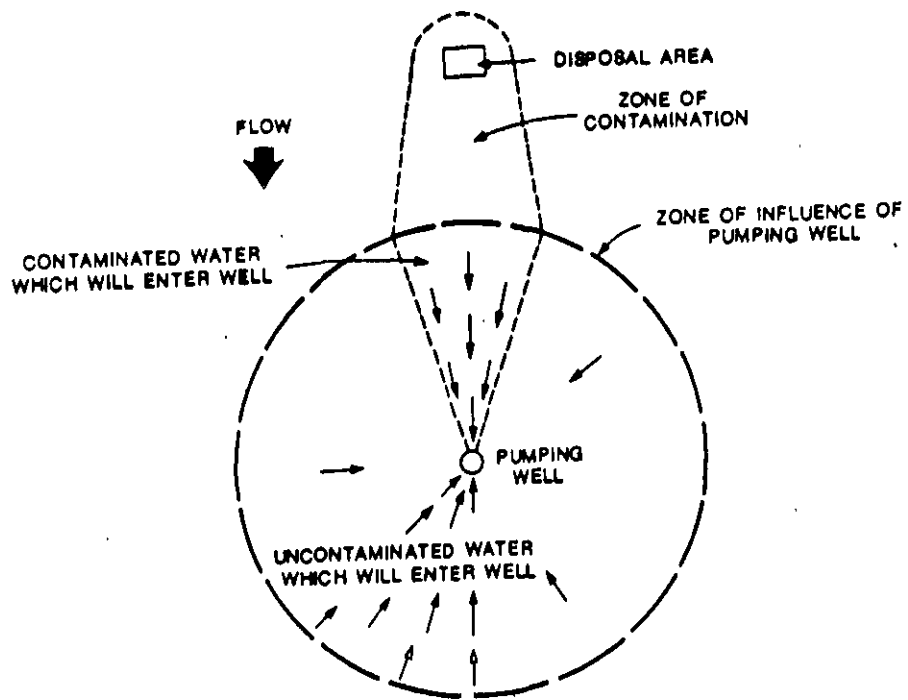
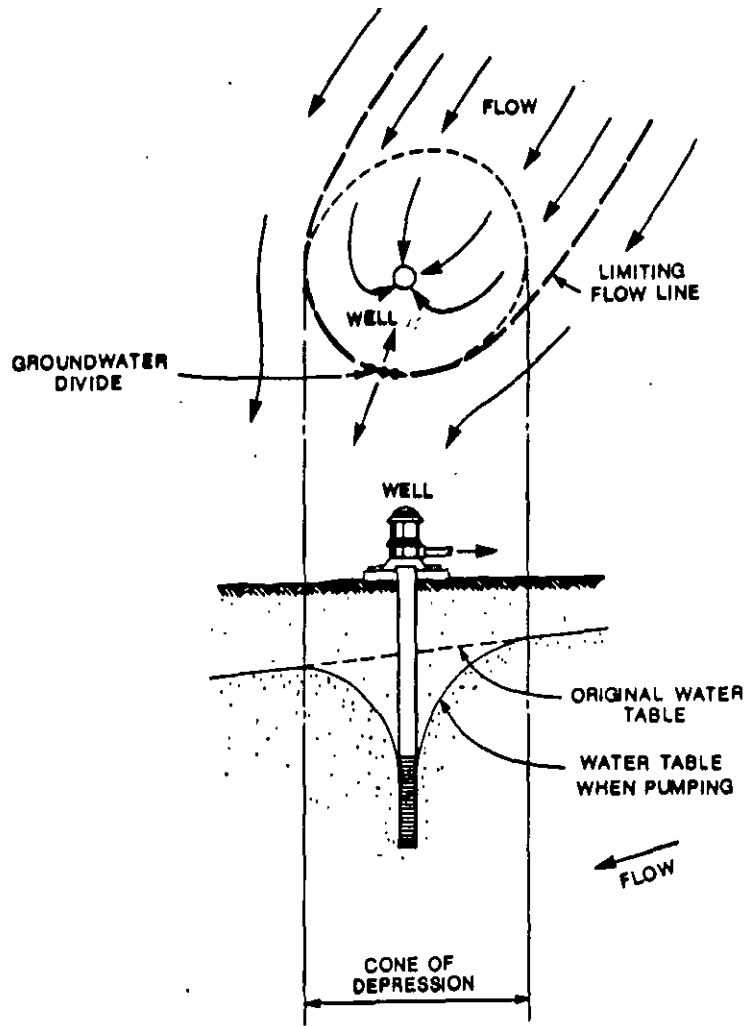
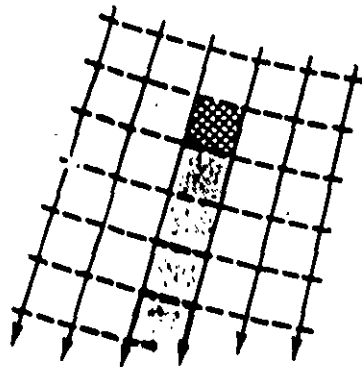


Figure 4.17. Map of the potentiometric surface during long-term pumping shows that the impermeable boundary causes greater drawdown in the direction of the fault.

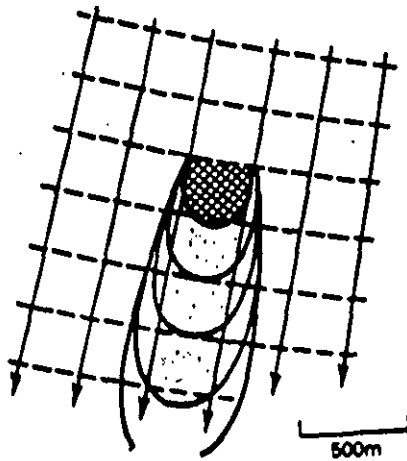
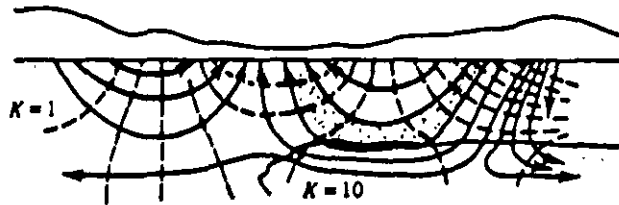








TRANSPORTE  
O  
ADVECCION

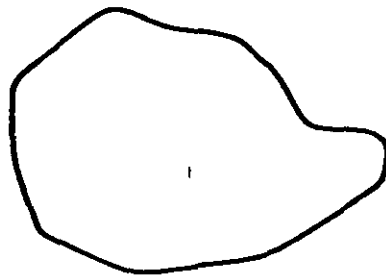


DISPERSION



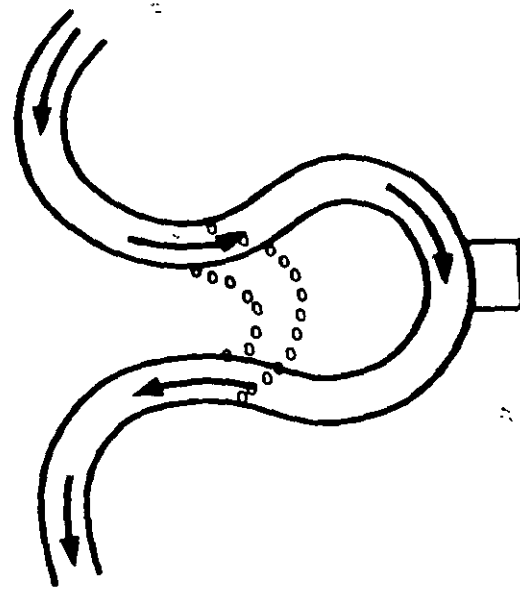
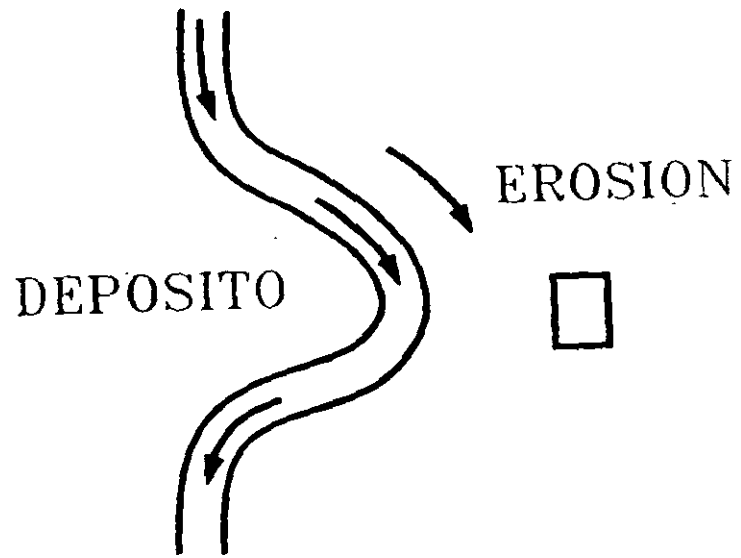
CAVERNA

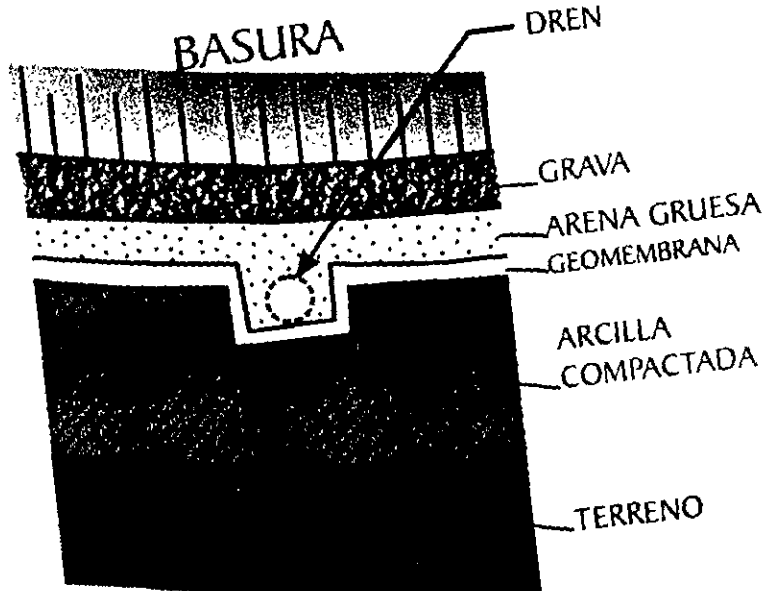
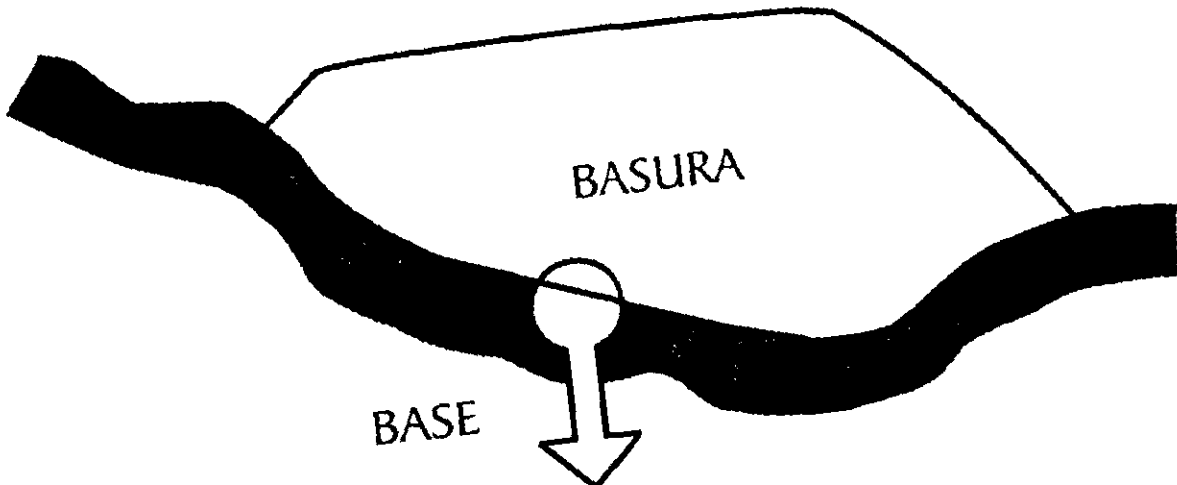
t=1

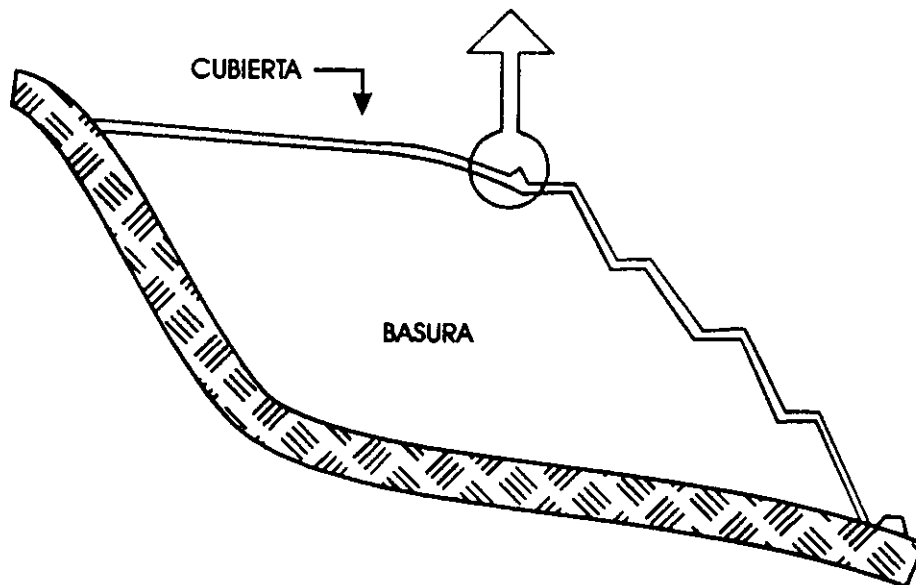
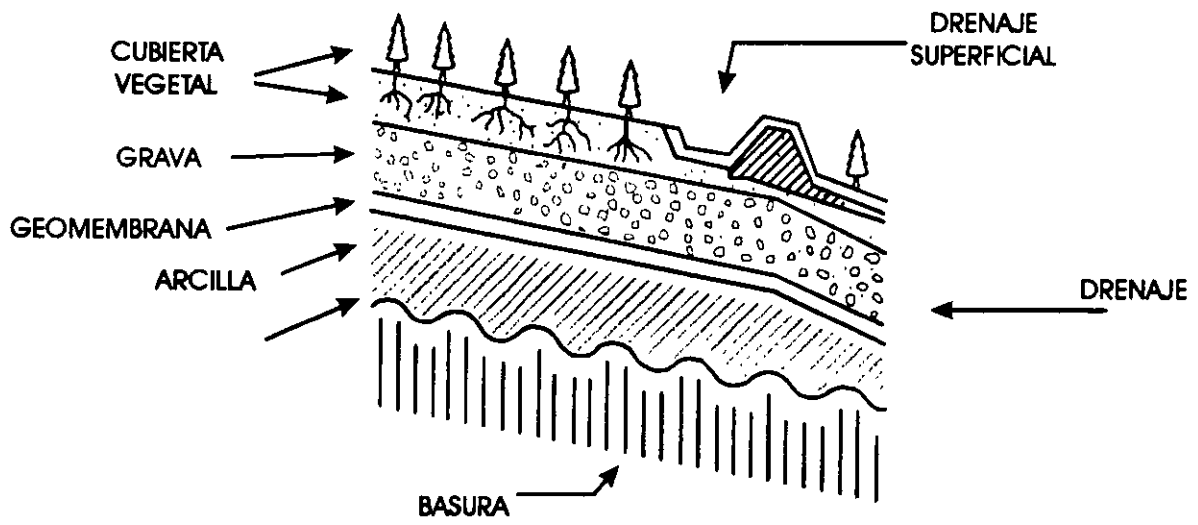


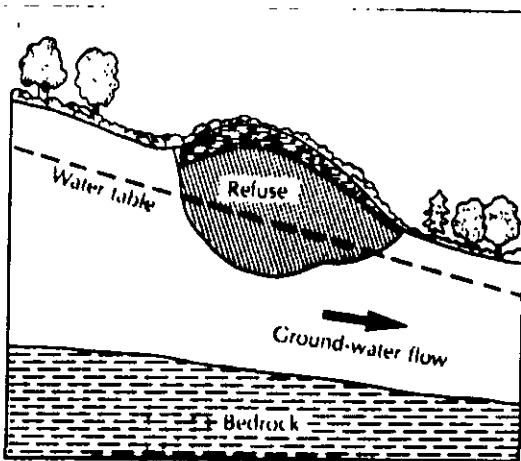
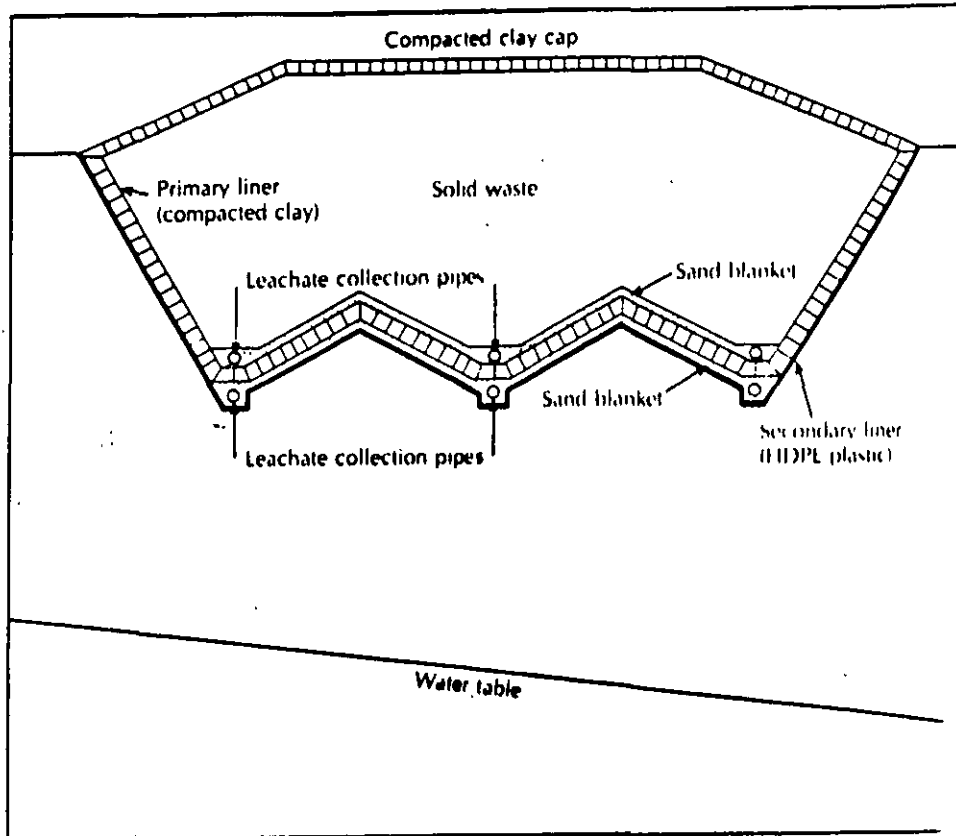
CAVERNA

t=2

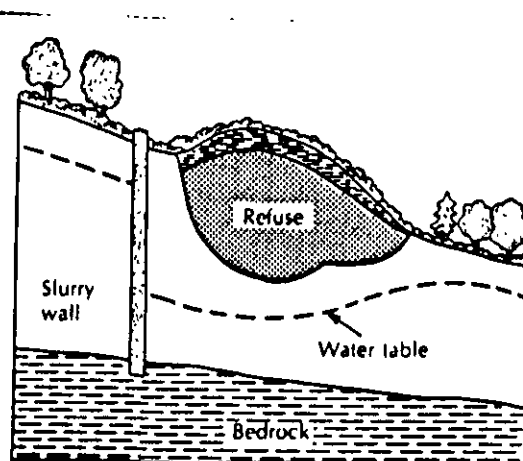




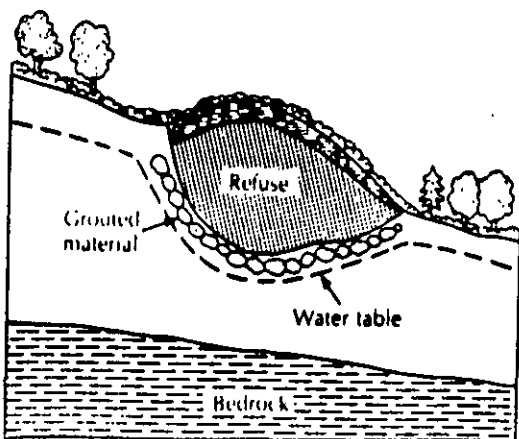




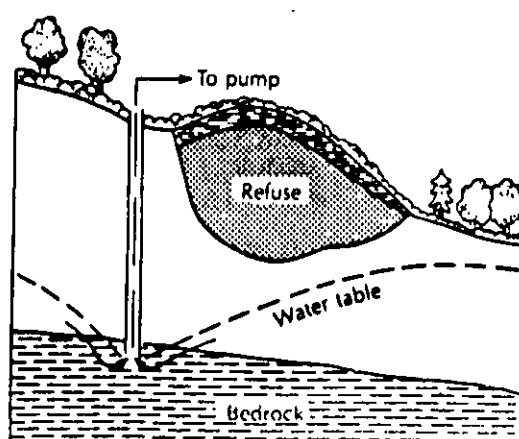
A No control measure



B Upgradient slurry wall to lower water table

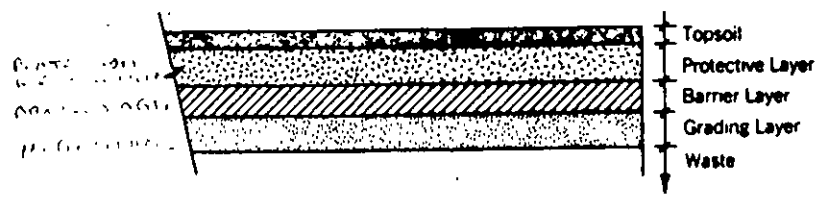


C Injection of grout to form a seal on sides and bottom

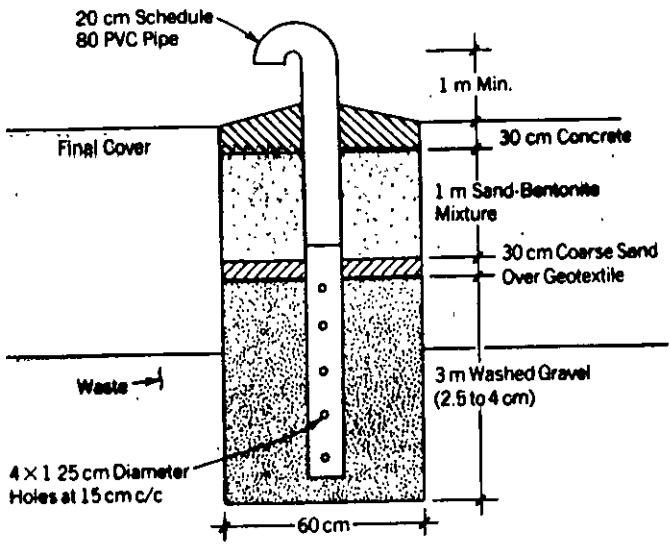


D Gradient control system

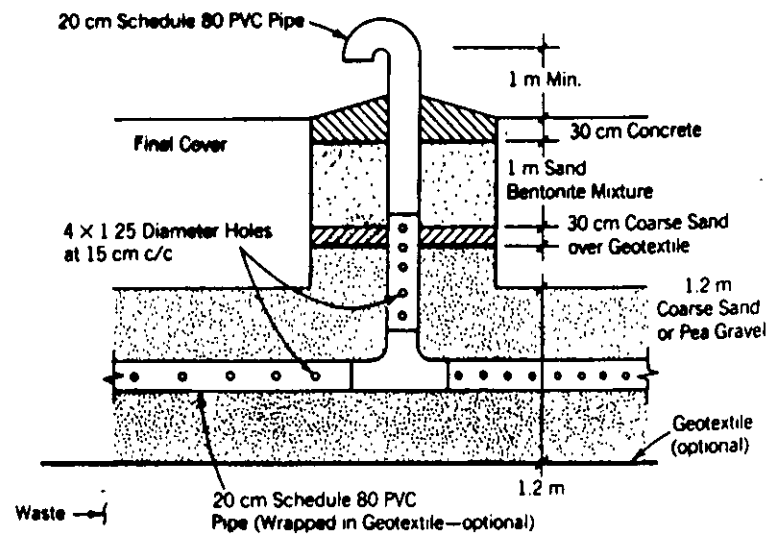




Landfill final cover.



Typical detail of an isolated gas vent.



Typical detail of a passive gas venting system with a header pipe.

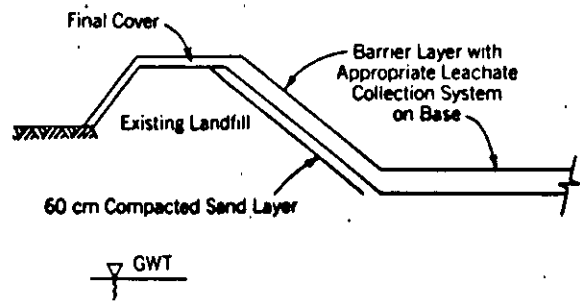
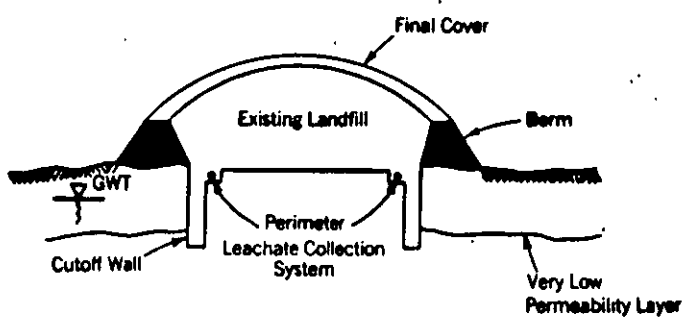
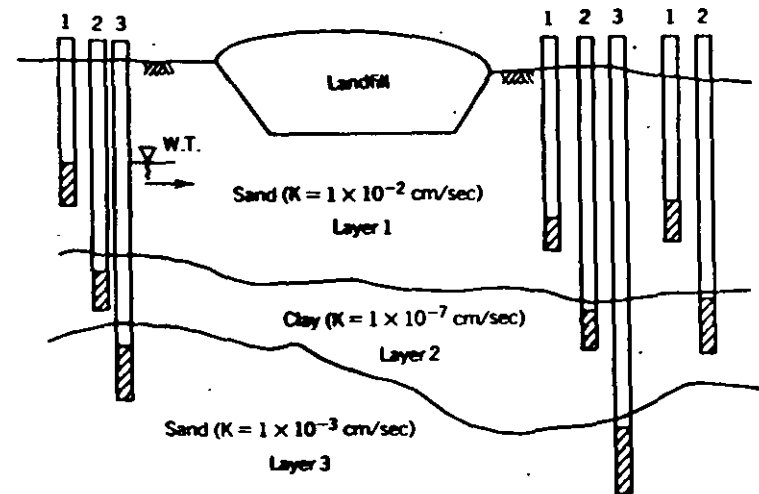
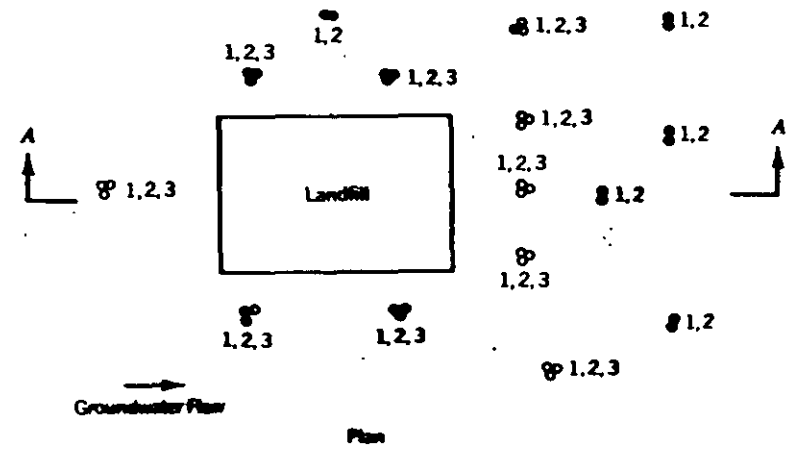
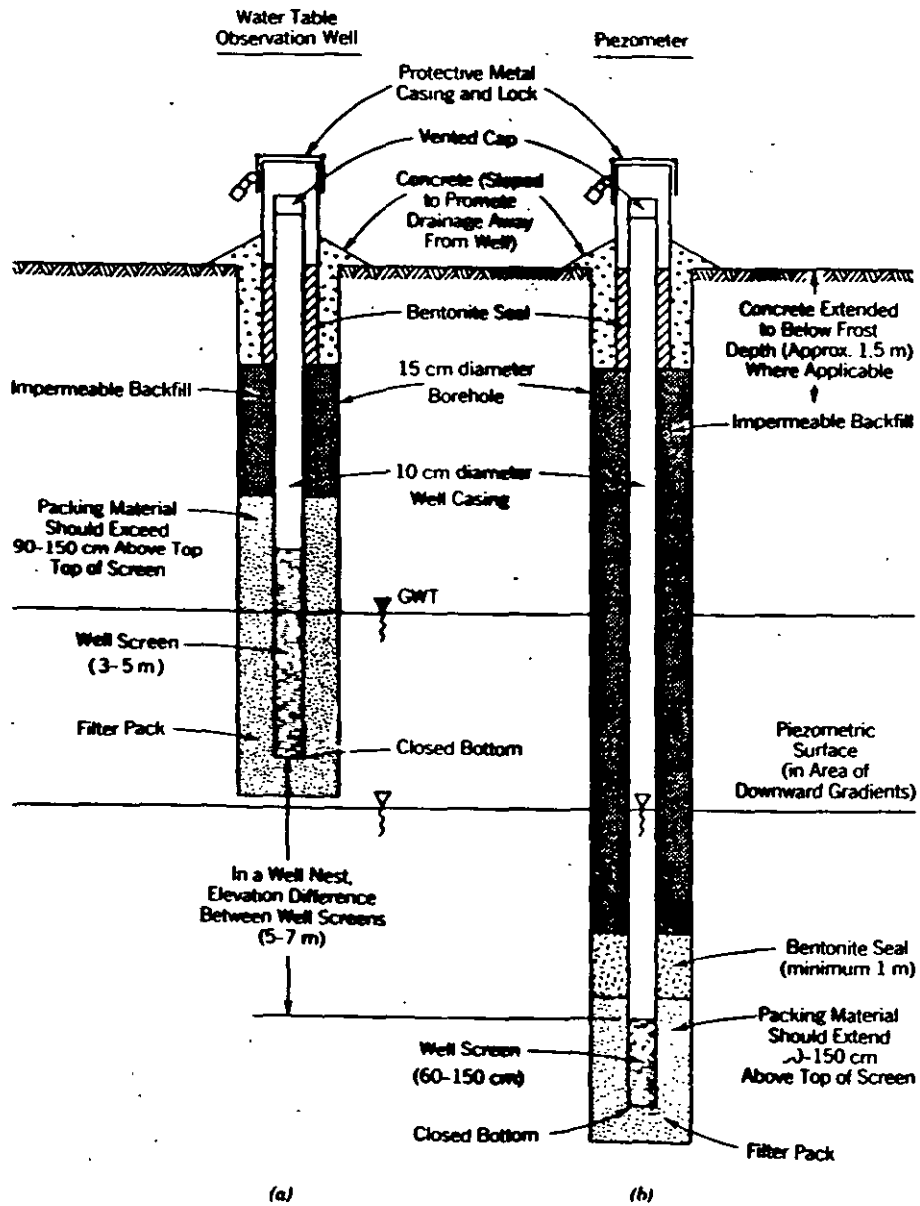


FIG. Retrofitting of partially full existing landfill with a basal leachate collection system.

DESIGN OF LANDFILL ELEMENTS



Retrofitting of existing landfill with a perimeter leachate collection system.



Section A-A  
 Monitoring of an interbedded aquifer.

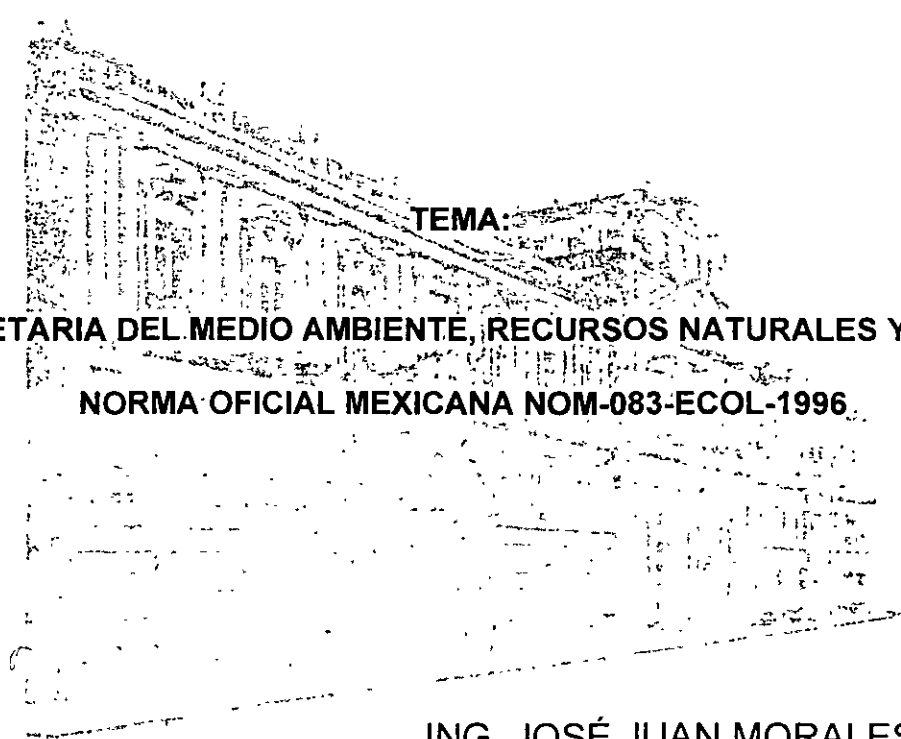
Typical detail of a water table observation well and piezometer. Not to scale.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**



**TEMA:**

**SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA  
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996**

**ING. JOSÉ JUAN MORALES REYES  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO 2000**

**SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE,  
RECURSOS NATURALES Y PESCA**

**NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-083-ECOL-1996**

**QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS  
DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS  
MUNICIPALES**

**JULIA CARABIAS LILLO**, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones I y VIII, 6o. fracción XIII y último párrafo, 36, 37, 137, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 44, 45, 46 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; y

#### **CONSIDERANDO**

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 22 de junio de 1994 se publicó en el Diario Oficial de la Federación con carácter de Proyecto la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-083-ECOL-1994, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Río Elba No. 20,

Colonia Cuauhtémoc código postal 06500, México, D.F.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado en el párrafo anterior, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes, entre las cuales y para mayor entendimiento se encuentra el título de la presente Norma y publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** de fecha 1o. de diciembre de 1995 las respuestas a los comentarios recibidos en el plazo de Ley, así como la aclaración correspondiente a las mismas el 30 de mayo de 1996 en el referido Órgano Informativo.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el

Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 12 de junio de 1995, aprobó la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-083-ECOL-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales; por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.**

**INDICE**

- 0. Introducción
- 1. Objetivo y campo de aplicación
- 2. Definiciones
- 3. Especificaciones

- 4. Procedimientos
- 5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
- 6. Bibliografía
- 7. Observancia de esta norma

**0. INTRODUCCION**

0.1 Los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales generan lixiviados que contienen diversos contaminantes que pueden afectar los recursos naturales en especial los acuíferos y los cuerpos superficiales de agua. La aplicación de esta norma permitirá proteger el ambiente, preservar el equilibrio ecológico y minimizar los efectos contaminantes.

**1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece las condiciones de

ubicación, hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, y es de observancia obligatoria para aquellos que tienen la responsabilidad de la disposición final de los residuos sólidos municipales.

## **2. DEFINICIONES**

### **2.1 Acuífero**

Es cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas, que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

### **2.2 Acuífero confinado**

Es aquel acuífero que está limitado en su parte superior por una unidad de baja conductividad hidráulica y el nivel piezométrico presenta una presión superior a la atmosférica.

### **2.3 Acuífero libre**

Es un acuífero en el cual el nivel freático o nivel de saturación se encuentra a la presión atmosférica.

### **2.4 Acuífero semiconfinado**

Aquel acuífero que tiene una unidad saturada de baja conductividad hidráulica en su parte superior o inferior que contribuye con un pequeño caudal (goteo) debido a los gradientes inducidos por bombeo del acuífero.

### **2.5 Acuitardo**

Es cualquier formación geológica por la que circula muy lentamente agua subterránea, por lo que generalmente no son utilizados para su explotación, uso o aprovechamiento.

### **2.6 Agua subterránea**

Es el agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas.

### **2.7 Areas naturales protegidas**

Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han

quedado sujetas al régimen de protección.

## **2.8 Capacidad de intercambio catiónico**

Es el total de cationes intercambiables que puede absorber un suelo, expresado en miliequivalentes de los cationes por cada 100 g (cien gramos) de masa de suelo seco.

## **2.9 Carga hidráulica**

Es la energía presente en un acuífero, normalmente tiene dos componentes:

**a)** la carga relacionada con la elevación con respecto a un punto de referencia que es normalmente el nivel medio del mar; y **b)** la carga de presión, o presión de poro.

## **2.10 Conductividad hidráulica**

Es la propiedad de un medio geológico de permitir el flujo de agua subterránea en un acuífero o acuitardo, considerando las condiciones de densidad y viscosidad del agua.

## **2.11 Contaminantes no reactivos**

Son los contaminantes que viajan en solución, a la misma velocidad lineal que el agua subterránea. No sufren reacciones químicas ni biológicas con el medio granular.

## **2.12 Descripción estratigráfica**

Es la descripción de los estratos del subsuelo en cuanto a sus propiedades físicas, químicas e hidráulicas, de acuerdo al código de nomenclatura estratigráfica vigente.

## **2.13 Discontinuidades**

Superficie marcada por modificaciones radicales de las propiedades físicas de las rocas. Estas discontinuidades pueden ser por ejemplo, fallas o fracturas.

## **2.14 Disposición final**

La acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños al ambiente.



### **2.15 Falla**

Es cuando se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

### **2.16 Falla activa**

Son aquellas fallas que han sufrido desplazamiento durante el Holoceno (último millón de años).

### **2.17 Fracción de carbono orgánico**

La fracción de carbono orgánico se refiere al porcentaje de carbono orgánico en el suelo, derivado de restos de plantas. Es importante en la retención de contaminantes orgánicos.

### **2.18 Fractura**

Es una discontinuidad en las rocas producida por un sistema de esfuerzos.

### **2.19 Freatofitas**

Son plantas que extienden sus raíces por debajo del nivel freático y extraen sus requerimientos de humedad directamente de la zona saturada.

### **2.20 Geofísica**

La ciencia que estudia las propiedades físicas de la tierra y el conocimiento de la estructura geológica de los materiales que la constituyen.

### **2.21 Geología**

Es el estudio de la formación, evolución, distribución, correlación y comparación de los materiales terrestres.

### **2.22 Hidrogeología**

Es el conjunto de actividades tales como perforaciones, determinación de la recarga, profundidades a nivel estático, interacción química agua-roca y propiedades hidráulicas que permiten conocer y localizar los sistemas de aguas subterráneas, su dirección y velocidad de movimiento.

### **2.23 Hidrología**

La ciencia que estudia los componentes primarios del ciclo hidrológico y su relación entre sí. Considera la interacción y dinámica de la atmósfera con cuerpos de agua superficial tales como ríos, arroyos, lagunas, lagos, etc.

### **2.24 Infiltración**

Introducción suave de un líquido entre los poros de un sólido referido al agua, el paso lento de ésta a través de los intersticios del suelo y del subsuelo.

### **2.25 Lixiviado**

Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

### **2.26 Nivel freático**

La superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación de la de saturación.

### **2.27 Nivel piezométrico**

Es el valor de la carga hidráulica observado de un acuífero o acuitardo a diferente profundidad en el mismo y en el medio saturado.

### **2.28 Parámetros hidráulicos**

Son la conductividad hidráulica, la porosidad, la carga hidráulica, los gradientes hidráulicos de una unidad hidrológica, así como su coeficiente de almacenamiento.

### **2.29 Percolación**

Es el movimiento descendente de agua a través del perfil del suelo debido a la influencia de la gravedad.

### **2.30 Permeabilidad**

La propiedad que tiene una sección unitaria de terreno para permitir el paso de un fluido a través de ella sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico.

### **2.31 Porosidad efectiva**

Es la relación del volumen de vacíos o poros interconectados de una roca o

suelo dividido por el volumen total de la muestra.

### **2.32 Potencial de contaminación**

Es la interacción entre el tipo, intensidad, disposición y duración de la carga contaminante con la vulnerabilidad del acuífero; está definida por las condiciones de flujo del agua subterránea y las características físicas y químicas del acuífero.

### **2.33 Residuo sólido municipal**

El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso.

### **2.34 Sistema de flujo**

Es definido por la dirección de flujo que sigue el agua subterránea, considerando las zonas de recarga y descarga, las cargas y gradientes

hidráulicos a profundidad y el efecto de fronteras hidráulicas. Incluye además la interacción con el agua superficial y comprende sistemas locales, intermedios y regionales.

### **2.35 Talud**

Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos del suelo con un ángulo de reposo del material del terreno de que se trate.

### **2.36 Unidades litológicas**

Conjunto de materiales geológicos compuestos predominantemente de cierta asociación de minerales que tienen un origen común.

### **2.37 Volumen de extracción**

Se refiere a la cantidad de agua subterránea que se extrae de un acuífero a través de pozos o norias.

### **2.38 Zona de aireación**

La zona que contiene agua bajo presión menor a la de la atmósfera, está delimitada entre la superficie del terreno y el nivel freático.

### **2.39 Zona de descarga**

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo de agua subterránea fluye de mayor profundidad hacia el nivel freático; es decir el flujo subterráneo es ascendente.

### **2.40 Zona de inundación**

Área sujeta a variaciones de nivel de agua por arriba del nivel del terreno asociadas con la precipitación pluvial, el escurrimiento y las descargas de agua subterránea.

### **2.41 Zona de recarga**

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo del agua subterránea fluye del nivel freático hacia mayor profundidad; es decir el flujo subterráneo es descendente.

### **2.42 Zona de saturación**

El área que se caracteriza por tener sus poros o fracturas llenas de agua,

su límite superior corresponde al nivel freático y su límite inferior es una unidad impermeable.

### **2.43 Zona no saturada**

Es el espesor que existe entre la superficie del terreno y el nivel freático. Es equivalente a la profundidad del nivel freático.

## **3. ESPECIFICACIONES**

**3.1** Con el fin de cumplir con las diferentes especificaciones de ubicación que debe satisfacer un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales y facilitar la toma de decisiones en las diferentes etapas de los estudios que se describen en el punto 4 de esta Norma Oficial Mexicana, debe ser considerado el diagrama de flujo que se describe en el Anexo 1.

**3.2** Las condiciones mínimas que debe cumplir un sitio de disposición

final de residuos sólidos municipales son las siguientes:

### **3.2.1 Aspectos generales**

**3.2.1.1** Restricción por afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas.

**3.2.1.1.1** Las distancias mínimas a aeropuertos son:

**a)** De 3000 m (tres mil metros) cuando maniobren aviones de motor a turbina.

**b)** De 1500 m (mil quinientos metros) cuando maniobren aviones de motor a pistón.

**3.2.1.1.2** Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios.

**3.2.1.1.3** No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas.

**3.2.1.1.4** Se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.

**3.2.1.1.5** Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m (mil

quinientos metros), a partir del límite de la traza urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2500 habitantes. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.

**3.2.1.2** La localización de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, para aquellas localidades con una población de hasta 50,000 habitantes, o cuya recepción sea de 30 toneladas por día, de estos residuos; se debe hacer considerando exclusivamente las especificaciones establecidas en los puntos 3.2.3 y 3.2.4 de esta Norma Oficial Mexicana.

### **3.2.2 Aspectos hidrológicos**

**3.2.2.1** Se debe localizar fuera de zonas de inundación con períodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.

**3.2.2.2** El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se

debe ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.

**3.2.2.3** La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 m (mil metros) como mínimo y contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.

### **3.2.3 Aspectos geológicos**

**3.2.3.1** Debe estar a una distancia mínima de 60 m (sesenta metros) de una falla activa que incluya desplazamiento en un período de tiempo de un millón de años.

**3.2.3.2** Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, es decir que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.

**3.2.3.3** Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que

incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.

### **3.2.4 Aspectos hidrogeológicos**

**3.2.4.1** En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

**3.2.4.2** En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales granulares, se debe garantizar que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

**3.2.4.3** La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.

### **3.2.5 Consideraciones de selección**

**3.2.5.1** En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua superficial y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería.

Determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos de agua, exploración geotécnica, petrolera, o de otra índole.

## **4. PROCEDIMIENTOS**

**4.1** La selección de un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios.

### **4.2 Estudios geológicos**

**4.2.1** Se deben realizar estudios geológicos de tipo regional y local de acuerdo con las siguientes características:

#### **4.2.1.1 Estudio geológico regional**

#### **4.2.1.2 Estudio geológico local**

Determinar las unidades litológicas en el sitio, su geometría, distribución y presencia de fallas y fracturas. Asimismo debe incluir estudios geofísicos para complementar la información sobre las unidades litológicas. El tipo de método a utilizar y el volumen de trabajo, debe garantizar el conocimiento tridimensional del comportamiento y distribución de los materiales en el subsuelo hasta una profundidad y distribución horizontal adecuada a las características geológicas e hidrogeológicas del área en que se ubica el sitio.

**4.2.1.3** Si los resultados geológicos y geofísicos preliminares muestran que no existe conexión aparente entre las rocas fracturadas con acuíferos o que la distribución de unidades litológicas de baja permeabilidad es amplia, se debe realizar un mínimo de una perforación en la periferia del sitio.

### **4.3 Estudios hidrogeológicos**

**4.3.1** Los estudios hidrogeológicos deben considerar cinco etapas:

Evidencias y uso del agua subterránea.

Identificación del tipo de acuífero.

Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo.

Análisis del sistema de flujo.

Evaluación del potencial de contaminación.

#### **4.3.1.1 Evidencias y uso del agua subterránea**

Definir la ubicación y distribución de todas las evidencias del agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, a escala regional y local. Asimismo se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

#### **4.3.1.2 Identificación del tipo de acuífero**

Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semi-confinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.

#### **4.3.1.3 Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo**

Determinar la profundidad al nivel piezométrico en el sistema acuífero, dirección y velocidad del agua subterránea a partir de los parámetros



de conductividad hidráulica, carga hidráulica y porosidad efectiva.

Conocer la composición química del agua subterránea.

Determinar la conductividad hidráulica (K), la fracción de carbono orgánico (FCO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes estratos del subsuelo de la zona no saturada.

#### **4.3.1.4 Análisis del sistema de flujo**

Con base en la información geológica y de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3 de esta Norma Oficial Mexicana y de otros elementos hidrogeológicos, tales como zonas de freatofitas, zonas de recarga y descarga, etc., se debe definir el sistema de flujo local y regional del área de estudio.

#### **4.3.1.5 Evaluación del potencial de contaminación**

Se debe integrar toda la información obtenida de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2, 4.3.1.3 y 4.3.1.4 de esta Norma Oficial Mexicana, para determinar si el sitio es apto o si requiere obras de ingeniería.

Para ello se debe considerar la gráfica del Anexo 2.

Esta gráfica define la condición de tránsito de la infiltración aceptable que deben tener los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, su valor de frontera está definido por  $f \leq 3 \times 10^{-10} \text{seg}^{-1}$  que representa el factor de tránsito de la infiltración, el cual relaciona a la velocidad promedio final de infiltración contra los diferentes espesores de los materiales de la zona no-saturada incluyendo la porosidad de ellos, según la siguiente fórmula:

$$f = (K \cdot i) / (U \cdot d)$$

**Donde:**

**f** = factor de tránsito de la infiltración, (seg<sup>-1</sup>).

**d** = espesor de la zona no-saturada, (m).

**U** = porosidad promedio efectiva de los materiales de la zona no-saturada, (adimensional).

**i** = gradiente hidráulico, (adimensional).

**K** = conductividad hidráulica promedio de los materiales de la zona no-saturada, (m/s).

La velocidad promedio (*v*) se calcula a partir de la conductividad hidráulica saturada (*K*) de los materiales del subsuelo en la zona no-saturada, dividida por la porosidad promedio efectiva (*U*), considerando un gradiente hidráulico unitario (*i*), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V = Ki/U.$$

El valor de (*f*) obtenido, para el caso de que se trate, debe graficarse para determinar su aptitud y viabilidad. Los sitios aptos son aquéllos cuyo factor de tránsito de la infiltración es:

$$f \leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}.$$

#### 4.3.1.6 Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes

Previa autorización de los Gobiernos de los Estados o en su casos de los Municipios, con arreglo a las disposiciones de la presente Norma Oficial Mexicana, se pueden elegir sitios de disposición final de residuos sólidos municipales que no reúnan alguna de las condiciones establecidas anteriormente, cuando se realicen obras de ingeniería, cuyos efectos resulten equivalentes a los que se obtendrían del cumplimiento de los requisitos previstos en los puntos 3.2.1.1, 3.2.2.1, 3.2.2.3, 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.5.1 de esta Norma Oficial Mexicana; obras con las cuales se debe acreditar técnicamente que no se afectaría negativamente al medio ambiente.

#### 5. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

5.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter técnico que existen en otros países no reúnen los

elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma se integran y complementan de manera coherente con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

**6.1** Manual de Relleno Sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984, México.

**6.2** Manual de Hidráulica Azevedo Alvarez (Editorial Harla), México.

**6.3** Mecánica de Suelos. E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez (1970), México.

**6.4** Sanitary Landfill Design and Operation Dr. Brunner & D.J. Keller, U.S.E.P.A. 1971. (Diseño y operación de un relleno sanitario) E.U.A.

**6.5** Guía de Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. Manuales de la Organización

Panamericana de la Salud. Jorge Jaramillo y Francisco Zepeda (1991).

**6.6** Practical Waste Management. John R. Holmes (1983). Editorial John Wiley & Sons (Manejo práctico de residuos), E.U.A.

**6.7** Estudio de Comportamiento de un Relleno Sanitario mediante una celda de control (1992). Dirección General de Servicios Urbanos D.D.F., México.

**6.8** Groundwater, R. Allan Freeze / John A. Cherry, Prentice Hall Inc. (1979) (Agua subterránea) E.U.A.

**6.9** Diccionario de Mineralogía y Geología, Lexis 22, Barcelona, España (1980).

**6.10** Dictionary of Geological Terms. The American Geological Institute, (1984) E.U.A. (Diccionario de términos geológicos) E.U.A.

**6.11** The Geochemistry of Natural Waters, Drever, J. Prentice Hall E.U.A. (1982).

**6.12** Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas, CEPIS, OPS, Foster S., Hirata R., Lima Perú, (1988).

**6.13** Introduction to Geochemistry, Segunda Edición, Mc. Graw-Hill Book Co, Krauskopf K. E.U.A. (1979). (Introducción a la geoquímica).

**6.14** Earth, W. H. Freeman and Company, Press F., Siever R. E.U.A. (1986). (La Tierra).

## **7. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA**

**7.1** Los sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos municipales que operan actualmente, tienen un plazo de tres años a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación para regularizar su situación de acuerdo a los preceptos de esta Norma.

**7.2** La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a los Gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y Municipios en el ámbito de su jurisdicción y competencia, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

**7.3** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación.**

**México, Distrito Federal a los catorce días del mes de agosto de mil novecientos noventa y seis.**

**LA SECRETARIA DE MEDIO  
AMBIENTE, RECURSOS  
NATURALES Y PESCA**

**JULIA CARABIAS LILLO**

11-octubre-1996  
15:30 horas



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

**ING. GUSTAVO GUZMÁN HERNÁNDEZ  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO 2000**

# EVALUACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Ing. Gustavo Guzmán Hernández  
febrero-marzo, 2000

# INDICE

- ❖ Introducción
- ❖ Generalidades
- ❖ Normatividad
- ❖ Métodos de Selección
- ❖ Caso Práctico



# INTRODUCCION

## ❖ Primera Parte

Presentación de los Aspectos Teóricos del  
Proceso de Selección de Sitios para  
Rellenos Sanitarios

## ❖ Segunda Parte

Presentación de un Caso Práctico

# GENERALIDADES

## Definiciones

- ❖ Acuífero: Es cualquier cuerpo rocoso por el que circulan o se almacenan aguas subterráneas, que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.
- ❖ Agua subterránea: Es el agua que se encuentra en el subsuelo, en capas de roca parcial o totalmente saturadas.
- ❖ Áreas naturales protegidas: Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre y que han quedado sujetas bajo el régimen de protección.

# GENERALIDADES

## Definiciones

- ❖ Disposición final: La acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños al ambiente.
- ❖ Infiltración: Introducción de un líquido a través de los espacios abiertos (poros) del suelo y del subsuelo.
- ❖ Lixiviado: Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.
- ❖ Nivel freático: La superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita las zonas de aireación y saturación.

# GENERALIDADES

## Definiciones

- ❖ Permeabilidad: Propiedad de un material rocoso o suelo de permitir el paso de un fluido (agua, lixiviado, etc.), a través de él, sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico.
- ❖ Residuo sólido municipal: El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso.

# GENERALIDADES

## Consideraciones Técnicas

- ❖ Distancia respecto de las áreas generadoras.
- ❖ Superficie suficiente para una vida útil de 10 años o más de acuerdo a la generación.
- ❖ Topografía relativamente plana.
- ❖ Ubicación respecto de aguas superficiales y subterráneas.
- ❖ Características geológicas.
- ❖ Tipo de suelo.

# GENERALIDADES

## Consideraciones Técnicas

- ❖ Ubicación y capacidad de bancos de material para cobertura.
- ❖ Características bióticas de la región.
- ❖ Acceso al sitio en análisis.
- ❖ Uso de suelo actual del sitio en análisis.
- ❖ Clima de la región (Precipitación Pluvial).
- ❖ Ubicación de áreas naturales protegidas.

# GENERALIDADES

## Consideraciones Económicas

- ❖ Tenencia de la tierra.
- ❖ Costo del terreno.
- ❖ Habilitación de caminos de acceso.
- ❖ Costo de material de cobertura.
- ❖ Costo de transporte de residuos sólidos al sitio.
- ❖ Costos de inversión.
- ❖ Uso potencial del suelo.

# GENERALIDADES

## Consideraciones Sociales

- ❖ Información y concertación de autoridades con población vecina.
- ❖ Cambio de concepto negativo de un basurero.
- ❖ Campañas de difusión y concientización.
- ❖ Condiciones y problemática de los sitios de disposición actuales (Basureros).
- ❖ Visibilidad y estética.



# NORMATIVIDAD

## NOM-ECOL-083-1996

PARAMETRO	NORMATIVIDAD
Distancia mínima a aeropuertos	3 Km. Motor Turbina 1.5 Km. Motor Pistones
Vías terrestres de comunicación	Respeto al derecho de vía
Áreas naturales protegidas	No se debe ubicar dentro de ellas.
Obras públicas federales	Respeto al derecho de vía
Distancia mínima a poblaciones de hasta 2500 hab.	1.5 Km.
Estudios básicos con base en generación diaria y población.	50000 hab y/o generación de 30 ton/día, sólo estudios geológicos y geohidrológicos.
Zonas de inundación.	No se debe ubicar dentro de zonas de inundación.
Pantanos y marismas	No se debe ubicar dentro de zonas de pantanos y marismas.

# NORMATIVIDAD

## NOM-ECOL-083-1996

PARAMETRO	NORMATIVIDAD
Distancia mínima a cuerpos de agua de caudal continuo	1.0 Km. y zona de amortiguamiento
Distancia mínima a fallas activas	60 m para fallas con movimiento registrado hasta 1 millón de años
Movimientos en masa del terreno y asentamientos diferenciales	Ubicación en zonas totalmente estables
Materiales fracturados y granulares	Factor de tránsito $< 3 \times 10^{-10}$ cm/seg.
Distancia mínima a pozos profundos	500 m pozo más cercano o a 100 m cono de abatimiento más cercano
<b>Posibilidad de contaminación de agua superficial y subterránea</b>	<b>Desarrollo de obras de ingeniería</b>

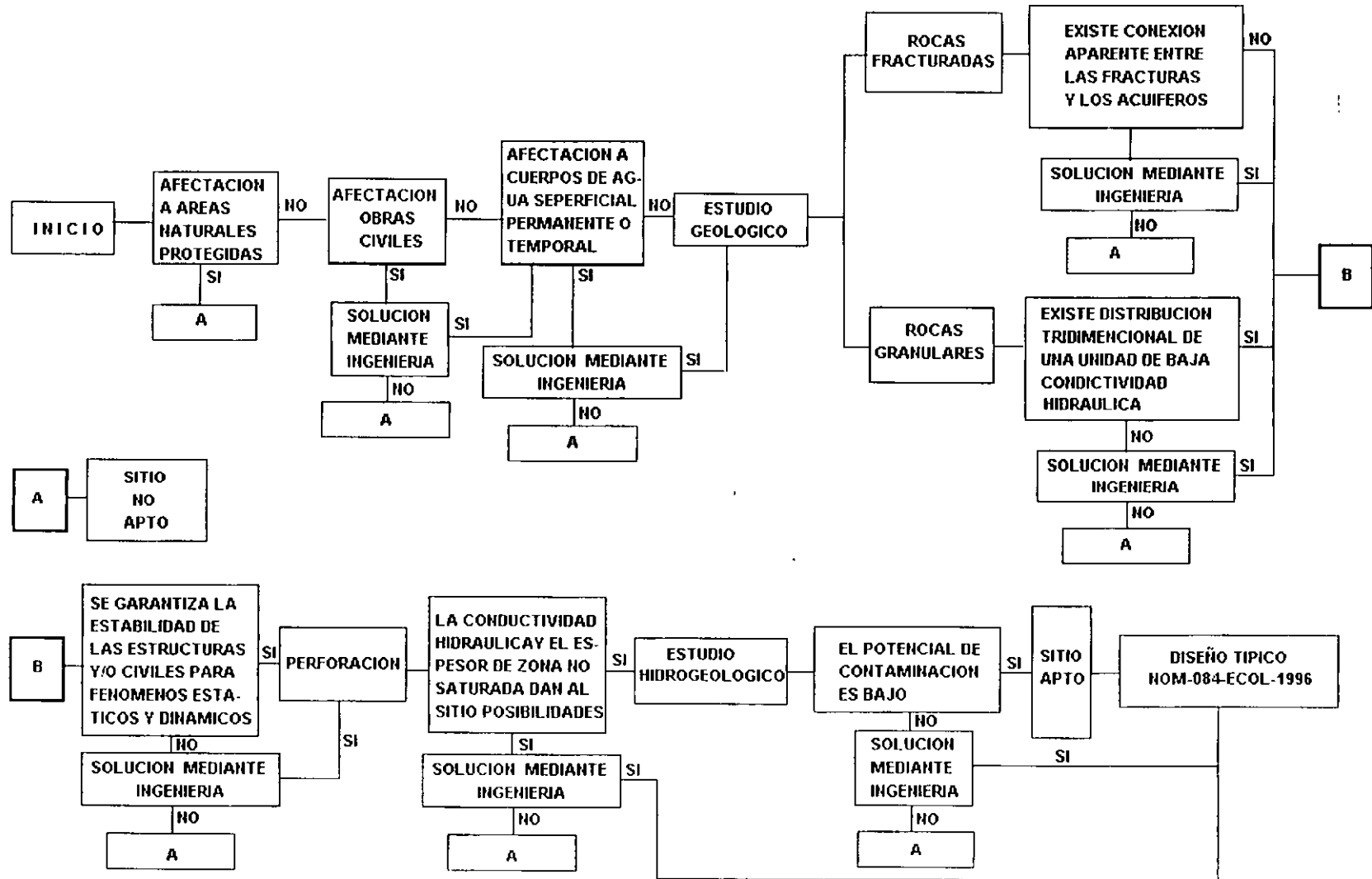
# NORMATIVIDAD

NOM-ECOL-083-1996

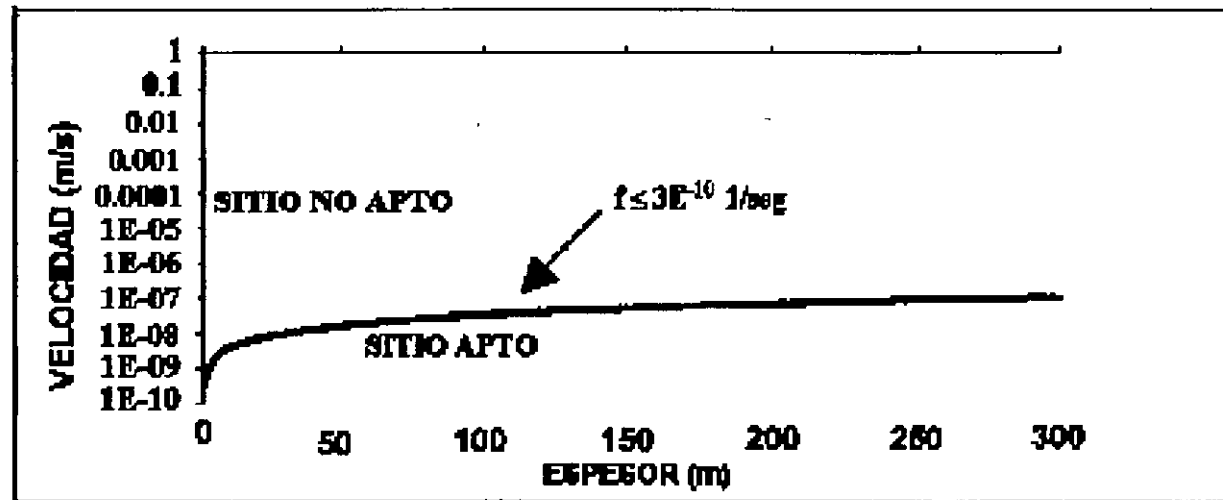
Nota:

En la actualidad existe la tecnología para construir y operar rellenos sanitarios en sitios que no cumplan con los criterios marcados en la Norma Oficial Mexicana, sin embargo, el costo se ve reflejado en las obras de ingeniería necesarias para garantizar que el entorno no sea impactado en forma significativa.

**ANEXO 1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LOS ESTUDIOS**



## ANEXO 2



$$f = \{ (K \cdot i) / (U \cdot d) \}$$

Donde:

f= factor de tránsito de la infiltración, (1/s).

d= espesor de la zona no saturada, (m).

U= porosidad promedio efectiva, (adimensional).

i= gradiente hidráulico, (adimensional).

K= conductividad hidráulica, (m/s).

# METODOS DE SELECCION

## ❖ Sitio Indefinido

- Factores de evaluación e índices de importancia.

## ❖ Sitio Definido

- Siguiendo la NOM-083-ECOL-1996.

# METODOS DE SELECCION

## Sitio Indefinido

- ❖ Factores de evaluación e índices de importancia.
  - Recopilación de información y evaluación de la zona de estudio.
  - Identificación de sitios potenciales.
  - Cribado de los sitios potenciales.
  - Evaluación de sitios factibles.

# Factores de evaluación e índices de importancia

- ❖ Recopilación de información y evaluación de la zona de estudio.
  - Cartas temáticas escala 1:50,000
  - Determinación de las características del medio físico: Topografía, Geomorfología y Geología.
  - Determinación de las características del medio económico: Uso del suelo actual y potencial.
  - Determinación de límites municipales.



# Factores de evaluación e índices de importancia

- ❖ Identificación de sitios potenciales.
  - Identificación de sitios topográfica y geomorfológicamente planos y formaciones geológicas de alta consistencia y baja permeabilidad.
  - Identificación del uso de suelo actual y potencial en los sitios potenciales.
  - Eliminación de sitios fuera de límites municipales.

# Factores de evaluación e índices de importancia

- ❖ Cribado de los sitios potenciales (Campo).
  - Ubicación geográfica destacando las características del relieve circundante del sitio.
  - Distancia aproximada al centro poblacional generador.
  - Descripción e identificación de las vías de comunicación.
  - Descripción del acceso y camino al sitio de estudio, incluyendo ancho, pendiente, estado de conservación y transitabilidad.
  - Localización de comunidades locales.

# Factores de evaluación e índices de importancia

- ❖ Cribado de los sitios potenciales (Campo).
  - Uso de suelo
  - Localización de corrientes y cuerpos de agua superficiales en las inmediaciones del sitio.
  - Existencia de aprovechamientos hidráulicos en sus cercanías.
  - Bancos de material en operación y/o potenciales.
  - Tenencia de la tierra
  - Costo del M<sup>2</sup> de terreno.

**Factores de evaluación para sitios potenciales  
(EJEMPLO)**

Factores de Evaluación	Sitios seleccionados			
	Capacuaro	San Lorenzo	La Basilia	Tanaxuri
Material para cobertura	ACARREO CERCANO SIN EXPLOTACIÓN	ACARREO CERCANO CON EXPLOTACIÓN	ACARREO CERCANO CON EXPLOTACIÓN	ACARREO CERCANO CON EXPLOTACIÓN
Acondicionamiento del sitio	SI	SI	SI	SI
Cercanía a zonas urbanas (Radio 1.5 km)	NO	SI	NO	SI
Visibilidad del sitio	VISIBLE	NO VISIBLE	NO VISIBLE	NO VISIBLE
Ubicación respecto de cuerpos de agua superficiales (m)	> 1000 m	< 100 m	> 1000 m	> 1000 m
Ubicación en la cuenca aportadora	INICIO DE CUENCA	INICIO DE CUENCA	PARTE MEDIA	FUERA
Permeabilidad (cm/seg.)	MEDIA	MEDIA	ALTA	BAJA
Profundidad del agua subterránea (m)	> 100 m	> 100 m	> 100 m	> 10 m < 100 m
Existencia de caminos de acceso	TERRACERÍA RECTO	TERRACERÍA RECTO	TERRACERÍA CON PENDIENTE	TERRACERÍA SINUOSO CON PENDIENTE
Vida útil (años)	> 10 AÑOS	> 10 AÑOS	> 10 AÑOS	> 10 AÑOS
Topografía	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
Costo del predio	\$ 30 000/ ha	\$ 30 000/ha	\$ 40 000/ha	\$ 80 000/ha
Distancia al centro de generación (cd. Uruapan)	18 km	18 km	8.5 km	7.5 km
Tenencia de la tierra	COMUNAL	COMUNAL	EJIDAL	PRIVADO

## CALIFICACION DE SITIOS POTENCIALES

FACTORES DE EVALUACION	INDICE DE IMPORTANCIA	CAPACUARO		SAN LORENZO		LA BASILIA		TANAXURI	
		CALIFICACION	SUBTOTAL	CALIFICACION	SUBTOTAL	CALIFICACION	SUBTOTAL	CALIFICACION	SUBTOTAL
Material de Cobertura	0.5	0.7	0.35	0.85	0.43	0.85	0.43	1	0.5
Acondicionamiento del Sitio	0.5	0.85	0.43	0.7	0.35	0.85	0.43	0.85	0.43
Cercanía a Zonas Urbanas	1	0.85	0.85	0.7	0.7	1	1	0.7	0.7
Visibilidad del Sitio	1	0.7	0.7	1	1	1	1	0.85	0.85
Ubicación respecto a cuerpos de agua superficiales	1	0.85	0.85	0.7	0.7	0.85	0.85	0.85	0.85
Ubicación en la Cuenca Aportadora	1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.85	0.85
Permeabilidad	0.5	0.85	0.43	0.85	0.43	0.85	0.43	0.7	0.35
Profundidad de Agua Subterránea	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	0.7	0.35
Camino de Acceso	0.25	0.85	0.21	0.85	0.21	0.85	0.21	0.7	0.18
Vida Útil	0.25	1	0.25	1	0.25	1	0.25	1	0.25
Topografía	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5
Tenencia de la Tierra	1	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	0.7	0.7
Costos del Predio	1	0.7	0.7	1	1	0.85	0.85	0.7	0.7
Distancia al Centro de Generación	1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.85	0.85	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>		<b>7.86</b>		<b>8.16</b>		<b>8.99</b>		<b>8.2</b>



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL COMPLEMENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE SITIOS PARA RELLENO SANITARIO**

**ING. GUSTAVO GUZMÁN HERNÁNDEZ  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO 2000**

## EVALUACIÓN DEL SITIOS PARA UN RELLENO SANITARIO

Ing. Gustavo Guzmán Hernández

### 1. Generalidades

El primer paso para la implementación de un relleno sanitario consiste en la selección de un sitio que reúna las características mínimas que aseguren que su operación y posterior clausura, no afectarán las condiciones ambientales locales. Estas características deberán contemplar aspectos técnicos, sociales, ambientales, económicos, políticos y de salud.

La adecuada selección de estos sitios se rige por los requerimientos de la normatividad vigente marcados en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. Las principales consideraciones técnicas tomadas en cuenta para la correcta selección del sitio de disposición final de residuos sólidos municipales son:

Distancia de respecto de las áreas generadoras	Geología
Tenencia de la tierra	Bancos de material para cobertura
Superficie requerida conforme la vida útil y generación de residuos	Vegetación y fauna
Topografía	Acceso al sitio
Aguas superficiales y subterráneas	Uso de suelo
Suelos	Clima

Por otro lado, los aspectos económicos ocupan una parte fundamental en el proceso de definición del sitio de disposición y en muchas ocasiones, son determinantes en la toma de decisiones:

- Costo del terreno
- Construcción
- Operación
- Habilitación de caminos de acceso
- Costos de transporte de residuos y material de cobertura

Por lo que respecta a los aspectos sociales, su principal papel radica en la información y concertación que deben llevar a cabo las autoridades con la población circunvecina, para el establecimiento del relleno sanitario en un sitio determinado, la finalidad es contar con su consentimiento y cambiar la idea negativa que se tiene de los basureros tradicionales.

Para lograrlo se debe realizar una campaña de difusión y concientización, que logre transmitir la idea correcta de lo que significa la disposición controlada de los residuos sólidos, a través de una obra de ingeniería, enalteciendo todos los beneficios asociados.

Es importante mencionar que en la actualidad es factible construir y operar rellenos sanitarios en sitios en donde no se cumplen al 100% los requisitos señalados en la normatividad vigente, sin embargo, en estas circunstancias, se implementan obras de ingeniería para garantizar que el entorno ambiental no será impactado, o en su defecto, las afectaciones serán mínimas. Evidentemente, los costos de estas obras incrementan considerablemente los presupuestos para la construcción y operación de estos sitios y en muchas ocasiones los hacen irrealizables.

## **2. Normatividad**

Los aspectos legales se basan en la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-083-1996, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias, la cual contempla los siguientes aspectos:

1. Distancia mínima a aeropuertos de 3000 m, cuando maniobren aviones de motor a turbina y de 1500 cuando maniobren aviones de motor a pistón.
2. Respetar derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios.
3. No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas.
4. Se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.
5. Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m, a partir de la traza urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2500 habitantes. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.
6. La localización de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, para aquellas localidades con una población de hasta 50,000 habitantes, o cuya generación sea de 30 ton/día de residuos, se debe hacer considerando exclusivamente las especificaciones establecidas en los aspectos geológicos e hidrogeológicos de la misma norma.
7. Se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.



8. El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se debe ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares
9. La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 m como mínimo y contar con una zona de amortiguamiento tal, que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.
10. Debe estar a una distancia mínima de 60 m de una falla activa que incluya desplazamiento en un periodo de tiempo de un millón de años.
11. Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, es decir, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.
12. Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.
13. En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $<3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .
14. En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales se encuentre sobre materiales granulares, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $<3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .
15. La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m, esta última será la distancia a respetar
16. En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua superficial y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería

Es importante señalar que la Norma contempla para el caso de que no se cumplan con la profundidad del acuífero y las características del suelo se podrán sustituir por obras que garanticen la misma efectividad de las condiciones específicas.

### **3. Selección de Sitios Factibles**

La metodología empleada para la selección de sitios factibles para albergar rellenos sanitarios contempla las siguientes actividades.

- 1. Identificación y evaluación de la zona de estudio**
- 2. Identificación de sitios potenciales**
- 3. Evaluación en campo y cribado de los sitios potenciales**
- 4. Selección final del sitio**

En los párrafos siguientes se presenta una descripción detallada de cada uno de los puntos anteriores para la selección del sitio de disposición final de residuos sólidos más adecuado.

#### **3.1. Identificación y evaluación de zonas de estudio**

Las condiciones geomorfológicas, geológicas y topográficas de una determinada zona de estudio presentan dificultades naturales para la ubicación de un relleno sanitario y en la mayoría de los casos son determinantes en la selección.

La identificación y localización de zonas relativamente planas deben considerar el uso de suelo real, ya que pueden ser terrenos destinadas al cultivo, actividad forestal, agricultura de temporal y/o ganadería.

#### **3.2. Identificación de sitios potenciales**

Mediante un proceso de preselección inicial atendiendo exclusivamente a las condiciones topográficas, es posible realizar un proceso de preselección, desechando áreas de topografía abrupta y preseleccionando sitios potencialmente factibles.

Previo a la realización de las visitas de campo, se deben desarrollar actividades de planeación y logística, así como la correspondiente recopilación de información, con el fin de lograr un buen conocimiento de los sitios evaluados, previo a las labores de campo.

#### **3.3.- Evaluación en campo y cribado de los sitios potenciales**

A continuación se describe de manera general los aspectos que deben ser evaluados en cada sitio de análisis en el trabajo de campo, los puntos marcado pueden ser empleados como listas de chequeo para la evaluación de campo de sitios en la práctica.

Las labores de campo tienen como objetivo establecer las características técnicas, ambientales, económicas y sociales de cada uno de los sitios preseleccionados para disposición.

Los parámetros a considerar son:

- Ubicación geográfica destacando las características del relieve circundante del sitio.
- Distancia aproximada al centro poblacional generador.
- Descripción e identificación de las vías de comunicación.
- Descripción del acceso y camino al sitio de estudio, incluyendo ancho, pendiente, estado de conservación y transitabilidad.
- Localización de comunidades locales.
- Uso de suelo
- Localización de corrientes y cuerpos de agua superficiales en las inmediaciones del sitio.
- Existencia de aprovechamientos hidráulicos en sus cercanías.
- Bancos de material en operación y/o potenciales.
- Tenencia de la tierra
- Costo del M<sup>2</sup> de terreno.

A continuación se plasman los resultados esperados de la realización de las actividades de campo:

### **3.3.1. Fotogeología**

Interpretación de fotografías aéreas, por lo menos a escala 1:25,000, de los diferentes sitios de estudio. En dichas fotografías debe mostrarse la interpretación geológica, los puntos de verificación realizados, los bancos de material, el sitio propuesto y los accesos existentes.

### **3.3.2. Verificación geológica**

Se deben realizar recorridos de reconocimiento y se establecimiento de puntos de verificación (V) geológica de las rocas aflorantes en cada uno de los sitios seleccionados, a través de las principales carreteras y terracerías, teniendo como base las cartas topográficas escala 1:50,000.

### **3.3.3 Geología local**

De cada sitio de estudio de deben determinar las características geológicas más relevantes, -incluyendo las de carácter estructural, litológico, grado de intemperismo, formas del relieve, pendientes, movimientos en masa del terreno. Cambios de facies relevantes, tanto vertical como horizontalmente y conclusión sobre la factibilidad geológica para la implantación de un relleno sanitario.

### **3.3.4 Bancos de Material**

Adicional a los recorridos de verificación geológica y geohidrológica, se deben realizar actividades para localizar, ubicar y seleccionar los bancos de material existentes en las inmediaciones de los sitios evaluados, con la finalidad de establecer el tipo de material, costo, volumen y factibilidad para emplearse durante la operación del sitio seleccionado

Los puntos a determinar de cada banco son:

*Ubicación.*

*Composición Litológica.*

*Extensión.*

*Volumen.*

*Uso del Suelo.*

*Propiedad.*

*Costo por m<sup>3</sup>.*

### **3.3.5 Recorridos de verificación geohidrológica**

Paralelamente a los recorridos geológicos y ubicación de bancos de material, se realizaron observaciones de campo para establecer el funcionamiento geohidrológico local de los sitios propuestos, estableciéndose las condiciones particulares de cada acuífero y su constitución litológica, así como su zona de recarga y estimación del flujo regional y la profundidad del nivel estático con base en mediciones de campo.

## **IV. EVALUACIÓN DE LOS SITIOS FACTIBLES**

La evaluación de los sitios propuestos para relleno sanitario, se efectuará a través del método consistente en la utilización de "Factores de Evaluación" en el cual se

consideran inicialmente las especificaciones señaladas en la NOM-083-ECOL-1996, que ya se han descrito anteriormente, además de los anteriores se adicionaron otros factores como los relacionados con los aspectos de tenencia de la tierra, costo de los predios, vida útil y sociales. Estos aspectos permitirán realizar una mejor evaluación

## 1. Metodología

En el método se establecen para cada uno de sus parámetros un valor específico a los cuales se les asocia calificaciones que van de acuerdo con las características con que cuenta cada sitio en lo que respecta a cada parámetro, estas calificaciones pueden ser: "Excelente", "Bueno" y "Regular", asignándole a cada uno de estos un valor numérico que pueden ser 1.0, 0.85 y 0.7, respectivamente. Los valores de cada parámetro se encuentran en la columna denominada "Índice de Importancia". A continuación se describen de manera breve, los criterios considerados para la asignación de las calificaciones a cada sitio.

**Material para cobertura.** La importancia de este factor radica en el costo que conlleva acarrear el material desde un banco de préstamo al sitio seleccionado.

**Acondicionamiento del sitio.** Para el caso particular de los sitios evaluados, se requiere considerar el acondicionamiento previo, ya que en la mayoría de los casos ningún sitio cuenta con algún tipo de infraestructura dentro del sitio.

**Cercanía a zonas urbanas.** Las calificaciones otorgadas a los sitios se determinan tomando en cuenta las especificaciones establecidas en la NOM-083-ECOL-1996. Las calificaciones menores se otorgaron a los sitios en los que se cuentan con viviendas dentro de los 500 m que circundan los sitios, en algunos casos, estas viviendas se verían afectadas en algún grado por las obras para habilitar los caminos de acceso al relleno.

**Visibilidad del sitio.** En este aspecto se analiza la visibilidad del sitio desde la carretera o principal vía de acceso a los sitios evaluados.

**Ubicación con respecto a cuerpos de agua superficial y Ubicación en la cuenca aportadora.** La importancia de este factor radica en la ubicación que pueden guardar cada sitio respecto a la Cuenca Aportadora regional.

**Permeabilidad.** Con base en las características granulométricas del material del suelo y subsuelo se determina la capacidad de infiltración de los fluidos.

**Profundidad del agua subterránea.** Se analiza la profundidad del agua subterránea mediante sondeos de campo en pozos cercanos, comparando el valor respecto de que establece la norma NOM-083-ECOL-1996, referente a las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos municipales.

**Existencia de caminos de acceso.** Se analiza la longitud, ancho, sinuosidad y pendiente de los caminos de acceso, así como su transitabilidad durante las diferentes épocas del año.

**Vida útil.** En general este es uno de los factores más relevantes en el proceso de selección, dado que desde un punto de vista económico, mientras más tiempo funcione el sitio, los costos de operación son menores y se tiene la ventaja de contar con un sitio por un lapso mayor de tiempo.

**Topografía.** Este factor es importantísimo ya que de él se deriva el método de operación a emplear, influye también en la vida útil del terreno y en el volumen de material de cubierta que puede explotarse, y evidentemente influye de manera importante en el movimiento de tierra, concepto que impacta en buena medida el presupuesto de operación.

**Tenencia de la Tierra.** La factibilidad y facilidad para la adquisición de los sitios evaluados se relaciona directamente con la tenencia de la tierra en las zonas en donde se ubican los mismos.

**Costo el predio.** Este aspecto es fundamental desde el punto de vista económico y de planeación, ya que la primera inversión que tendrá que realizar el municipio se canalizará hacia la adquisición del o los predios seleccionados.

**Distancia al centro de generación.** En este factor se considera la distancia que existe entre los sitios evaluados y la ciudad o centro de generación, ya que incide directamente en la planeación y organización del servicio de recolección y disposición, ya que en los casos en los que se recorren grandes distancias, hay que considerar la necesidad de implementar una estación de transferencia por la distancia que tendrían que recorrer los vehículos para depositar los residuos.

## EJEMPLO

En la Tabla 4.1 se han representado las calificaciones cualitativas para cada uno de los sitios propuestos en el ejemplo de selección de un sitio para la Ciudad de Uruapan, Michoacán, de acuerdo a cada criterio de evaluación, los resultados de esta tabla sirven de apoyo como primer paso para asignar a cada caso, una calificación numérica, como se estableció al inicio de este tema.

Tabla 4.1 Criterios de evaluación para sitios potenciales

Criterio	Sitios seleccionados			
	Capacuaro	San Lorenzo	La Basilia	Tanaxuri
Material para cobertura	ACARREO CERCANO SIN EXPLOTACIÓN	ACARREO CERCANO CON EXPLOTACIÓN	ACARREO CERCANO CON EXPLOTACION	ACARREO CERCANO CON EXPLOTACION
Acondicionamiento del sitio	SI	SI	SI	SI
Cercanía a zonas urbanas (Radio 1.5 km)	NO	SI	NO	SI
Visibilidad del sitio	VISIBLE	NO VISIBLE	NO VISIBLE	NO VISIBLE
Ubicación respecto de cuerpos de agua superficiales (m)	> 1000 m	< 100 m	> 1000 m	> 1000 m
Ubicación en la cuenca aportadora	INICIO DE CUENCA	INICIO DE CUENCA	PARTE MEDIA	FUERA
Permeabilidad (cm/seg.)	MEDIA	MEDIA	ALTA	BAJA
Profundidad del agua subterránea (m)	> 100 m	> 100 m	> 100 m	> 10 m < 100 m
Existencia de caminos de acceso	TERRACERÍA RECTO	TERRACERÍA RECTO	TERRACERÍA CON PENDIENTE	TERRACERÍA SINUOSO CON PENDIENTE
Vida útil (años)	> 10 AÑOS	> 10 AÑOS	> 10 AÑOS	> 10 AÑOS
Topografía	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
Costo del predio	\$ 30 000/ ha	\$ 30 000/ha	\$ 40 000/ha	\$ 80 000/ha
Distancia al centro de generación (cd. Uruapan)	18 km	18 km	8.5 km	7.5 km
Tenencia de la tierra	COMUNAL	COMUNAL	EJIDAL	PRIVADO

Una vez obtenidas las calificaciones cualitativas de la tabla anterior, se asignan las calificaciones cuantitativas a cada criterio, mostradas en la Tabla 4.2. De esta tabla se desprenderá el sitio con mejores características para la instalación del relleno que se pretende.

Tabla 4.2 Calificación de sitios potenciales

Criterio	Índice de importancia	Sitios seleccionados			
		Capácuaro		San Lorenzo	
		Calif.	Subtotal	Calif.	Subtotal
Material para cobertura	0.5	0.7	0.35	0.85	0.42
Acondicionamiento del sitio	0.25	0.85	0.21	0.7	0.17
Cercanía a zonas urbanas	0.4	0.85	0.34	0.7	0.28
Visibilidad del sitio	0.05	0.7	0.04	1.0	0.05
Ubicación respecto a cuerpos de agua superficiales	0.7	0.85	0.60	0.7	0.49
Ubicación en la cuenca aportadora	0.7	0.7	0.49	0.7	0.49
Permeabilidad	0.5	0.85	0.43	0.85	0.42
Profundidad de agua subterránea (m)	0.5	1.0	0.50	1.0	0.5
Camino de acceso	0.25	0.85	0.21	0.85	0.21
Vida útil	0.3	1.0	0.30	1.0	0.3
Topografía	0.2	1.0	0.20	1.0	0.2
Tenencia de la tierra	0.7	0.7	0.49	0.7	0.49
Costos del predio	0.7	0.7	0.49	1.0	0.7
Distancia al centro de generación (cd. de Uruapan)	0.7	0.7	0.49	0.7	0.49
<b>TOTAL</b>			<b>5.12</b>		<b>5.21</b>



Tabla 4.2 Calificación de sitios potenciales (Continuación)

Criterio	Índice de importancia	Sitios seleccionados			
		La Basilia		Tanaxuri	
		Calif.	Subtotal	Calif.	Subtotal
Material para cobertura	0.5	0.85	<b>0.43</b>	1.0	<b>0.5</b>
Acondicionamiento del sitio	0.25	0.85	<b>0.21</b>	0.85	<b>0.21</b>
Cercanía a zonas urbanas	0.4	1.0	<b>0.40</b>	0.7	<b>0.28</b>
Visibilidad del sitio	0.05	1.0	<b>0.05</b>	0.85	<b>0.04</b>
Ubicación respecto a cuerpos de agua superficiales	0.7	0.85	<b>0.60</b>	0.85	<b>0.59</b>
Ubicación en la cuenca aportadora	0.7	0.7	<b>0.49</b>	0.85	<b>0.59</b>
Permeabilidad	0.5	0.85	<b>0.43</b>	0.7	<b>0.35</b>
Profundidad de agua subterránea (m)	0.5	1.0	<b>0.50</b>	0.7	<b>0.35</b>
Camino de acceso	0.25	0.85	<b>0.21</b>	0.7	<b>0.17</b>
Vida útil	0.3	1.0	<b>0.30</b>	1.0	<b>0.3</b>
Topografía	0.2	1.0	<b>0.20</b>	1.0	<b>0.2</b>
Tenencia de la tierra	0.7	1.0	<b>0.70</b>	0.7	<b>0.49</b>
Costos del predio	0.7	0.85	<b>0.60</b>	0.7	<b>0.49</b>
Distancia al centro de generación (cd. de Uruapan)	0.7	0.85	<b>0.60</b>	1.0	<b>1.0</b>
<b>TOTAL</b>			<b>5.67</b>		<b>5.26</b>

Los resultados muestran que el sitio "La Basilia" reúne las condiciones sociales, ambientales, técnicas y económicas más favorables, que potencialmente lo hacen apto para su habilitación como relleno sanitario, dado que obtuvo la calificación más alta de los sitios evaluados. Esto se debe en gran medida a que obtiene calificaciones altas en los criterios que indican de manera relevante.

Es importante mencionar con respecto a los otros sitios, que si bien los resultados apuntan a La Basilia, no se deben descartar y hay que considerarlos como opciones alternativas en el caso de que por algún motivo, no se lograra llevar a buen término la adquisición del predio de la primera opción, ya que todos los predios cuentan con características similares, pero obviamente tienen mayores limitaciones o carencias que pueden subsanarse mediante el empleo de obras de ingeniería.

En seguida se presenta en la Tabla 4.3, un resumen de este método de selección, en la cual se han enlistado los cuatro sitios evaluados, ordenándolos de mayor a menor importancia, de acuerdo a la calificación que obtuvieron en la evaluación.

**Tabla 4.3 Jerarquización de los sitios factibles**

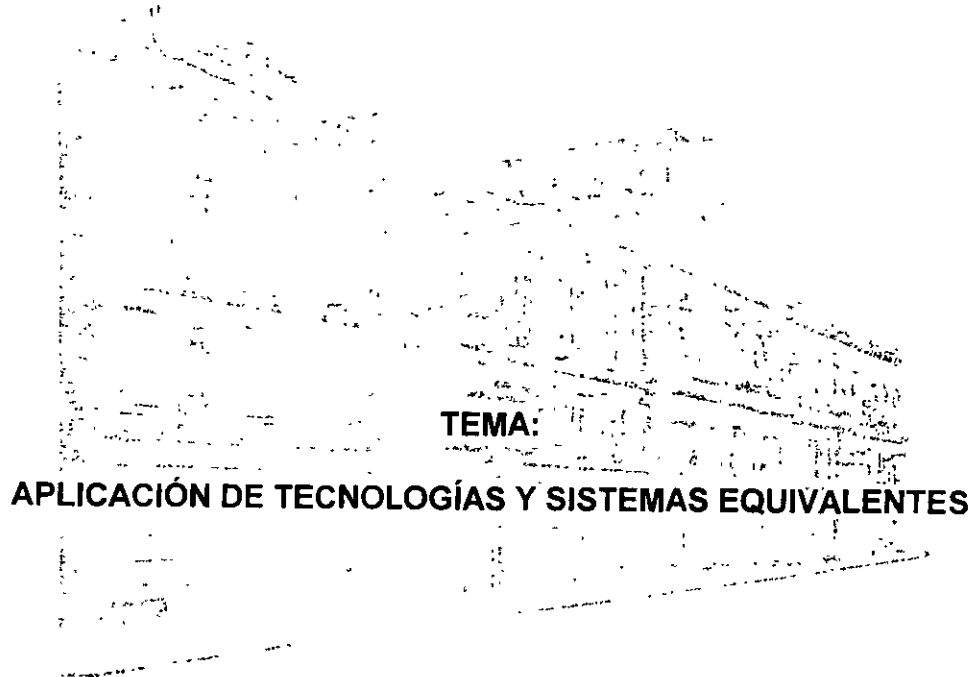
<b>Sitio</b>	<b>Calificación</b>
<b>La Basilia</b>	<b>5.67</b>
<b>Tanaxuri</b>	<b>5.26</b>
<b>San Lorenzo</b>	<b>5.21</b>
<b>Capacuaro</b>	<b>5.12</b>



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**CURSO DE HERRAMIENTAS PARA EL CUMPLIMIENTO  
DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996**



**TEMA:**

**APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS EQUIVALENTES**

**ALEJANDRO RAMÍREZ MANZANO  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO – MARZO 2000**

# **APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS Y SISTEMAS EQUIVALENTES**

Alejandro Ramírez Manzano

Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos  
y Peligrosos, A.C.  
Fco. I. Madero No. 113, Col. Barrio San Miguel, 08600 México, D.F.  
Tel./ Fax (5) 579.91.64  
E mail: geoprodu@mpsnet.com.mx

## **RESUMEN**

Se describen algunos elementos a considerar para el diseño y ejecución de Sistemas Impermeables a base de Geosintéticos, poniendo énfasis en los aspectos a vigilar que con frecuencia son ignorados, a pesar de su relación directa con los resultados obtenidos.

## **GEOSINTETICOS UTILIZADOS EN RELLENOS SANITARIOS**

Los Geosintéticos son materiales de plástico que se producen en forma de hojas o láminas y se utilizan en la industria de la construcción, combinados con suelo y agregados. Sus funciones son las de tomar esfuerzos, filtrar, drenar, impedir la mezcla de materiales, funcionar como barreras hidráulicas, etc.

Se tienen los siguientes grupos principales:

- Geomembranas**
- Geotextiles**
- Georedes**
- Geodrenes**
- Geomallas contra erosión**
- Geocompuestos de bentonita**

## **PROPIEDADES GENERALES DE LOS PLASTICOS.**

Los plásticos son los componentes principales en los geosintéticos. En la actualidad, muchas industrias sustituyen ventajosamente materiales tradicionales tales como agregados, suelos, metal, vidrio, etc., por materiales de plástico, que poseen, en general, las siguientes propiedades:

- Ligereza, existiendo materiales menos densos que el agua.
- Ductilidad
- Maleabilidad

- Elevada elasticidad
- Resistencia Mecánica
- Resistencia a agentes químicos, la cual varía dependiendo del material
- Posibilidad de mejorar sus propiedades mediante aditivos o procesos mecánico-térmicos
- Rangos variables de resistencia al intemperismo, existiendo algunos que deben ser protegidos y otros que pueden ser expuestos a la intemperie por lapsos largos, sin experimentar deterioro.
- Baja absorción de agua
- Resistencia a la biodegradación, la cual varía según el material de que se trate
- Se pueden unir entre sí, mediante diversos procedimientos como termofusión, adhesivos, solventes y alta frecuencia, principalmente.
- Transparencia en distintos grados

La familia de los Plásticos es muy extensa. Los productos de esta naturaleza que se utilizan para fabricar geosintéticos es apenas una pequeña fracción de los polímeros que se utilizan en la sociedad moderna.

En general, las propiedades específicas de un plástico dependen de la combinación de muchas variables, las cuales son, entre otras:

- Naturaleza química: Grupos funcionales, peso molecular, dispersión del peso molecular, ramificaciones de la cadena principal, incorporación química de componentes (copolímeros), incorporación física de aditivos, tipo de formulación, etc.
- Historia de esfuerzos, temperaturas y exposición a agentes ambientales durante su vida útil.
- Procesos de transformación o formado
- Procesos de acabado.

De este modo, el nombre genérico de un plástico o polímero, tal como "Polipropileno", "Polietileno de Alta Densidad", "Poliéster", etc., no es útil para caracterizarlo, por la gran cantidad de materiales que bajo la misma denominación pueden producirse, con propiedades notoriamente diferentes.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GEOSINTÉTICOS**

- 1) Geomembranas.- Son láminas que se emplean como barreras hidráulicas. Se fabrican en rollos anchos, los que se unen entre sí en el sitio de su ubicación final, mediante procesos de termofusión. El tipo de geomembrana más usual en rellenos sanitarios es el Polietileno de Alta Densidad, por su alta

resistencia química, muy baja permeabilidad y alta resistencia a su exposición a la intemperie. Sin embargo de lo anterior, existen rellenos sanitarios municipales que han utilizado con éxito geomembranas de PVC (Policloruro de Vinilo) y laminaciones de geotextiles con bentonita tratada.

- 2) Geotextiles.- Se emplean como elementos frontera entre materiales de diferente granulometría, para formar drenajes para manejo de los lixiviados. Así, su función es la de filtración, mediante mecanismos específicos que varían de acuerdo a la construcción del geotextil (tejidos o no tejidos). Los de mayor masa se emplean como elementos de protección para evitar la perforación de las geomembranas con agregados. Los más utilizados son los de polipropileno y los de poliéster.
- 3) Georedes.- Son elementos estructurales que se utilizan para mantener cubiertas de materiales granulares en los taludes de las celdas, en ángulos en los que no podrían soportarse por sí solos. También se utilizan en obras de ampliaciones verticales de celdas, para incrementar el factor de seguridad contra fallas globales. Las georedes más utilizadas son fabricadas con Polipropileno y Polietileno de Alta Densidad, por su mayor resistencia química.
- 4) Geodrenes.- Se utilizan como subdrenes para coleccionar y conducir los lixiviados hacia cárcamos, cuando se colocan por encima o debajo de geomembranas. También se utilizan para captar y conducir el biogás hacia los quemadores.
- 5) Geocompuestos de Bentonita.- Son laminaciones de bentonita resistente a lixiviados entre dos capas de geotextil. Dependiendo de diversos factores, se utilizan como barrera primaria, barrera secundaria o como elemento para sellar eventuales perforaciones en geomembranas. Se fabrican en rollos que se traslapan y unen entre sí con bentonita.
- 6) Geomallas.- Son estructuras formadas con filamentos de plástico o combinaciones de fibras naturales con fibras de plástico que se instalan sobre los taludes, para evitar su erosión. Se pueden usar como elementos de protección permanente o temporal y combinadas o no, con siembra de vegetación.

## **CLASIFICACIÓN DE BARRERAS IMPERMEABLES GEOSINTÉTICAS**

- 1) Polietileno de alta densidad.- Su Principal uso es como barrera primaria, en la mayoría de rellenos sanitarios y confinamientos controlados.
- 2) Geocompuestos de Bentonita laminada.- Se utilizan como barrera secundaria, como barrera sellante de perforaciones de geomembranas y como barrera primaria en algunos casos específicos, dependiendo de la composición de los

residuos y de su efecto en la bentonita. También se utiliza como elemento de cobertura final.

- 3) Policloruro de Vinilo Plastificado (PVC).- Se utiliza principalmente como cobertura; algunas formulaciones especiales se han utilizado en rellenos sanitarios.

## COMPORTAMIENTO MECANICO

El Polietileno de Alta Densidad muestra una elongación a ruptura elevada, de aproximadamente 700%, con fluencia en la zona de 12-14% de elongación. No debe doblarse pues con relativa facilidad se agrieta en las zonas dobladas. Requiere instalarse con equipo y personal especializado. Las uniones entre rollos se efectúan por fusión

El PVC pueden ensamblarse en grandes paneles que se doblan y transportan a la obra y se unen entre sí mediante procedimientos sencillos de fusión, aplicando adhesivos o solventes.

La estabilidad dimensional de ambos materiales varía mucho con la temperatura.

Los geocompuestos de bentonita laminada son materiales muy pesados (pesan >5 kg/m<sup>2</sup>) que requieren estar confinados para desarrollar su función sellante de orificios.

## GEOMEMBRANAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

En la actualidad se ha generalizado el empleo de geomembranas de polietileno de alta densidad como barreras impermeables, por las siguientes ventajas que presentan contra las capas de suelo compactado:

**Continuidad.**- Las capas de arcilla compactada contienen pequeños conductos en su estructura a través de los cuales se establece el flujo de líquidos. Estos conductos se presentan por agrietamiento, al perder humedad la arcilla. También se presentan conductos horizontales en la frontera entre capas. La razón de esto es que las barreras de suelo no son materiales continuos, sino el producto del acomodamiento y densificación de partículas.

**Resistencia en su plano.** Esta propiedad les confiere la facilidad de ser manipuladas e instaladas mediante procesos rápidos que generan fuerzas de tensión que puede soportar el material.

**Muy bajo Coeficiente de Permeabilidad.** Esta propiedad es cientos de veces de veces menor que la correspondiente a arcillas compactadas y por lo mismo se determina en

forma indirecta, a través de la medición de transmisión de vapor a través de la geomembrana. Esto trae como consecuencia que se pueden construir sistemas impermeables con espesores despreciables, en lugar de tener que compactar gruesas capas de arcilla.

**Muy alta resistencia al ataque de lixiviados.**- Aunque en sentido estricto la resistencia se debe determinar para el lixiviado específico que se desea contener, la experiencia muestra que este polímero es resistente a lixiviados de rellenos sanitarios municipales. En el caso de lixiviados de materiales altamente contaminantes, industriales o peligrosos, se recomienda verificar la compatibilidad. La prueba EPA 9090 se utiliza para tal propósito y la misma consiste en someter una muestra del geosintético al ataque del lixiviado durante varios meses, determinándose al término del lapso de exposición, la resistencia mecánica remanente en el producto ensayado.

**Muy alta resistencia a la pérdida de propiedades por intemperismo.**- Es prácticamente el único material que puede permanecer expuesto a la intemperie por lapsos de más de 10 años. Aunque existen otras geomembranas, como las de Polietileno Cloro Sulfonado, que también son altamente resistentes al intemperismo, su alto costo ha limitado su empleo.

**Ligereza.**- Propiedad importante desde el punto de vista logístico, ya que se puede lograr la impermeabilización sin grandes acarreos y en lapsos muy cortos.

**Es termoplástico.**- Por esta característica, puede ser unido mediante equipo de alta producción, (termofusión), además de permitir reparaciones mediante soldadura (equipo de extrusión).

## **CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DE SISTEMAS IMPERMEABLES A BASE DE GEOMEMBRANAS.**

La tecnología moderna emplea conceptos muy simples pero muy efectivos, basados en el conocimiento de los materiales y sus limitaciones, así como en la experiencia. En general, se manejan los siguientes conceptos:

- **Es posible lograr Sistemas Impermeables, no Productos Impermeables.** Existen productos de muy baja permeabilidad, pero no absolutamente impermeables. Adicionalmente, por factores muy difíciles de eliminar totalmente, tales como pequeños daños a la geomembrana durante la instalación, imperfecciones en el producto o en sus uniones que no son fáciles de detectar, etc., es necesario considerar que existirán fugas de a través de una geomembrana, pero que pueden ser prevenidas mediante productos, obras o sistemas auxiliares, con lo que si se pueden lograr **sistemas impermeables**.

Considerando como sistema al área de donde no deben existir fugas, cuando las necesidades del proyecto lo justifiquen, según se indica en el siguiente punto, se pueden utilizar las siguientes herramientas:



- a) Utilizar sistemas o productos para detectar, coleccionar y conducir eventuales fugas a través de la geomembrana, hasta cárcamos. Para esto se utilizan capas granulares drenantes o geodrenes y barreras dobles, que pueden ser geomembranas como barrera primaria y capas de arcilla compactada como barrera secundaria.
  - b) Proporcionar altas pendientes, para conducir rápidamente las filtraciones hacia obras preparadas para recibirlas y conducir las al cárcamo, evitando de este modo la salida de lixiviados del sistema.
- **Evaluar las consecuencias de eventuales fugas.** Para determinar el grado de seguridad requerido, se debe revisar si por las características del sitio y del proyecto en general, las fugas serían irrelevantes, tolerables, indeseables o catastróficas y diseñar el sistema en consecuencia. Como ejemplo, pequeñas fugas en un sitio en el cual subyace a la geomembrana una capa gruesa de arcilla densa, pueden ser tolerables, no así el mismo grado de fugas de lixiviados en un relleno sanitario que se encuentra muy cercano a un acuífero.
  - **Se debe diseñar sin asignar a la geomembrana una función estructural.** Esto quiere decir que aunque las geomembranas tengan resistencia, las estructuras sobre las que se instalan deben estar diseñadas para evitar que el producto sintético se vea sometido a esfuerzos originados por hundimientos locales, asentamientos, subpresiones, abrasión, alargamientos y tensiones, etc.
  - **Proporcionar protecciones para la geomembrana.** Comparadas con los materiales tradicionales de construcción, las geomembranas son elementos frágiles y por lo tanto deben ser protegidos para que mantengan su integridad. De hecho, el mayor número de fugas se tiene a través de agujeros en los productos, ocasionados por una instalación defectuosa y no supervisada. Los medios de protección a la geomembrana pueden ser **productos de cubierta**, como los geotextiles o capas de arena, que evitan su perforación, **procedimientos cuidadosos** que reduzcan la presión aplicada sobre la geomembrana, mediante el empleo de equipo que transmita baja presión, o bien el rebaje gradual de espesores de capas de cobertura gruesas que se van reduciendo hasta llegar al espesor deseado, y **restricciones**, como puede ser la limitación del tránsito en las áreas donde se encuentra instalada la geomembrana, etc.
  - **Ejecutar procedimientos rigurosos de Aseguramiento de la Calidad.**

## CONSTRUCCION, SUPERVISION Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

**La suposición de que la simple instalación de una geomembrana garantiza que no existirán filtraciones es errónea.** De acuerdo a la experiencia, en un porcentaje importante de instalaciones, existen fugas a través de geomembranas, aunque sea de muy pequeña magnitud, las que se originan a través de defectos en el producto o en sus uniones que son imperceptibles a simple vista, daños por el tráfico de personas o equipo sobre ellos, por la circulación de equipo pesado, por haber sido colocados sobre superficies inadecuadas o no preparadas adecuadamente, por no considerar medidas para contrarrestar la existencia de pequeñas fugas, etc. En otras palabras, errores en el diseño, selección de geomembrana, procedimiento constructivo, supervisión inadecuada y la falta de programa de Aseguramiento de la Calidad. El éxito entonces se obtiene mediante Diseños, Productos, Supervisión y Aseguramiento adecuados.

Después de diferentes programas de inspección de instalaciones en las que se utilizaron geomembranas, hace más de 15 años, en diversos países, se han tomado una serie de medidas para garantizar su correcto funcionamiento. Las medidas consisten en la aplicación de rigurosos controles, como se indica a continuación.

1. Utilizar los servicios de empresas especialistas que cuenten con el personal técnico, equipo, experiencia y sistemas internos de control de calidad, llevando a cabo los siguientes controles:

### Pruebas No Destructivas.

#### a) Pruebas de Aire Comprimido

Sirven para verificar la continuidad de la soldadura entre rollos de geomembrana

#### b) Pruebas de Vacío

Sirven para verificar la eficiencia de la soldadura en trabajos de detalle

### Pruebas Destructivas.

Se trata de pruebas de tensión ejecutadas en muestras de uniones entre rollos, para verificar la eficacia de la unión.

2. Utilizar los servicios de empresas especialistas en geosintéticos, para que efectúen la función de Aseguramiento de la Calidad, la cual debe incluir:
  - a) Revisión y adecuación del proyecto, desde la etapa de la planeación de la ejecución, hasta la construcción. Lo anterior es necesario debido a que los cambios que frecuentemente existen en las obras y las decisiones de campo, pueden acarrear el descuido del funcionamiento del sistema de geosintéticos, en el que generalmente descansa el éxito de la instalación.
  - b) Revisión de toda la documentación de calidad de los suministros y el cumplimiento de las especificaciones de proyecto, o su adecuación.
  - c) Evaluación de la capacidad de la empresa instaladora de los geosintéticos.
  - d) Revisión y autorización (o modificación) al contratista de instalación, del plan de trabajo que presente previamente a la iniciación de sus operaciones.
  - e) Supervisión de los métodos de instalación de las geomembranas, poniendo énfasis en el empleo del equipo correcto, personal con suficiente experiencia y el cuidado en el manejo de la geomembrana.
  - f) Verificación de las pruebas de control de calidad que la empresa instaladora debe ejecutar y reportar.
  - g) Funcionar como un asesor del supervisor de la obra, en lo relativo a la definición de los procedimientos correctos desde las etapas previas a la colocación del producto sintético, hasta su cobertura, para garantizar su integridad

### **MEDIDAS GENERALES PARA MANTENER LA FUNCIONALIDAD DE LAS GEOMEMBRANAS**

- A) Las geomembranas deben instalarse sobre suelo estable y compactado, en cuya superficie no existan piedras u otro tipo de objeto que puedan perforarlas.
- B) No deben instalarse en situaciones en las que se someterán a esfuerzos mecánicos, sino adecuar la estructura de apoyo para proteger al producto.
- C) Se debe evitar la manipulación excesiva del material.
- D) Se utilizan geotextiles con masa mínima de 400 g/m<sup>2</sup>, para proteger geomembranas contra la perforación, si esta se apoyará o cubrirá con material granular, como es el caso de sistemas de barreras dobles con subdrenaje intermedio.

- E) Se debe preparar y dar el mantenimiento al terreno y a los materiales de relleno, para que conserven la estabilidad suficiente para permitir la realización de las actividades de instalación de la geomembrana, evitando condiciones lodosas que deterioran la calidad de la instalación y removiendo de la superficie a cubrir, piedras y otros objetos que puedan dañar a la geomembrana. Lo anterior implica inclusive la continua remoción de agua de lluvia, agua freática, hielo, nieve o granizo, durante la instalación de la geomembrana.
- F) Rellenar y compactar los materiales que según proyecto van colocados encima de la geomembrana, siguiendo procedimientos que garanticen que dicho producto no es dañado por las operaciones indicadas.
- G) La geomembrana puede ser almacenada al aire libre, pero debe protegerse del lodo y de daño mecánico, vandalismo, etc. La Contratista debe ser responsable de la custodia de los materiales, instalados o no.
- H) En necesario lograr que La Contratista de terracerías y La Subcontratista de instalación de geomembrana trabajen en coordinación, para que la cobertura de capas de terracería cuyo contenido de humedad no se desea que cambie, se realice inmediatamente después de que el laboratorio ha revisado y aprobado el contenido de humedad y otras propiedades de dicha capa, tales como espesor, grado de compactación y permeabilidad.
- I) En caso de que la geomembrana resulte dañada accidentalmente, deberá ser reparada de inmediato.

## CONCLUSIONES

La experiencia acumulada desde el nacimiento de la industria de las geomembranas ha traído las siguientes enseñanzas:

1. El simple hecho de que se especifique el uso de geomembranas y se instalen dichos materiales, no garantiza que se obtendrá el resultado deseado.
2. Es necesario reducir los factores que afectan la eficacia del funcionamiento de sistemas que contienen geomembranas, reduciendo los factores conocidos que en el pasado han resultado en fallas. Estos factores son, principalmente:
  - a) Errores en el diseño que resultan en la transmisión de esfuerzos que la geomembrana no puede tolerar.
  - b) Errores en la instalación, que resultan en geomembrana perforada por la utilización de equipo y procedimientos de instalación inadecuados o personal sin experiencia.
  - c) Errores en la selección de la geomembrana, al no adaptarse la misma a las condiciones de uso o de instalación que se tiene previsto utilizar.

- d) Inadecuado diseño al no considerar medidas pertinentes en caso de existir una fuga del sistema, lo que se maneja con obras auxiliares cuya magnitud depende del tipo de consecuencias que tiene la fuga. Las obras auxiliares tienen que ver con el drenaje y preparaciones para recibir e interceptar las eventuales fugas.
- e) Falta de inspección de la calidad de la geomembrana adquirida por personal experimentado.
- f) Falta de supervisión calificada para las actividades de la Subcontratista de Instalación de geomembranas.

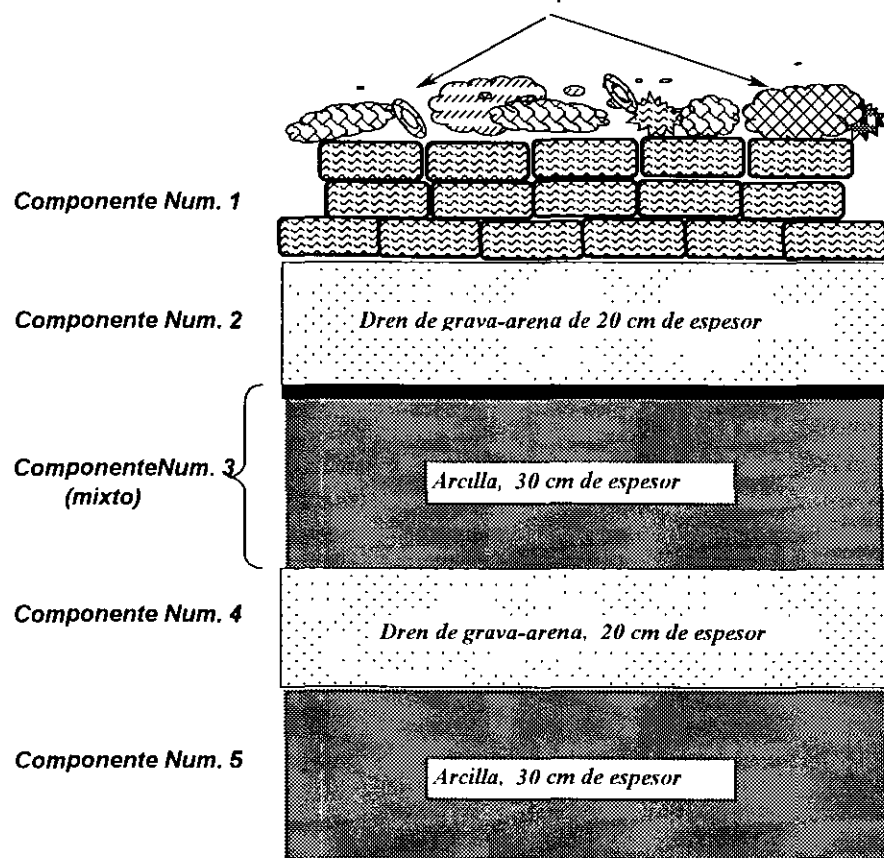
## BIBLIOGRAFÍA.

1. Apse, Juris. "Polyethylene Resins for Geomembrane Applications". Seminario: Durability and Aging of Geosynthetics, Geosynthetics Research Institute, Drexel University. Elsevier Applied Science. 1989..
2. Giroud and Fluet. Jr. "Quality Assurance of Geosynthetics Lining Systems". Publicación Especial sobre Aseguramiento de la Calidad de Geomembranas, Revista "Geotextiles and Geomembranes". 1986.
3. Murillo, F. Rodrigo. "Hidráulica de Geosintéticos". Simposio sobre Geosintéticos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1990.
4. Koerner, Robert M. Designing with Geosynthetics. Editorial Prentice Hall, Inc. . Cuarta edición. 1994
5. Murillo, F. Rodrigo. "Experiencias con Geomembranas". Simposio sobre Geosintéticos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1990.
6. Ramírez M. Alejandro. "Los Geosintéticos y el Ingeniero de Diseño". Simposio sobre Geosintéticos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.1990.
7. Ramírez M. Alejandro. "Utilización de Geosintéticos en Rellenos Sanitarios". Simposio: Geotecnia y Medio Ambiente, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.1990.
8. Dewsnap et al. Quality Assurance of Polyethylene Liners. Revista Geotextiles and Geomembranes. Vol. 3 No. 4, 1986.

9. Geosynthetics Research Institute. Drexel University. Durability and Aging of Geosynthetics, Sesión II. Elsevier Applied Science. 1989.
10. Haxo, H. E. Quality Assurance of Geomembrane Used as Linings for Hazardous Waste Containment. Revista Geotextiles and Geomembranes. Vol. 3 No. 4, 1986.
11. A Design Primer: Geotextiles and Related Materials. Sección 14: Geomembrane Protection. Industrial Fabrics Association International. 1990.

Basura de operación normal

## FUNCIONAMIENTO



**Basura selecta, inerte y permeable (llantas, escombros de demolición, etc.)**  
Sirve como zona adicional de alta permeabilidad, que aumenta la eficacia en la colección y remoción de lixiviados, ayuda a filtrar contaminantes del material drenante del componente núm. 2 y convierte un residuo en un material útil

**Colección y remoción de lixiviado**  
Reduce la carga hidráulica sobre la barrera mixta arcilla-geomembrana, lo cual es un factor decisivo en la eficacia a largo plazo del sistema.

**Barrera mixta arcilla-geomembrana**  
Principal elemento que evita la filtración de contaminantes  
Su eficacia a largo plazo depende de la integridad de la geomembrana y sus uniones, de la sinergia geomembrana-arcilla y de mantener la carga hidráulica lo más baja posible.

**Detección y remoción de fugas.**  
Sistema que permite monitorear el comportamiento del sistema impermeable y emprender acciones correctivas cuando sea necesario

**Barrera secundaria**  
Es un elemento de seguridad en caso de fugas. Por trabajar bajo una carga hidráulica mucho menor que la primera barrera, su composición puede ser de arcilla compactada únicamente.

EJEMPLO DE UN DISEÑO DE RELLENO SANITARIO CON SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA  
OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996**

**TEMA:**

**DOCUMENTO DE TRABAJO VERSIÓN 24 FEBRERO 2000**

**ING. ALEJANDRO RAMÍREZ MANZANO  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO – MARZO 2000**



# DOCUMENTO DE TRABAJO

## Versión 24 feb 2000

<sup>1</sup> 11-25-00 NORMA Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996, Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.**

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 5o. fracciones I y VIII, 6o. fracción XIII y último párrafo, 36, 37, 137, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 44, 45, 46 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

### CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 22 de junio de 1994 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, con carácter de Proyecto, la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-083-ECOL-1994, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales, a fin de que los interesados, en un plazo de 90 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en río Elba número 20, colonia Cuauhtémoc, código postal 06500, México, D.F.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado en el párrafo anterior, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes, entre las cuales, y para mayor, entendimiento, se encuentra el título de la presente Norma y publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** de fecha 1 de diciembre de 1995 las respuestas a los comentarios recibidos en el plazo de ley, así como la aclaración correspondiente a las mismas el 30 de mayo de 1996, en el referido Organó Informativo.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 12 de junio de 1995 aprobó la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-083-ECOL-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.**

### INDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Definiciones
3. Especificaciones
4. Procedimientos
5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
6. Bibliografía

# DOCUMENTO DE TRABAJO

## Versión 24 feb 2000

### 7. Observancia de esta Norma

#### 0. Introducción

0.1 Los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales generan lixiviados que contienen diversos contaminantes que pueden afectar los recursos naturales, en especial los acuíferos y los cuerpos superficiales de agua. La aplicación de esta Norma permitirá proteger el ambiente, preservar el equilibrio ecológico y minimizar los efectos contaminantes

#### 1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece las condiciones de ubicación, hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, y es de observancia obligatoria para aquellos que tienen la responsabilidad de la disposición final de los residuos sólidos municipales.

#### 2. Definiciones

##### 2.1 Acuífero

Es cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas, que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

##### 2.2 Acuífero confinado

Es aquel acuífero que está limitado en su parte superior por una unidad de baja conductividad hidráulica y el nivel piezométrico presenta una presión superior a la atmosférica.

##### 2.3 Acuífero libre

Es un acuífero en el cual el nivel freático o nivel de saturación se encuentra a la presión atmosférica

##### 2.4 Acuífero semiconfinado

Aquel acuífero que tiene una unidad saturada de baja conductividad hidráulica en su parte superior o inferior, que contribuye con un pequeño caudal (goteo) debido a los gradientes inducidos por bombeo del acuífero.

##### 2.5 Acuitardo

Es cualquier formación geológica por la que circula muy lentamente agua subterránea, por lo que generalmente no son utilizados para su explotación, uso o aprovechamiento.

##### 2.6 Agua subterránea

Es el agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas

##### 2.7 Áreas naturales protegidas

Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han quedado sujetas al régimen de protección.

##### 2.8 Capacidad de intercambio catiónico

Es el total de cationes intercambiables que puede absorber un suelo, expresado en miliequivalentes de los cationes por cada 100 g (cien gramos) de masa de suelo seco.

##### 2.9 Carga hidráulica

Es la energía presente en un acuífero, normalmente tiene dos componentes: a) la carga relacionada con la elevación con respecto a un punto de referencia que es normalmente el nivel medio del mar, y b) la carga de presión, o presión de poro.

##### 2.10 Conductividad hidráulica

Es la propiedad de un medio geológico de permitir el flujo de agua subterránea en un acuífero o acuitardo, considerando las condiciones de densidad y viscosidad del agua.

##### 2.11 Contaminantes no reactivos

Son los contaminantes que viajan en solución, a la misma velocidad lineal que el agua subterránea. No sufren reacciones químicas ni biológicas con el medio granular.

# DOCUMENTO DE TRABAJO

## Versión 24 feb 2000

### 2.12 Descripción estratigráfica

Es la descripción de los estratos del subsuelo en cuanto a sus propiedades físicas, químicas e hidráulicas, de acuerdo al código de nomenclatura estratigráfica vigente.

### 2.13 Discontinuidades

Superficie marcada por modificaciones radicales de las propiedades físicas de las rocas. Estas discontinuidades pueden ser por ejemplo, fallas o fracturas

### 2.14 Disposición final

La acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños al ambiente.

### 2.15 Falla

Es cuando se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

### 2.16 Falla activa

Son aquellas fallas que han sufrido desplazamiento durante el holoceno (último millón de años)

### 2.17 Fracción de carbono orgánico

La fracción de carbono orgánico se refiere al porcentaje de carbono orgánico en el suelo, derivado de restos de plantas. Es importante en la retención de contaminantes orgánicos.

### 2.18 Fractura

Es una discontinuidad en las rocas producida por un sistema de esfuerzos.

### 2.19 Freatofitas

Son plantas que extienden sus raíces por debajo del nivel freático y extraen sus requerimientos de humedad directamente de la zona saturada

### 2.20 Geofísica

La ciencia que estudia las propiedades físicas de la tierra y el conocimiento de la estructura geológica de los materiales que la constituyen.

### 2.21 Geología

Es el estudio de la formación, evolución, distribución, correlación y comparación de los materiales terrestres

### 2.22 Hidrogeología

Es el conjunto de actividades tales como perforaciones, determinación de la recarga, profundidades a nivel estático, interacción química agua-roca y propiedades hidráulicas que permiten conocer y localizar los sistemas de aguas subterráneas, su dirección y velocidad de movimiento.

### 2.23 Hidrología

La ciencia que estudia los componentes primarios del ciclo hidrológico y su relación entre sí. Considera la interacción y dinámica de la atmósfera con cuerpos de agua superficial tales como ríos, arroyos, lagunas, lagos, etc.

### 2.24 Infiltración

Introducción suave de un líquido entre los poros de un sólido referido al agua, el paso lento de ésta a través de los intersticios del suelo y del subsuelo.

### 2.25 Lixiviado

Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

### 2.26 Nivel freático

La superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación de la de saturación

# DOCUMENTO DE TRABAJO

## Versión 24 feb 2000

### 2.27 Nivel piezométrico

Es el valor de la carga hidráulica observado de un acuífero o acuitardo a diferente profundidad en el mismo y en el medio saturado

### 2.28 Parámetros hidráulicos

Son la conductividad hidráulica, la porosidad, la carga hidráulica, los gradientes hidráulicos de una unidad hidrológica, así como su coeficiente de almacenamiento.

### 2.29 Percolación

Es el movimiento descendente de agua a través del perfil del suelo debido a la influencia de la gravedad

### 2.30 Permeabilidad

La propiedad que tiene una sección unitaria de terreno para permitir el paso de un fluido a través de ella sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico.

### 2.31 Porosidad efectiva

Es la relación del volumen de vacíos o poros interconectados de una roca o suelo dividido por el volumen total de la muestra.

### 2.32 Potencial de contaminación

Es la interacción entre el tipo, intensidad, disposición y duración de la carga contaminante con la vulnerabilidad del acuífero; está definida por las condiciones de flujo del agua subterránea y las características físicas y químicas del acuífero.

### 2.33 Residuo sólido municipal

El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso.

### 2.34 Sistema de flujo

Es definido por la dirección de flujo que sigue el agua subterránea, considerando las zonas de recarga y descarga, las cargas y gradientes hidráulicos a profundidad y el efecto de fronteras hidráulicas. Incluye, además la interacción con el agua superficial y comprende sistemas locales, intermedios y regionales

### 2.35 Talud

Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos del suelo con un ángulo de reposo del material del terreno de que se trate.

### 2.36 Unidades litológicas

Conjunto de materiales geológicos compuestos predominantemente de cierta asociación de minerales que tienen un origen común.

### 2.37 Volumen de extracción

Se refiere a la cantidad de agua subterránea que se extrae de un acuífero a través de pozos o norias

### 2.38 Zona de aireación

La zona que contiene agua bajo presión menor a la de la atmósfera, está delimitada entre la superficie del terreno y el nivel freático

### 2.39 Zona de descarga

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo de agua subterránea fluye de mayor profundidad hacia el nivel freático; es decir, el flujo subterráneo es ascendente.

### 2.40 Zona de inundación

Area sujeta a variaciones de nivel de agua por arriba del nivel del terreno, asociadas con la precipitación pluvial, el escurrimiento y las descargas de agua subterránea

### 2.41 Zona de recarga

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo del agua subterránea fluye del nivel freático hacia mayor profundidad, es decir, el flujo subterráneo es descendente.

# DOCUMENTO DE TRABAJO

## Versión 24 feb 2000

### 2.42 Zona de saturación

El área que se caracteriza por tener sus poros o fracturas llenas de agua, su límite superior corresponde al nivel freático y su límite inferior es una unidad impermeable.

### 2.43 Zona no saturada

Es el espesor que existe entre la superficie del terreno y el nivel freático. Es equivalente a la profundidad del nivel freático.

## 3. Especificaciones

3.1 Con el fin de cumplir con las diferentes especificaciones de ubicación, que debe satisfacer un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales, y facilitar la toma de decisiones en las diferentes etapas de los estudios que se describen en el punto 4 de esta Norma Oficial Mexicana, debe ser considerado el diagrama de flujo que se describe en el Anexo 1.

3.2 Las condiciones mínimas que debe cumplir un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales, son las siguientes:

### 3.2.1 Aspectos generales

#### 3.2.1.1 Restricción por afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas

##### 3.2.1.1.1 Las distancias mínimas a aeropuertos son:

- a) De 3000 m (tres mil metros) cuando maniobren aviones de motor a turbina.
- b) De 1500 m (mil quinientos metros) cuando maniobren aviones de motor a pistón

3.2.1.1.2 Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios.

3.2.1.1.3 No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas a excepción de los sitios que estén contemplados en el plan de desarrollo urbano

3.2.1.1.4 Se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.

3.2.1.1.5 Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m (mil quinientos metros), a partir del límite de la traza urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta mayores de 2500 habitantes. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población considerando los puntos 3.2.1.1.6 y 3.2.1.1.7

Debe estar alejado a una distancia mínima de 300 mts. (trescientos metros), siempre y cuando no afecte a la población a partir del límite de la traza urbana de la población por servir y el cuerpo del relleno, así como de poblaciones rurales mayores de 2500 habitantes, además se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población considerando los puntos 3.2.1.1.7 y 3.2.1.1.8

NOTA: Incluir en el glosario "cuerpo del relleno"

3.2.1.1.6 La distancia a la que se refiere el inciso 3.2.1.1.5 debe ser garantizada por las autoridades competentes como zona de amortiguamiento y/o salvaguarda en la que únicamente se permitirá como uso de suelo la forestación.

NOTA: Incluir en el glosario "zona de amortiguamiento y zona de salvaguarda".

3.2.1.1.7 Dirección de los vientos dominantes, que no tengan incidencia directa hacia los centros de población y existencia de barreras que formen una zona de amortiguamiento natural o artificial.

3.2.1.1.8 Que el sitio no sea visible para garantizar el bienestar de la población, desde el punto de vista estético. En caso de no cumplirse esta restricción, se pueden tomar medidas de ingeniería que durante el período de vida útil del sitio no permita su visibilidad.

3.2.1.2 La localización de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, para aquellas localidades con una población de hasta 50,000 habitantes, o cuya recepción sea de 30 toneladas por día, de estos residuos, se debe hacer considerando exclusivamente las especificaciones establecidas en los puntos 3.2.3 y 3.2.4 de esta Norma Oficial Mexicana.

### 3.2.2 Aspectos hidrológicos

# DOCUMENTO DE TRABAJO

Versión 24 feb 2000

~~3.2.2.1 Se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.~~

3.2.2.2 El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se debe ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.

3.2.2.3 La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 m (mil metros) como mínimo ~~zona~~ cuando la ubicación del sitio este en la misma subcuenca de aportación y contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.

(NOTA: anejar al glosario subcuenca de aportación)

## 3.2.3 Aspectos geológicos

□

3.2.3.1 Debe estar a una distancia mínima de 60 ~~10~~ m (sesenta ~~metros diez metros~~) en proyección horizontal de una falla de superficie activa que incluya desplazamiento en un periodo de tiempo de un millón de años.

3.2.3.2 Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, es decir, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.

3.2.3.3 Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.

## 3.2.4 Aspectos hidrogeológicos

3.2.4.1 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

3.2.4.2 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales granulares, se debe garantizar que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

3.2.4.3 La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.

## 3.2.5 Consideraciones de selección

3.2.5.1 En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua superficial y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería.

## 4. Procedimientos

4.1 La selección de un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios.

### 4.2 Estudios geológicos

4.2.1 Se deben realizar estudios geológicos de tipo regional y local, de acuerdo con las siguientes características:

#### 4.2.1.1 Estudio geológico regional

Determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio, esta información puede ser de cortes litológicos de pozos de agua, exploración geotécnica, petrolera o de otra índole.

#### 4.2.1.2 Estudio geológico local

Determinar las unidades litológicas en el sitio, su geometría, distribución y presencia de fallas y fracturas. Asimismo, debe incluir estudios geofísicos para complementar la información sobre las unidades litológicas. El tipo de método a utilizar y el volumen de trabajo, debe garantizar el conocimiento tridimensional del comportamiento y distribución de los materiales en el subsuelo hasta una profundidad

# DOCUMENTO DE TRABAJO

Versión 24 feb 2000

mínima de 200 mts. (doscientos metros) o hasta donde se encuentre el nivel de aguas freáticas y distribución horizontal adecuada a las características geológicas e hidrogeológicas del área en que se ubica el sitio.

4.2.1.3 Si los resultados geológicos y geofísicos preliminares muestran que no existe conexión aparente entre las rocas fracturadas con acuíferos o que la distribución de unidades litológicas de baja permeabilidad es amplia, se debe realizar un mínimo de una perforación en la periferia del sitio.

## 4.3 Estudios hidrogeológicos

4.3.1 Los estudios hidrogeológicos deben considerar cinco etapas:

- i. Evidencias y uso del agua subterránea.
- ii. Identificación del tipo de acuífero.
- iii. Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo.
- iv. Análisis del sistema de flujo.
- v. Evaluación del potencial de contaminación.

### 4.3.1.1 Evidencias y uso del agua subterránea

Definir la ubicación y distribución de todas las evidencias del agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, a escala regional y local. Asimismo, se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

### 4.3.1.2 Identificación del tipo de acuífero

Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semi-confinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero

4.3.1.3 Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo

Determinar la profundidad al nivel piezométrico en el sistema acuífero, dirección y velocidad del agua subterránea a partir de los parámetros de conductividad hidráulica, carga hidráulica y porosidad efectiva.

Conocer la composición química del agua subterránea

Determinar la conductividad hidráulica (K), la fracción de carbono orgánico (FCO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes estratos del subsuelo de la zona no saturada.

### 4.3.1.4 Análisis del sistema de flujo

Con base en la información geológica y de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3 de esta Norma Oficial Mexicana y de otros elementos hidrogeológicos, tales como zonas de freatofitas, zonas de recarga y descarga, etc., se debe definir el sistema de flujo local y regional del área de estudio.

### 4.3.1.5 Evaluación del potencial de contaminación

Se debe integrar toda la información obtenida de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2, 4.3.1.3 y 4.3.1.4 de esta Norma Oficial Mexicana, para determinar si el sitio es apto o si requiere obras de ingeniería. Para ello se debe considerar la gráfica del Anexo 2.

Esta gráfica define la condición de tránsito de la infiltración aceptable que deben tener los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, su valor de frontera está definido por  $f \leq 3 \times 10^{-10} \text{seg}^{-1}$  que representa el factor de tránsito de la infiltración, el cual relaciona a la velocidad promedio final de infiltración contra los diferentes espesores de los materiales de la zona no-saturada incluyendo la porosidad de ellos, según la siguiente fórmula:

$$f = (K \cdot i) / (U \cdot d)$$

Donde:

f = factor de tránsito de la infiltración, ( $\text{seg}^{-1}$ ).

d = espesor de la zona no-saturada, (m).

# DOCUMENTO DE TRABAJO

## Versión 24 feb 2000

**U** = porosidad promedio efectiva de los materiales de la zona no-saturada, (adimensional)

**i** = gradiente hidráulico, (adimensional).

**K** = conductividad hidráulica promedio de los materiales de la zona no-saturada, (m/s).

La velocidad promedio (**v**) se calcula a partir de la conductividad hidráulica saturada (**K**) de los materiales del subsuelo en la zona no-saturada, dividida por la porosidad promedio efectiva (**U**), considerando un gradiente hidráulico unitario (**i**), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V=Ki/U.$$

El valor de (**f**) obtenido, para el caso de que se trate, debe graficarse para determinar su aptitud y viabilidad. Los sitios aptos son aquellos cuyo factor de tránsito de la infiltración es

$$f \leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}.$$

### 4.3.1.6 Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes

Previa autorización de los gobiernos de los estados o, en su caso de los municipios, con arreglo a las disposiciones de la presente Norma Oficial Mexicana, se pueden elegir sitios de disposición final de residuos sólidos municipales que no reúnan alguna de las condiciones establecidas anteriormente, cuando se realicen obras de ingeniería, cuyos efectos resulten equivalentes a los que se obtendrían del cumplimiento de los requisitos previstos en los puntos 3.2.1.1, 3.2.2.1, 3.2.2.3, 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.5.1 de esta Norma Oficial Mexicana; obras con las cuales se debe acreditar técnicamente que no se afectaría negativamente al medio ambiente.

## 5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales

5.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter técnico que existen en otros países, no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente

## 6. Bibliografía

6.1 Manual de Relleno Sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984, México

6.2 Manual de Hidráulica Azevedo Alvarez (Editorial Harla), México.

6.3 Mecánica de Suelos. E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez (1970), México

6.4 Sanitary Landfill Design and Operation Dr. Brunner & D.J. Keller, U.S.E.P.A. 1971. (Diseño y operación de un relleno sanitario) E.U.A

6.5 Guía de Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. Manuales de la Organización Panamericana de la Salud Jorge Jaramillo y Francisco Zepeda (1991).

6.6 Practical Waste Management. John R. Holmes (1983). Editorial John Wiley & Sons (Manejo práctico de residuos), E.U.A.

6.7 Estudio de Comportamiento de un Relleno Sanitario mediante una celda de control (1992) Dirección General de Servicios Urbanos D.D.F., México.

6.8 Groundwater, R. Allan Freeze / John A. Cherry, Prentice Hall Inc. (1979) (Agua subterránea) E.U.A

6.9 Diccionario de Mineralogía y Geología, Lexis 22, Barcelona, España (1980).

6.10 Dictionary of Geological Terms. The American Geological Institute, (1984) E.U.A (Diccionario de términos geológicos) E.U.A.

6.11 The Geochemistry of Natural Waters, Drever, J. Prentice Hall E.U.A (1982).

6.12 Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas, CEPIS, OPS, Foster S., Hirata R., Lima, Perú, (1988).

6.13 Introduction to Geochemistry, Segunda Edición, Mc Graw-Hill Book Co, Krauskopf K. E.U.A. (1979) (Introducción a la geoquímica).

6.14 Earth, W. H. Freeman and Company, Press F., Siever R. E.U.A. (1986). (La Tierra).

## 7. Observancia de esta Norma



## DOCUMENTO DE TRABAJO

### Versión 24 feb 2000

7.1 Los sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos municipales que operan actualmente, tienen un plazo de tres años a partir de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación** para regularizar su situación de acuerdo a los preceptos de esta Norma.

7.2 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a los Gobiernos del Distrito Federal, de los estados y municipios en el ámbito de su jurisdicción y competencia, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

7.3 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de agosto de mil novecientos noventa y seis.- La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, **Julia Carabias Lillo**.- Rúbrica

Ver imagen (dar doble click con el ratón)

Ver imagen (dar doble click con el ratón)

Ver imagen (dar doble click con el ratón)

---



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA  
OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996**

**TEMA:**

**APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN RELLENOS SANITARIOS**

**ING. ALEJANDRO RAMÍREZ MANZANO  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO – MARZO 2000**

# APLICACION DE GEOSINTETICOS EN RELLENOS SANITARIOS

(\*) Aplicaciones estrictamente relacionadas con la protección del ambiente.

## BARRERAS (CONTROL DE FLUJO DE LIQUIDOS Y GASES)

- Geomembranas
- Geocompuestos de Bentonita laminada entre dos geotextiles.

## FILTROS

- Geotextiles

## DRENES (CONDUCCION DE FLUIDOS EN SU PLANO)

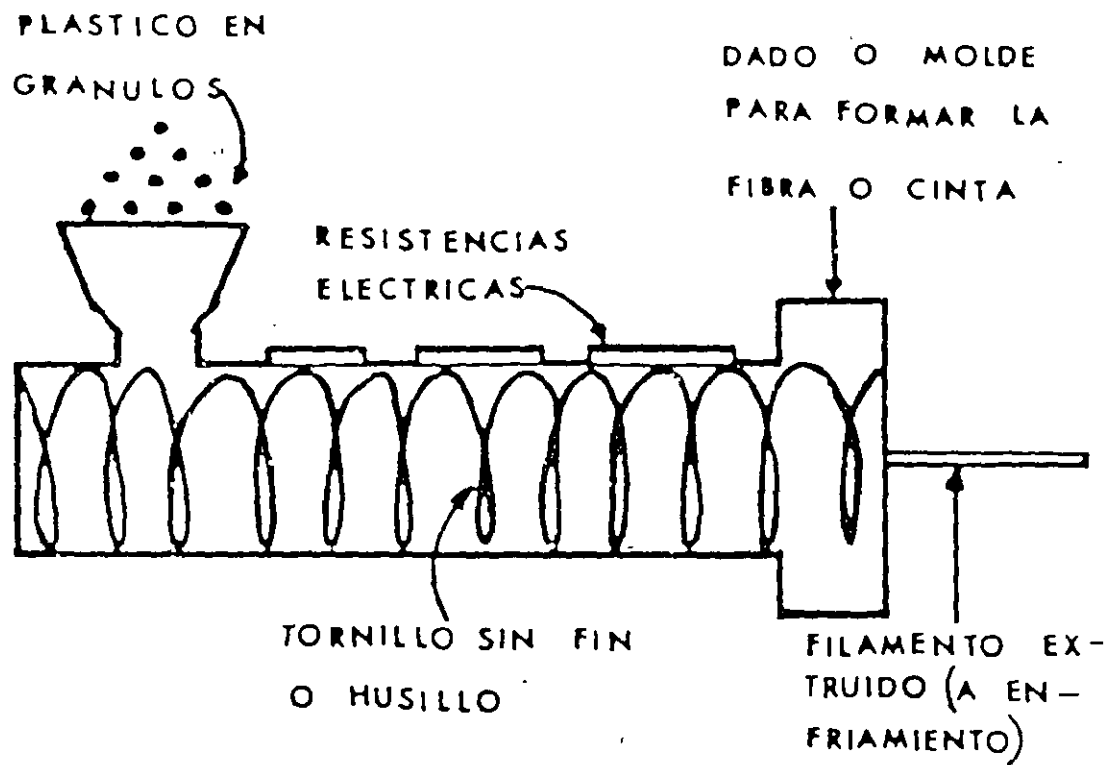
- Geomallas (georedes no orientadas)
- Geotextiles gruesos

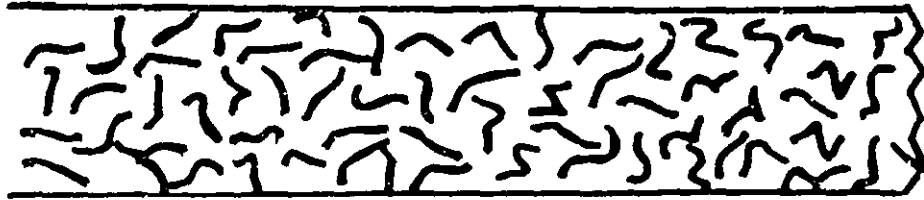
## PROTECCION DE GEOMEMBRANAS

- Geotextiles gruesos

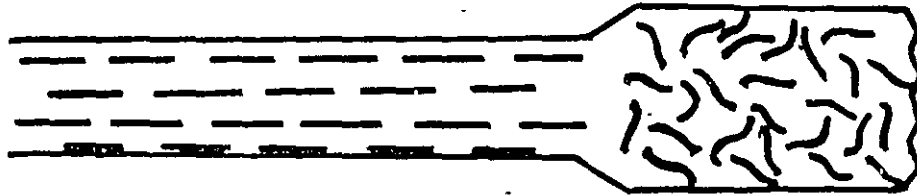
## CONTROL DE LA EROSION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

- Geomallas





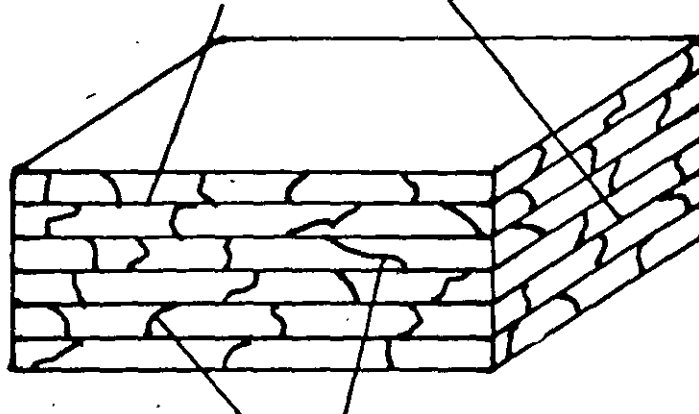
a) Filamento sin estirar  
Cadenas Moleculares sin  
Orientación definida



b) Filamento estirado  
Las Cadenas Moleculares se orien-  
tan en el sentido de la tracción

FIG. 4 Orientación Molecular en Filamentos  
a consecuencia del estiramiento.

**Zona de Flujo Horizontal.**



**Zona de Flujo Vertical**

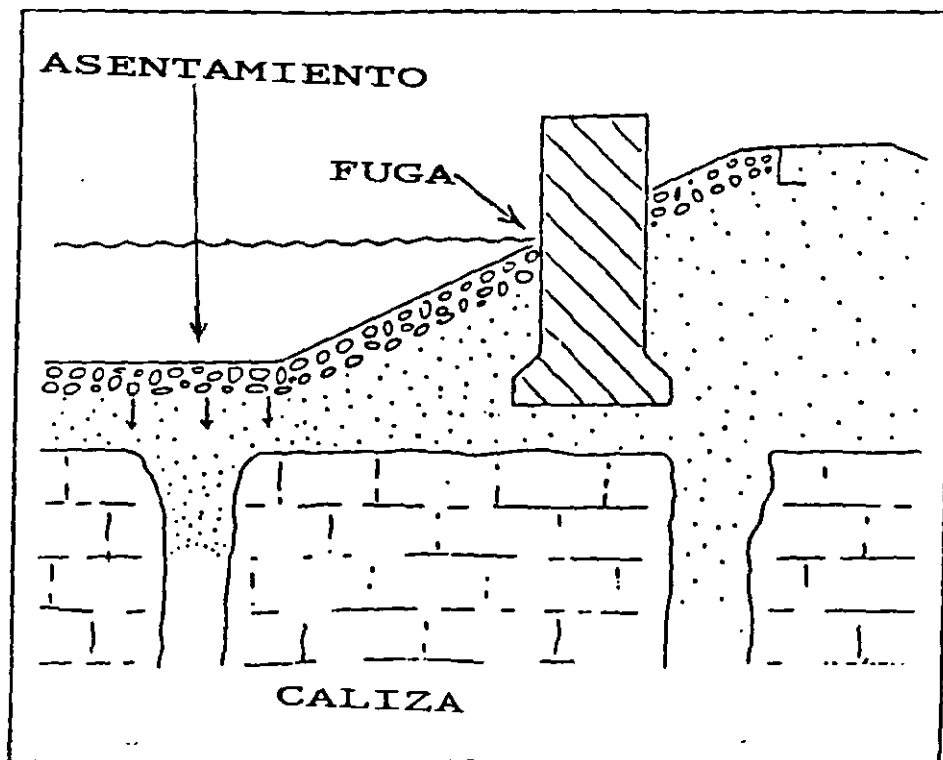
Fig. 1 Filtraciones a través de imperfecciones en capas de arcilla compactada (Daniel , 1990)

EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE BARRERA EN LOS EUA

( KOERNER )

TIPO DE BARRERA	FECHA APROX DE USO	COLECCION Y REMOCION DE LIXIVIADO	BARRERA PRIMARIA	DETECCION/ COLECCION Y REMOCION DE FUGAS	BARRERA SECUNDARIA
ARCILLA COMPACTADA	ANTES DE 1982	SUELO/TUBO	ARCILLA	-0-0-0-	-0-0-0-
1 GEOMEMBRANA	1982	SUELO/TUBO	GEOMEMBRANA	-0-0-0-	-0-0-0-
DOS GEOMEMBRANAS	1983	SUELO/TUBO	GEOMEMBRANA	SUELO/TUBO	GEOMEMBRANA
1 GEOMEMBRANA + BARRERA MIXTA	1984	SUELO/TUBO	GEOMEMBRANA	SUELO/TUBO	GEOMEMBRANA/ ARCILLA
1 GEOMEMBRANA + 1 BARRERA MIXTA	1985	SUELO/TUBO	GEOMEMBRANA	GEOMALLA	GEOMEMBRANA/ ARCILLA
DOBLE BARRERA MIXTA	1987	SUELO/TUBO	GEOMEMBRANA / ARCILLA	GEOTEXTIL / GEOMALLA	GEOMEMBRANA / ARCILLA
DOBLE BARRERA MIXTA	F U T U R O ?	GEOTEXTIL/ GEOCOMPUESTO	GEOMEMBRANA/ ARCILLA	GEOTEXTIL/GEOMALLA O GEOMEMBRANA/GEOMALLA	GEOMEMBRANA / ARCILLA

EXPERIENCIA DE FALLAS POR FUGAS NO PREVISTAS





La tabla III muestra las pérdidas de lixiviado que se tendrían en una hectárea con los diferentes materiales que para tal efecto se utilizan:

TABLA III

COMPARACION DE PERDIDAS ENTRE GEOSINTETICOS Y SISTEMAS TRADICIONALES DE IMPERMEABILIZACION

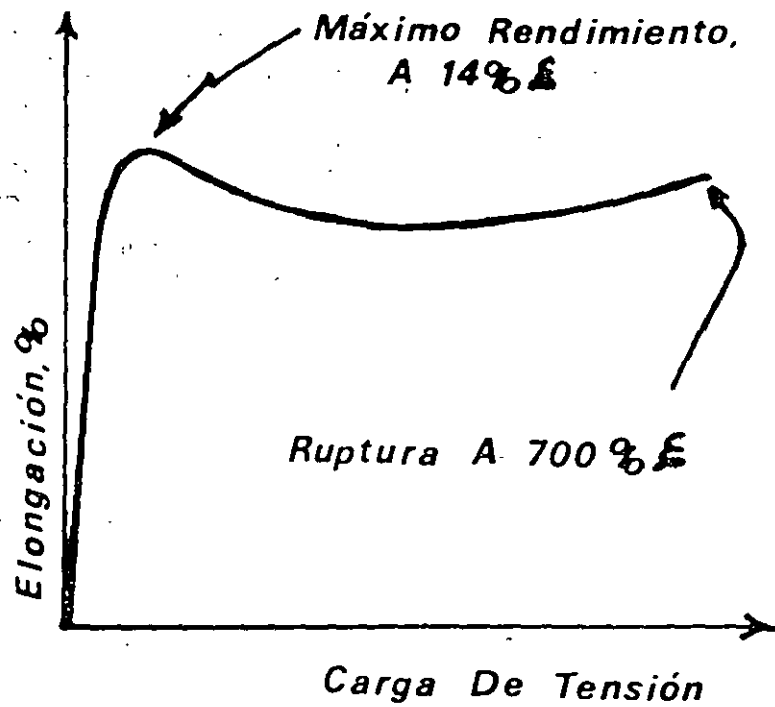
<u>Material</u>	<u>Parámetros de diseño</u>	<u>Gasto</u>
Arcilla Compactada	Espesor de 0.90 m y $k = 10 \times 10^{-7}$ cm/seg	3.8 m <sup>3</sup> /día Ha
Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad	12.5 agujeros de 0.1 cm <sup>2</sup> de área por Ha	7.4 m <sup>3</sup> /día Ha
Geosintético de Arcilla	Espesor de 1mm y $k = 8 \times 10^{-10}$ cm/seg	2.1 m <sup>3</sup> /día Ha

°El flujo a través de la arcilla y el geocompuesto de arcilla es calculado con la ecuación de Darcy; el correspondiente a la geomembrana se calculó con el método de Giroud (1990)

°Tirante de 3 m

EXPERIENCIAS RECIENTES

La inclusión de sistemas de detección y remoción de fugas constituyeron un avance sobre los primeros desarrollos que únicamente consideraban una sola barrera; posteriormente, con la aparición de los geosintéticos de arcilla se han instalado sistemas mixtos donde dichos materiales se instalan debajo de las geomembranas y sirven como elementos de sello para rellenar los agujeros que se generan en el plástico, debido a que al hidratarse la bentonita, extruye a través del geotextil que la confina y se expande, sellando el orificio. La figura 6 muestra los sistemas diseñados para el relleno sanitario municipal de Snohomish, WA, E.U.A., recientemente. Las figuras 7 a 9 muestran el procedimiento de instalación de un geosintético de arcilla utilizado como el único elemento de barrera en el relleno sanitario Ham, de Peterstown, WV, E.U.A., en Mayo de 1992.



- 9 Curva Típica del Polietileno de alta densidad en pruebas de tensión uniaxial (Giroud, 1987)

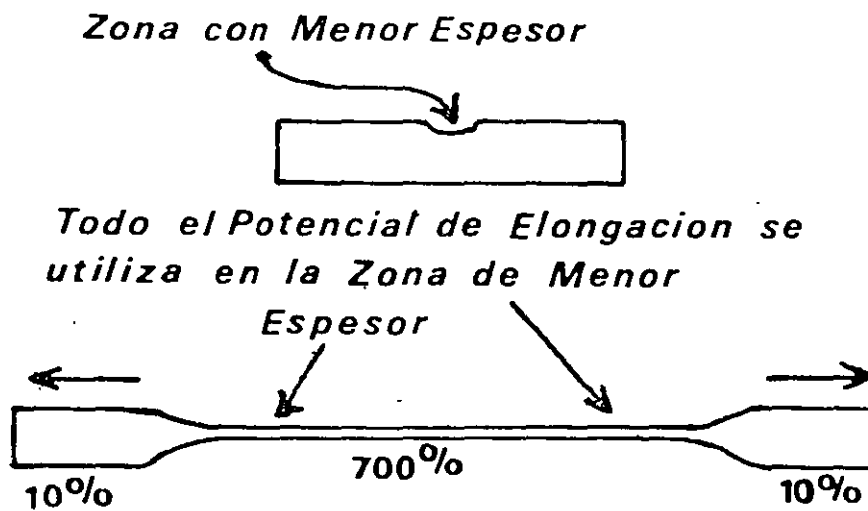
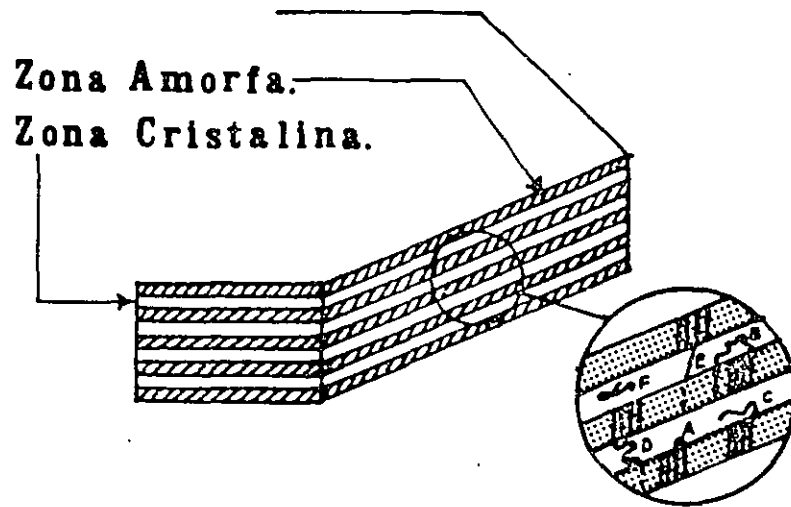


Fig. 10 Consecuencia de variaciones en el espesor de geomembranas de polietileno de alta densidad (Giroud, 1987)



Zona Amorfa.  
Zona Cristalina.

- A Entrada Contigua.
- B Entrada Distante.
- C Cadena con Extremo Suelto.
- D Interconexion con Cadena Floja.
- E " " " Tensa.
- F Cadena Libre.

Fig. 11 Morfología semicristalina del Polietileno de alta densidad

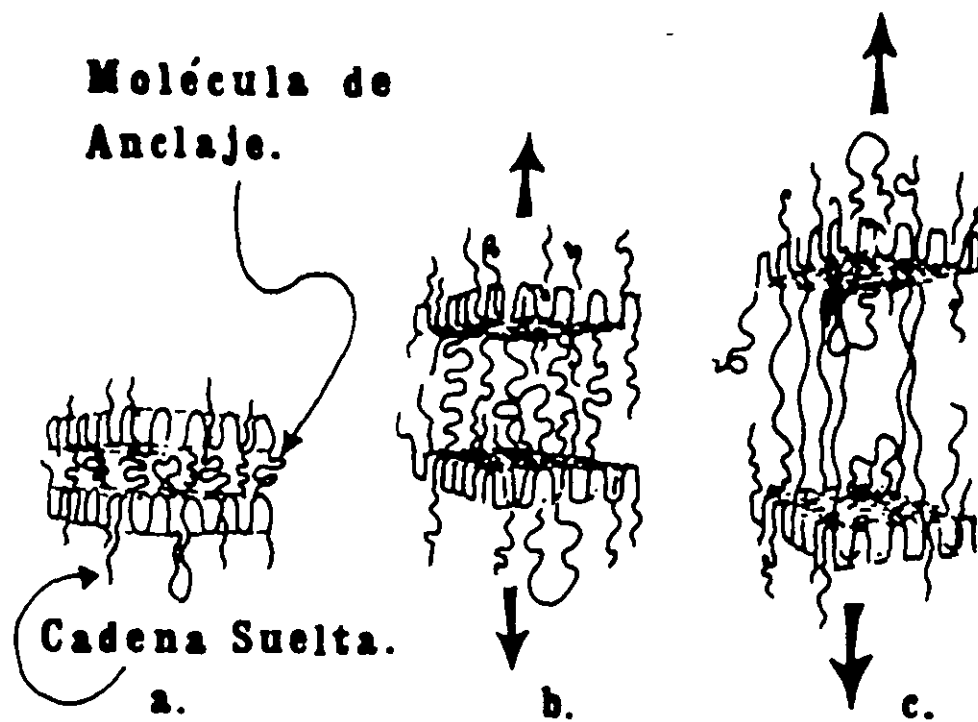
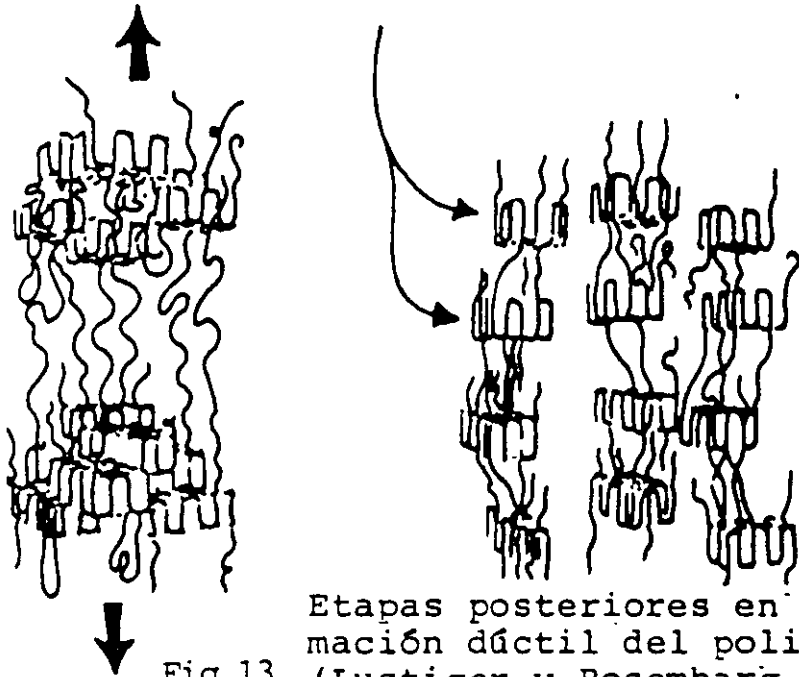


Fig. 12 Etapas iniciales en la deformación del polietileno (Lustiger y Rosemberg, 1988)

## Separacion de Laminillas en Mosaicos.



Etapas posteriores en la de-  
formación dúctil del polietileno  
(Lustiger y Rosemberg, 1988)

Fig 13

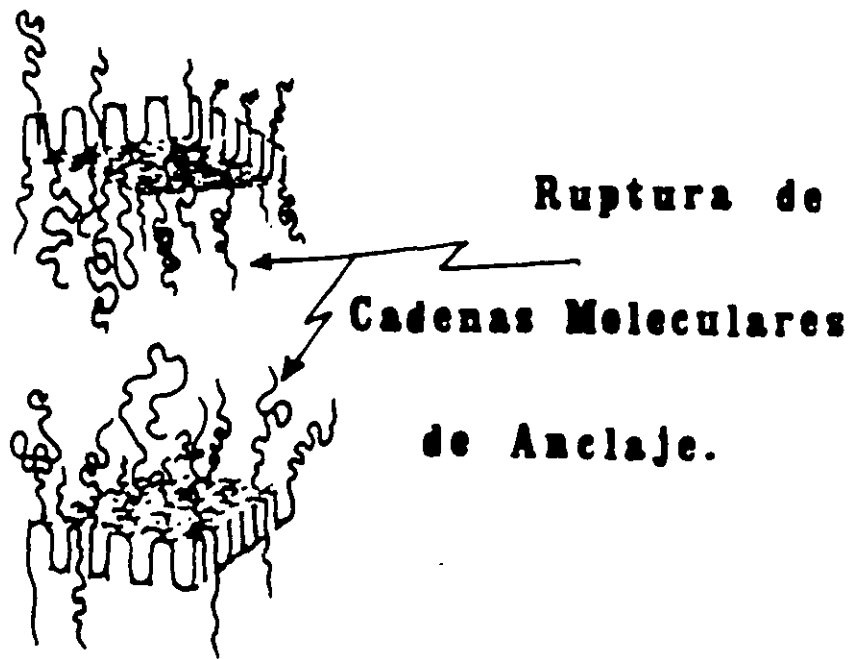


Fig. 14 Etapa final en la formación de fibrillas por esfuerzo del polietileno de alta densidad (Lustiger y Rosemberg, 1988)

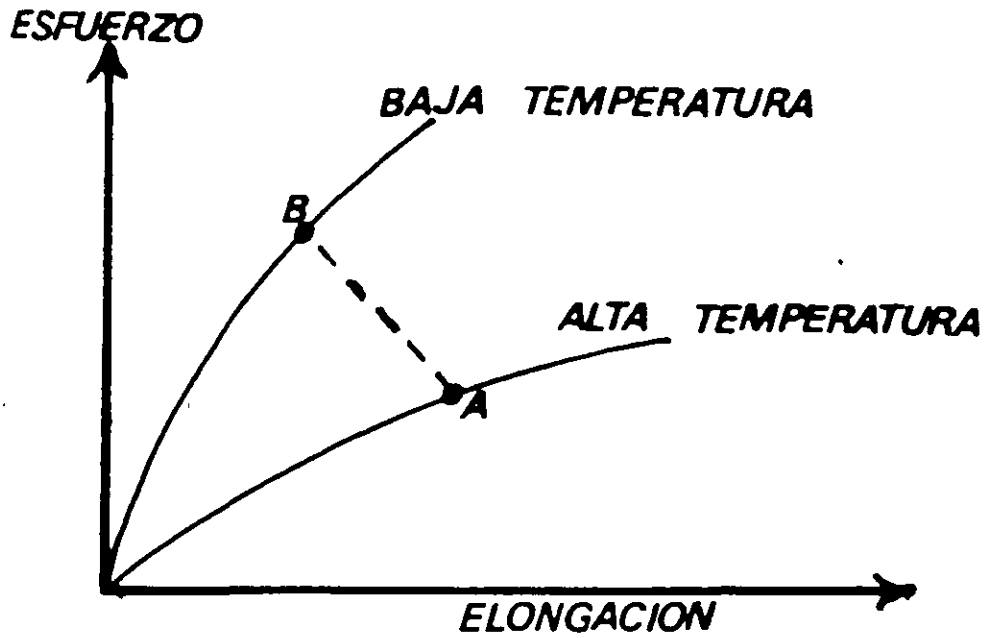
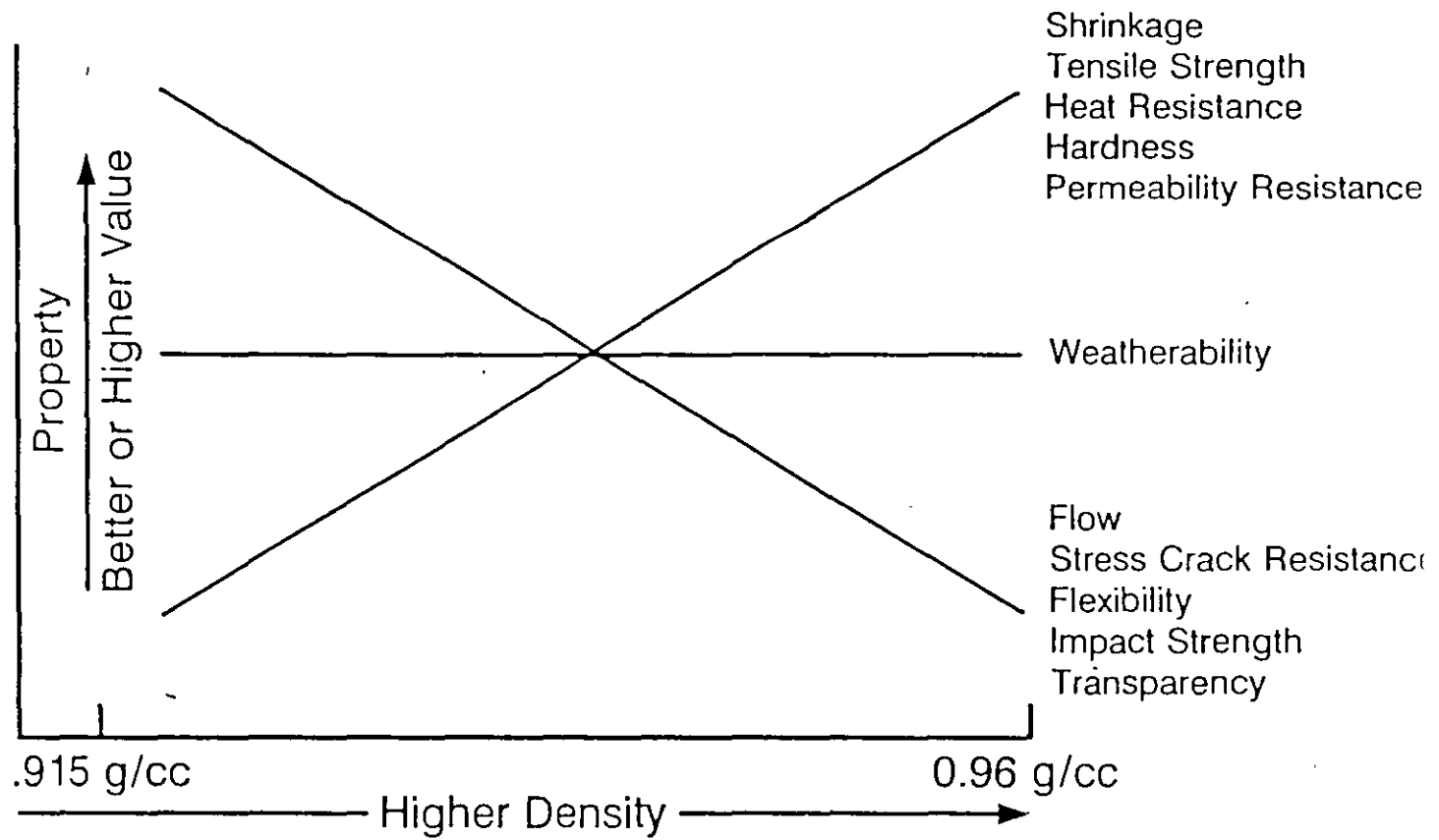


Fig. 15 Esfuerzos internos originados por gradientes térmicos en las geomembranas



Figure 2

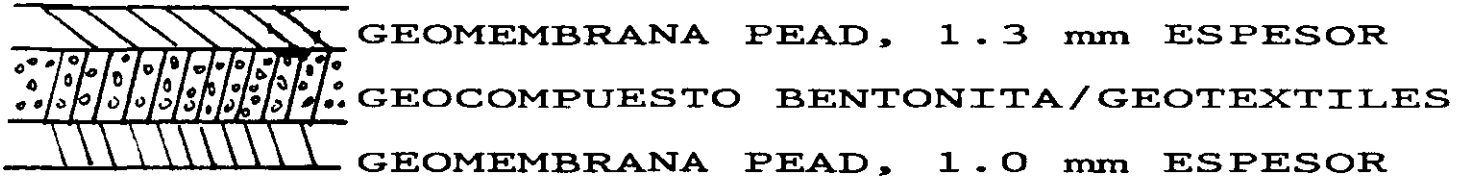
## Density Effects on PE Properties



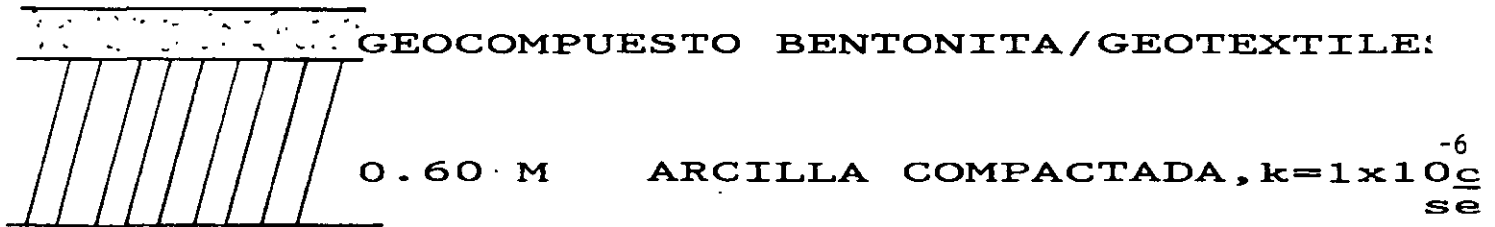
CASO DE APLICACION

RELLENO SANITARIO DE SNOHOMISH, WA., E.U.A

SISTEMA "A"

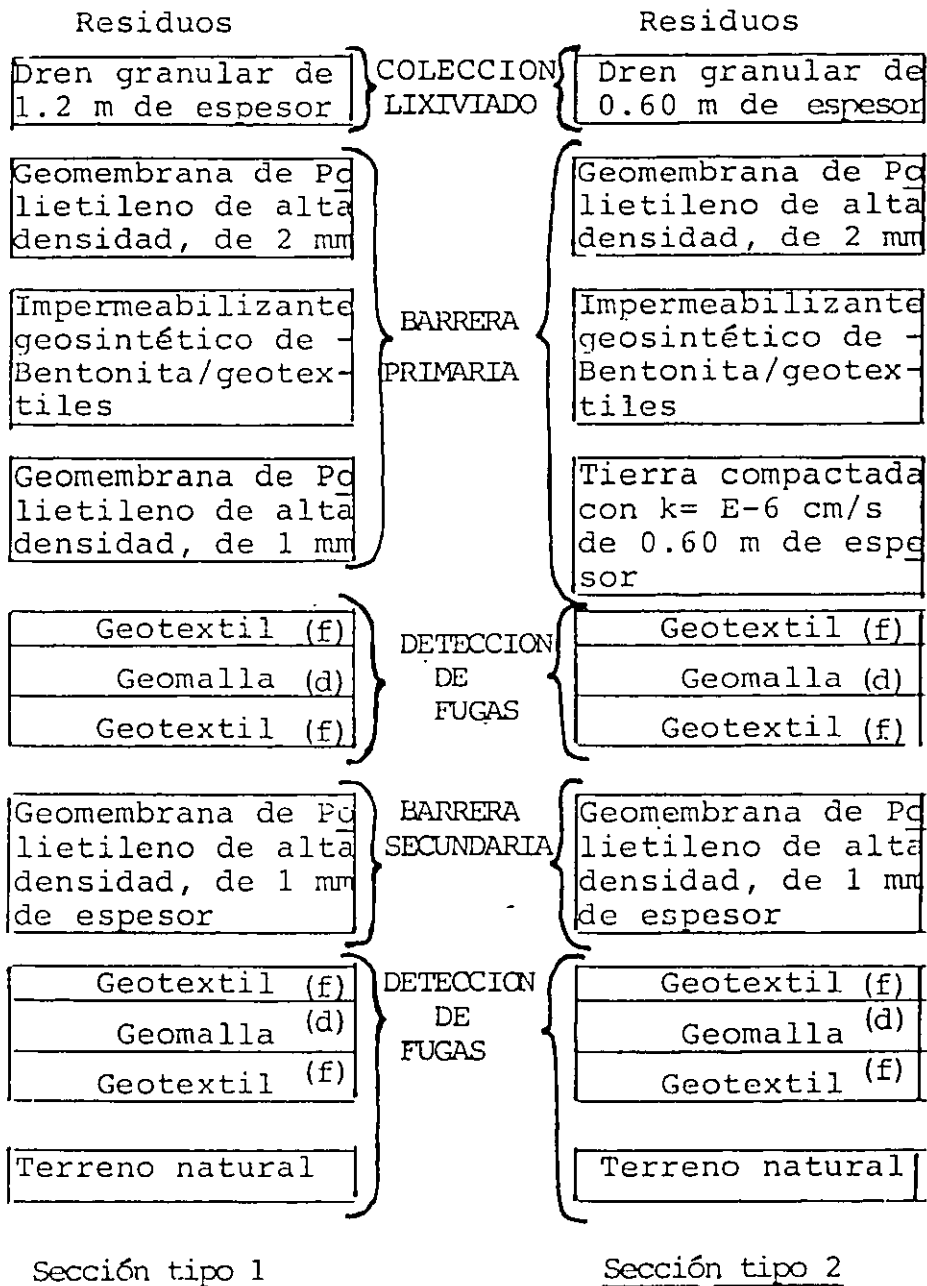


SISTEMA "B"



ADEMAS

TRES SISTEMAS DE DRENAJE, PARA COLECCION DE LIXIVIADOS Y DETECCION Y REMOCION DE FUGAS.



Sección tipo 1

Sección tipo 2

(f) = filtro  
(d) = dren

Fig. 2 SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION Y DRENAJE UTILIZADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE SNOHOMISH, WA., EUA, EN 1991 (Trauger, 1991)

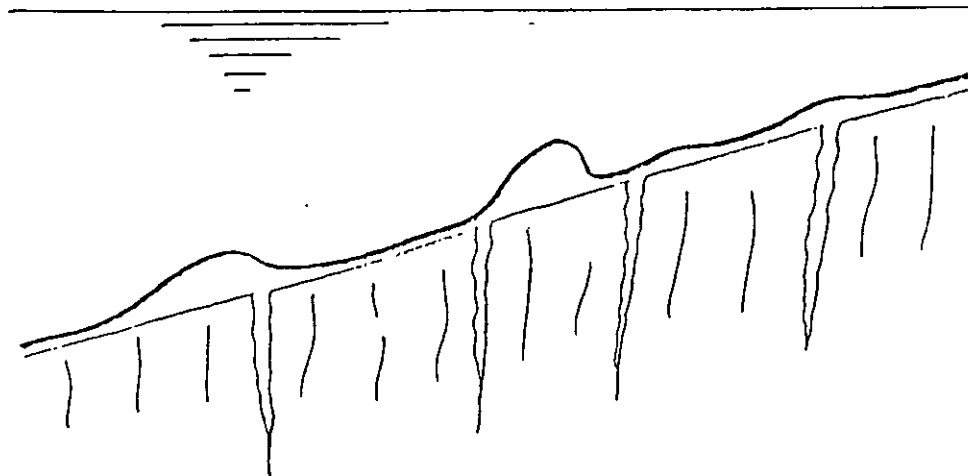
## 2.2 Resultados Obtenidos

La tabla II muestra un resumen de los resultados obtenidos en un relleno sanitario en el cual, con el tiempo, se fueron llevando a cabo modificaciones a los sistemas tradicionales, para incorporar algunas de los elementos indicados en la tabla I.

Variable	Celdas 3 y 4	Celda 5	Celda 6	Expansi- ón norte
Espesor de residuos, m	18.3	18.3	18.3	18.3
Colección de lixiviados.	0.20 m de roca y arcilla y 0.15 m de suelo selecto	llantas, espesor de 0.6m, 0.2m de arcilla y 0.15m de arena con arcilla	llantas, espesor de 0.6-1.2m, 0.2m de arcilla y 0.15m de arena con arcilla	llantas, espesor de 2.40 m y 0.45m de arena
Barrera Primaria (i)	Geomembrana PVC, espesor de 0.76 mm	Geomembrana PVC, espesor de 0.76 mm	Geomembrana PVC, espesor de 1.3 mm	Geomembrana PVC, espesor de 1.3 mm
Detección de fugas	0.3m de arena	0.3 m de arena	0.3 m de arena	0.3 m de arena
Barrera secundaria (ii)	asfalto, 1 cm de espesor	PVC, 0.76 mm de espesor	PVC, 0.76 mm de espesor	PVC, 0.76 mm de espesor
Tubería de colección primaria	pendiente de 0.063, a cada 213 m	pendiente de 0.051, a cada 122 m	pendiente de 0.105, a cada 61 m	pendiente de 0.02, a cada 30 m
Tubería de colección secundaria	pendiente de 0.063, a cada 213 m	pendiente de 0.051, a cada 61 m	pendiente de 0.105, a cada 61 m	pendiente de 0.02, a cada 30 m
<b>RESULTADOS</b>				
Carga en (i)	3.8 m	0.4 m	0.4 m	0.19 m
Carga en (ii)	0.07m	0.01m	0.005m	0.02 m

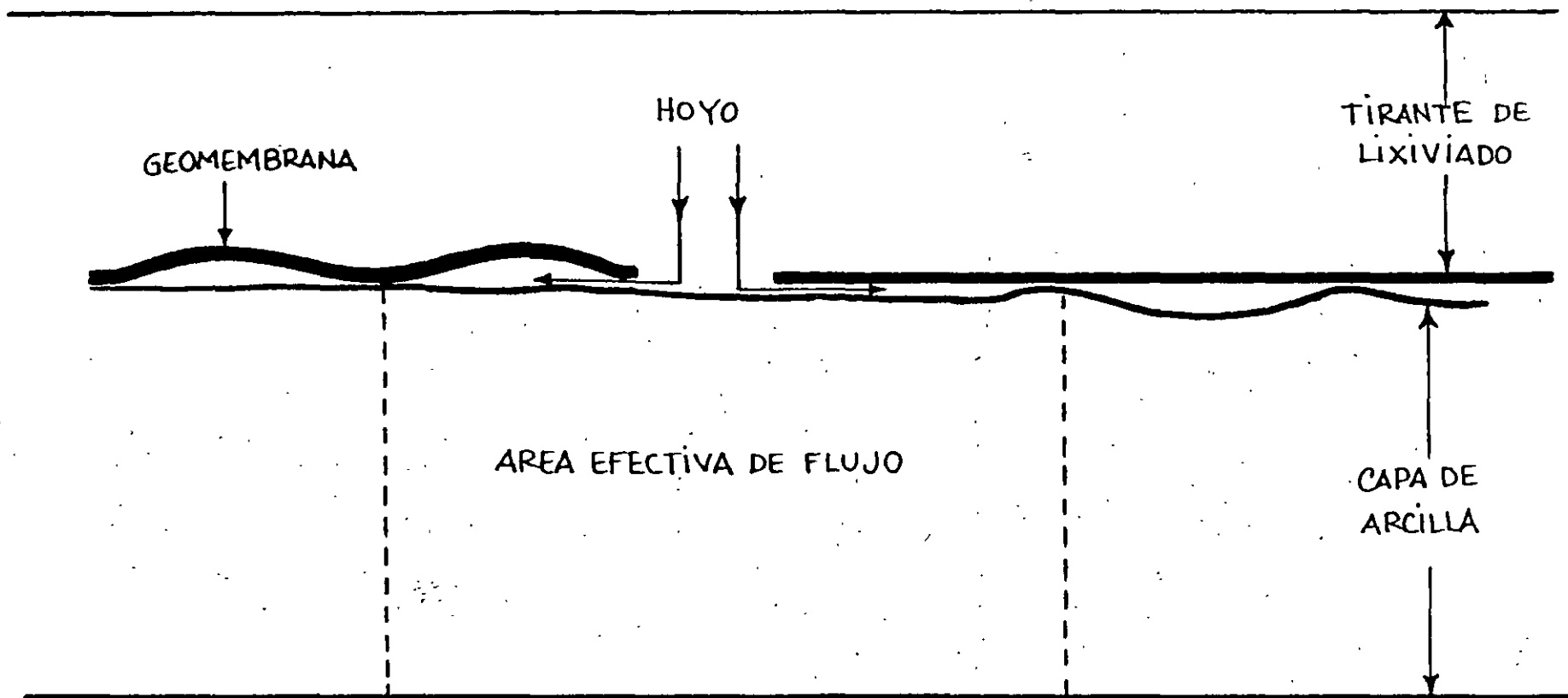
Tabla II Resultados en Relleno Sanitario "Grand Central" (Hutwelker, 1991)

BARRERA COMPUESTA GEOMEMBRANA / ARCILLA



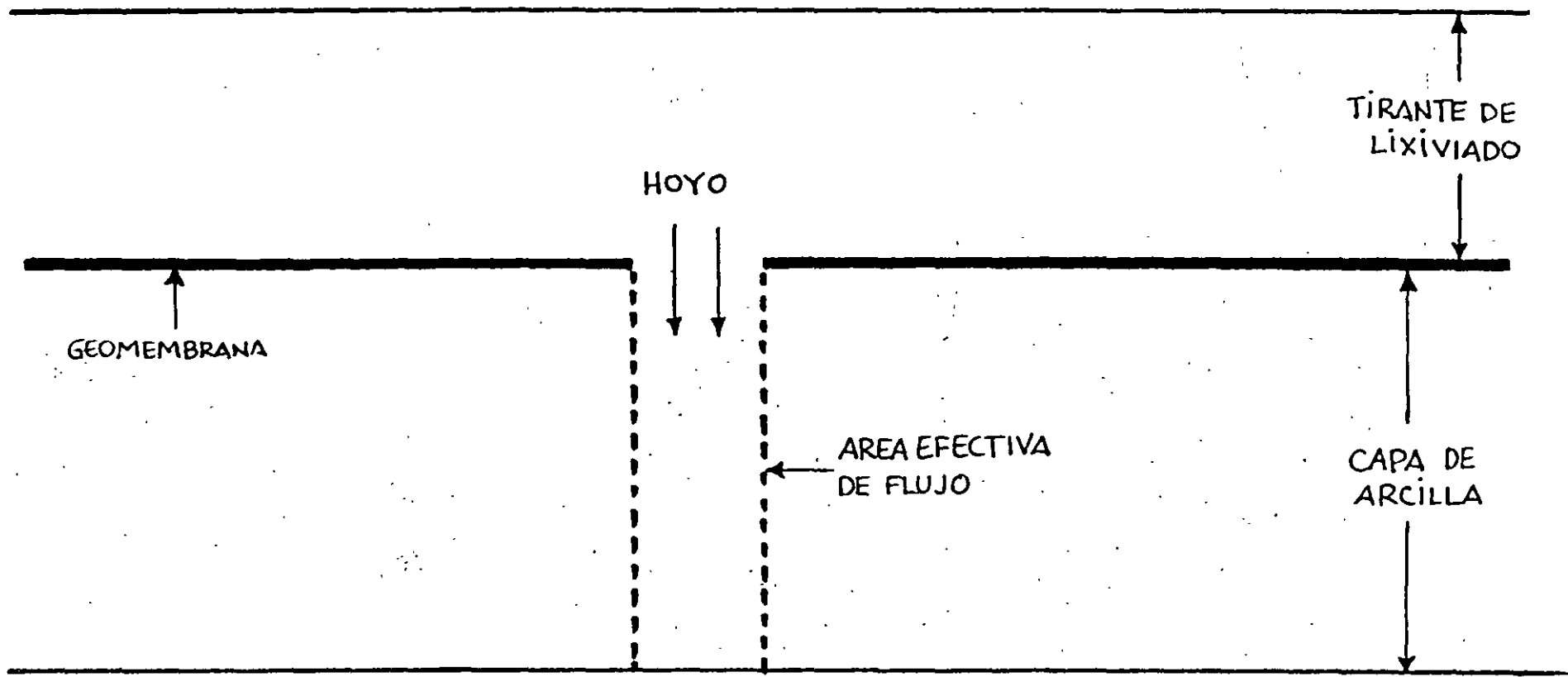
**POSIBLES PROBLEMAS :**

- . ARRUGAS EN LA GEOMEMBRANA
- . GRIETAS EN LA ARCILLA



**FLUJO CON PERFORACIONES SIN INTIMO CONTACTO ENTRE LA GEOMEMBRANA Y EL PISO QUE LA SOPORTA.**

**FIG.- 2**

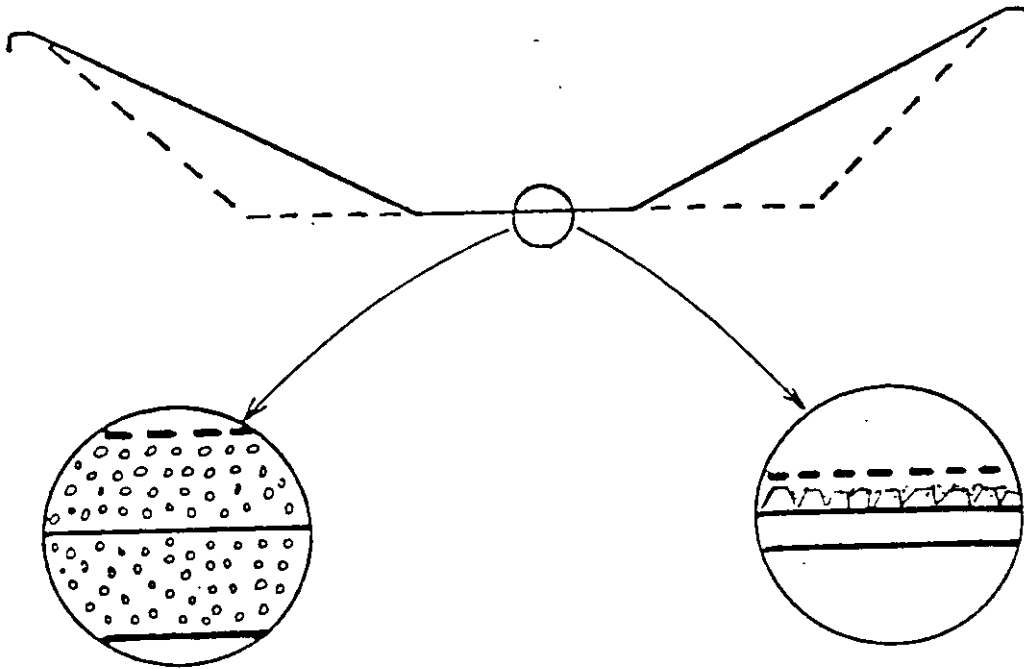


FLUJO CON PERFORACIONES E INTIMO CONTACTO ENTRE LA GEOMEMBRANA Y EL PISO QUE LA SOPORTA.

FIG.- I

DRENES DE ARENA VS. GEODRENES

.Con geodrenes se ahorra espacio,  
incrementando la capacidad del  
relleno sanitario.





---


$$\begin{array}{l} \text{Transmisividad} = \text{Permeabilidad} \times \text{Espesor} \\ = \quad \quad \quad k \quad \quad \quad X \quad \quad \quad t \end{array}$$


---

GEOMALLA (valores típicos)

$$9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = (0.2 \text{ m/s} ) (0.0045 \text{ m})$$


---

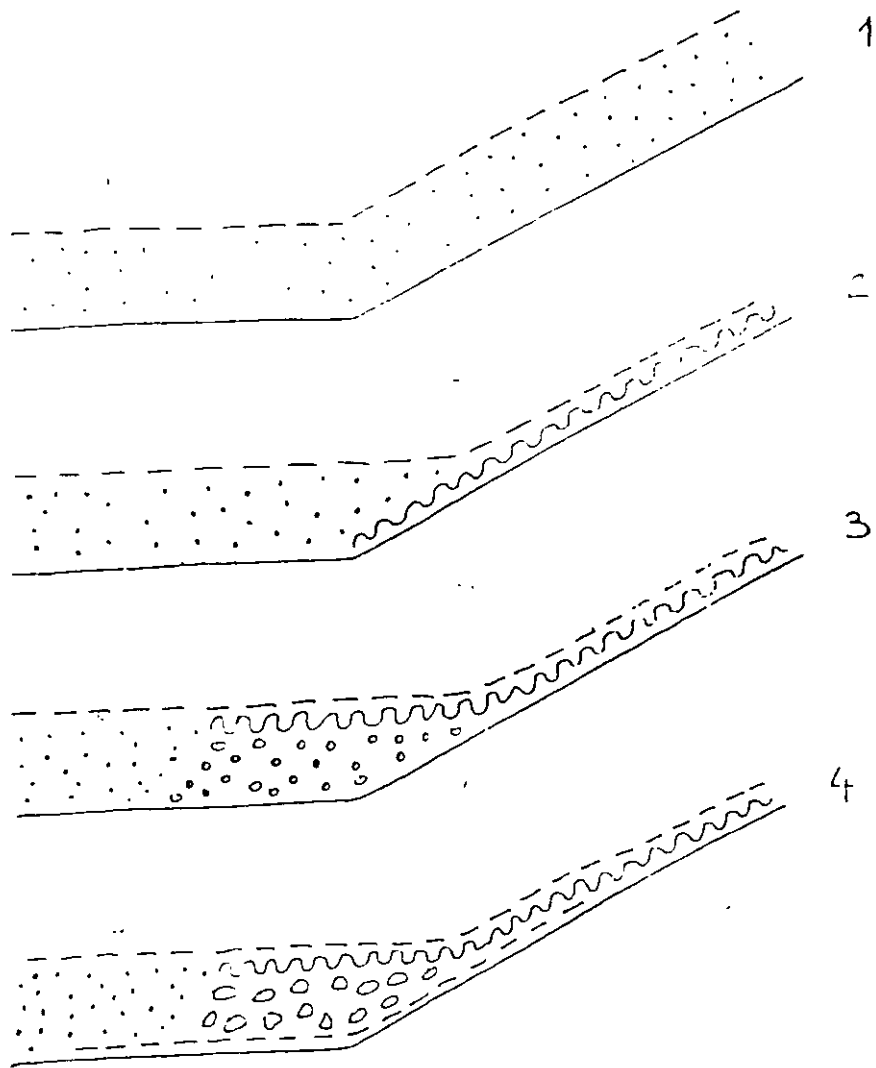
DREN DE ARENA (valores típicos)

$$9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = (3 \times 10^{-3} \text{ m/s} ) (0.3\text{m})$$

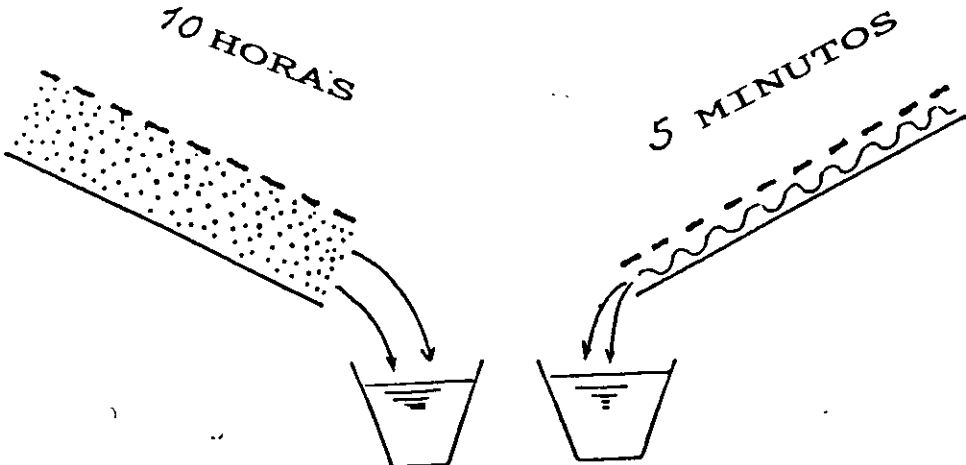

---

Tabla VII Comparación entre las variables  
hidráulicas de las geomallas y  
los drenes de arena

CONEXION DE GEOMALLAS CON DRENES DE ARENA



DRENES CONVENCIONALES VS. DRENES DE GEOSINTETICOS

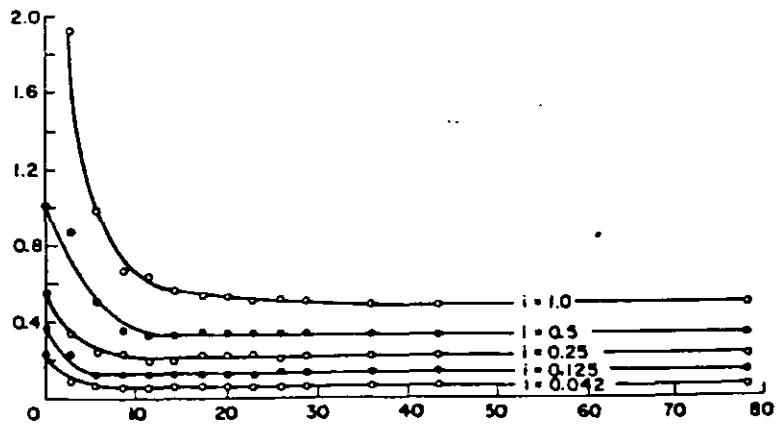
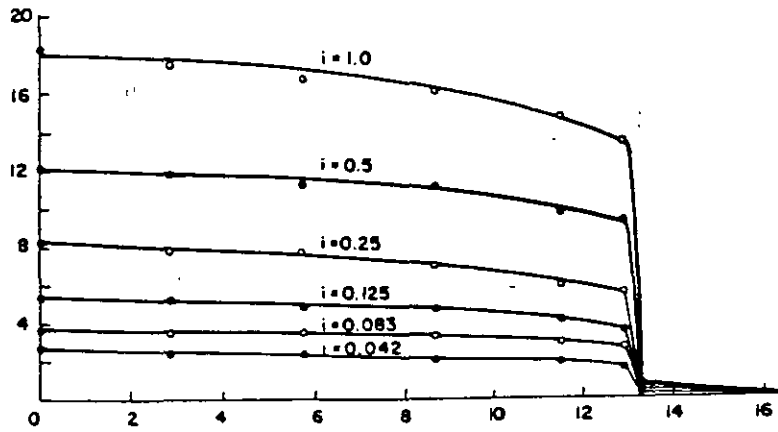
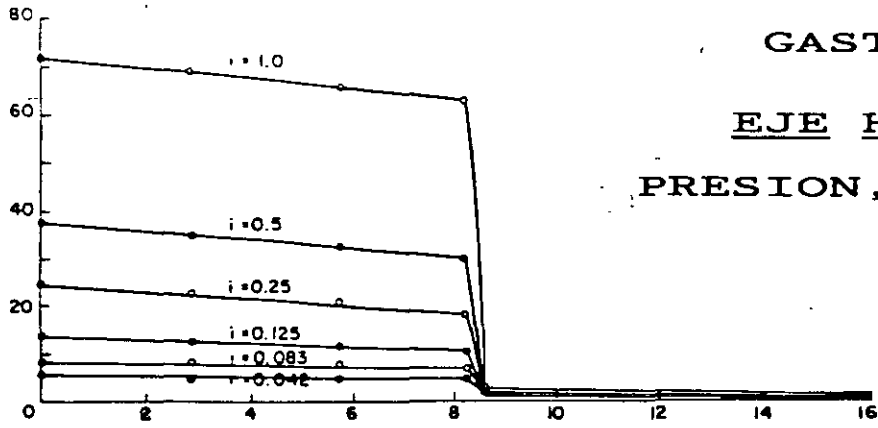


EJE VERTICAL :

GASTO, (GPM/PIE

EJE HORIZONTAL :

PRESION, (LB/PIE<sup>2</sup>) 100

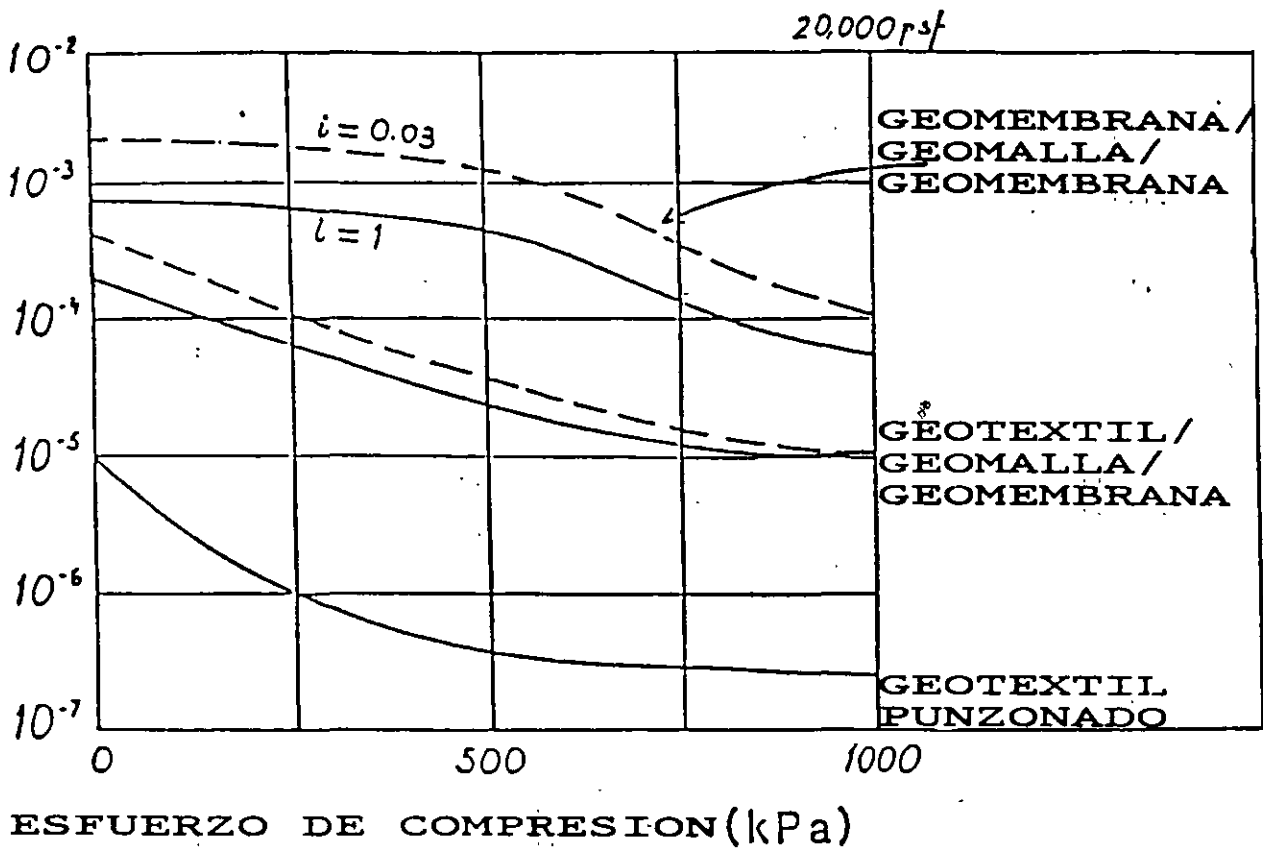


GASTOS DE DIFERENTES GEOCOMPUESTOS DE DRENAJE

CONTRA PRESION APLICADA

VALORES TÍPICOS DE TRANSMISIBILIDAD HIDRAULICA  
DE DIVERSOS GEOSINTETICOS EMPLEADOS EN  
RELLENOS SANITARIOS

TRANSMISIBILIDAD HIDRAULICA ( $m^2 s^{-1}$ )



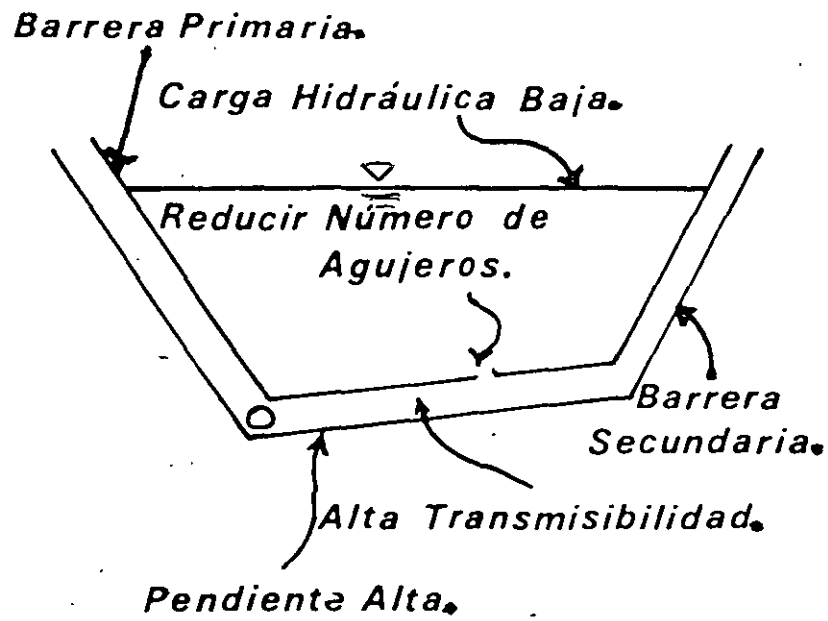
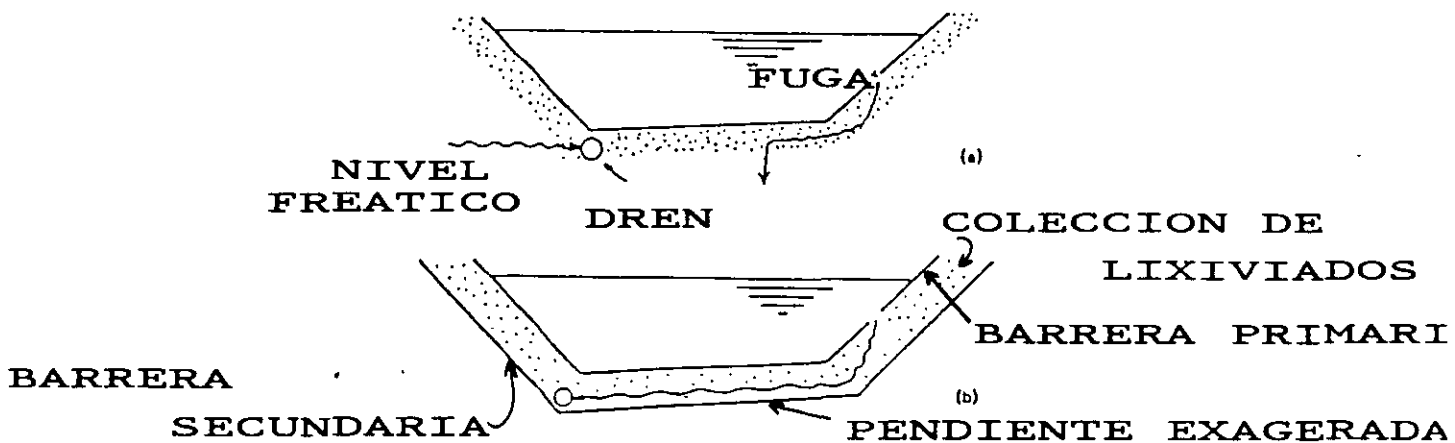


Fig. 5 CONCEPTOS BASICOS MANEJADOS PARA LA OBTENCION DE SISTEMAS PRACTICAMENTE IMPERMEABLES

## CONCEPTO DE DOBLE BARRERA

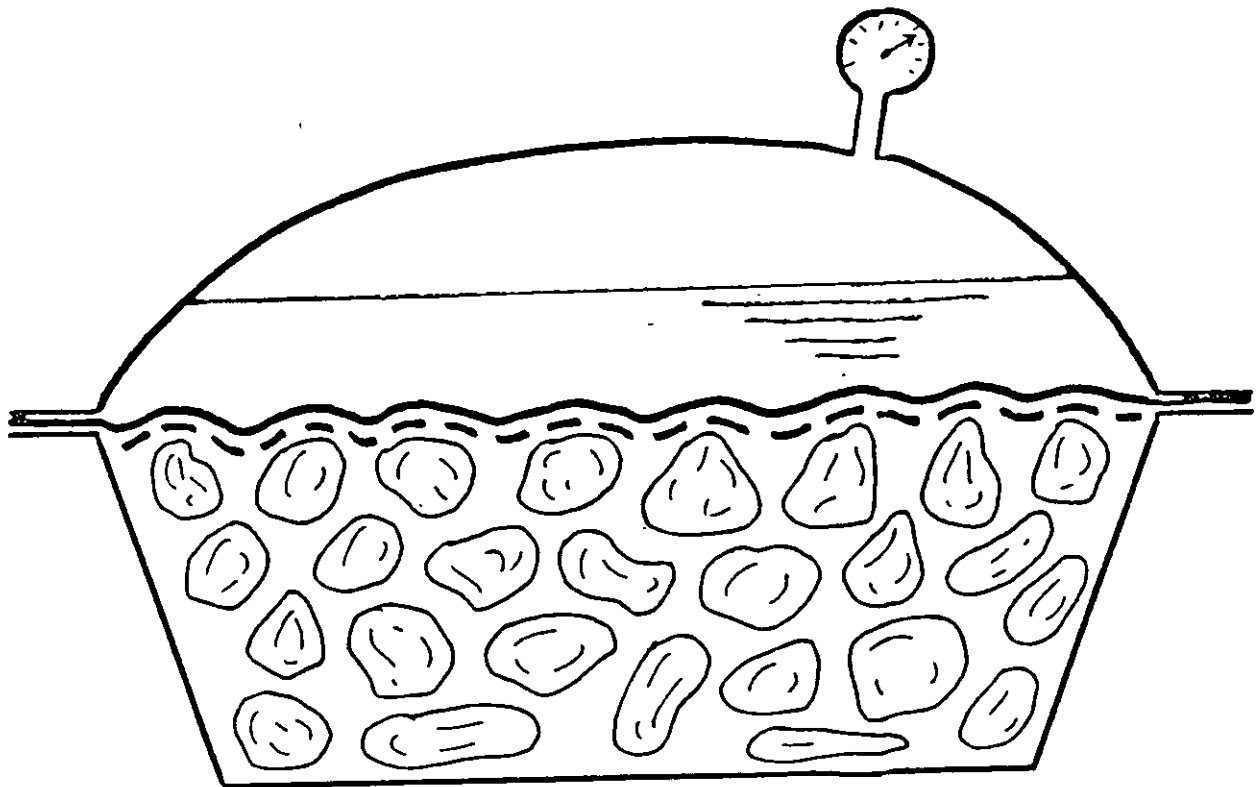


Las fugas a través de la barrera primaria son causadas por perforaciones, microagujeros o uniones defectuosas. Un agujero de 2mm de diámetro, con carga hidráulica de 3m. y material granular arriba y abajo de la geomembrana causa fugas de  $3m^3/Ha-día$ . (Murillo, SMMS)

La barrera secundaria está sujeta a una carga hidráulica mucho menor. Además la alta transmisibilidad del dren y alta pendiente redundan en un sistema prácticamente impermeable.

PROTECCION A GEOMEMBRANAS DE DAÑO POR  
PERFORACION Y REVENTAMIENTO, POR MEDIO  
DE GEOTEXILES

ENSAYE DE LABORATORIO





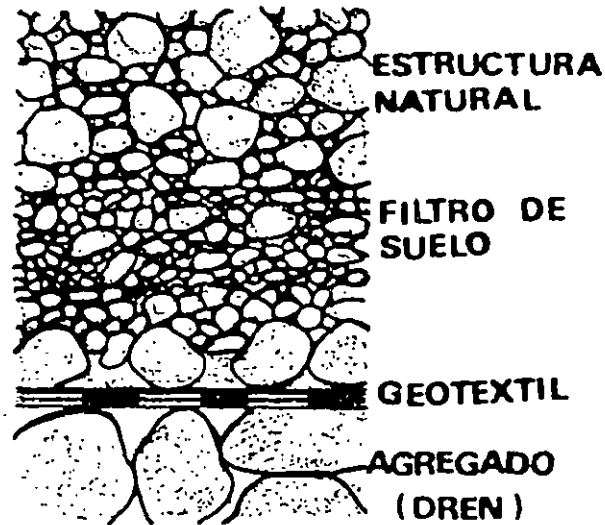


Fig. 13-A Mecanismo de filtración del geotextil promoviendo la formación de un filtro natural de suelo.

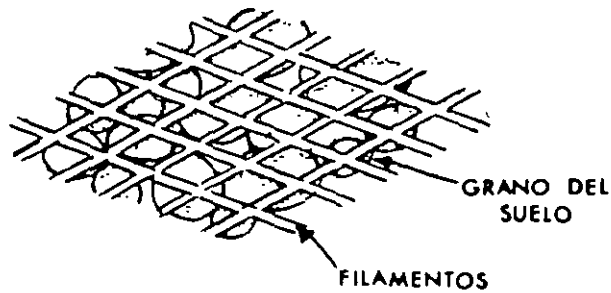


Fig. 13-B Mecanismo de filtración donde las partículas del suelo bloquean parcialmente las aberturas del textil.

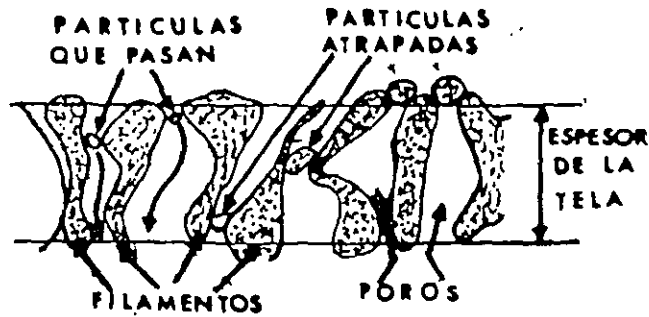


Fig. 13-C Mecanismo de filtración por el cual una fracción de partículas ocluye algunos poros de la tela, existiendo siempre a berturas sin ocluir.

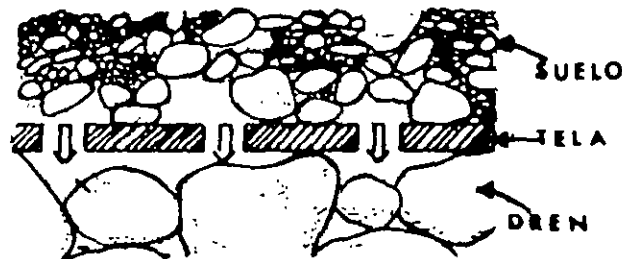
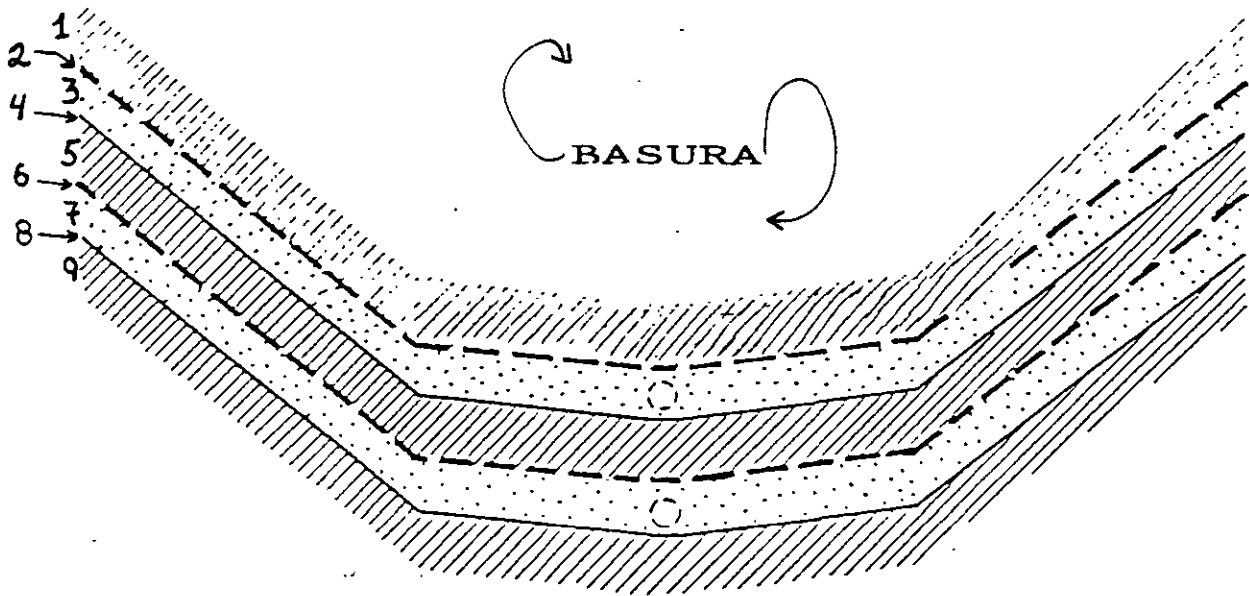


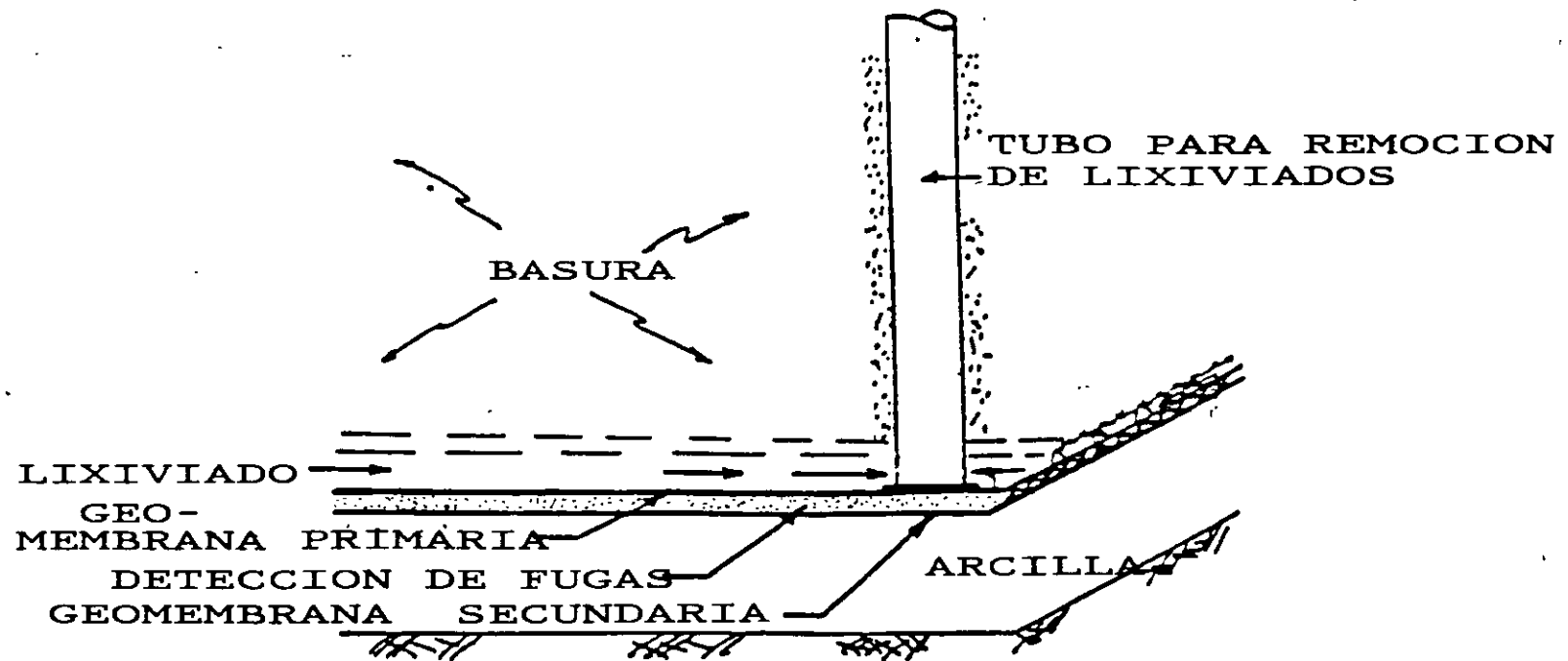
Fig. 13-D Mecanismo por el cual las partículas de suelo forman arcos por bloqueo mutuo entre los granos.

RELLENO SANITARIO CON DOBLE BARRERA MIXTA

- 1.-BASURA SELECTA
- 2.-GEOTEXTIL (FILTRO)
- 3.-DREN DE ARENA Y TUBO (COLECCION DE LIXIVIADOS)
- 4.-GEOMEMBRANA (BARRERA PRIMARIA)
- 5.-ARCILLA COMPACTADA
- 6.-GEOTEXTIL (FILTRO)
- 7.-DREN DE ARENA Y TUBO (DETECCION Y REMOCION DE FUGAS)
- 8.-GEOMEMBRANA (BARRERA SECUNDARIA)
- 9.-ARCILLA COMPACTADA

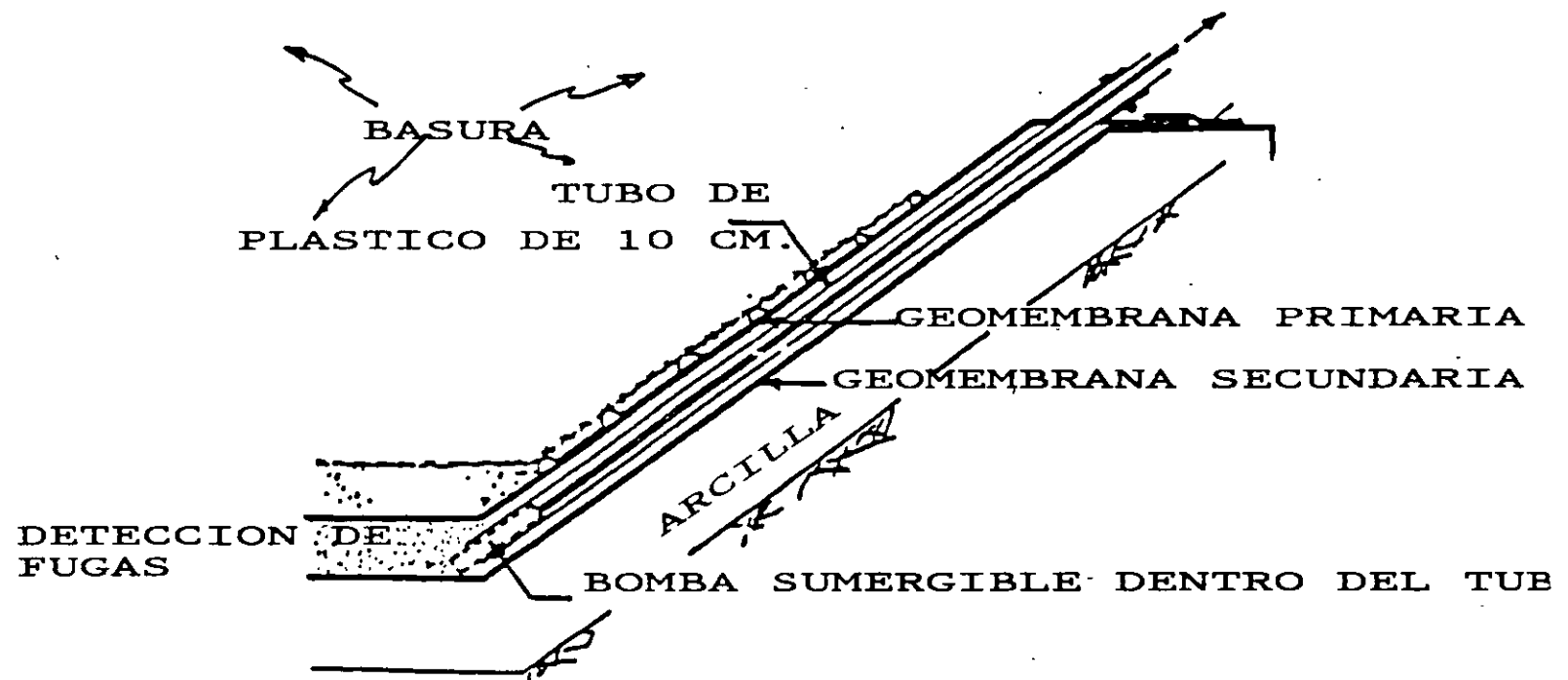


SISTEMA DE COLECCION Y REMOCION DE LIXIVIADO

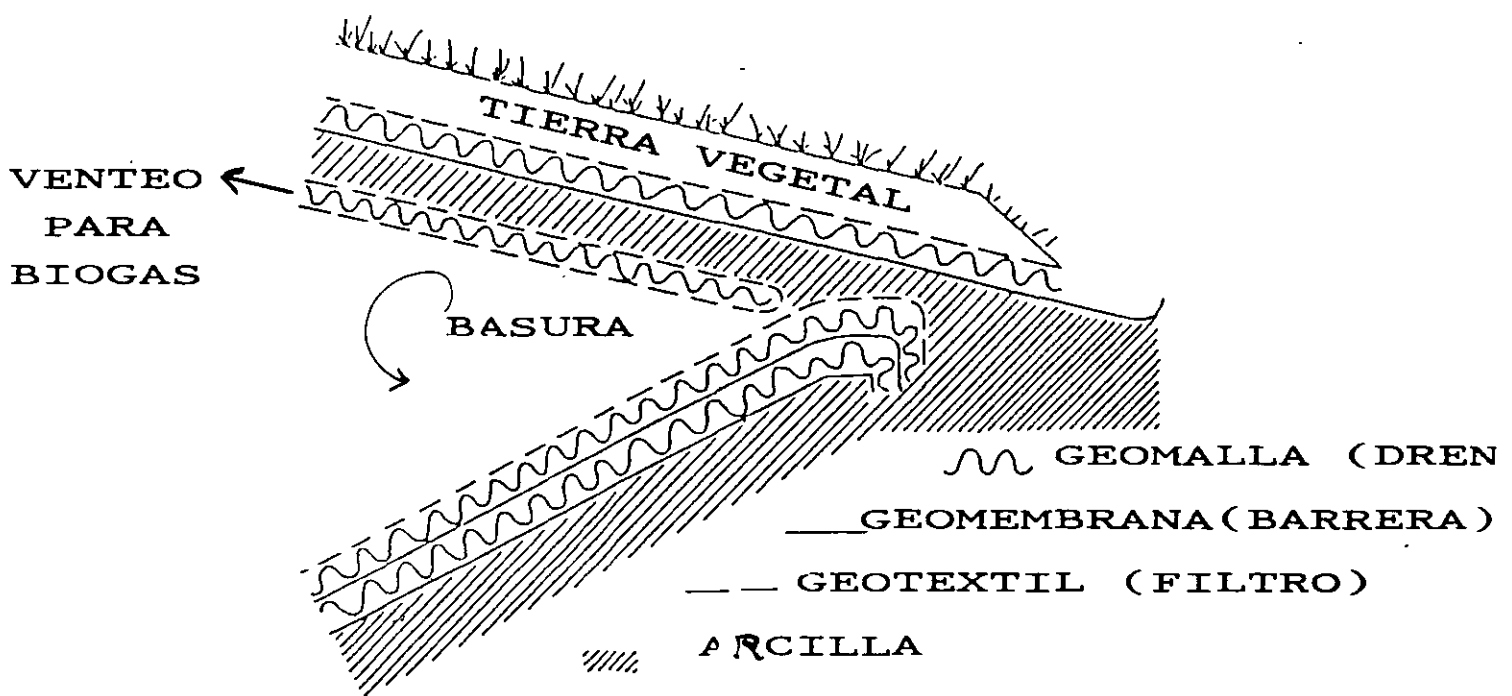


SISTEMA DE DETECCION DE FUGAS Y RECOLECCION DE LAS MISMAS

REMOCION DE FUGA.



CUBIERTA FINAL DE RELLENO SANITARIO  
CON GEOSINTETICOS



**TABLE 2**  
Time Estimated to Complete Each Operation in the Considered Example

Operation	Weeks										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Material delivery and on-site 'spotting'	—————										
Placement of lower (secondary) geomembrane	—————										
Seaming of lower geomembrane	—————										
Nondestructive seam testing of lower geomembrane	—————										
Repairs and destructive test field sampling of lower geomembrane	—————										
Placement of secondary leachate collection system (net or granular)	—————										
Placement of upper (primary) geomembrane	—————										
Seaming of upper geomembrane	—————										
Nondestructive testing of upper geomembrane	—————										
Repairs and destructive test sampling of upper geomembrane	—————										
Placement of primary leachate collection system (net or granular)	—————										
Dimensioning of panels, location of repairs, preparation of 'as-built' drawings	—————										
Installation of sumps	—————										

**TABLE 3**  
Required Number<sup>a</sup> of Monitors, by Week, in the Considered Example

	<i>Week</i>									
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Number of monitors	1	7	10	10	10	10	6	6	4	2

<sup>a</sup>Derived from Table 2 by assuming that one monitor is required per operation.

**TABLE 4**  
Cost of Quality Assurance in the Considered Example

<i>Phase</i>	<i>Personnel</i>	<i>Number</i>	<i>Time</i>	<i>Typical cost<sup>a</sup></i>
Design	Managing engineer	1	2-8 days	4 000
Manufacturing	Manager	1	2-5 days	3 500
Fabrication	Managing engineer	1	0-1 day	500
	Manager	1	0-1 day	300
	Monitor	1	1-2 weeks	4 000
Installation	Managing engineer	1	15-25 days	17 000
	Manager	1	11-12 weeks	45 000
	Monitors	1-10	4-10 weeks	170 000
Total personnel cost				\$244 300
Laboratory costs				15 000
Total cost				\$259 300

<sup>a</sup>In US dollars, including travel and daily allowance.

would therefore be approximately 26% of the installed geosynthetic lining system cost.

Should the installer arrange his installation operations such that fewer monitors are required, the effect would be to decrease the daily cost of quality assurance, but it would likely extend the length of time required for installation and therefore the length of time required for quality assurance. The ultimate savings would probably be negligible.

The cost evaluation presented above is based on complete quality assurance of the project. If the owner elects to spend less than would be required for complete quality assurance, then personnel would be

## CONSIDERACIONES DE DISEÑO

- DISEÑAR UNA ESTRUCTURA DE TIERRA ESTABLE, CONSIDERANDO LAS CONSECUENCIAS DE EVENTUALES FUGAS.
- DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD QUIMICA DE LOS GEOSINTETICOS CON LOS LIXIVIADOS ( EPA 9090, NSF ESTANDAR #54 )
- DETERMINAR FACTORES DE SEGURIDAD CONTRA ESFUERZOS DE TENSION, COMPRESION, CORTE IMPACTO Y PERFORACION.
- DETALLAR PROGRAMAS DE INSPECCION DE LA CALIDAD.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**HERRAMIENTAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA OFICIAL  
MEXICANA NOM-083 ECOL-1996**

**TEMA:**

**ASPECTOS LEGALES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES**

**ING. LUIS CARLOS VELÁSQUEZ MÁRQUEZ  
PALACIO DE MINERÍA  
FEBRERO 2000**

# ***Aspectos Legales de los Residuos Sólidos Municipales***

***Biól. Luis Carlos Velázquez Márquez***

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

Marzo del 2000

---

PROFEPA

1

## **Definiciones**

- **Actividades Altamente Riesgosas**

*Características CRETIB, cantidades liberación, límites de concentración superiores a los permisibles, franja de 100 m*

- **Residuos Peligrosos**

*Residuos, en cualquier estado físico, características CRETIB representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente*

- **Residuo Sólido Municipal**

*Provenientes casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones establecimientos comerciales y de servicios, residuos industriales que no se deriven de su proceso*

## **Art. 5 Facultades de la Federación**



### **Fracc. VI Regulación y Control de :**

- *Actividades **altamente riesgosas***
- *Generación, manejo y disposición final de **materiales y residuos peligrosos** para el ambiente o los ecosistemas y preservación de recursos naturales*

## **Art. 7 Facultades de los Estados**



### **Fracc. VI Regulación de :**

- *Recolección*
- *Transporte*
- *Almacenamiento*
- *Manejo*
- *Tratamiento y disposición final de los **residuos sólidos e industriales** (No peligrosos) **Art. 137***

## **Art. 8 Facultades de los Municipios**



**Fracc. IV Aplicación de :**

**Disposiciones jurídicas** relativas a.

*Prevención y control de los **efectos**  
sobre el ambiente ocasionados por*

*generación*

*transporte*

*almacenamiento*

*manejo*

*tratamiento y disposición final de los  
**residuos sólidos e industriales.***

## **Art. 9 Corresponde Gob. Dist. Fed.**



### **Fracc. VI Regulación y Control de :**

- *Preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, conforme a las **disposiciones legales** que expida la **Asamblea Legislativa** del D.F., Facultades a las que se refieren el Art. 7° y 8°.*

## **Art. 11 La Federación y la Secretaría**

*Suscribir **convenios** o **acuerdos** de coordinación, con el propósito de que los Estados y Municipios asuman la función de:*



**Fracc. VII** *La realización de acciones para la vigilancia del cumplimiento de esta Ley.*



## **Art. 134 Contaminación del Suelo**



**Fracc. III Prevenir y reducir la generación de :**

*Residuos sólidos*

*Municipales*

*Industriales*

**Técnicas y procedimientos** para su reuso, reciclaje, regular el manejo y disposición final eficiente

## **Art. 137 Autorización**

*Municipios o del Distrito Federal*

*Sujetos a Leyes locales y a las Normas Oficiales Mexicanas el funcionamiento:*

*Sistemas de recolección*

*Almacenamiento*

*Transporte*

*Alojamiento*

*Reuso*

*Tratamiento*

*Disposición final del los residuos*  
***sólidos municipales***

## **Art. 137 Cont.**

*La Secretaría expedirá las NOM's*

*Los sitios*

*El diseño*

*La construcción y*

*La operación de las **instalaciones**  
destinadas a la disposición final de  
los residuos sólidos municipales*

## **Art. 138 La Secretaría**

*Acuerdos de coordinación y asesoría con los Gobiernos Estatales y Municipales*

### **Fracc.I Implantación y mejoramiento**

*Recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales*

### **Fracc.II Identificación de alternativas**

*Reutilización*

*Disposición final*

*Inventarios y sus fuentes generadoras*

## **Art. 170 Medidas de Seguridad**

*Cuando exista riesgo inminente de  
desequilibrio ecológico*

*Deterioro grave a los recursos  
naturales*

*Casos de contaminación con  
repercusiones peligrosas para los  
ecosistemas o*

*Para la **salud pública***

**Art. 170 Cont.**

**Secretaría podrá ordenar:**

**Fracc. I** Clausura temporal, parcial o total de la fuente contaminante

**Fracc. II** Aseguramiento precautorio de materiales y residuos peligrosos, así como de especímenes, productos o subproductos de especies de flora o fauna....

## **Art. 171 Sanciones Administrativas**

**Fracc. I** *Multa por el equivalente de 20 a 20,000 días*

**Fracc. II** *Clausura temporal o definitiva, total o parcial cuando:*

a) *Cuando el infractor no hubiere cumplido en los plazos y condiciones por la autoridad, con las medidas correctivas o de urgente aplicación*

b) *reincidencia cuando las infracciones generen efectos negativos al ambiente....*

## **Art. 173 Imposición de Sanciones**

**Se tomará en cuenta:**

**Fracc. I** *Gravedad de la infracción*

*Criterios :*

*Impacto a la salud pública*

*Generación de desequilibrios*

*Los niveles en los que hubieran  
rebasado los límites*

**Fracc. II** *Condición económica del  
infractor...*