
Ing. JORGE R. BRION

Ing. MARCELO E. ROSSO

Impacto de los Sitios Contaminados.

**** ****

Medidas de Saneamiento.

.....
Buenos Aires

Noviembre 1998

CONTENIDO.

I. Introducción.

II. Generación de residuos.

III. Aspectos de la problemática de los sitios contaminados.

IV. Flujo y filtración de las aguas subterráneas.

V. Consideraciones sobre la contaminación del agua subterránea.

VI. Procedimientos de muestreo y monitoreo en sitios contaminados.

VII. Medidas técnicas de saneamiento.

VIII. Conclusiones.

IX. Bibliografía de consulta.

El presente trabajo no constituye una publicación inédita sino que ha sido realizado basándose en la bibliografía existente para esta temática y en la experiencia de los suscritos.

Considerando los diferentes aspectos involucrados en esta problemática, la bibliografía de consulta necesariamente es muy extensa y la experiencia en nuestro país es aun incipiente.

Este trabajo tiene entonces la virtud de reunir en una sola publicación dicha diversidad de aspectos, para los fines de capacitación y estudio establecidos por la **Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires** para el presente Curso.

Ing. Jorge Brion Ing. Marcelo Rosso.

Agosto de 1998.

I. Introducción.

El nivel alcanzado por las modernas sociedades industrializadas ha sido en base a una compleja infraestructura que provee tanto a la población como a las industrias de toda una serie de bienes, productos y servicios.

Esto origina una gran cantidad de residuos que deben ser manejados y dispuestos en forma segura.

Sin embargo este último concepto no siempre fue así entendido.

En el pasado los residuos industriales eran considerados como una consecuencia inevitable del desarrollo industrial.

Tal era el convencimiento al respecto que ni los aspectos riesgosos de su manipuleo, ni las consecuencias de una inadecuada eliminación eran motivo de una particular preocupación.

Paralelamente, los métodos de tratamiento y eliminación de residuos industriales estaban en términos generales poco desarrollados.

Recién durante la década de los 60, se comenzó a percibir una paulatina preocupación por el ambiente sobre todo en los países altamente industrializados y a menudo forzados por los desastres ambientales ocurridos.

Esto desembocó en que los países desarrollados comenzaron a elaborar legislaciones sobre el manejo, tratamiento y disposición final de los residuos industriales peligrosos.

Por ejemplo en **Estados Unidos** en 1976 fueron dictadas dos leyes federales:

- * La Ley de Control de Sustancias Peligrosas (TSCA).
- * La Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA).

Esta última ley en realidad fue elaborada para regular el manejo de residuos sólidos peligrosos y por tanto no consideraba el caso específico de una liberación de sustancias o de residuos peligrosos al ambiente, o bien cuando ya existía una amenaza concreta por una liberación anterior. Por esta razón debió establecerse el Programa Superfund de saneamiento dentro de la Ley de Respuesta Ambiental Amplia, Compensación y Responsabilidad (CERCLA).

En los años 70 fueron descubiertos un gran número de sitios industriales abandonados presentando pérdidas/ derrames, como también antiguos vertederos de residuos industriales ya inactivos.

El caso más conocido de estos fue el de Love Canal en Niagara Falls, New York.

Previo a la Ley CERCLA no había opciones viables para solucionar estos problemas, salvo declarar al lugar como zona de desastre Federal. Dado que el problema no involucraba un manejo actual de los residuos la ley RCRA no era aplicable.

La ley CERCLA fue originalmente promulgada en 1980 y autorizaba la identificación de lugares donde ya había ocurrido la liberación de sustancias peligrosas o bien donde había posibilidades de que ocurriera representando en ambos casos una seria amenaza para: la salud humana, el bienestar de la comunidad o el ambiente.

Esto permitía al Gobierno Federal iniciar acciones para sanear aquellos lugares afectados por descargas / pérdidas/ derrames y asegurar que las partes responsables involucradas asumieran los costos por los trabajos.

Pronto se hizo claro que el problema era peor de lo que se pensó inicialmente y el Programa Superfund fue reautorizado bajo la Ley de Enmienda y Reautorización del Superfund (SARA) en el año 1986.

Esta ley estableció nuevos estándares, nuevas programaciones y prioridades y le dio al público y a los Estados individualmente más participación.

Las facultades de iniciar acciones de respuesta bajo el programa Superfund son “disparadas” al detectarse una liberación o amenaza sustancial de liberación al medio. Una liberación en dicho contexto implica que una sustancia peligrosa (incluyendo a los residuos peligrosos) o un contaminante, pueden representar un peligro sustancial o inminente a la salud pública o al ambiente.

Dos tipos de respuestas pueden tener lugar:

* Una acción de remoción, lo cual implica una tarea de limpieza a corto plazo en respuesta a una situación de emergencia.

* Una acción de saneamiento, lo cual representa la opción final de limpieza en un lugar, luego de realizarse una amplia investigación del lugar y de evaluarse las alternativas técnicas de saneamiento.

En la **República Federal de Alemania**, a los lugares contaminados y abandonados se los denomina **Altlasten** lo cual literalmente significa “cargas viejas”.

El término **Altlasten** fue mencionado por primera vez en la Ley de Residuos de 1988 del Estado de Nor-Renania Westfalia.

En algunas leyes de otros estados se emplea el término “sitios de contaminación potencialmente abandonados”. Un ejemplo de esto está dado en la Ley de Residuos del Estado de Brandenburgo.

En las leyes sobre residuos de los nuevos estados federados la definición de sitios abandonados y contaminados se ha ampliado incluyendo a antiguas instalaciones militares.

No existe todavía en el caso de Alemania una Ley que se ocupe específicamente del manejo y saneamiento de estos sitios, sin embargo existen otras legislaciones administrativas y estatutos (Ley de Residuos, Ley sobre Aguas, Ley del Aire Limpio) que permiten definir un marco para solucionar estos problemas.

Según datos del año 1992 e incluyendo tanto antiguos vertederos de residuos domésticos como de residuos peligrosos, existen aproximadamente 135.000 lugares con problemas de contaminación. Asimismo las estimaciones de costos de saneamiento de estos lugares dan valores cercanos a los 250 billones de Marcos Alemanes.

En todos los casos los terrenos afectados por prácticas ambientalmente inadecuadas requerían de un saneamiento, por lo que fue necesario desarrollar nuevas técnicas o adaptar otras ya conocidas.

La descripción de los aspectos a considerar en un programa de saneamiento es el motivo del presente trabajo.

II. Generación de residuos.

Residuos industriales.

Un residuo industrial se genera debido a que de la totalidad de las materias primas ingresantes a un proceso industrial, menos del 100 % de las mismas egresan formando parte del producto terminado. Es decir los procesos de transformación tienen un rendimiento menor a la unidad.

En relación a que consideramos un residuo industrial, en general no hay una definición exacta. El término residuo industrial es empleado de manera indefinida para identificar a la corriente o flujo de materias que egresan del proceso y que ya no tienen un valor concretamente para ese proceso.

No obstante dichas materias residuales pueden tener un aprovechamiento en otros u otros procesos industriales.

La **Figura 1** muestra genéricamente un proceso industrial con las corrientes residuales producidas, pudiendo identificarse cinco oportunidades de generación de residuos:

- Residuos generados en las operaciones rutinarias y normales de producción.
- Residuos generados en situaciones limitadas y transitorias de salida de régimen del proceso productivo.
- Residuos generados por pérdidas o emisiones fugitivas.
- Residuos generados como consecuencia de accidentes.
- Residuos generados en instalaciones de almacenamiento de materias primas.

Los residuos industriales (gases, líquidos, sólidos) son generados en numerosos procesos diferentes, variando las cantidades producidas y características de los mismos de manera amplia según el proceso.

No necesariamente un residuo industrial es sinónimo de residuo peligroso / especial. .

Residuos Peligrosos / Especiales.

De acuerdo con una definición presentada en una publicación del Banco Mundial sobre el tema, “se entiende por residuo peligroso a aquellos que en razón de presentar al menos una característica de riesgo, causan o son susceptibles de causar daño a la salud o al medio ambiente, sea por sí mismos o al entrar en contacto con otros residuos”.

“También se consideran como peligrosos a los que legalmente sean declarados (listados) como tales en la jurisdicción donde se generan, se transportan o se disponen”.

Como características de riesgo pueden mencionarse:

- * Inflamabilidad.
- * Corrosividad.
- * Reactividad.
- * Toxicidad.
- * Carácter infeccioso.

- * Lixiviabilidad.
- * Teratogenicidad.
- * Mutagenicidad.
- * Carcinogenicidad.
- * Radiactividad.

Listados:

- * Listado de elementos o compuestos químicos peligrosos.
- * Listado de industrias y/o procesos con alta probabilidad de producir residuos que contengan compuestos peligrosos.

Características de Riesgo de los residuos peligrosos / especiales.

A) Inflamabilidad:

Con esta característica se identifican a aquellos materiales o residuos que presenten riesgo de ignición, siendo inflamable bajo las condiciones normales de almacenaje, transporte, manipuleo, y disposición, o bien que sean capaces de agravar severamente una combustión una vez iniciada, o son capaces de originar fuegos durante tareas rutinarias de manejo. Dichos fuegos pueden producir humos tóxicos y crear corrientes convectivas que pueden transportar tóxicos a áreas circundantes.

Un material exhibe la característica de inflamabilidad, si una muestra representativa del mismo, cumple alguna de las siguientes condiciones:

1) Es un líquido inflamable.

Determinación según Norma IRAM I.A.P. A 65-39.

Se asimila a la clase 3 del Reglamento de Transporte de Materiales Peligrosos (RTMP).

2) Es un sólido inflamable, de acuerdo al Código H 4.1 del Anexo II de la Ley 24.051.

3) Es un material que presenta las características mencionadas en el Código H 4.3 del Anexo II de la Ley 24.051.

Las dos categorías anteriores están contempladas en la Norma IRAM 3795 (sólido inflamable, sólido espontáneamente inflamable y sólido que en contacto con agua o humedad despiden gases inflamables). Se asimilan a las clases 4.1, 4.2, y 4.3 del RTMP.

Como ejemplo, en la **Tabla IA** con la letra F se identifican a aquellos materiales que en contacto con agua despiden gases inflamables.

4) Es un gas inflamable.

Esta categoría está contemplada en la Norma IRAM 3795 (gases inflamable). Se asimila a la Clase 2 del RTMP.

5) Es un oxidante, de acuerdo al Código H 5.1 del Anexo II de la Ley 24.051

Se asimila a la Clase 5 del RTMP.

En la **Tabla IB** se presenta una selección de líquidos altamente inflamables (con flash point $< 32^{\circ}\text{C}$).

B) Corrosividad:

En base a esta característica se identifica a aquellos materiales o residuos que presenten un riesgo para la salud y el ambiente debido a:

1) En caso de ser depositados directamente en un relleno de seguridad y al entrar en contacto con otros residuos, pueden movilizar metales tóxicos.

2) Requieren un equipamiento especial (recipientes, contenedores, dispositivos de conducción) para su manejo, almacenamiento y transporte, lo cual exige el empleo de materiales resistentes seleccionados.

3) Pueden destruir un tejido vivo en caso de un contacto inadvertido.

Se considera entonces, que un material o un residuo presenta la característica de corrosividad, si verifica alguna de las siguientes condiciones:

* Es un residuo acuoso y tiene un $\text{pH} < 2$ o $\text{pH} > 12,5$.

* Es un líquido y corroe el acero SAE 1020 en una proporción superior a 6,35 mm por año a una temperatura de 55 C, de acuerdo al método identificado en Nace, Standard TM 01-69.

En la **Tabla IC** se presentan ejemplos de productos químicos corrosivos.

C) Reactividad:

Esta característica identifica a aquellos materiales o residuos que debido a su extrema inestabilidad y tendencia a reaccionar violentamente o explotar, plantean un problema para todas las etapas de su manejo.

Se considera que un material o residuo presenta características reactivas si una muestra representativa del mismo cumple alguna de las siguientes condiciones:

1) Es normalmente inestable y sufre cambios fácilmente sin detonación.

2) Reacciona violentamente con agua.

Como ejemplos de este caso, en la **Tabla IA** se identifican con la letra V a aquellos materiales presentan este comportamiento.

3) Forma mezclas potencialmente explosivas con agua.

4) Cuando se mezcla con agua genera gases tóxicos, vapores o humos en cantidad suficiente como para presentar un peligro a la salud o al ambiente.

Ejemplos de este caso se dan en la **Tabla IA**, identificados con la letra T.

5) Es un portador de cianuros o sulfuros, el cual al ser expuesto en condiciones de pH entre 2 y 12,5 puede generar gases, vapores o emanaciones tóxicas en cantidad suficiente como para representar un peligro para la salud o el ambiente.

6) Es capaz de detonar o reaccionar explosivamente si es sometido a una acción iniciadora fuerte o si es calentado en condición confinada, es decir en condición de volumen constante.

7) Presenta facilidad de detonar, de descomponerse o de reaccionar explosivamente en condiciones normales de temperatura y presión.

8) Es un explosivo, entendiéndose por tal si es susceptibles de producir en forma súbita reacción exotérmica con generación de grandes cantidades de gases.

Ver Ley 19587 de Seguridad e higiene en el trabajo, Capítulo 18 del Decreto Reglamentario. Se halla contemplada esta categoría en la norma IRAM 3798. Se asimila a la Clase 1 del RTMP.

En la **Tabla ID** se dan ejemplos de materiales potencialmente explosivos.

Asimismo las **Tabla IEa** y **Tabla IEb** presentan listados de productos químicos incompatibles.

D) Lixiviabilidad:

Con esta característica se identifica a aquellos residuos que en caso de ser dispuestos en condiciones no apropiadas pueden originar lixiviados donde los constituyentes nocivos de dichos residuos alcancen concentraciones tóxicas.

Los parámetros cuyas concentraciones se consideran desde el punto de vista de su disposición en rellenos sanitarios son los siguientes:

- 01) Arsénico
- 02) Bario
- 03) Cadmio
- 04) Cinc
- 05) Cobre
- 06) Cromo Total
- 07) Mercurio
- 08) Níquel
- 09) Plata
- 10) Plomo
- 11) Selenio
- 12) Aldrín +Dieldrín
- 13) Atrazina
- 14) Clordano
- 15) 2,4 - D
- 16) Endosulfan
- 17) Heptacloro + Heptacloro Epoxi
- 18) Lindano
- 19) MCPA
- 20) Metoxicloro
- 21) Paraquat
- 22) Trifluralina

- 23) Bifenilos policlorados
- 24) Compuestos Fenólicos
- 25) Hidrocarburos aromáticos polinucleares.

De los procedimientos existentes para efectuar la extracción del constituyente en estudio de la matriz sólida del material o residuo, dos son los mas ampliamente conocidos: Extraction Procedure Toxicity Test (EP) y el Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).

E) Toxicidad:

Esta característica identifica a aquellas sustancias o residuos o sus productos metabólicos que poseen la capacidad de, a determinadas dosis y luego de haber estado en contacto con la piel o las mucosas o de haber penetrado en el organismo por cualquier vía, provocar por acción química o químico - física un daño en la salud, funcional u orgánico, reversible o irreversible,.

Se debe diferenciar entre:

Toxicidad aguda: El efecto se manifiesta luego de una única administración.

Toxicidad Subaguda o Subcrónica: El efecto se manifiesta luego de la administración o contacto con el material durante un período limitado.

Toxicidad Crónica: El efecto tóxico se manifiesta luego de una administración o contacto durante períodos mucho más prolongados.

Las determinaciones de toxicidad se pueden subdividir en dos grandes categorías:

- a) Toxicidad Humana:
 - Toxicidad Oral.
 - Toxicidad por Inhalación
 - Toxicidad por Penetración Dérmica.
 - Toxicidad por Irritación Dérmica.
- b) Ecotoxicidad:
 - Ambiente Acuático
 - Ambiente Terrestre.

A fin de cuantificar resultados de toxicidad, se emplea el índice LD50 o dosis letal media, la cual indica la dosis (o cantidad total realmente ingresada dentro de un organismo) de una sustancia que en un determinado período es mortal para el hombre o animal.

En experimentos con animales, la dosis letal media indica la dosis mortal promedio, o sea la dosis para la cual el 50% de la población de animales bajo experimento, mueren por efecto de la sustancia administrada.

LC50: indica concentración letal media, es decir la concentración en el ambiente.

Un residuo presenta esta característica si:

- a) Se ha determinado que es letal para el ser humano en bajas dosis, o bien en ausencia de datos sobre toxicidad humana en estudios con animales se ha determinado que presenta:

LD50 (absorción oral en ratas) < 50 mg/kg. de peso del cuerpo

LD50 (penetración dérmica en ratas o conejos) < 200 mg/kg. de peso del cuerpo.

LC50 (absorbido por inhalación en ratas) < 2 mg/l de aire del ambiente.

- b) Si es capaz de otra manera de causar o contribuir significativamente a un aumento de enfermedades graves irreversibles o enfermedades discapacitantes reversibles.

En la **Tabla IF** se presentan ejemplos de sustancias tóxicas de importancia industrial.

En la **Tabla IG** se dan ejemplos de sustancias tóxicas que pueden ser absorbidas a través de la piel.

F) Infecciosidad:

Esta característica identifica a aquellos residuos capaces de provocar una enfermedad infecciosa.

Un residuo se considerará infeccioso si contiene microbios patógenos con suficiente virulencia y es tal cantidad, de modo que la exposición al residuo por parte de un huésped sensible pueda derivar en una enfermedad infecciosa.

G) Teratogenicidad:

Esta característica identifica a aquellos residuos que por su composición producen efectos adversos sobre el feto, pudiendo provocar la muerte del embrión, u ocasionar deformaciones, o conducir a una norma del desarrollo intelectual o corporal.

En la **Tabla IH** se listan drogas y productos químicos con efectos teratogenicos.

H) Carcinogenicidad:

Con esta característica, se identifica a aquellos residuos capaces de originar cáncer.

En la **Tabla IJ** se dan ejemplos de productos químicos asociados con efectos cancerigenos en el ser humano.

I) Mutagenicidad:

Esta característica de riesgo, identifica a aquellos residuos que en base a las sustancias que contienen provocan mutaciones en el material genético de las células somáticas o de las células germinales. Las mutaciones en las células corporales pueden ser causantes de cáncer; mientras que las mutaciones en las células germinales (embrionarias y esperma) se pueden transmitir hereditariamente.

J) Radiactividad:

Un residuo presenta esta característica si una muestra representativa del mismo emite espontáneamente radiaciones a un nivel mayor que el de base.

Radiación significa la emisión de alguno o algunos de los siguientes elementos: neutrones alfa, beta, gama, o rayos X, y electrones de alta energía, protones u otras partículas atómicas; exceptuando ondas de sonido o de radio y luz visible infrarroja o ultravioleta.

Gestión integral de los residuos peligrosos / especiales.

En la Figura 2 se presentan los componentes de un sistema de gestión de residuos peligrosos / especiales: generación, almacenamiento intermedio, transporte, tratamiento, disposición final.

Los conceptos de: implementación de tecnologías limpias, modificación de procesos, prevención, reducción en la fuente y reciclaje, son medidas consideradas hoy en día cada vez con mayor detenimiento y aplicables en el ámbito de la generación.

La reducción en la fuente comprende a cualquier actividad que minimiza la generación de un residuo dentro de un proceso industrial.

El reciclaje comprende a cualquier actividad que permite volver a emplear un material dentro del mismo proceso productivo; la recuperación / reuso a su vez se refiere a la utilización de un material residual en otro proceso industrial.

No obstante, con la implementación de las medidas mencionadas (y en la medida que existan tecnologías aplicables y condiciones económicamente convenientes) no se logra anular la generación de residuos y por tanto indefectiblemente deben asumirse los conceptos de tratamiento y disposición final.

El tratamiento de un residuo tiene por finalidad transformar un desecho peligroso en no peligroso (según condiciones convencionalmente estipuladas) a fin de hacerlo adecuado para una etapa posterior de transporte, almacenamiento intermedio, reutilización, o bien disposición final.

Por disposición final se entiende el confinamiento de un material residual en un lugar perfectamente individualizado, aislado convenientemente del medio que lo rodea mediante barreras de ingeniería y controlado mediante la implementación de medidas de monitoreo.

Los materiales remanentes de los tratamientos (no reciclables, no reutilizables, o no aptos para obtener energía) por las características que poseen, no pueden ser liberados directamente en el ambiente, siendo por tanto confinados con carácter definitivo o bien hasta que el nivel de tecnología o las condiciones económicas hagan factible su utilización o reciclado.

La disposición final lleva implícito los conceptos de:

CONCENTRACION, INMOVILIZACION, CONFINAMIENTO, CONTROL.

Como opciones disponibles de disposición final se mencionan:

- * Rellenos de Seguridad
- * Depósitos subterráneos a gran profundidad.

Se ha excluido deliberadamente a las alternativas de *Vertido en el Mar* y de *Inyección en Pozos Profundos* como metodologías de disposición final por cuanto no aseguran un confinamiento del residuo y por ende la inmovilidad del material depositado.

A fin de visualizar los aspectos comentados de un esquema de gestión de residuos peligrosos / especiales, en la Figura 3 se presentan diferentes corrientes residuales, el tratamiento aplicable, el destino de las corrientes líquidas y gaseosas tratadas y la disposición final de las materias remanentes de los tratamientos.

Prioridades de implementación de medidas de gestión de residuos.

En la Figura 4 se grafican las etapas de implementación de un programa de gestión de residuos, indicándose la secuencia lógica de prioridades.

Se destaca la secuencia Ideal y la secuencia Real, lo cual es importante entender, dado que ante el problema real y existente de generación de residuos peligrosos / especiales, es necesario aplicar medidas inmediatas: Concreción de Plantas de Tratamiento y Rellenos de Seguridad, dejando para planificaciones a largo plazo la Aplicación de Tecnologías Limpias.

Debe entenderse que tales alternativas no son suplementarias, sino complementarias y que tienen por finalidad reducir las cantidades de residuos que es necesario tratar y disponer.

Generación de residuos peligrosos de acuerdo a la actividad industrial.

* Tipos de industrias que generan residuos conteniendo Cianuros.

- Fábricas de productos químicos.
- Galvanoplastías.
- Electrodeposición de Metales.
- Limpieza de metales.
- Taller de orfebrería.
- Taller de niquelado.
- Fábricas de artefactos eléctricos.
- Elaboración de pigmentos inorgánicos.
- Industrias de productos químicos inorgánicos.
- Industrias de resinas plásticas.
- Elaboración de goma sintética.
- Industria petroquímica.
- Fábrica de reactivos químicos.

* Tipos de industrias que generan residuos conteniendo Plomo.

- Fábricas de cañerías.
- Fábricas de acumuladores.
- Fábricas de linotipos.
- Fábricas de armamentos.
- Fábricas de colorantes.
- Fábricas de pigmentos.
- Fábricas de insecticidas.
- Destilerías de petróleo.

- * Tipos de industrias que generan residuos conteniendo Arsénico.
 - Fábricas de cerámicas.
 - Fábricas de cristales
 - Fábricas de tinturas
 - Fábricas de pinturas.
 - Fábricas de productos químicos.
 - Fábricas de plaguicidas.
 - Fábricas de detergentes.
 - Industria textil.
 - Industria maderera.
 - Industria de fertilizantes químicos.
 - Acabado superficial de metales.

- * Tipos de industrias que generan residuos conteniendo Mercurio.
 - Fábricas de cloro e hidróxido de sodio
 - Fábricas de papel (fungicidas de base mercurial).
 - Estamperías de telas.
 - Curtiembres.
 - Galvanoplastías.
 - Fábricas de pigmentos inorgánicos.
 - Fábricas de explosivos.
 - Fábricas de fieltros.
 - Fábricas de instrumental científico y eléctrico.
 - Manufacturas de lámparas.
 - Industria de fertilizantes químicos.

- * Tipos de industrias que generan residuos conteniendo Cromo.
 - Electrodeposición de metales.
 - Anodizado de aluminio.
 - Curtiembres.
 - Industria textil.
 - Establecimientos fotográficos.
 - Fábricas de pinturas.
 - Manufactura del vidrio.
 - Fábrica de colorantes.
 - Fábricas de explosivos.
 - Fábricas de cerámicas.
 - Fábricas de papel.

- * Tipos de industrias que generan residuos conteniendo Cobre.
 - Fábricas de artefactos eléctricos.
 - Curtiembres.
 - Electrodeposición de metales.
 - Fabricación de insecticidas y fungicidas.
 - Fábricas de pigmentos.

- * Tipos de industria que generan residuos conteniendo Hierro.
 - Fábricas de productos químicos.
 - Galvanoplastías.
 - Establecimientos fotográficos.
 - Curtiembres.
 - Trafilado de alambres.
 - Taller de fotograbados.
 - Fábricas de aceros.

III. Aspectos de la problemática de los sitios contaminados.

Por lo anteriormente expresado, los sitios con problemas de contaminación pueden corresponderse con:

- * Areas de vuelco incontrolado de residuos industriales.
- * Areas industriales donde el subsuelo ha sido afectado por sustancias tóxicas debido a vuelcos intencionales o accidentales durante el tiempo de funcionamiento de dichas industrias. (En Alemania los rubros listados en la Tabla I son considerados como potenciales sitios abandonados y contaminados)
- * Antiguos sitios de disposición de residuos industriales en los cuales, se constató posteriormente que los requisitos técnicos adoptados y/o las metodologías empleadas no eran las adecuadas.

El procedimiento comprende la realización de inventarios, elaborar información detallada de cada uno para luego asignarles prioridades dentro de los programas de saneamiento

Estos inventarios incluyen la siguiente información:

- @ Localización, tamaño, y condiciones en que se encuentran los residuos y/o sustancias peligrosas en el sitio.
- @ Uso previo del sitio, incluyendo descripción de estructuras, instalaciones y equipos existentes.
- @ Tipos y cantidades de los residuos descargados o de las sustancias y productos químicos que se manipulaban en el lugar.
- @ Impactos ambientales sobre áreas críticas o sensitivas, especies amenazadas a causa de las sustancias y/o residuos peligrosos.

Las sustancias mas comúnmente halladas en sitios afectados por contaminación industrial, según los inventarios para saneamiento, son las siguientes:

- **Metales pesados** tales como cadmio, plomo, mercurio, cromo, níquel, cobre, cinc, y arsénico.
- **Compuestos inorgánicos** tales como cianuros, nitratos, complejos cianurados de plomo.
- **Hidrocarburos aromáticos** como benceno, tolueno, y xileno.

- **Hidrocarburos policíclicos aromáticos** como benzo - a - pireno.
- **Compuestos volátiles halogenados** como tetracloroetileno, tricloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, y productos asociados resultantes de su descomposición.
- **Compuestos semivolátiles** como bifenilos policlorados (PCB's), dioxinas, furanos, hexaclorociclohexano, clorobenzenos, clorofenoles, y productos asociados resultantes de su descomposición.

Todas estas sustancias amenazan el ambiente de diferentes formas.

En general se pueden mencionar los siguientes pasos dentro de la cadena de afectación:

- a) **Cadena alimentaria (suelo - vegetales / animales - hombre).**
- b) **Contacto cutáneo directo, ingestión, inhalación.**
- c) **Migración de gases fuera del área afectada.**
- d) **Transporte de sustancias o compuestos peligrosos por el viento o por difusión.**
- e) **Transporte de contaminantes por agua superficial.**
- f) **Transporte de contaminantes a través del subsuelo, fuera del área afectada, mediante el escurrimiento del agua subterránea.**

Los mecanismos de transporte se hallan influenciados de distinta forma por las propiedades de los contaminantes y por las características del medio.

En los países en desarrollo, como el nuestro, estos problemas en la mayoría de los casos aun no han sido completamente identificados y por consiguiente solucionados.

Por tanto es de interés resaltar las derivaciones de gestiones inadecuadas.

En la Figura 5 y en el Tabla II se presentan los mecanismos potenciales de afectación a los seres vivos y al medio, originados a partir del vertido accidental o intencional de sustancias y residuos peligrosos en condiciones no apropiadas.

Estimación del peligro y evaluación del riesgo.

El peligro real en un sitio contaminado deriva, por un lado, del tipo y cantidad de los contaminantes identificados, y por otro lado de la situación ecotoxicológica, lo cual incluye:

- * Enlace químico de los contaminantes, presencia de lixiviados ácidos, tasa de evaporación.
- * Asimilación de los contaminantes por fauna y flora.
- * Posibilidad de ingestión humana.
- * Interacción y posible reacción con otros compuestos presentes .
- * Tipos de suelo y subsuelo.
- * Uso del terreno y de las áreas circundantes.
- * Contacto con agua subterránea y superficial y con otros factores.

Cada riesgo debe ser evaluado y comprendido teniendo en cuenta los puntos citados. Cada sitio contaminado es único y requiere una consideración particular.

Establecimiento de los límites (concentraciones) de base.

La primera lista disponible de estándares para estimar el grado de contaminación del suelo fue la LISTA de HOLANDA, la cual fue publicada bajo la Ley Holandesa Provisional para el Saneamiento de Suelos.

Esta ley proporciona los procedimientos y estándares para el saneamiento a corto plazo de suelos contaminados.

La lista fue la primera en establecer categorías de límites basados tanto en la naturaleza y concentración de los contaminantes como también en las condiciones específicas del sitio que afectan la migración y destino de los contaminantes.

A continuación se transcribe parcialmente la **Lista de Holanda** para algunos contaminantes.

LISTA DE HOLANDA.

Medio Contaminante / Nivel	Suelo [mg / Kg sust. seca]			Agua Subt. [µg / l]		
	A	B	C	A	B	C
Plomo	50	150	600	20	50	200
Cromo	100	250	800	20	50	200
Níquel	50	100	500	20	50	200
Cobre	50	100	500	20	50	200
Cinc	200	500	3000	50	200	800
Arsénico	20	30	50	10	30	100
Cadmio	1	5	20	1	2,5	10
Bario	200	400	2000	50	100	500
Mercurio	0,5	2	10	0,2	0,5	2
Benzol	0,01	0,5	5	0,2	1	5
Etil benzol	0,05	5	50	0,5	20	60
Toluol	0,05	3	30	0,5	15	50
Xilol	0,05	5	50	0,5	20	60
Fenol	0,02	1	10	0,5	15	50
PCB's (total)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
Clorofenoles (totales)	0,01	1	10	0,01	0,2	1
HC alifáticos (total)	0,1	7	70	1	15	70
Clorobenzol (total)	0,05	2	20	0,02	1	5

La lista presenta tres niveles de referencia.

A: Categoría de referencia (concentraciones de base)

B: Categoría para iniciar una investigación.

C: Categoría para iniciar una acción de saneamiento.

En los últimos tiempos hubo muchas discusiones referidas a la utilidad de estos límites. La terminología corrientemente en uso incluye límites umbrales (disparadores de acciones) o límites para acciones de respuesta, los cuales permiten un cierto grado de flexibilidad.

Sin embargo los límites umbrales han sido definidos de manera precisa por la legislación y representan la máxima concentración de un contaminante.

Además de estos niveles, existen también los niveles guías, los cuales no son legalmente obligatorios.

TABLA I.

A continuación se mencionan industrias y actividades cuyas instalaciones abandonadas o inactivas pueden considerarse potenciales sitios de contaminación.

- § Minas de carbón. Plantas de coke. Empresas de gas.
- § Manufactura producción y procesamiento de combustible nuclear.
- § Manufactura de lamparas.
- § Minas de minerales, talleres metalúrgicos, fundiciones.
- § Refinerías de petróleo, plantas de almacenamiento de combustibles.
- § Galvanoplastías, electroplatinado, aleaciones.
- § Fabricación de baterías y acumuladores.
- § Fabricación de armas y municiones.
- § Producción de productos químicos inorgánicos.
- § Industria química, producción de fertilizantes, plásticos, herbicidas e insecticidas.
- § Industrias de pinturas y barnices.
- § Instalaciones de procesamiento de productos químicos agotados (utilizados).
- § Fabricación de vidrio.
- § Aserraderos, plantas de preservación de la madera.
- § Procesamiento y estampado de papel.
- § Procesamiento de plásticos, gomas, asbestos.
- § Curtiembres, procesamiento de cueros.
- § Plantas de tratamiento de aguas.
- § Tintorerías industriales.
- § Instalaciones ferroviarias.
- § Aeropuertos.

IV. Flujo y filtración de las aguas subterráneas.

Previo a describir el movimiento del agua en la zona inferior al nivel freático es necesario definir algunos términos:

Nivel freático es el lugar geométrico de los puntos donde la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica.

Por debajo del nivel freático se halla la **zona freática** en la cual los intersticios del suelo están llenos de agua a presión positiva (compresión).

Por encima del nivel freático está la **zona vadosa** en la cual los poros del suelo pueden contener aire o agua (llamada también zona de aireación).

Esta zona se compone de una parte saturada provocada por la elevación capilar (agua a presión negativa: succión) y otra no saturada o parcialmente saturada.

La ley de Darcy: El flujo del agua a través de medios porosos fue estudiado por Henry Darcy alrededor de 1856.

La ley de Darcy es por tanto la base para comprender el flujo del agua a través de los suelos.

Los poros de una masa de suelo están interconectados de una manera compleja y completamente aleatoria que origina en la masa de suelo canales de flujo estrechos, de forma irregular y entrelazados. Por tanto es imposible analizar el flujo en cada poro individualmente.

En los problemas de ingeniería en los que interviene la filtración de agua no es de interés el microflujo en cada poro, sino el macroflujo a través de todos los poros de un elemento de suelo suficientemente grande para ser representativo de toda la masa de suelo. Este tipo de flujo fue estudiado por Henry Darcy con una serie de experimentos sobre lechos filtrantes de arena. (Ver Fig. 6).

Como resultado de sus experimentos Darcy concluyó que el caudal **Q** que pasa a través de la arena es directamente proporcional a la sección transversal **A** y a la diferencia de carga hidráulica Δh , e inversamente proporcional a la longitud de la columna de arena **L**.

$$Q = k A \Delta h / L$$

en donde **k** es una constante de proporcionalidad denominada coeficiente de permeabilidad y $\Delta h / L$ es la pérdida de carga hidráulica por unidad de longitud de la muestra de suelo a través de la cual fluye el agua y se denomina *gradiente hidráulico*:

$$i = \Delta h / L$$

Es decir:

Q = caudal (m^3 / seg)

k = conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (m / seg)

i = gradiente hidráulico (m / m)

A = área de la sección transversal de flujo (m^2).

Se observa que Δh (diferencia de niveles piezométricos) y **L** (longitud de flujo) son ambas unidades longitudinales, resultando que el gradiente es adimensional.

Reestructurando los términos de la ecuación $Q = k A i$ y dividiendo ambos términos de la expresión por el área transversal de flujo es posible obtener otra expresión diferente de la ley de Darcy:

$$v = k i$$

en donde v = velocidad de descarga (m/seg).

A su vez $k = K \delta_w / n$, siendo:

K: es la permeabilidad, es una constante para un material permeable dado y con una dada porosidad; siendo a su vez independiente de las propiedades físicas del líquido que filtra por el medio poroso.

δ_w : peso unitario del líquido.

n: viscosidad del líquido.

En la Fig. 7 se presenta la simulación de condiciones reales en el terreno mediante la Ley de Darcy.

En la Tabla siguiente se presentan valores del coeficiente de permeabilidad para algunos tipos de suelos naturales:

Tipo de Suelo	Coficiente de permeabilidad (m/seg)
Arcilla.	$< 10^{-9}$
Arcilla arenosa.	10^{-9} a 10^{-8}
Limo.	10^{-8} a 10^{-7}
Turba.	10^{-9} a 10^{-6}
Arena fina.	10^{-6} a 10^{-4}
Arena gruesa.	10^{-4} a 10^{-3}
Arena gravosa.	10^{-3} a 10^{-2}
Grava.	$> 10^{-2}$

La Ley de Darcy es válida siempre y cuando el flujo sea **laminar**, el cual ocurre cuando las velocidades de escurrimiento son bajas.

El flujo laminar en un conducto circular es laminar cuando su número de Reynolds es menor que 2.000. Puesto que los poros de la mayor parte de los suelos son pequeños, las velocidades del flujo son bajas y por consiguiente **en casi todos los casos el flujo de las aguas subterráneas es un flujo laminar** y por tanto es aplicable dicha ley.

Ecuación de flujo estacionario: (La demostración de su deducción puede consultarse en las Ref. 7 y 16. de la bibliografía).

Si se plantea la condición de continuidad en tres dimensiones para el flujo estacionario (no se modifica con el transcurso del tiempo) del agua a través de un elemento diferencial de suelo, se arriba a una ecuación en derivadas parciales:

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 + \partial^2 h / \partial z^2 = 0 \quad (\text{Ecuación de LAPLACE})$$

Donde:

x, y, z son las coordenadas del elemento de suelo.
h: es la carga hidráulica en el elemento.

La Ecuación de Laplace describe las condiciones de carga hidráulica en situaciones estacionarias a lo largo del flujo de aguas subterráneas.

Para el caso de un flujo bidimensional esta ecuación adopta la forma:

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 = 0$$

La solución a esta ecuación diferencial en derivadas parciales puede obtenerse en base a métodos analíticos, analógicos, numéricos o gráficos.

Los **métodos analíticos** resultan de integrar directamente la ecuación diferencial. Son factibles de aplicar solamente bajo condiciones de contorno relativamente simples.

Los **métodos analógicos** se basan en la similitud entre las leyes que rigen el flujo del agua subterránea y las correspondientes a otros fenómenos físicos. Entre los modelos analógicos se destacan el de resistencia y capacidades.

Los **métodos numéricos** se basan en la aproximación de la ecuación diferencial por medio de ecuaciones algebraicas. En dichos métodos, las derivadas parciales de la ecuación de flujo se sustituyen por incrementos, aplicándolos a elementos discretos del acuífero. Los métodos más empleados son los de elementos finitos y los de diferencias finitas.

Los **métodos gráficos** (trazado de redes de flujo) permiten un análisis rápido y óptimo de las condiciones del flujo bidimensional.

Las redes de flujo son representaciones gráficas en dos dimensiones de las condiciones de carga hidráulica existentes en el subsuelo. (Ver Fig. 8).

Constan de dos familias de curvas ortogonales: **líneas equipotenciales** y **líneas de corriente** o líneas de flujo.

Las primeras son líneas de igual carga hidráulica, es decir en todos los puntos de una misma línea equipotencial, el agua asciende en un tubo piezométrico hasta un mismo nivel piezométrico.

Las segundas son líneas tales que en cada punto son tangentes al vector velocidad.

La faja situada entre dos líneas de corriente adyacentes se denomina *canal de filtración* y la parte de canal limitada por dos líneas equipotenciales constituye un *campo*.

Para el trazado de la red de flujo deben tenerse en cuenta las *condiciones hidráulicas de borde* del problema, como también las características fundamentales de las redes de flujo:

Resulta conveniente construir las líneas equipotenciales de modo que la diferencia de los niveles piezométricos entre dos líneas equipotenciales adyacentes cualesquiera sea constante. Esta diferencia se llama caída de potencial Δh .

Las líneas de corriente se interceptan con las equipotenciales en ángulo recto.

Las figuras (*campos*) delimitadas por los pares de líneas equipotenciales y de corrientes adyacentes son esencialmente de forma cuadradas.

La distancia existente entre dos líneas equipotenciales es inversamente proporcional al gradiente hidráulico (y por tanto a la velocidad de la Ecuación de Darcy).

Cada canal de filtración transporta la misma cantidad de fluido.

Una vez construida gráficamente la red correspondiente, en base a la ecuación siguiente puede calcularse la filtración:

$$Q = k H N_f / N_d.$$

Q: caudal de filtración por unidad de ancho del campo dimensional.

k: coeficiente de permeabilidad.

H: carga hidráulica total.

N_f : numero total de canales de filtración.

N_d : numero de caídas de potencial.

En la Figura 8 se muestra esquemáticamente lo anterior.

V. Consideraciones sobre la contaminación del agua subterránea.

A continuación se brinda una descripción de los mecanismos de contaminación de las aguas subterráneas.

En el medio subterráneo es posible encontrar sustancias contaminantes en diversos estados o fases.

Las que se encuentran disueltas en agua se denominan solubles, siendo el agua la sustancia disolvente.

Una vez que un contaminante ingresó en la zona saturada del suelo, no se dispersa en todo el acuífero, sino que se moverá influenciado por el flujo del agua subterránea.

A) Cuando se ponen en contacto dos **fluidos miscibles**, se forma una interfase que da lugar a una zona de transición en la cual las diferencias entre las propiedades físicas (por ej.: las concentraciones) de ambos fluidos tiende a desaparecer con el transcurso del tiempo. La evolución de la zona de transición entre dos fluidos miscibles en movimiento puede interpretarse como una tendencia hacia la homogeneización química de la composición de la mezcla.

El efecto de dispersión es consecuencia de la acción simultánea de fenómenos físico - químicos (por ej.: difusión molecular) y de fenómenos mecánicos derivados de las características microscópicas del suelo.

Como resultado de la cinética química, las sustancias contaminantes se trasladan de áreas de mayor a menor concentración a causa de la difusión molecular.

A escala microscópica el medio poroso se encuentra compuesto por partículas sólidas discretas y por espacios porosos o vacíos. La distribución de velocidades de un fluido moviéndose en un medio poroso no es uniforme.

El agua fluye a través de los espacios porosos interconectados.

Al toparse con las partículas sólidas del medio poroso, el flujo de agua debe alterar su curso y circular alrededor de dichas partículas.

Este proceso se repite infinidad de veces dando como resultado una mezcla del flujo de aguas conocido como dispersión mecánica (o dispersión hidrodinámica).

La consecuencia más importante es el reparto de sustancias contaminantes hacia zonas que no ocuparían normalmente si no fuese por este fenómeno mecánico.

Como resultado de la dispersión mecánica que contribuye a la expansión de la masa de sustancias contaminantes en un volumen de agua subterránea progresivamente mayor, facilitando su mezcla con aguas carentes de estas sustancias, se produce una disminución de la concentración de sustancias contaminantes, que se trasladan con el flujo del agua subterránea, variando su concentración como resultado de la dispersión.

La masa de agua contaminada que se mueve en el suelo tiende a adoptar una forma irregular, siendo esta forma con la que se desplazará a través del sistema.

Este cuerpo de agua contaminada que fluye se llama **pluma** y se extiende desde el punto donde se halla la fuente de contaminación hasta puntos aguas abajo. (Fig. 9)

El tamaño y forma de la pluma depende de varias variables, como por ejemplo condiciones geológicas del terreno, flujo regional del agua subterránea, tipo de contaminantes y concentración, grado de continuidad de la fuente contaminante y cualquier otra modificación de las condiciones del sistema, tales como la entrada en operación de un pozo de bombeo.

El desarrollo vertical de la pluma dependerá del espesor del acuífero, del gradiente hidráulico y de la permeabilidad del acuífero. Cualquier capa impermeable importante representará una condición de contorno para el flujo e inicialmente limitará la migración de la pluma en esta dirección. El esparcimiento de la pluma se hará entonces mas acentuado en la dirección horizontal, alargándose en el sentido del flujo del agua subterránea. (Fig. 10)

Si la descarga contaminante continúa, el extremo inicial de la pluma permanecerá estable, localizado debajo de la fuente y extendiéndose, principalmente aguas abajo. Si el ingreso cesara, la pluma se moverá alejándose de la fuente como si fuera una nube que se desplaza.

Cuando una mezcla de contaminantes ingresa a la zona saturada del suelo, cada especie química en general se moverá a su propia velocidad, es decir la pluma está separada en diferentes zonas, cada una de las cuales, avanza en la misma dirección, pero a diferentes velocidades. (Ver Figura 9).

Además del gradiente regional del agua subterránea, un factor importante es el representado por la carga impulsora derivado de la corriente contaminante que desciende desde la fuente filtrando a través del suelo.

Según lo expresado el peor caso para este efecto seria por ejemplo una perdida puntual ubicada sobre un acuífero que presenta un gradiente hidráulico relativamente plano ($i \rightarrow 0$), debido a que en este caso la influencia de la carga impulsora impuesta por el flujo contaminante descendente incrementará la velocidad de escurrimiento del agua subterránea tanto aguas abajo como aguas arriba de la vertical donde se halla el punto de perdida. El esparcimiento horizontal de la pluma será en todas direcciones.

B) En el caso de contaminantes **parcialmente solubles** en agua, su comportamiento al ingresar al acuífero es diferente. Es el caso de los productos de petróleo y otros compuestos orgánicos.

En este caso dos factores inter-relacionados determinan el desarrollo de un tipo de pluma diferente:

#) Densidad: los compuestos orgánicos tales como pentaclorofenol, tetracloroetileno y hexaclorobenceno, los cuales son mas densos que el agua tienden a descender hacia el fondo del acuífero, mientras que aquellos menos densos como las naftas, y el etilbenceno tienden a flotar sobre el nivel libre del agua.

Las características de la pluma contaminante que se formará dependerá entonces de la densidad de el (los) contaminante(s).

#) Solubilidad: mientras que los aceites minerales y los productos más pesados derivados del petróleo son relativamente inmiscibles en agua, los productos de hidrocarburos más livianos tales como las naftas y muchas otras sustancias orgánicas, son lo suficientemente solubles como para constituirse en contaminantes importantes que afectarán al agua subterránea.

Por ejemplo la nafta (tiene un rango de solubilidad de 20 a 80 mg / l de agua) es perjudicial tanto para el gusto como para el olor del agua subterránea a concentraciones menores a 0,005 mg / l de agua .

Otros productos orgánicos tales como acetona, benceno, y tetracloruro de carbono tienen aún mayores valores de solubilidad en agua.

En base a lo anterior se deduce que un producto pesado y con relativamente baja solubilidad, tal como el hexaclorobenceno (densidad específica: 1,6 y solubilidad de 0,11 mg / l de agua) tendería a descender al fondo del acuífero y migrar por gravedad a lo largo del contorno superior de la capa de baja permeabilidad. Ver Fig.11 (a).

Asimismo y tal como se muestra en dicha figura el sentido del movimiento de este contaminante, a diferencia del típico esparcimiento de una pluma, podría ser contrario al sentido de flujo del agua subterránea.

Los productos orgánicos menos densos que el agua pero un poco más solubles (como las naftas) tenderán a desarrollar una pluma con capas múltiples en la zona de transición adyacente al nivel libre del agua subterránea.

El desarrollo inicial de la pluma ante una pérdida de naftas será vertical por acción de la gravedad. Sin embargo y dado que las naftas son tan volátiles, una zona de vapor comenzará a desarrollarse en la zona no saturada del suelo sobre el nivel freático.

Cuando el producto libre alcanza el nivel freático, tenderá a esparcirse lateralmente flotando sobre el nivel libre del agua subterránea. Con el transcurso del tiempo se hará más alargada en la zona capilar, moviéndose en la dirección de flujo del agua subterránea.

Los hidrocarburos que están en contacto con el nivel libre del agua originan una pluma transitoria multicapa.

En el caso de pérdidas de este tipo, en régimen estacionario, la capa de hidrocarburos disueltos se esparcirá más rápidamente y con el paso del tiempo dicha capa tenderá a separarse del resto de la pluma. Ver Fig. 11 (b).

Los parámetros de interés en un **estudio de dispersión** son: *densidad, concentración, y velocidad.*

En el subsuelo la velocidad y el desplazamiento de los contaminantes están afectados también por factores llamados de atenuación.

Atenuación es la denominación general para indicar cualquier disminución en la concentración de los contaminantes independientemente del proceso implicado.

Al analizar los mecanismos de atenuación, se debe diferenciar entre la zona saturada y la no saturada del acuífero.

En la zona no saturada, el flujo ocurre a más baja velocidad en comparación con la zona saturada.

La zona no saturada ofrece entonces una capacidad de “amortiguación” con mayor tiempo de residencia para los contaminantes, donde los mecanismos naturales tales como la filtración, degradación microbiológica y adsorción iónica podrían comenzar a actuar.

Tan pronto los contaminantes alcanzan el nivel freático se mezclan con el agua subterránea, la dilución se convierte en el principal mecanismo de atenuación, aunque otros procesos de retardación (incluyendo procesos químicos) también son importantes.

Zona no saturada: esta zona es particularmente importante en la atenuación de productos orgánicos. Los mismos pueden ser oxidados o reducidos o bien ser alterados para formar precipitados, partículas, trazas de elementos y gases.

Los gases pueden ser volatilizados a la atmósfera, mientras que los precipitados, materia particulada, trazas de metales pesados, virus y bacterias pueden ser atrapados por filtración y/o neutralizados por adsorción iónica,.

Zona saturada: En esta zona pueden ocurrir dos mecanismos importantes:

#) *Dispersión hidrodinámica:* los contaminantes solubles que alcanzan el nivel freático se mezclan con el agua no contaminada y sus concentraciones se diluyen inmediatamente en un cierto grado. El mecanismo de dilución puede ser magnificado adicionalmente por las velocidades variables y por las sinuosas trayectorias que sigue el soluto en el suelo como consecuencia de las características microscópicas del suelo. La sinuosidad de las trayectorias del flujo dispersa la pluma y contribuye al mezclado de la pluma con otros volúmenes de agua subterránea no contaminada (dilución). (Ver Fig. 12).

Además las moléculas de agua fluyen a diferentes velocidades a causa de la fricción en los microconductos (canalículos del suelo) y esto promueve la difusión molecular.

En general la difusión puede describirse como un lento proceso de intercambio iónico o molecular por el cual los solutos en alta concentración se mueven hacia zonas de menor concentración en un intento por establecer el equilibrio químico.

La dispersión hidrodinámica comprende ambos componentes: dilución mecánica y difusión molecular.

#) *Retardo:* mientras que la difusión se refiere a la migración iónica dentro de la fase líquida, el retardo se relaciona con el intercambio de iones entre líquido y sólido.

El potencial de intercambio iónico está limitado a partículas coloidales tales como las arcillas.

Sin embargo, no todos los contaminantes exhiben la misma atracción por los suelos de alta capacidad de intercambio iónico.

Los metales pesados por ejemplo, tienden a exhibir un alto potencial por el retardo.

Los cationes son moderadamente retardados y los aniones (son la mayoría de los componentes móviles de un lixiviado) muestran un bajo potencial de adsorción.

Dado que el esparcimiento del contaminante está confinado a la pluma, solamente áreas localizadas de un acuífero, necesitan ser saneadas y restauradas.

Si bien la limpieza de un acuífero es costosa, consume tiempo y exige esfuerzos técnicos, es posible efectuarla.

Se debe definir entonces: la localización de las fuentes contaminantes, las dimensiones del medio subterráneo a sanear, los potenciales caminos de transporte del

contaminante, determinar la extensión y concentración del o los contaminantes y finalmente estudiar la factibilidad de implementación del procedimiento de saneamiento seleccionado.

VI. Procedimientos de muestreo y monitoreo en sitios contaminados.

A. Investigaciones para el saneamiento.

Las actividades de muestreo en un sitio donde se realizarán tareas de saneamiento, son parte del proceso de Investigación para el Saneamiento (IS) y Estudio de Factibilidad (EF).

Un IS/EF se realiza para determinar el carácter y extensión del problema originado por derrames, escapes, o pérdidas en un determinado lugar y para evaluar las alternativas de saneamiento propuestas.

La IS y el EF son interdependientes y normalmente se realizan simultáneamente.

La integración de las dos actividades se realiza como se ilustra en la **Figura 13.**

Los elementos principales de la IS son: la recolección de datos y la caracterización del lugar. Actividades adicionales incluyen: obtención / manejo de datos, estudios a escala piloto y preparación de informes de investigación del sitio.

Los datos de la IS son empleados también en la fase de Estudio de Factibilidad para evaluar criterios de diseño de las alternativas técnicas potencialmente aplicables.

Es decir que los datos colectados y evaluados en el proceso de IS constituyen la base para la elección entre tecnologías de saneamiento alternativas, las que son propuestas en las fases de estudio de factibilidad y diseño del saneamiento del sitio.

B. Evaluación Preliminar del lugar.

Previo a cualquier actividad de muestreo y monitoreo en el contexto de una acción de saneamiento de un sitio, debe realizarse una evaluación preliminar. La evaluación generalmente consiste de los siguientes cuatro elementos:

recolección de datos existentes,

identificación de las características del sitio y de las vías de expansión de los contaminantes,

evaluación de riesgos potenciales,

e identificación de las necesidades de datos e información adicionales para la evaluación del sitio y para las tareas de saneamiento.

La información resultante de estas actividades se usará en desarrollar el Plan de Muestreo, el Plan de Higiene y Seguridad y el Plan de Aseguramiento de la Calidad para el sitio.

Recolección de Datos Existentes

El objetivo de esta actividad es evaluar la cantidad y calidad de la información histórica disponible del sitio y de este modo evitar gastos de tiempo y dinero y/o duplicación de esfuerzos.

La recopilación de información histórica del lugar debería concentrarse sobre los datos disponibles del sitio y de residuos. Una vez que estos datos han sido reunidos, los mismos deben ser evaluados considerando utilidad y validez.

Es de particular importancia en este paso disponer de una cronología de los materiales peligrosos manejados y de las prácticas implementadas para la gestión de los residuos en el sitio.

Aunque los informes de la instalación son por lo general los más amplios, otras fuentes alternativas de información sobre manejo de materiales e información sobre residuos, pueden ser: informes sobre otorgamiento de permisos, actividades previas de estudios y muestreos, información sobre generadores y/o transportistas, informes sobre respuestas a emergencias, y documentaciones derivadas del cumplimiento de la legislación ambiental.

También puede recurrirse a archivos municipales o provinciales para obtener información sobre operadores de residuos y sobre uso de terrenos. A partir de estas fuentes puede elaborarse una lista preliminar de las características potenciales de los residuos.

Características del Sitio y Vías de Migración de los Contaminantes

Una evaluación preliminar del lugar debe incluir una inspección del sitio para verificar la información resultante de la investigación histórica así como para compenetrarse de las condiciones actuales del sitio. Las características físicas mas importantes del lugar son: ubicación, descripción geológica e hidrogeológica, información meteorología y uso actual de la tierra.

En esta fase deben elaborarse Planos del sitio y del área circundante a una escala adecuada, incluyendo todos los detalles permanentes que serán usados a través de toda la investigación de saneamiento.

En caso de terrenos grandes y con mayor complejidad de detalles y de topografía puede ser necesaria la participación de un agrimensor.

Estos planos pueden emplearse como planos base para incluir información posterior por ejemplo: ubicación de puntos de muestreo. El plano del área y su entorno puede incluir una zona circundante de magnitud adecuada como para describir las características regionales incluyendo el movimiento del agua subterránea y las características topográficas.

Debería realizarse un inventario de los residuos y materiales peligrosos almacenados corrientemente en el lugar y registrar sus ubicaciones sobre el plano base. Esta información debe incluir el estado de agregación, cantidad y características generales de los materiales. Asimismo deben describirse los Recipientes de Almacenamiento de materias, productos y residuos y detallar sus estados físicos actuales. La recolección de datos de la investigación histórica y de la inspección del sitio deben emplearse para identificar las potenciales vías de migración de contaminantes desde el sitio.

El objetivo del programa de muestreo y monitoreo en el sitio es ayudar a definir la extensión de la contaminación originada por las sustancias peligrosas del sitio.

Identificación y Evaluación de Riesgos

La identificación de las propiedades físicas, toxicológicas, químicas, biológicas y radiológicas de los productos químicos implicados en el sitio, es el primer paso en la evaluación de los potenciales riesgos hacia el ambiente, la salud pública, y al personal involucrado en las tareas de saneamiento.

En el capítulo II. "Generación de residuos". (*Características de Riesgo de los residuos peligrosos / especiales*) se presentó información asociada con el riesgos potenciales de materiales y residuos.

Información adicional sobre las características de riesgo de sustancias, productos químicos o residuos, pueden obtenerse de manuales técnicos de referencia básica y sistemas on-line de computación.

Es importante conocer no solo las propiedades de las sustancias individuales, sino también su reactividad con otros productos químicos y con el ambiente.

Una vez que las características de las sustancias presentes en el sitio han sido identificadas, debe evaluarse el riesgo hacia la salud pública y el ambiente.

El criterio para esta evaluación depende de la clasificación de la sustancia implicada, el medio particularmente afectado, y los límites de detección de los procedimientos analíticos empleados.

Según la normativa de EE.UU.:

Para clasificar las sustancias pueden emplearse dos agrupamientos (según EPA): la lista de contaminantes prioritarios (PP) y la lista de sustancias peligrosas (HSL).

Estos grupos incluyen volátiles, semivolátiles, pesticidas, metales pesados, cianuros, y compuestos fenólicos. Los compuestos de la lista son revisados periódicamente por la EPA y se efectúan tanto agregados como supresiones.

Diferentes medios físicos del ambiente (suelos, aguas subterráneas, aguas superficiales) son evaluados separadamente y algunas veces de acuerdo a diferentes criterios.

Con la excepción del agua de potable, en donde los niveles aceptables de calidad de agua de bebida en general ya han sido definidos por la legislación referente al Agua para consumo, los otros estándares de la EPA todavía están en la situación de determinar que nivel de contaminación en un medio ambiente constituye un requerimiento para iniciar una acción de saneamiento.

Dos recientes desarrollos pueden ayudar a definir niveles uniformes de acción: las directivas publicadas por la EPA para protección del agua subterránea y la promulgación de las mejoras efectuadas a la Ley CERCLA por el Congreso de EE.UU..

Asimismo se espera que el Plan de Protección del Agua Subterránea establezca estándares mínimos de calidad para varios tipos de formaciones geológicas. Mientras tanto el Congreso está en proceso de incluir niveles específicos de limpieza para la Lista Nacional de Prioridades para sitios contaminados.

Según las normativas Europeas:

Puede emplearse como referencia la Lista de Holanda, de la cual ya se habló anteriormente.

Por otra parte en el proceso de evaluación de los datos existentes y en la determinación de los riesgos potenciales, debe considerarse el límite de detección de los métodos analíticos usados. El límite de detección es la mínima o máxima concentración que un instrumento o método analítico puede medir con exactitud, para un parámetro específico.

En la actualidad, se considera la toxicidad de los compuestos presentes en un sitio bajo investigación, al momento de definir los niveles de acción.

Un paso importante en el proceso de evaluación durante la evaluación preliminar del sitio, es determinar si es necesaria o no una acción inmediata de remoción como parte de la investigación para el saneamiento.

A continuación se enumeran algunos factores que deben ser considerados para decidir una acción inmediata:

- * Posibilidad de exposición de la población del entorno, animales, o de la cadena alimentaria a las sustancias peligrosas.
- * Contaminación de fuentes de abastecimiento de agua potable.
- * Liberación de contaminantes desde contenedores o recipientes de almacenaje de residuos a granel.
- * Migración de contaminantes en los suelos superficiales.
- * Condiciones climáticas extremas que pueden causar migración o liberación de contaminantes.
- * Otros factores que signifiquen una amenaza a la salud pública o al medio.

Las acciones de respuestas o de remoción están diseñadas para estabilizar el sitio y suprimir liberación o la amenaza de liberación de sustancias peligrosas al ambiente. Estas deberían ser ejecutadas dentro del contexto de la Investigación para el Saneamiento.

Datos requeridos para evaluación del sitio y acciones de saneamiento.

La evaluación preliminar del sitio concluye con la identificación de los requerimientos de información para el desarrollo de alternativas de acciones de saneamiento en conjunción con el Estudio de Factibilidad. La deficiencia de datos en la evaluación del sitio (fuentes de residuos peligrosos, vías de migración de contaminantes, y población afectada) deben revisarse considerando los requerimientos de diseño. El muestreo del ambiente y de los residuos peligrosos provee una buena oportunidad para completar la evaluación del sitio. Las actividades de muestreo incluyen investigación de campo, desarrollo de plan, identificación de procedimientos apropiados y manejo y análisis de datos.

C. Planes para las tareas de saneamiento e investigación del sitio

Las tareas de muestreo en el contexto de las acciones de saneamiento de sitios requiere desarrollar tres planes antes de iniciar las actividades en el lugar:

planes de muestreo,

planes de higiene y seguridad y

planes de aseguramiento de la calidad.

Estos planes son interdependientes y deben ser compatibles con la evaluación de los resultados de la evaluación preliminar del sitio.

Estos planes tienen por finalidad establecer directivas para las actividades de campo y están sujetos a revisiones frecuentes y adecuadamente documentadas durante las actividades de muestreo.

Planes de Muestreo

Los planes de muestreo están desarrollados para:

maximizar la seguridad del personal de muestreo,

minimizar los tiempos y costos de muestreo,

reducir errores en el muestreo, y

proteger la integridad de las muestras luego del muestreo.

El objetivo del muestreo, en general, es la recolección física de una porción representativa de un medio. Los planes de muestreo constituyen “el plan de acción” para obtener esta representación.

Los elementos de un plan de muestreo se discuten en los siguientes ítems:

* Antecedentes del sitio: La información resultante de la evaluación preliminar debe incluirse en esta sección.

Comprende: Planos del sitio y área circundante, información disponible sobre composición y características de residuos en el lugar, vías potenciales de migración de los residuos y la historia de operaciones efectuadas en el lugar.

* Objetivos: Esta sección debe proveer directivas a todo el personal involucrado en la investigación del sitio. Se deben listar los déficits de información evidenciados durante la evaluación del sitio, correspondientes a determinado medio (suelo, agua subterránea, agua superficial, y contaminantes).

Los objetivos deben considerar las necesidades para el desarrollo de las alternativas técnicas de saneamiento y ser lo suficientemente detallados para permitir modificaciones al plan, causadas por condiciones del sitio, sin comprometer el objetivo de la investigación.

* Organización del proyecto y responsabilidades: En esta parte deben detallarse las personas individualmente y sus responsabilidades. El personal debe ser asignado a las siguientes tareas: coordinador del proyecto, jefe del grupo de muestreadores, análisis de laboratorio, procesamiento de datos, calidad de los datos, total aseguramiento de la calidad del proyecto. El número del personal asignadas dependerá de la complejidad del lugar y en el caso de sitios pequeños, en general a los individuos se les puede asignar roles duales.

* Parámetros de muestreo y ubicaciones: En esta sección se debe especificar la ubicación en el sitio de los puntos de muestreo, tipo de muestra, origen de la muestra, parámetros a analizar, frecuencia de muestreo, número de muestras.

La ubicación de los puntos de muestreo en general se indica sobre los planos del lugar y del área circundante.

Las muestras deberían ser codificadas alfanuméricamente con las dos primeras letras identificando el tipo de muestra [(ej. aguas superficiales (ASp), aguas subterráneas (ASb), suelos (Su)] y números asignados progresivamente.

Las muestras duplicadas o triplicadas deberían recibir una letra adicional luego del número (A o B).

El tipo de muestra describe si la muestra es ambiental o peligrosa.

Muestras ambientales: Son aquellas que se supone que no contienen contaminantes o bien si existen se hallan en baja concentración. Ej: muestras de suelos, aguas superficiales, aguas subterráneas. Son colectadas en áreas que podrían estar contaminadas.

Muestras peligrosas: Se considera que contienen alta concentración de contaminantes. En general son colectadas de tambores, tanques, lagunas de almacenamiento de líquidos residuales y en zonas adyacentes a áreas contaminadas.

Ej.: muestras de residuos, barros, sedimentos.

Esta distinción tiene dos razones: a) Proveer adecuada protección al personal que colectará muestras que se considera contienen suficiente cantidad de componentes peligrosos, y b) Cumplir con requisitos de transporte, dado que las muestras peligrosas deben ser transportadas de acuerdo a las regulaciones de transporte de materiales peligrosos.

Asimismo las muestras se dividen en puntuales o compuestas.

Muestra puntual: Es una muestra discreta que es colectada en un momento específico. Se considera representativa de un sitio específico en un momento específico.

Si la fuente a muestrear es bastante uniforme a lo largo de un periodo de tiempo y/o de una extensión geográfica, entonces esta muestra puede considerarse representativa de ese periodo o de esa región.

Si las características del medio a muestrear varían rápidamente en función del tiempo o de su posición en el espacio entonces se reduce abruptamente la representatividad de una única muestra puntual debiéndose extraer muestras puntuales con mayor frecuencia o en mas cantidad para toda la zona.

Muestra compuesta: Es una muestra no discreta compuesta de dos o mas submuestras específicas, colectadas estas submuestras en varios sitios de muestreo o en diferentes instantes y/o mezcladas y consideradas como una única muestra.

Una muestra compuesta podría brindar una concentración o composición “promedio” y podría ser una alternativa en vez de analizar numerosas muestras puntuales.

Las concentraciones de una muestra puntual pueden cambiar significativamente debido a su colección, transporte o almacenamiento; por tanto no podrían combinarse tales muestras puntuales en estas situaciones.

Las muestras compuestas deberían utilizarse solamente luego de que pueda demostrarse que no hay cambios significativos bajo las condiciones y metodologías existentes de muestreo.

Cuando se colectan muestras peligrosas, es aconsejable colectar solamente muestras puntuales.

Las muestras compuestas implicarán un riesgo a la seguridad del personal si involucra submuestras de contenido peligroso desconocido.

Los cambios y/o reacciones químicas que podrían ocurrir al componer las submuestras también justifican la recolección de muestras puntuales.

El origen de la muestra describirá el tipo de muestra: ambiental (suelos, aguas superficiales, aguas subterráneas) / peligrosa (tambor con residuos, productos químicos, sedimentos).

Los parámetros y técnicas analíticas pueden variar según el medio y deberían ser descriptos para cada muestra.

Las muestras pueden también ser tomadas del mismo lugar a diferentes intervalos de tiempo, en casos donde las variaciones climáticas y estacionales pueden afectar el medio a caracterizar. Las aguas subterráneas y superficiales son ejemplos de esto.

El número de muestras a ser colectadas depende de una cantidad de variables; validación estadística de los niveles de confianza, evaluación de datos existentes sobre caracterización del sitio, requerimientos de aseguramiento de calidad y requisitos normativos.

* Metodología de Muestreo: Esta sección debe describir el protocolo que los muestreadores de campo emplearan para cada origen medioambiental.

Se recomiendan en general los métodos normalizados o procedimientos operativos estandarizados.

En la elección de un método de muestreo se deben considerar los siguientes criterios:

@ Practicidad.

@ Representatividad.

@ Economía.

@ Simplicidad o facilidad de operación.

@ Compatibilidad con consideraciones analíticas.

@ Versatilidad.

@ Seguridad.

La metodología debe describir los elementos de muestreo, recipientes, técnicas de preservación de las muestras, procedimientos de descontaminación, tiempos de custodia.

En esta sección debe realizarse una lista de los elementos requeridos para las tareas de campo.

También debe especificarse aquí las aclaraciones para la calibración del equipo de monitoreo a ser empleado en terreno.

* Plan de Higiene y Seguridad: Se describe mas adelante.

* Procedimientos de manejo de muestras: Esta sección se refiere a los procedimientos de cadena de custodia a ser observados durante la investigación.

Para el muestreo en campo, la cadena de custodia comienza con la preparación de los recipientes para colocar las muestras y finaliza con el análisis de las muestras.

En esta sección se deben describir los procedimientos para asegurar la no contaminación de los equipos y dispositivos de muestreo, los procedimientos de laboratorio para asegurar que los recipientes sean suministrados limpios, las técnicas apropiadas de preservación química, el procedimiento de etiquetado/identificación, precauciones de envío y etiquetado según normas de transporte, regulaciones referidas a recipientes que se aplican en la etapa de transporte de muestras al laboratorio para ser analizadas.

* Formulario de Solicitud de Análisis de Muestras: El laboratorio que analizará las muestras debe ser consultado durante todo el desarrollo del plan de muestreo a fin de asegurar la compatibilidad de los procedimientos de muestreo y los requerimientos analíticos.

El plan de muestreo debe especificar:

- # los métodos analíticos requeridos para cada muestra según origen,
- # cantidad de muestras y repeticiones (contramuestras),
- # métodos de preservación,
- # tiempo de tenencia,
- # procedimientos de aseguramiento y control de la calidad de las muestras,
- # precisión y exactitud requerida.

Esta sección debe especificar la manera de informar los datos.

* Programación de Tareas: Debe establecerse una programación para cada fase del proyecto desde el inicio hasta el informe final, a los efectos de asegurar la coordinación del manejo y del personal de campo y de laboratorio. El programa debe identificar fechas críticas, tales como inicio del proyecto, completamiento de análisis, e informe final. Asimismo debe ser flexible como para asegurar el cumplimiento de todos los requerimientos del plan de investigación.

* Requisitos de documentación: Se deben especificar los procedimientos de documentación para fotografías, cuaderno de anotaciones de campo, rótulos de muestras, cadena de custodia, correspondencias, e informes de análisis. Para grandes proyectos de muestreo debe emplearse un sistema de control de documentos. El propósito de este sistema de control es centralizar toda la información procedente de la investigación de campo.

* Formato de los informes: El plan de muestreo debe especificar la cantidad y formato de los informes que se requieren durante toda la etapa de investigación.

Estos informes incluyen aclaraciones sobre el muestreo en campo, análisis intermedios y finales, revisión de los procedimientos de aseguramiento y control de calidad, auditorías de decisión e informe final.

Estos informes deben referirse a los objetivos y propósitos de la investigación de campo y efectuar algunas aclaraciones sobre los resultados de la operación. También deben identificar necesidades de información adicional.

Plan de Higiene y Seguridad.

Este plan está diseñado para proteger el personal que trabaja en el sitio, y al público en general de la exposición a las sustancias tóxicas durante las investigaciones de saneamiento.

Las sustancias tóxicas pueden ser inhalados, ingeridas o absorbidas a través de la piel. Hay dos tipos de exposición: aguda y crónica.

Una exposición aguda ocurre cuando el personal es expuesto por un corto período de tiempo a una concentración relativamente alta de una sustancia.

Una exposición crónica ocurre por la exposición a concentraciones relativamente bajas de contaminantes, durante un período largo de tiempo.

El plan de Higiene y Seguridad también debe orientarse sobre otros tipos de riesgos potenciales presentes en el sitio: fuego o explosión, reactividad, radiación y exposición física.

Datos técnicos adicionales referentes a directivas para la seguridad de los trabajadores puede obtenerse de la información suministradas por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) y The Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

Durante el desarrollo del Plan Higiene y Seguridad se deben realizar referencias específicas para cada contaminante de acuerdo a los estándares de protección aplicable y las fuentes consultadas.

Todo el personal implicado en una investigación para saneamiento de un sitio debe ser un participante activo en la organización del programa.

Los elementos mínimos de la organización de un Programa de Higiene y Seguridad deben incluir:

- Designación de un coordinador general de seguridad para la revisión del plan de seguridad para el sitio.
- Establecimiento de un programa de entrenamiento para el personal que se ocupará de los residuos peligrosos del sitio, el que debe contemplar estándares mínimos.
- Procedimientos de seguridad normalizados para realizar las tareas de manera segura.
- Un inventario completo de los equipos de protección y monitoreo.
- Un programa médico de vigilancia y monitoreo para todo el personal.

El plan de Higiene y Seguridad para un caso específico variará ampliamente en sus detalles, en función de la complejidad del sitio.

Sin embargo, este plan debe ser preparado por el personal calificado en la temática de seguridad y revisado periódicamente a fin de mantenerlo actualizado y corregido técnicamente.

El objetivo del Plan de Higiene y Seguridad, es prevenir cualquier afectación y/o exposición a las sustancias peligrosas, identificar al personal clave y especificar los procedimientos para el trabajo normal y para las acciones de emergencia.

Como mínimo el Plan de Higiene y Seguridad para el sitio debe contemplar:

- Evaluar los riesgos asociados con el sitio y con cada operación que se realiza.
- Identificar al personal clave y los responsables alternativos tanto para operaciones de seguridad rutinarias como para las acciones de respuestas.
- Referirse a los niveles de protección a ser observados por el personal durante distintas operaciones en el sitio.
- Designar áreas de trabajos (zona de exclusión , zona de reducción de la contaminación y zona de apoyo), límites, tamaños de las zonas, distancias entre zonas, puntos de acceso y control a cada zona.
- Definir la cantidad de personal y equipos necesarios en las zonas de trabajo durante la entrada inicial y las operaciones subsiguientes.

- Establecer los procedimientos de emergencia en el sitio, por ejemplo: rutas de escape, señalización para evacuación de cuadrillas de trabajadores, sistema de comunicaciones de emergencia (interna y externa), procedimientos para situaciones de fuegos y/o explosiones.
- Registrar datos y la ubicación de la asistencia médica más cercana y realizar los arreglos para asistencia en caso de lastimaduras rutinarias y para problemas toxicológicos.
- Establecer los niveles de acción de acuerdo a las condiciones atmosféricas y de radiación.
- Implementar un programa para el monitoreo periódico de aire y monitoreo ambiental, definir el personal para esta tarea.
- Entrenamiento de personal para cualquier actividad no rutinaria que deba realizarse en el sitio.
- Considerar las condiciones climáticas y otras situaciones que puedan afectar la salud y seguridad del personal durante las operaciones del sitio.
- Implementar procedimientos de control para evitar el acceso al sitio de personal no autorizado.
- Especificar los procedimientos descontaminación para el personal y equipamiento y las prácticas de disposición de estos materiales.

Plan de Aseguramiento de la Calidad

Los cuatro factores básicos que afectan la calidad de los datos ambientales son: la obtención de muestras, la preservación de las muestras, el análisis y registro. Los procedimientos para campo, laboratorio y manejo de datos son elementos igualmente importantes del plan de aseguramiento de calidad.

La calidad de las actividades de muestreo en campo son dependientes de:

1. Proceso de obtención de muestras representativas.
2. Empleo de técnicas apropiadas de muestreo.
3. Protección las muestras hasta que sean analizadas (preservación de las muestras).

En el laboratorio, el aseguramiento de la calidad (QA) realizado a través del monitoreo de la confiabilidad, exactitud y precisión de los resultados informados y a través del establecimiento de métodos para satisfacer los requerimientos del programa de control de calidad (QC).

Un plan para aseguramiento de la calidad del proyecto es un documento escrito que presenta en términos específicos las políticas, organización, objetivos, actividades funcionales y actividades específicas de QA y QC diseñados para lograr los objetivos de calidad de información de un proyecto específico.

Un plan de aseguramiento de calidad es necesario para actividades de muestreo en un sitio de saneamiento.

D. Técnicas de muestreo para lugares bajo saneamiento.

Las actividades de muestreo en estos sitios comienza con el monitoreo de las condiciones ambientales durante la investigación preliminar y finaliza con la validación de los datos analíticos por el laboratorio.

Los datos de calibración, mantenimiento, y estándares de funcionamiento son establecidos para cada tipo de equipo y procedimiento, y deben ser incluidos en los planes de aseguramiento de calidad y muestreo.

Los métodos de muestreo para sitios donde se realizará un saneamiento fueron adaptados de los procedimientos estándares tradicionales para muestreo ambiental.

Mediante experiencia y desarrollo tecnológico, estos métodos han sido refinados para obtener una impresión más exacta del medio a muestrear.

Los criterios de selección establecidos para lograr una adecuada elección de métodos de monitoreo y materiales, incluyen: practicabilidad, representatividad, facilidad de operación, compatibilidad con consideraciones analíticas, versatilidad, y seguridad.

Fuentes de Residuos Peligrosos

Las fuentes de residuos peligrosos en un sitio a remediar pueden ser complejas, pueden presentar mezclas multifases de sólidos, barros, sedimentos y líquidos.

Hay que considerar que las propiedades físicas y químicas de toxicidad, inflamabilidad, corrosividad, reactividad, explosividad, etc , estarán presente.

Por estas razones, los elementos para obtener las muestras deben estar hechos de acero inoxidable, o tener sus superficies de muestreo cubiertas con teflon. Asimismo deben tener resistencia mecánica y durabilidad, dado el amplio rango de propiedades estructurales de las fuentes de residuos peligrosos.

Los recipientes que puedan encontrarse en el sitio conteniendo residuos pueden incluir: tambores, tanques de almacenamiento, bolsas. Los residuos líquidos, sedimentos y barros en general estarán presentes en lagunas, tolvas, sedimentadores y reactores, mientras que residuos secos pueden estar presentes en tambores, bolsas, tolvas y en suelos.

En la Tabla VI.1 se lista los dispositivos de muestreo recomendados para varios tipos de residuos y sus limitaciones.

*** Líquidos, Barros, y Suspensiones en tambores y recipientes similares**

La inspección visual y el monitoreo ambiental de los residuos líquidos contenidos en recipientes son críticos a causa del riesgo de ignición, explosión o de exposición química del personal cuando se manipulan los recipientes conteniendo residuos desconocidos.

Es recomendable el empleo de vestimenta protectora completa, lo cual incluye delantal y protector ocular contra salpicaduras cuando se realiza la apertura de un tambor.

La descripción del recipiente y cualquier identificación disponible debe ser registrada en el libro de anotaciones de campo.

Si el contenido del tambor no está a presión, el recipiente debe ser puesto vertical y vuelco a colocar en acopio, con el tapón hacia arriba e identificado con su apropiado número para muestreo.

Si el tambor está presurizado se recomienda efectuar su manipuleo y apertura mediante un dispositivo de apertura remota.

El recipiente debe ser abierto con precaución y debe realizarse un muestreo preliminar de los gases de la parte superior del tambor.

Es necesario monitorear esta parte superior para verificar mediante detectores portátiles la presencia de vapores orgánicos.

Antes del muestreo, debe determinarse la posición de la interfase líquido - sólido, a los efectos de comparar el tirante líquido con respecto a la altura del tambor.

Los sedimentos de fondo también deben ser muestreados.

Los líquidos en el tambor pueden ser muestreados por alguno de los siguientes dispositivos: Coliwasa (Fig. 14), varilla de vidrio, o pipeta para muestras estratificadas.

El Coliwasa es muy recomendado para muestrear líquidos en recipientes. Su ventaja es que permite el muestreo representativo de los residuos con multifases.

El vidrio es el material preferido y puede ser empleado en todos los trabajos de muestreo con excepción del caso de soluciones fuertemente alcalinas e **hidrofluoricas**.

A causa de su configuración, la descontaminación de este elemento es difícil.

Las partes móviles son descartables y fácilmente reemplazables.

El Coliwasa funciona de modo similar a las varillas de vidrio y a las pipetas para tambores, pero logra menor pérdida de muestra. En general no se emplea cuando los líquidos a muestrear son de alta viscosidad.

* Líquidos y Barros en Lagunas, Estanques, Tolvas

La obtención de muestras representativas de residuos peligrosos almacenados en lagunas u otros depósitos superficiales depende de tres factores:

si las muestras pueden ser tomados desde el borde de la laguna;

la profundidad (tirante) y fases físicas de los líquidos y

las propiedades químicas y riesgo asociado con el contenido de la laguna .

El muestreo de un depósito poco profundo, con pequeña extensión superficial, y con baja concentración de productos químicos almacenados, es seguro y fácil.

Por otro lado, el muestreo de un depósito de significativa profundidad, de gran extensión superficial y con productos químicos con elevada concentración, presenta riesgos físicos, costos y problemas de toxicidad.

Es conveniente realizar una evaluación preliminar de las condiciones radiológicas, presencia de vapores orgánicos y condiciones de explosividad, de manera previa a iniciar las operaciones y continuar con el desarrollo de este monitoreo en la medida de ser necesario.

Las muestras de agua superficial pueden obtenerse más fácilmente empleando un muestreador para lagunas desde el borde de dicho depósito.

El muestreador para lagunas (Fig. 15) consiste de un collar con tenazas ajustables del cual cuelga un recipiente de diferente capacidad, de material preferiblemente vidrio o teflón y está enganchado a un tubo telescópico de aluminio que sirve como mango. Este muestreador no está disponible comercialmente, pero puede ser fabricado fácilmente.

Debería emplearse un vaso con pico vertedor para facilitar la transferencia de la muestra a otro recipiente. Dependiendo de la viscosidad del material a muestrear, las muestras (puntuales) pueden obtenerse tan lejos como 3,5 metros desde el borde de la laguna.

La ubicación de las muestras de agua superficial puede ser determinadas mediante el trazado de una malla de muestreo, o por observación del modo de flujo superficial dentro del depósito. Fotografías aéreas pueden ayudar en la determinación del modo de distribución del flujo. Muestras representativas pueden obtenerse mediante un muestreo estadístico con una configuración en malla cuadrada.

El muestreo superficial de estanques donde no se pueda muestrear en su totalidad desde el borde, presenta problemas especiales. Botes, grúas y aún helicópteros pueden emplearse para permitir el muestreo de partes de la laguna. Todos estos elementos sin embargo, de alguna manera limitan la destreza de los muestreadores y afectan la metodología a usar. El plan de muestreo debe identificar y describir estos problemas logísticos.

El muestreo de estanques poco profundo puede ser realizado usando el muestreador de estanques, o una bomba peristáltica y mangueras.

El rango y profundidad del muestreador de laguna está limitado a la longitud del brazo y a la viscosidad del material, mientras que el rango de la bomba peristáltica es de 8 metros. A fin de reducir la contaminación potencial deberían emplearse mangueras de siliconas.

Otra consideración es la distribución de fases de líquidos y sólidos. El muestreador de estanques puede ser usado para obtener una muestra de un semilíquido a poca profundidad mientras que la bomba peristáltica se atascaría.

Para profundidades mayores que aquellas alcanzables usando el muestreador de lagunas y la bomba peristáltica, pueden emplearse los dispositivos para muestreo de residuos almacenados en tanques: Kemmerer ((Fig. 17) muestreador para muestras en profundidad), bomba Bacon y botella lastrada (Fig. 16)

Debe considerarse especialmente la seguridad del personal. El muestreo debe hacerse desde plataformas estables.

* Residuos Pulverulentos o granulares en Bolsas, Tambores o Recipientes Similares

Tres dispositivos son usados para obtener muestras de materiales secos contenidos en bolsas, tambores y similares: palitas, muestreador trier, muestreador para granos (Ver Fig. 18).

En este caso el personal de muestreo debe estar protegido con equipo respiratorio adecuado para material particulado.

El material seco expuesto a la atmósfera puede experimentar cambios químicos y por tanto deben adoptarse precauciones durante la apertura de recipientes y en su almacenaje.

Previendo que los materiales a granel sean heterogéneos, en general conviene tomar muestras compuestas de todo recipiente.

Para el muestreo de residuos secos de recipientes poco profundos, una cuchara de laboratorio o una pala puede ser usada. La cuchara es en general hecha de materiales más resistentes a la corrosión o a reacciones químicas y con menor probabilidad de contaminar la muestra que extrae.

El muestreador para granos (Fig. 18 C) es usado para muestrear materiales residuales pulverulentos o granulares, en bolsas o sacos de fibra, tambores o recipientes similares.

El muestreador para granos consiste de dos tubos telescópicos ranurados, en general hechos de bronce o de acero inoxidable. El tubo externo tiene un extremo puntiagudo que permite al muestreador penetrar en el material a ser muestreado.

El muestreador se abre y se cierra rotando el tubo interno.

El muestreador trier (Fig. 18 B) es un tubo largo con una ranura que se extiende casi en toda su longitud. La punta y bordes de la ranura del tubo son afilados para permitir cortar un cilindro del material a ser muestreado cuando se rota luego de insertarlo en el material.

Estos muestreadores están hechos de acero inoxidable con mangos de madera. Esta herramienta es preferida sobre el muestreador para granos cuando el material granular o pulverulento a ser muestreado está húmedo o con adherencia.

Pila de Residuos: Un muestreador para pila de residuos es esencialmente un gran muestreador trier. Se emplea para grandes pilas de residuos y donde el muestreador trier no es lo suficientemente largo.

La pila de residuos en general se divide según una malla y se toma en cada punto una muestra compuesta de varios estratos.

Para mayor representatividad se toman varias muestras compuestas a diversos ángulos en toda la pila.

Para el caso de sólidos con espesores mayores que 8 metros se describe mas abajo en Suelos y Sedimentos.

* Residuos almacenados en tanques.

Para este caso hay disponibles tres dispositivos para muestrear residuos en profundidad como ser: botella lastrada, Bomba Bacon y el muestreador a profundidad Kemmerer (Ver Fig.17).

Las muestras deben tomarse de la parte baja, media y alta del tanque.

No es recomendable efectuar en campo la composición (combinación) de muestras puntuales de residuos para obtener una muestra compuesta.

Los tanques podrían contener gases o vapores a presión y por tanto deben adoptarse precauciones al efectuar la apertura.

Puede haber barro de fondo en el tanque (sedimento) siendo necesario describir y registrar la distribución de fases.

Por motivos de seguridad, el número mínimo de personas para un grupo de muestreo en tanques debe ser 2.

La botella lastrada (Fig. 16) consiste de una botella, usualmente de vidrio, un lastre, un tapón y una soga que es usada para abrir la botella y para bajarla y subirla durante el muestreo.

El muestreador no puede ser usado para coleccionar muestras incompatibles químicamente con el lastre y/o la soga.

La bomba Bacon es un muestreador disponible comercialmente diseñado para el muestreo de productos oleosos (de petróleo). Es útil para muestrear grandes tanques de almacenamiento debido al mecanismo interno de colección que no está expuesto al producto hasta que al muestreador es puesto a funcionar.

Está construido de bronce o de acero inoxidable y está disponible en dos tamaños. Su desventaja es que tiende a aerear la muestra.

El dispositivo Kammerer para muestreo a profundidad consiste de un tubo abierto con dos piezas extremas de cierre. Las piezas extremas son mantenidas en la posición abierta hasta que un peso transmisor es descendido por la soga, liberando las piezas extremas y atrapando la muestra dentro del tubo. Aunque el dispositivo Kammerer puede emplearse a cualquier profundidad, el tubo de muestreo es expuesto al material mientras desciende hasta la profundidad de muestreo.

Suelos y Sedimentos.

El muestreo de suelos puede ser dividido en tres categorías: superficial, subsuperficial poco profundo y subsuperficial profundo.

Los suelos están compuestos de materia mineral y orgánica, y puede variar en color, espesor, número de estratos, contenido de arcilla, sales y contenido orgánico.

Los estratos de suelos son medios dinámicos con constante variación en las propiedades físicas - químicas y biológicas. La migración horizontal y vertical de contaminantes en el suelo es dependiente de los mecanismos de atenuación y de las propiedades estructurales.

Los sedimentos constituyen materiales depositados en el fondo de los cuerpos de agua.

Las corrientes (cursos) superficiales, lagos y lagunas presentarán una significativa variación en la composición de los sedimentos en función de la distancia del punto de ingreso de flujo, punto de descarga o cualquier otra perturbación física.

El muestreo de suelos se realiza para determinar la existencia de contaminantes y su dispersión a lo largo de las trayectorias de los contaminantes.

El muestreo de suelo además sirve para:

- ◆ determinar si la distribución de productos químicos en los suelos está afectando las aguas subterráneas.
- ◆ establecer una relación entre profundidad del suelo y sus propiedades físicas y químicas.
- ◆ descubrir si cualquier característica física o química de los materiales subyacentes en un sitio pueden ser usadas para predecir la extensión de la dispersión de la contaminación.

El muestreo de sedimentos se realiza para localizar contaminantes de baja solubilidad en agua y alta afinidad de enlace con los suelos.

Los sedimentos se muestrean en general en áreas de baja velocidad de escurrimiento del agua.

En ocasiones los sedimentos están expuestos a la evaporación, desvío del curso de la corriente superficial, u otros mecanismos de pérdidas de agua. En tales situaciones pueden ser muestreados con las técnicas de muestreo de suelos.

Dos métodos de muestreo se emplean para determinar el número y ubicación de las muestras de suelo: por predeterminación o estadísticamente.

La elección del método depende del objetivo del muestreo, la cantidad de información disponible del sitio, la validez de los datos analíticos existentes y de las propiedades generales de los suelos y de los contaminantes sospechados de estar presentes.

Los dos métodos a veces se usan en combinación y otras veces por fases.

Muestras antecedentes y muestras de control también se toman siguiendo ambos métodos.

El Muestreo predeterminado o siguiendo un criterio establecido se emplea cuando el personal de muestreo tiene información previa sobre: localización, tipo de contaminante, tiempo de la contaminación y características geológicas del lugar.

Esta información a menudo se obtiene de los registros del lugar, fotos áreas y observación visual de la coloración del suelo o de escasez de vegetación.

El muestreo predeterminado también se emplea para evaluar las condiciones de “peor situación” cuando las actividades de remoción están siendo consideradas como parte de la investigación de las acciones de saneamiento.

En general se toman muestras puntuales y compuestas cuando se emplea la técnica de muestreo con un criterio predeterminado.

El muestreo estadístico se basa en la variabilidad estadística y en los intervalos de confianza.

A continuación se describen los tres tipos de métodos estadísticos de muestreo:

- Muestreo Simple al Azar.

Esta alternativa es la base para todas las técnicas probabilísticas de muestreo.

Se emplea cuando el material a muestrear es heterogéneo en su naturaleza y no hay información disponible sobre sus propiedades físicas y/o químicas.

Esta estrategia de muestreo primero identifica todas las ubicaciones o puntos posibles de los cuales pueden extraerse muestras del material.

Se divide el área en estudio mediante una grilla y se le asignan coordenadas a los puntos y luego se toman muestras sin ningún tipo de preferencia, de aquellos puntos de la grilla elegidos al azar mediante una tabla de números aleatorios.

- Muestreo al azar estratificado.

Si existiera mayor información sobre el material a muestrear, de modo que pueda determinarse que el material no es aleatoriamente heterogéneo en sus propiedades físicas - químicas, se emplea entonces esta técnica.

La misma consiste de la estratificación de la población muestral a fin de aislar las fuentes de heterogeneidad no aleatoria en sus propiedades, obteniéndose estratos o grupos a los cuales se identifica por números.

Luego de esta subdivisión, se realiza un muestreo aleatorio simple en cada estrato.

- Muestreo sistemático.

Esta estrategia de muestreo se emplea cuando la población muestral es casi aleatoria. La primera muestra es elegida al azar de la población y las muestras siguientes son tomadas en determinados lugares o en determinados intervalos de tiempo. Este método emplea la teoría estadística de "Kriging".

Las muestras son extraídas siguiendo un modelo regular (triangular o cuadrícula) de una malla trazada sobre el área bajo investigación. El punto de inicio se establece aleatoriamente y las muestras se extraen a intervalos regulares a lo largo de la intersección de las líneas.

Cuando una muestra se extrae del material a caracterizar, de manera no al azar por un muestreador que conoce su naturaleza, entonces la estrategia de muestreo es conocida como muestreo autoritario. Este tipo de muestreo no es recomendado cuando se intenta usar las muestras para la caracterización de las propiedades de un material.

Si un muestreo simple al azar, o estratificado aleatorio, o aleatorio sistemático se emplea como estrategia de muestreo, se pueden emplear técnicas de muestras compuestas o submuestras a fin de asegurar un muestreo representativo del material a caracterizar.

Un muestreo compuesto consiste en obtener muestras al azar de un material y combinarlas a fin de obtener una muestra simple.

Para el análisis de materiales peligrosos (residuos, barros, sedimentos, suelos) es recomendable el empleo de un gran número de muestras compuestas.

El método de submuestras consiste en desdoblarse una muestra compuesta o muestras aleatorias en un cierto número de submuestras a fin de obtener mediciones duplicadas o triplicadas durante el análisis del material.

Las técnicas para muestreo de suelos y sedimentos varían desde el uso de una pala de mano de acero inoxidable, hasta realizar una excavación.

En las Figuras 19, 20, y 21 se muestran distintos los distintos tipos de herramientas empleados en Mecánica de Suelos para caracterización de los suelos.

Los suelos superficiales en general son muestreados con una pala (o cuchara) de mano, o con el tubo muestreador de pared delgada.

Las muestras de suelos subsuperficiales poco profundos se obtienen empleando un barreno (Fig. 20) o el muestreador Veihmeyer (Fig. 22)

Las muestras de suelos profundos se obtienen excavando una trinchera y muestreando a lo largo del perfil del suelo expuesto o mediante el uso de un muestreador de cuchara partida (Fig. 19 e)

Los sedimentos expuestos se obtienen empleando los métodos de muestreo de suelos, mientras que los sedimentos poco profundos pueden obtenerse con un cilindro de gravedad.

Agua subterránea

Los métodos para obtener muestras representativas de aguas subterráneas son difíciles y costosos.

El medio subsuperficial es un sistema extremadamente complejo sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos los cuales son amplios dentro de pequeñas distancias horizontales y verticales.

Los siguientes elementos deben considerarse cuando se selecciona un procedimiento de muestreo de aguas subterráneas.

- * Objetivo del programa de muestreo.
- * Características de los contaminantes.
- * Naturaleza (carácter) de la fuente del contaminante.
- * Hidrología del área.
- * Métodos de purgado y muestreo de los pozos de monitoreo.

El objetivo del muestreo de aguas subterráneas en el contexto de la investigación del sitio a sanear en general es doble: determinar la presencia o ausencia de un contaminante en un acuífero y definir su distribución horizontal y vertical y predecir su eventual destino.

La confirmación de la presencia de contaminantes en el agua subterránea se logra mediante el muestreo de los pozos de monitoreo existentes en el lugar o mediante la instalación de unos pocos pozos nuevos.

A fin de determinar el destino de los contaminantes y establecer la extensión de la contaminación subsuperficial, se requiere de una red de pozos de monitoreo para caracterizar las condiciones subsuperficiales del área.

La naturaleza inestable de muchos componentes químicos, físicos y microbianos en el agua subterránea y en el subsuelo limita las opciones de colección y análisis de muestras. No obstante, ciertos factores deben considerarse para obtener muestras representativas.

- 1) El agua subterránea se mueve lentamente, por lo tanto la velocidad de cambio de los parámetros de calidad de agua es baja.
- 2) Las temperaturas son relativamente constantes en el subsuelo. Las temperaturas de la muestra puede cambiar significativamente cuando la muestra es traída hacia la superficie. Este cambio puede alterar las velocidades de reacción química, revertir el intercambio iónico (catiónico y aniónico) en los sólidos y modificar la tasa de crecimiento microbiano.
- 3) Un cambio en el pH puede ocurrir como consecuencia de la absorción de CO_2 con el consecuente cambio en la alcalinidad. También puede ocurrir la oxidación de algunos compuestos.
- 4) Gases disueltos tales como el sulfuro de hidrógeno pueden ser liberados en la superficie.
- 5) La integridad de muestras orgánicas puede ser afectada por problemas asociados con la absorción o contaminación del instrumental de muestreo y por volatilidad.
- 6) Tanto las muestras de suelos como de las aguas subterráneas pueden estar contaminadas en alto grado, representando por tanto un problema para la salud o seguridad del personal.

El área en consideración, el tiempo disponible para el monitoreo y la potencial concentración de los contaminantes influyen el procedimiento de muestreo seleccionado.

Un programa de monitoreo para una región o para una gran área puede permitir el empleo de los pozos existentes, manantiales o aun el flujo de base de cursos superficiales si estos sistemas son compatibles con los parámetros de interés. Si el tiempo es crítico, las ubicaciones ya existentes de muestreo pueden ser la única alternativa posible.

Sin embargo si la posible fuente de contaminación es relativamente pequeña tal como un vertedero de residuos o una laguna de almacenamiento de líquidos, o si las concentraciones de los contaminantes son muy bajas, entonces será necesario materializar pozos de monitoreo específicos para este propósito.

El número y ubicación de los pozos necesarios adicionales depende del propósito del monitoreo, de las características del acuífero y de la movilidad de los contaminantes en el acuífero.

Los factores geológicos se relacionan principalmente con la formación geológica y con sus propiedades de producción de agua y los factores hidrológicos se relacionan con el movimiento del agua en la formación.

Previo a iniciar cualquier trabajo de campo, se deben reunir los datos e informaciones geológicas e hidrológicas existentes, compilarlos e interpretarlos. Los datos que pueden estar disponibles incluyen: mapas geológicos, perfiles del terreno, fotos aéreas y un ordenamiento de los datos de los pozos existentes incluyendo ubicación, profundidad, fecha de perforación, nombre del perforador, niveles del agua y fechas asociadas, métodos de ejecución del pozo, uso del pozo u otros datos geofísicos de calidad del agua.

A grosso modo el modo de flujo del agua subterránea puede ser deducido a partir de los niveles de agua del contorno.

No obstante el real movimiento de una pluma de contaminación puede ser más compleja por el modo diferente de flujo de los distintos contaminantes. Los cuales a causa de fenómenos tales como absorción, intercambio iónico, y biodegradación se mueven a velocidades diferentes en relación a la velocidad del agua.

Un componente necesario de cualquier programa de monitoreo de agua subterránea es el monitoreo para establecer la situación inicial o situación antecedente.

Lo recomendable para detectar contaminación en lugares de arrojado de residuos es ubicar un pozo aguas arriba y un mínimo de tres pozos aguas abajo del sitio y en un ángulo perpendicular a la trayectoria del flujo del agua subterránea, penetrando estos completamente en el espesor del acuífero a controlar.

Tal disposición es aplicable a la mayoría de las fuentes de contaminación.

La ubicación, diseño y construcción de los pozos de monitoreo es en general el factor más costoso y no repetible en el éxito de un programa de monitoreo.

Los factores de diseño incluyen: diámetro y profundidad del pozo, camisa del pozo, dimensiones del filtro. El diámetro de la camisa del pozo de monitoreo debe ser

suficiente como para permitir que el elemento de muestreo (bailer o bomba) pueda ser descendida en el pozo hasta la profundidad necesaria.

El diámetro de la perforación en la cual será ubicada la camisa debe ser suficientemente grande como para poder acomodar la camisa y en muchos casos debe ser 5 cm mayor que el diámetro para permitir la colocación de una lechada sellante en la parte externa alrededor de la camisa.

Dimensiones exageradas en el diámetro de la perforación pueden tener efectos indeseables en los datos resultantes del monitoreo.

La parte filtrante del caño camisa debe estar posicionada a la profundidad adecuada. Los pozos de monitoreo deben ser construidos para muestrear únicamente un acuífero específico sin interconectar otras capas entre si.

Los criterios de diseño para la parte filtrante son:

* La malla de la parte filtrante debe tener una superficie abierta suficiente para permitir un facilitar la afluencia del agua de la formación.

* Las dimensiones de las ranuras deben ser lo suficientemente pequeñas como para evitar el ingreso de la mayoría de las partículas sólidas de la formación.

* El pozo debe ser desarrollado.

El encamisado del pozo debe ser construido con materiales que tengan la menor posibilidad de afectar la calidad de los parámetros que se quieren controlar.

Aunque el PVC es de menor costo que el teflon, puede afectar la calidad del agua de las muestras que tengan bajas concentraciones de los parámetros a controlar.

El laboratorio debe estar completamente informado de los materiales empleados en la construcción de los pozos.

La selección del método de perforación mas adecuado para un trabajo en particular se basa en los siguientes factores, según su importancia:

1. Medio hidrogeológico.
 - a. Tipos de formación.
 - b. Profundidad de la perforación.
 - c. Profundidad deseada de ubicación de la parte filtrante bajo el nivel piezométrico.
2. Tipos de contaminantes que se espera encontrar.
3. Localización del lugar de perforación.
4. Diseño del pozo de monitoreo requerido.
5. Disponibilidad de equipamiento de perforación.

Tres de los mas comunes métodos de perforación en sitios investigados para saneamiento son:

- a) Perforación rotativa con lodo. (Fig. 23)
- b) Perforación empleando herramienta con cable. (Fig. 24)
- c) Muestreador de pistón. (Fig. 25)

Dos métodos recientes que han ayudado a reducir el numero de pozos de monitoreo requeridos para caracterizar un sitio son: técnicas para extracción de gas y técnicas geofísicas.

El análisis de gases presentes en el suelo mediante el empleo de un aparato de campo por cromatografía de gases se realiza para estimar la extensión y movimiento de compuestos orgánicos volátiles (COV).

La técnica se basa en el hecho que los COV se volatilizan del agua subterránea contaminada y se mueven, mediante procesos tales como difusión molecular, mas allá de las áreas de origen y hacia zonas de menor concentración en los perfiles superiores del suelo.

Se establece entonces un gradiente de concentración de la fase gaseosa desde el nivel libre del agua subterránea y hacia la superficie del terreno

Los COV comunes asociados a hidrocarburos de petróleo y solventes originan una variedad de vapores contaminantes (tetracloruro de carbono, benceno, éteres, toluenos, y xilenos), los cuales pueden ser liberados a la atmósfera en concentraciones suficientemente altas como para representar un riesgo a la salud.

Por tanto al evaluar la limpieza del agua subterránea simultáneamente se debe considerar la presencia y emisión de contaminantes en la zona vadosa del suelo.

Se han desarrollado técnicas para el muestreo de vapores tóxicos en la zona no saturada del suelo.

El muestreo para obtener muestras puntuales de compuestos volátiles se realiza con el dispositivo de la Fig. 26 lo cual implica insertar una varilla (equivalente a una aguja hipodérmica) y extraer por succión una muestra de los gases ocluidos en los poros del suelo.

Las Fotos 27(a, b y c) muestran la aplicación de este procedimiento como parte de un programa de investigación en un repositorio antiguo de residuos industriales en la República Federal de Alemania.

La recolección de muestras representativas de agua subterránea de un pozo de monitoreo consiste de dos pasos: purgado y muestreo.

El tiempo recomendado para extraer o bombear el agua de un pozo antes de tomar las muestras para análisis depende de varios factores: características del pozo, naturaleza hidrogeológica del acuífero, tipo de equipamiento de sondeo empleado y los parámetros a ser muestreados.

El tiempo puede variar desde el necesario para extraer 1 volumen del pozo hasta el requerido para extraer varios volúmenes.

Es recomendable bombear el tiempo necesario como para extraer de **4 a 10** volúmenes del pozo.

El tipo de sistema de muestreo a usar es función del tipo y dimensiones del pozo, bombeo, nivel del agua, tipo de contaminantes, procedimientos analíticos y presencia o ausencia de instalaciones permanentes de bombeo.

Los métodos de muestreo incluyen: "bailers" bombas aspirantes, bombas sumergibles, extractores por aire, bombas de compresión, bomba pistón.

Agua superficiales.

Dos tipos de cuerpos de agua son considerados en el muestreo de aguas superficiales: estáticos (lagos, lagunas, almacenamientos superficiales) y de flujo (arroyos, ríos, canales, corrientes).

La ubicación y número de muestras para cuerpos estáticos depende de la profundidad, tamaño, y configuración del depósito.

Los criterios para cuerpos de flujo incluyen: accesibilidad, velocidad de la corriente, ubicación de confluencias, tomas de abastecimiento de agua potable y geomorfología de la corriente.

Al igual que en los suelos, el objetivo del programa de muestreo es caracterizar la distribución horizontal y vertical de los contaminantes en todo el medio y determinar la probabilidad de migración.

En general, la mezcla de contaminantes (distribución en toda la columna de agua) ocurrirá más frecuentemente en el caso de cuerpos de aguas en movimiento que en aquellos estáticos.

Se debe considerar la estratificación de los contaminantes en las aguas estancadas al formular un plan de muestreo de aguas superficiales.

En sitios bajo investigación para saneamiento, el modo de drenaje de las aguas superficiales identifica a los potenciales receptores de los contaminantes arrastrados por el agua.

Fuentes puntuales de contaminación de aguas superficiales, tales como descargas de lixiviados y canales de descarga de efluentes, deben ser muestreados para determinar los cambios de concentración aguas abajo de la fuente puntual.

Muestras aguas arriba y muestras de la situación antecedente, deben siempre considerarse cuando se muestrean cuerpos de aguas superficiales.

Las mediciones en terreno de parámetros tales como: pH, conductividad, temperatura y oxígeno deben efectuarse y registrarse para cada muestra.

La ubicación de los puntos de extracción de las muestras deben ser marcados en un plano a escala adecuada utilizando como referencia puntos fijos y mojones.

Dos tipos de muestra son colectados de aguas superficiales: puntuales y compuestos.

El tipo de muestra depende de la variabilidad del flujo, variabilidad de la calidad de agua, la exactitud requerida y la disponibilidad de fondos para realizar el programa de muestreo y análisis.

Una muestra puntual es una muestra discreta colectada en un período de tiempo que no excede los 15 minutos, mientras que una muestra compuesta es una muestra formada por la mezcla de un número de muestras discretas tomadas periódicamente en distintos instantes.

Las muestras puntuales se emplean para caracterizar la calidad del agua en un determinado momento. Proporcionan información sobre las concentraciones máximas y mínimas y permiten verificar el cumplimiento de un dado requerimiento de un permiso de descarga.

Las muestras compuestas son empleadas para mostrar la integración en profundidad de un contaminante o su concentración promedio en la columna de agua.

Las técnicas para colección de muestras para muestreo de agua son similares a aquellas para muestreo de suelos.

Los aspectos estadísticos empleando desviación estándar e intervalos de confianza son empleadas para determinar la cantidad de muestras requeridas.

Los dispositivos recomendados para muestreo de agua superficiales incluyen el muestreador de laguna, la bomba peristáltica, el muestreador en profundidad Kammerer y la botella lastrada.

Monitoreo del aire.

El monitoreo del aire en sitios con residuos peligrosos es útil como un indicador de los potenciales problemas de seguridad y como un medio de protección ante la posible presencia de contaminantes arrastrados por el aire.

El monitoreo también es importante como un medio para determinar la identidad específica y concentración de contaminantes tóxicos presentes en el aire en el sitio en investigación, así como para determinar su esparcimiento y migración fuera del lugar a los efectos de definir los riesgos para la salud de los trabajadores y pobladores del entorno.

Nubes de vapores explosivos, atmósferas con déficit de oxígeno y una variedad de gases o vapores pueden encontrarse no solo durante la investigación inicial en el lugar sino también durante la etapa de limpieza. Por tanto es recomendable un monitoreo continuo de las condiciones del lugar, como también un muestreo periódico.

Finalmente un monitoreo de radiaciones también es considerado como un elemento esencial de vigilancia de la calidad del aire.

Los instrumentos de monitoreo de aire deben tener las siguientes características para ser útiles en la investigación de sitios contaminados:

- * Portátiles.
- * Aptitud para generar resultados confiables y útiles.
- * Sensibilidad y selectividad.
- * Seguros inherentemente.

Los atributos necesario de una unidad portátil de monitoreo de aire deben ser: fácil movilidad, aptitud de soportar los rigores del uso en campo, rápido armado y corto tiempo de chequeo y calibración.

El aparato debería poseer un corto periodo de respuesta (tiempo entre que el instrumento detecta un contaminante y genera los datos) y debe ser de lectura directa.

El rango de operación del aparato debe ser suficiente como para detectar niveles significativamente por debajo y por encima de los niveles de acción.

Debe ser selectivo a los constituyentes a ser monitoreados.

Finalmente debe ser inherentemente seguro.

Todos los instrumentos deberían indicar la clase, división, y grupo de atmósferas peligrosas para las cuales están aprobados para ser empleados.

Un equipo de monitoreo de aire es empleado para identificar tres tipos de riesgos atmosféricos en los lugares de investigación para saneamiento:

- Deficiencia de oxígeno.
- Explosiva.
- Tóxica.

Los principales tipos de equipos de monitoreo de aire son:

- * Equipo portátil de monitoreo de oxígeno.
- * Equipo indicador de presencia de gases de combustión.
- * Equipo de detección de vapores orgánicos: detector por fotoionización, detector por ionización de flama, y equipo de campo de cromatografía gaseosa.

La cromatografía de los gases se emplea para diferenciar las distintas especies que interesan analizar y que están contenidas en una muestra de gas.

Básicamente, la cromatografía de los gases es un nombre colectivo de un grupo de métodos que se emplean sobre todo para separar las sustancias volátiles para el análisis.

Con respecto al muestreo, en general durante la investigación se colectan muestras integradas de aire. Estas muestras se comparan con los estándares establecidos, tales como el TLV (valor límite umbral) para determinar la calidad del aire ambiente en el lugar o su entorno.

Dos tipos de sistemas de muestreo se emplean para coleccionar muestras integradas: activo y pasivo.

Los muestreadores activos fuerzan mecánicamente el paso del aire a través del medio de colección de la muestra, mientras que los muestreadores pasivos se basan en la circulación natural del aire.

Los sistemas de muestreo activo consisten de una bomba eléctrica, un equipo conteniendo un medio apropiado de muestreo, y un tubo flexible que conecta el equipo a la bomba.

Los medios de muestreo incluyen: absorbentes sólidos, espuma de poliuretano, absorbentes de gas, tubos colorimétricos y bolsas plásticas para almacenar la muestra. El sílica gel es el medio absorbente sólido más conocido. También se emplean frecuentemente tubos tenax y carbón activado.

Los muestreadores de espuma de poliuretano se emplean para compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles.

Los tubos colorimétricos son específicos para compuestos individuales.

Tabla VI. Elementos de muestreo recomendados para varios tipos de residuos.

Tipo de residuo.	Elemento de muestreo recomendado	Limitaciones.
Líquidos, barros y/o suspensiones en tambores, vehículos tipo VACTOR, tipo atmosférico, u otros recipientes similares.	Tubo abierto Coliwas (pipeta); muestreador estratificado (pipeta)	No apto para recipientes de más de 1,5 m. de altura
	a) Plástico	No apto para residuos conteniendo, nitrobenzeno, dimetilformamida, óxido mesilico o tetrahidrofurano. (1)
	b) Vidrio	No apto para residuos conteniendo ácido hidrofúrico, y soluciones alcalinas concentradas. (2)
	c) PTFE	Ninguna.
Líquidos, barros y/o suspensiones en tambores, vehículos tipo VACTOR, tipo atmosférico, u otros recipientes similares.	Tubo abierto.	No apto para recipientes de más de 1,5 m. de altura
	a) Plástico	Idem (1).
	b) Vidrio	Idem (2).
Líquidos y barros en lagunas, tolvas y estanques.	Muestreador para estanques.	No puede emplearse para coleccionar muestras más allá de 3,5 m. del borde . Sumergir y extraer lentamente para evitar flexionar el mango tubular de aluminio
Residuo pulverulento o granulado en bolsas, tambores, barriles, y recipientes similares	a) Muestreador para material granular.	La aplicación está limitada para muestreo de sólidos, sólidos con humedad y adherencia con un diámetro de 0,5 cm..
	Muestreador de ensayo (trier).	Puede incurrir dificultades en retener muestras cilíndricas de materiales granulares muy secos durante el muestreo.

Tabla VI. Elementos de muestreo recomendados para varios tipos de residuos. (continuación)

Tipo de residuo.	Elemento de muestreo recomendado	Limitaciones.
Residuos secos en recipientes poco profundos y en suelos superficiales.	Cuchara (palita)	No aplicable para muestrear a profundidades mayores que 8 cm. Dificultad para obtener masas reproducibles de muestras.
Pilas de residuos	Muestreador para pilas de residuos (muestreador trier)	No aplicable para muestrear residuos sólidos con dimensiones mayor que la media del diámetro del tubo muestreador.
Sólidos a profundidad mayor que 8 cm.	a) Barreno para suelos.	No colecta muestras cilíndricas inalteradas.
	b) Muestreador Veihmayer	Difícil de usar en suelos rocosos, pedregosos o muy húmedos.
Residuos en tanques de almacenamiento	a) Botella muestreadora lastrada	Puede ser difícil de usar en líquidos muy viscosos.
	b) Bomba Bacon	Restricción volumétrica: máximo 1 litro.
	c) Muestreador Kemmerer.	Puede requerir un peso extra.

VII. Medidas técnicas de saneamiento.

Las medidas de saneamiento de los lugares contaminados se pueden dividir en dos grandes grupos (Tabla III):

1. Métodos de descontaminación del lugar.
2. Medidas de seguridad para una minimización de las emisiones contaminantes.

A continuación se describen las técnicas.

1. Métodos de descontaminación del lugar.

1.a) Métodos “On Site” (Superficiales). El suelo contaminado es excavado o bien el agua subterránea afectada es extraída por bombeo. Posteriormente se efectúa un tratamiento en superficie y luego el suelo es vuelto a colocar o el agua es re-inyectada. Comprenden:

1.a.a) Inmovilización: El objetivo es provocar una reducción drástica de la solubilidad de los contaminantes en agua o en ácidos débiles y una disminución de la permeabilidad de los suelos. Para ello el material extraído es mezclado con ligantes, tales como cemento, cal, silicato de potasio, resinas sintéticas a base de urato de formaldehído, etc. y es vuelto a colocar.

1.a.b) Separación física: Las sustancias contaminantes son separadas por alguno de los siguientes medios:

1.a.b.1)- Adsorción: es el proceso de adhesión de moléculas (adsorbato) de una sustancia disuelta, en la superficie sólida de un adsorbente debido a procesos físicos y/o químicos.

Si los enlaces que se forman entre el adsorbato y el adsorbente son muy fuertes, el proceso es casi siempre irreversible y se habla de adsorción química.

Si los enlaces que se forman fueran muy débiles (fuerzas de Van der Waals), se dice que ha tenido lugar una adsorción física. En este último caso las moléculas así adsorbidas se eliminan fácilmente o son desorbidas mediante un cambio en la concentración de la solución, siendo el proceso reversible.

Tres técnicas de adsorción han sido consideradas para la remoción de compuestos orgánicos de aguas subterráneas: Carbón activado granular, Carbón activado en polvo y Resinas sintéticas.

El carbón a emplearse para adsorción es tratado a fin de obtener un material con gran superficie específica, por tanto se maximiza el número de átomos de carbono que serán adsorbentes activos. El carbón así procesado se denomina “activo” para la adsorción.

La adsorción física es el proceso que ocurre más frecuentemente al emplear carbón activado. No obstante, para el caso de contaminantes fuertemente adsorbidos, el costo de regeneración puede ser más elevado que el costo de remplazo del carbón.

Resinas: el intercambio iónico consiste en el intercambio reversible de iones entre un medio sólido de intercambio (resinas) y una solución.

Las operaciones de intercambio pueden ser de tipo continuo o discontinuo (batch).

En un proceso discontinuo la resina se agita simplemente con el agua que se ha de tratar en un reactor hasta que se completa la reacción. Luego la resina agotada se extrae por sedimentación y seguidamente se regenera y se reutiliza.

En un proceso continuo el material de intercambio se coloca en un lecho o una torre y se hace pasar por ella el agua que se debe tratar.

1.a.b.2)- Flotación: en el caso de mezclas agua - aceite la separación se logra por inyección de aire. El aire se disuelve en el agua a tratar bajo una presión de varias atmósferas y luego se procede a la liberación de la presión hasta el nivel atmosférico (Ver Fig. 2 A). En el tanque de flotación el aire deja de estar en disolución y se desprende en forma de pequeñas burbujas por todo el volumen del líquido. Las diminutas burbujas y las partículas adheridas a aquellas, suben a la superficie formando una capa sobrenadante que se elimina mediante un rascador superficial. Puede ser necesario un dispositivo de control de emisiones al aire en caso de haber compuestos orgánicos volátiles.

1.a.b.3)- Separación de espumas: en el caso de un suelo contaminado con aceites o compuestos órgano-clorados, el mismo es mezclado intensivamente con agua y tensio-activos. Luego mediante insuflación de aire se puede separar el contaminante con la espuma formada.

1.a.c) Métodos de extracción física: el suelo contaminado es lavado con líquidos limpiantes movilizándolo a los contaminantes y permitiendo su eliminación. La eficacia puede aumentarse mediante el empleo de energía mecánica. Este método es tenido en cuenta en la separación de sustancias no volátiles (ej.: metales pesados) como también para cianuros, fenoles y sales.

También puede efectuarse el agregado de aditivos formadores de complejos en la instalación de lavado de suelos. En Estados Unidos en un caso de contaminación de suelos con Plomo, se extraía el Pb mediante el empleo de EDTA (Etilendiamintetra acetato), luego el complejo Pb-EDTA formado era separado mediante postratamiento y recuperado.

1.a.d) Tratamientos térmicos: el tratamiento térmico para la descontaminación de suelos poluídos implica siempre una incineración de las sustancias tóxicas, aún cuando se efectúen diferentes pretratamientos. Este tratamiento es aplicable, por ejemplo, en el caso de sustancias orgánicas:

- a) Con punto de ebullición hasta 450 °C: por ejemplo productos de aceites minerales, compuestos aromáticos, compuestos policíclicos aromáticos, alifáticos, cianuros.
- b) Con punto de ebullición de 450 °C a 1200 °C: ej. aceites que contengan PCB; hidrocarburos clorados; dioxinas; furanos.

También para sustancias inorgánicas. Ej. Cadmio y Mercurio.

1.a.e) Irradiación: existen informes sobre la descomposición de Dioxinas mediante irradiación y del compuesto 2,3,7,8,TCDD (Tetraclorodibenzo-p-dioxina) mediante radiación Gamma para descontaminar residuos de laboratorios.

1.a.f) Tratamientos químicos: incluyen los procesos de oxidación, reducción, precipitación química.

1.a.g) Degradación biológica (bio-remediación): Este es un proceso que emplea las bacterias presentes en el suelo para degradar compuestos orgánicos.

Bajo condiciones favorables, los microorganismos pueden ser capaces de degradar completamente muchos compuestos orgánicos a: dióxido de carbono y agua o a ácidos orgánicos y metano.

En el caso de presencia de compuestos tóxicos para los microorganismos puede ser necesario un pretratamiento a fin de lograr que los tóxicos orgánicos y metales estén por debajo del nivel umbral de toxicidad. (Tabla IV).

La aplicabilidad de la bio-remediación depende de la biodegradabilidad de los contaminantes que están en el lugar a "limpiar".

Es sabido que compuestos de petróleo como naftas y gasoil son fácilmente biodegradables. Otros compuestos igualmente biodegradables son los alcoholes, los fenoles, ésteres, cetonas, benceno, metil-etil-cetona.

Los compuestos clorados se hacen más difíciles de degradar en la medida que aumenta el número de moléculas de cloro.

Así, la velocidad de biodegradación de compuestos altamente clorados tales como los Bifenilos Policlorados (PCB's) es muy lenta. Esto hace inaplicable a este proceso para suelos contaminados con estos compuestos.

Por otra parte, en suelos con altos niveles de metales pesados la bio-remediación no podría considerarse como factible si no se realiza un pretratamiento para disminuir dichos niveles a las concentraciones umbrales de toxicidad (Ver Tabla IV.).

Tampoco sería aplicable en suelos altamente impermeables.

La bio-remediación es un proceso por pasos que implica la degradación de los compuestos iniciales a compuestos intermedios antes de alcanzarse la mineralización. También implica la presencia de enzimas y de muchas especies de microorganismos.

La mineralización es la completa degradación de los compuestos orgánicos a CO_2 , H_2O , compuestos inorgánicos y proteínas celulares en condiciones aeróbicas.

En caso que las condiciones sean anaeróbicas, los productos resultantes serán: ácidos orgánicos, metano, y/o gas hidrógeno.

Puede suceder que bajo condiciones normales de degradación un compuesto no sea mineralizado completamente pero si transformado a productos intermedios, dándose a su vez el caso que estos productos intermedios sean de tanto riesgo como los productos iniciales.

Por tanto el objetivo de un proceso controlado de biorremediación "in-situ" es lograr la degradación de los compuestos iniciales a productos resultantes que no impliquen un riesgo para la salud ni el ambiente.

Tanto para los sistemas aeróbicos como anaeróbicos, además del control de la presencia de sustancias tóxicas para los microorganismos, también debe controlarse el pH y la temperatura.

La bio-remediación como técnica incluye al “land-farming”, lo cual implica la aireación de aceites minerales, petróleo y otros compuestos peligrosos en suelos y barros oleosos aplicando técnicas de labrado y métodos de cultivo, con adición de nutrientes.

Tanto en la alternativa de efectuar la bio-remediación extrayendo el material y tratarlo sobre nivel de terreno conformando un reactor (Ver Figuras 3, 5 y 6) como en la variante “in-situ” existen variables cuyo control y corrección estimularán los mecanismos de actividad biológica, favoreciendo el tratamiento. Esas variables son:

- * Humedad del suelo.
- * Presencia de oxígeno.
- * Nutrientes.
- * Temperatura del suelo / material a degradar.
- * Agregado de bacterias comerciales (no nativas)..
- * Creación de un ambiente reductor apto para la degradación anaeróbica.

La facilidad de control de estas variables es mayor al conformar un reactor sobre el terreno (“on-site”) en comparación con el tratamiento “in-situ”.

Por otro lado en la técnica de “landfarming” algunas variables directamente pueden volverse inmanejables.

La Figura 3 muestra un reactor conformado sobre el terreno para la biodegradación de residuos sólidos oleosos. (Ver también Figuras 5 y 6).

Para el caso de tratamiento biológico de las aguas subterráneas, pueden mencionarse las siguientes alternativas:

1.a.g.1) Reactores de masa biológica en suspensión o de fangos activados:

Mediante este proceso se estimula el crecimiento de los microorganismos aerobios que se alimentan de los contaminantes presentes en el líquido a tratar, se evita el crecimiento de organismos anaerobios y por tanto la generación de olores molestos.

Las aguas a tratar se introducen en un biorreactor (tanque de aireación) en el cual se dispersa aire y se promueve el crecimiento aerobio de los microorganismos.

(Ver Fig. 3 A)

Bajo una serie de condiciones óptimas los microorganismos presentes en el reactor se aglomerarán formando flóculos microbianos llamados fango activado.

La formación de estos aglomerados da lugar a la separación de los sólidos suspendidos en el líquido y a la incorporación de éstos al flóculo.

Posteriormente los microorganismos proceden a atacar a todo este material y lo transforman fundamentalmente en biomasa y dióxido de carbono con la consiguiente descontaminación de las aguas bajo tratamiento.

El esquema se complementa con un sedimentador secundario (separador de fangos).

1.a.g.2) Reactores de película fija:

* - Lechos percoladores. Se pueden emplear tanto para procesos aerobios como anaerobios (Ver Fig. 3B).

Estos reactores están formados por un recipiente abierto o cerrado que en su interior contiene un material de relleno. Dicho material se diseña para presentar gran superficie específica donde la fase líquida, la fase gaseosa (de ser el caso) y los microorganismos fijados (inmovilizados) en el material de relleno, puedan contactarse entre sí.

Los lechos percoladores anaerobios son recipientes cerrados en los que solo circula el líquido en sentido ascendente.

* - Contactores biológicos rotativos: Se emplean exclusivamente en los procesos de tratamiento aerobio. Están formados por un número variable de discos montados sobre un eje horizontal parcialmente sumergido en el líquido en tratamiento (Ver Fig.3C). La biomasa se fija a ambas caras de los discos, los cuales giran lentamente y exponen alternativamente a los microorganismos tanto al líquido (que aporta los nutrientes disueltos), como al aire (que brinda el oxígeno).

1.a.h) Bio-enriquecimiento: Se refiere a la posibilidad de descontaminar suelos con metales pesados, empleando ciertos hongos y plantas, basándose en la bioacumulación. Sin embargo esto requiere de muchísimo tiempo para lograr un efectivo saneamiento.

1.b) Métodos "In Situ" (en el terreno y en su ubicación original):

La contaminación es tratada directamente en el subsuelo, sin excavar ni extraer el suelo contaminado. Esto implica el uso de agentes químicos o biológicos o un manipuleo físico para degradar, remover o inmovilizar contaminantes; también la adopción de métodos para controlar el esparcimiento de contaminantes y reactivos de tratamiento más allá de la zona de tratamiento. Los tratamientos "in situ" pueden dividirse en los siguientes grupos:

1.b.a) Biológicos (Ver bio-remediación): se refiere a la degradación biológica mediante el empleo de especies de microorganismos especialmente cultivados. Por ejemplo se extrae el agua subterránea por bombeo y se la conduce a una unidad de aprovisionamiento con bacterias específicas, allí se le incorpora oxígeno y nutrientes (nitrógeno, compuestos de fósforo), se le eleva la temperatura y luego es vuelta a inyectar al suelo. (Figura 4).

La bio-remediación puede implementarse "in-situ" empleando el suelo como un medio de tratamiento, en contraste con la alternativa de extraer el material contaminado y tratarlo "on-site" en un reactor. La segunda alternativa implica la tarea y costo adicional de efectuar la excavación y el movimiento del suelo.

La alternativa de bio-remediación "in-situ" de compuestos ubicados subsuperficialmente, en general implica estimular la actividad microbiana nativa del suelo para degradar contaminantes orgánicos.

Para este propósito pueden agregarse fertilizantes agrícolas, estiércol, soluciones acuosas de nutrientes (tales como amoníaco y ortofosfato), también está contemplado agregar una fuente de oxígeno como ser peróxido de hidrógeno.

Esto se efectúa extrayendo el agua subterránea del acuífero por bombeo, tratándola a fin de remover contaminantes y adicionando nutrientes y una fuente de oxígeno antes de ser reinyectada al acuífero. El agua es extraída más rápidamente que en la tasa a que es reinyectada creándose por tanto una zona de depresión en el punto de extracción, lo cual contiene la dispersión de los contaminantes.

Otros parámetros como el pH y la temperatura pueden ser corregidos para optimizar la actividad biológica.

Procesos tanto aeróbicos como anaeróbicos son de aplicación a la degradación de compuestos peligrosos.

La degradación aeróbica es aplicable al saneamiento de suelos contaminados con compuestos orgánicos no-clorados como combustibles.

Solventes clorados tales como: tetracloroetano, tricloroetano y 1,1,1-tricloroetano son resistentes a la degradación aeróbica.

Por tanto dichos compuestos podrían degradarse bajo condiciones anaeróbicas.

Esto implica la dehalogenación reductiva del compuesto donde el cloro es reemplazado por Hidrógeno, formándose compuestos intermedios antes de la mineralización.

1.b.b) Químicos: involucra la inyección de una especie química o de productos químicos en el subsuelo a fin de degradar, inmovilizar o lavar los contaminantes.

Existe una técnica denominada “**barrera permeable de tratamiento**” que consiste en conformar una pared subsuperficial de material filtrante. Se la construye excavando una trinchera y rellenándola con carbón activado, resinas de intercambio iónico o piedra caliza a fin de descontaminar aguas subterráneas poco profundas a medida que el agua fluye atravesando esta pared.

El empleo de carbonato de calcio se realiza cuando es preciso tratar aguas ácidas que arrastran iones metálicos solubles a valores bajos de pH, a los efectos de neutralizar la acidez del agua y formar precipitados insolubles de los metales presentes en el agua, en condiciones alcalinas.

El empleo de carbón activado permite remover metales y compuestos orgánicos mediante mecanismos físico-químicos.

Entre los aspectos a considerar se incluyen el tiempo de contacto entre las aguas que fluyen y este lecho permeable, como también la posibilidad de taponamiento.

1.b.c) Físicos: implica una manipulación física del suelo usando calor, utilizando refrigerantes o bien otros medios.

1.b.d) Térmicos: la aplicación de procedimientos térmicos in situ aún están en fase de discusión y análisis. Hay aún en desarrollo un procedimiento por el cual, con aplicación directa de energía eléctrica, se conseguiría un derretimiento y una vitrificación del área contaminada sin necesidad de excavar ni retirar el material afectado.

2. Medidas de seguridad para una minimización de las emisiones contaminantes.

Como estrategias de saneamiento para antiguos vertederos de residuos además de la eliminación de la fuente contaminante mediante confinamiento o la descontaminación directa, puede mencionarse la adopción de medidas de seguridad en torno a los lugares afectados. A continuación se efectúa una descripción de las mismas:

2.a) Obras de control de aguas superficiales.

Esto incluye un amplio rango de metodologías de: contención, desviación, y recolección, diseñadas para minimizar la contaminación de aguas superficiales, prevenir la infiltración de aguas superficiales, y evitar el movimiento “fuera del lugar” de aguas superficiales que estén contaminadas.

Estas obras están diseñadas para cumplir una de las seis funciones básicas siguientes:

- Interceptar la escorrentía superficial.
- Prevenir la infiltración.
- Controlar la erosión del suelo.
- Colectar y transportar aguas.
- Almacenaje y descarga de aguas.
- Protección contra inundaciones.

La estrategia mas efectiva para el manejo del flujo superficial normalmente incluye una combinación de varias medidas de control de aguas superficiales.

A continuación se mencionan se mencionan dichas medidas:

2.a.a) Nivelación: implica la nivelación de la superficie de la cubierta del relleno o del sitio a recuperar, a los efectos de manejar la infiltración y escorrentía de las aguas pluviales. Paralelamente se controla la erosión del suelo y se prepara la superficie para implantar la vegetación.

2.a.b) Drenajes / Cunetas: es la conformación de cunetas y trincheras para interceptar la escorrentía del agua superficial o el flujo subterráneo poco profundo a fin de controlar la descarga del agua y/o minimizar su contribución a la contaminación del agua subterránea.

2.a.c) Cobertura superficial: En el caso de sitios contaminados donde la masa contaminante no está en contacto con el nivel freático, por estar éste más profundo y donde la polución se produce por el lavado del material depositado, ocasionado a su vez por la infiltración de agua de lluvia, se puede recurrir a esta medida a fin de cortar el flujo de infiltración (Figura 7). Paralelamente se controla la erosión y se minimiza la emisión de compuestos volátiles, de ser el caso. Para la cobertura del sitio pueden emplearse una variedad de materiales, tales como arcillas, bentonita, cemento, membranas sintéticas.

2.a.d) Recultivación: la conformación de una cobertura vegetal es un método efectivo para estabilizar la superficie de sitios a recuperar. La vegetación reduce la erosión del suelo (hídrica y eólica) y contribuye a desarrollar una superficie natural y estable. Además, la vegetación favorece la evapotranspiración y por tanto reduce la infiltración.

2.b) Medidas hidráulicas para el control de aguas subterráneas.

Se mencionan:

- 2.b.a.) Sistemas de pozos:** Well - point.
Pozos profundos.

"Colinas" de presión.

El método de sistema de pozos maneja el gradiente hidráulico subterráneo a través de la inyección o de la extracción de agua, con lo cual se controla directamente el movimiento del agua subterránea y se actúa indirectamente sobre los contaminantes. Se requiere de la instalación de pozos en sitios adecuados para lo cual es imprescindible un estudio hidrogeológico para determinar las características de la pluma contaminante (ancho, longitud, profundidad y forma general), el gradiente hidráulico transversal a la pluma y las características del acuífero.

Los well-point se emplean para deprimir el nivel freático o para extraer líquidos contaminantes.

Los well-point son pozos poco profundos, cercanos entre sí, estando los extremos superiores de los pozos vinculados a una tubería principal que a su vez está conectada a una bomba de succión.

Los pozos well-point se emplean para operar en acuíferos superficiales.

Los pozos profundos son similares a los anteriores pero son usados para grandes profundidades y a menudo el bombeo es individual empleándose bombas sumergibles. La finalidad de su empleo es desaguar los suelos a gran profundidad, extraer líquidos contaminantes, o para interceptar el flujo del agua subterránea "gradiente arriba" del sitio.

En ambos casos el diseño del sistema debe ser tal que el radio de influencia del sistema completo intercepte la pluma contaminante (Figura 8).

En la Figura 9 se presentan dos casos simples de equilibrio hidráulico de un pozo de extracción, para un acuífero no confinado (libre) y otro en un acuífero confinado.

El principio del sistema de "colinas" de presión es inverso al anterior y consiste en inyectar agua para formar un cono de presión el cual actúa como una barrera al flujo del agua subterránea. Un ejemplo de aplicación de este método es en áreas costeras para prevenir la intrusión de agua salada (Figura 10).

2.b.b.) Trincheras de interceptación: Los sistemas de interceptación son trincheras superficiales o subterráneas las cuales pueden ser instaladas aguas abajo de la fuente contaminante o perimetralmente alrededor del sitio. Estas trincheras actúan como una línea infinita de pozos de extracción y originan una zona continua de depresión (Figura 11). Las trincheras abiertas se emplean normalmente para interceptar sustancias menos densas que el agua, por ejemplo: hidrocarburos.

La operación de retirar el material interceptado debe ser continua para evitar una infiltración a través de la otra pared de la trinchera.

Este sistema se aplica para suelos con alta permeabilidad y para acuíferos superficiales contaminados poco profundos.

2.c) Confinamiento mediante barreras verticales subsuperficiales.

Esto implica el confinamiento de sitios contaminados mediante barreras verticales perimetrales, de baja permeabilidad.

La finalidad de las mismas es desviar el flujo subterráneo o bien aislar, contener, o capturar el flujo subterráneo en el entorno de un sitio afectado.

La función de la barrera vertical es inhibir el flujo del agua subterránea no contaminada hacia el interior del lugar afectado. Para lograr este objetivo las barreras verticales se utilizan complementariamente con sistemas de extracción y tratamiento de las aguas.

Las barreras verticales también brindan un control de las aguas subterráneas durante las obras (excavaciones, colocación de tuberías en el subsuelo) necesarias para el tratamiento directo de residuos o eliminación de los mismos.

La técnica constructiva es de importancia por cuanto debe ofrecer impermeabilidad y durabilidad.

2.c.a) Barreras conformadas con una suspensión de material fino:

Los tipos de paredes de material fino en suspensión son diferenciables según los materiales empleados para el sostén de la trinchera. En la mayoría de los casos se emplea una mezcla de agua - bentonita.

La barrera vertical se conforma excavando una zanja que se va llenando con una lechada líquida de bentonita sódica y agua que mantiene la estabilidad de la excavación. La lechada esta compuesta aproximadamente por 95 % de agua y 5 % de bentonita en peso.

Esto entiba hidráulicamente la trinchera evitando el colapso de la excavación y al mismo tiempo forma una capa obturante sobre la pared excavada que evita las pérdidas de fluido en el subsuelo. El potencial desplome de la zanja está controlado mediante el sistema de fuerzas hidrostáticas resultantes que contrarrestan el empuje activo del suelo. Además debido a la presión positiva del fluido dentro de la zanja, la lechada tiende a filtrar a través de las paredes de la excavación y va formando un estrato muy delgado de bentonita hidratada sobre la pared, lo cual constituye un límite impermeable.

La excavación, con paredes laterales verticales, va progresando con la zanja rellena de lechada, la que ejerce presión y mantiene la estabilidad de la zanja. De este modo pueden realizarse excavaciones a profundidades del orden de los 30 a 40 metros.

La bentonita es un alúmino silicato hidratado de sodio, magnesio y calcio en el que predomina el sodio en relación a los restantes elementos, identificándosela como una bentonita sódica. Pertenece al grupo de los minerales arcillosos y al subgrupo conocido como montmorilonitas. La mayor presencia del ion sodio le confiere propiedades coloidales especiales presentando además gran capacidad de intercambio iónico.

La segunda etapa del proceso de conformación de esta barrera es la colocación del material de relleno. Después de la finalización de la excavación de la zanja hasta la profundidad total, la lechada de agua - bentonita es remplazada por el material de relleno. El relleno se coloca desde la superficie y se desplaza hacia adelante en la dirección de avance de la excavación.

El relleno con suelo - bentonita es un material con baja permeabilidad compuesto de suelo, agua y bentonita. El contenido de bentonita en el material de relleno puede ser del orden de un 5 %; aunque en casos de suelos con una adecuada presencia natural de fracción de finos el porcentaje puede ser del 1 %.

En aplicaciones de protección ambiental, los siguientes factores son de suma importancia en el diseño del relleno suelo bentonita:

- # Compatibilidad química.
- # Baja permeabilidad.
- # Baja compresibilidad
- # Moderada resistencia.

A fin de lograr estas características deseables, deben tenerse en cuenta los aspectos siguientes:

@ Durante la colocación del material de relleno, éste tiene que fluir libremente en el interior de la excavación y desplazar a la lechada de agua bentonita. Los parámetros importantes son la distribución granulométrica del material y el contenido de agua.

@ El material de relleno tiene que ser evaluado para determinar si hay posibilidad de una alteración de su permeabilidad debido al contacto prolongado con el material a confinar.

@ Una baja conductividad hidráulica a largo plazo puede alcanzarse mejor si el material de relleno es un suelo bien graduado (debe contener toda la variedad de tamaños de partículas incluyendo gravas gruesas, medias y finas, arenas gruesas, medias y finas y arcillas).

@ Paralelamente una buena graduación de tamaños le confiere al material de relleno una compresibilidad relativamente baja.

Las barreras de suelo - bentonita presentan los costos mas bajos de instalación, el rango mas amplio de compatibilidades químicas (con las sustancias a confinar) y los valores mas bajos de permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad de un relleno de suelo bentonita varia entre 1×10^{-7} cm/seg. y 1×10^{-8} cm/seg.

2.c.b) Barreras compuestas.

Otra variante a esta técnica es el empleo de paneles de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) que se inserta dentro de la trinchera. (Figura 12).

Se obtiene así una multibarrera de: Suspensión - Placa de HDPE - Suspensión, que conforma un sellado más seguro.

Las propiedades de una barrera compuesta incluyen una conductividad hidráulica mas baja y un aumento de la resistencia química al contaminante.

Las geomembranas de Polietileno de alta densidad (HDPE) presentan una alta resistencia mecánica, química y biológica. Son impermeables a los hidrocarburos y gases y presentan gran durabilidad.

Las membranas de HDPE que se utilizan en la conformación de estas paredes son de un espesor mínimo de 2 mm, empleándose en la mayor parte de los casos membranas de 2,5 mm. En determinados casos puede llegarse a espesores de 3 mm.

La construcción se ejecuta por secciones empleando la técnica ya comprobada de trabajar con la trinchera llena con lechada de perforación. La trinchera se excava usando como soporte una suspensión de bentonita. Dependiendo de los requerimientos, la trinchera puede tener un ancho de 0,5 a 1 m. La longitud de cada sección puede variar de 5 a 8 m. o más dependiendo de las condiciones del suelo. Las profundidades de estas barreras pueden ser del orden de los 50 m.

El panel de HDPE es colocado por secciones en la trinchera (Figuras 13), fijado a un marco rígido que se introduce en la zanja, siendo retirada posteriormente esta estructura.

Con excepción de aquellos casos en que las membranas se colocan en zanjas anchas y abiertas, lo cual proporciona un fácil acceso a los operarios para efectuar las soldaduras, se debe emplear algún tipo de conexión mecánica entre los paños de geomembranas para lograr una correcta unión.

La conexión debe hacerse con el mismo material de HDPE para que sea compatible con la membrana y debe presentar suficiente resistencia mecánica y estanqueidad.

Un tipo de unión desarrollado por una firma de este ramo se presenta en las Figuras 14 y 15). Esta conexión simplifica la unión entre paneles de membrana cuyas dimensiones oscilan de 1,5 a 30 metros de ancho y de 1,5 a 40 metros de largo.

En los canales intermedios se emplea una selladura de caucho hidrófilo, lo cual proporciona un elevado nivel de seguridad para la contención de contaminantes.

Un tubo vertical hincado previamente separa cada sección terminada de la próxima a excavar y protege al panel ya colocado durante la excavación de la sección contigua (Figura 12).

También se pueden emplear paneles multicapas donde una de las capas la conforma un manto drenante que permite ser completamente impermeable aún contra residuales de hidrocarburos. Estos paneles pueden ser controlados y reparados por secciones.

2.c.c) Barrera estructural.

En ciertos casos puede requerirse gran resistencia a la barrera subsuperficial.

Nuevamente la zanja se excava estando llena de una lechada de agua bentonita para mantener la estabilidad de la zanja. La profundidad de excavación con el equipo disponible es del orden de los 60 metros.

Posteriormente se coloca las armaduras de acero dentro de la zanja con lechada y mediante una tolva de hormigón éste es colado en la excavación (paneles moldeados in situ). La pared puede conformarse también con paneles de Hormigón premoldeados.

En la Figuras 16 se muestra un tipo de equipo para excavar la trinchera y en la Figura 17 se presenta la secuencia de excavación y llenado con Hormigón.

Esta técnica de barreras de hormigón es muy utilizada en casos en que se requiere una pared con significativa resistencia estructural, por ejemplo si la pared de aislamiento forma parte de un muro de sostenimiento de tierras.

La conductividad hidráulica es muy baja (1×10^{-8} cm/seg o menor) pero el costo de este tipo de pared es mas elevado.

Con esta técnica de paredes perimetrales al sitio afectado se logra una total hermeticidad cuando la base de la pared penetra en un estrato impermeable conformando así un recinto cerrado.

Sin embargo si la pared queda "colgada" sin estar ligada a un estrato impermeable pero penetrando varios metros por debajo del nivel freático actúa como una barrera para contaminantes menos densos que el agua, por ejemplo hidrocarburos.

2.c.d) Barrera de lechada: esto implica la inyección a presión de una variedad de fluidos en una masa de suelos o de rocas fisuradas con la finalidad de reducir el flujo de agua subterránea y aumentar la resistencia de la formación.

Realizada de manera y secuencia adecuada este procedimiento puede resultar un una "cortina" o pared muy efectiva como barrera para cortar el flujo subterráneo.

Raramente se emplea esta técnica cuando el agua subterránea tiene que ser controlada en un suelo arenoso o de escasa sobrecarga.

Para conformar la pared se realiza una serie de perforaciones de inyección hasta la profundidad deseada y posteriormente se efectúa la inyección de la lechada con equipamiento especial.

La lechada es inyectada en etapas en sentido descendente e incrementando la presión o bien en sentido ascendente y reduciendo la presión.

La línea de perforaciones se realiza en simple, doble o a veces triple fila.

El espaciamiento entre perforaciones depende de las condiciones específicas del sitio y esta determinado por el radio externo de penetración horizontal de la lechada desde el pozo.

En teoría la lechada inyectada en perforaciones adyacentes deberían llegar a contactarse.

Si el proceso se diseña y ejecuta adecuadamente, se obtendrá una barrera continua e impermeable.

La aptitud de la lechada como elemento de contención de la polución dependerá de su resistencia química y compatibilidad a los contaminantes.

En los casos anteriores (2.c.a. hasta 2.c.d.) el confinamiento con paredes debe completarse con una cobertura superior ligada perfectamente a la pared perimetral; y en el caso de una pared "colgada" se puede complementar el confinamiento con medidas hidráulicas.

2.c.e.) Tablestacados: Son estructuras flexibles, conformadas por una línea de laminas (pilotes) entrelazadas e hincadas en el suelo.

Se emplean para formar una barrera continua para cortar el movimiento del agua.

Las tablestacas pueden ser de maderas, de acero o de hormigón premoldeado.

Las de acero son las mas fáciles de colocar, las que presentan mas alta relación resistencia / peso y las mas efectivas para cortar el flujo subterráneo.

La conformación de una pared de tablestacas implica el hincado de placas que van interconectadas entre si, empleando un martinete hincador, neumático o a vapor.

En algunos casos las placas se hincan en trincheras pre-excavadas.

Las placas presentan largos entre 1,2 m a 12 metros y anchos entre 0,40 m y 0,50 m.

Debido a la potencial corrosión de las placas y a la incompleta estanqueidad de las uniones esta técnica se emplea como una medida temporaria de detención del flujo.

2.c.f) Sellado de fondo con lechadas: La inyección de lechadas puede emplearse en crear barreras horizontales para el sellado del fondo de sitios contaminados a fin de prevenir la infiltración de líquidos lixiviados.

La lechada se inyecta por debajo del material de relleno (residuos) del sitio afectado para conformar un fondo. La lechada es inyectada horizontalmente desde una boquilla ubicada en el extremo de una tubería que se hinca con un martillo neumático.

De acuerdo a las condiciones del sitio se diseña una grilla (cuadrícula) de perforaciones de inyección con el objetivo de formar un sellado continuo en el fondo/

Los materiales inyectados generalmente son compuestos de silicatos o Cemento Portland.

TABLA III.**Medidas de Saneamiento de Sitios Contaminados.****1. Métodos de descontaminación del lugar.****1.a) Métodos "On Site" (Superficiales).**

- 1.a.a) Inmovilización**
- 1.a.b) Separación física**
- 1.a.c) Métodos de extracción física**
- 1.a.d) Tratamientos térmicos**
- 1.a.e) Irradiación**
- 1.a.f) Tratamientos químicos**
- 1.a.g) Degradación biológica (bio-remediación)**
- 1.a.h) Bio-enriquecimiento**

1.b) Métodos "In Situ" (en el terreno y en su ubicación original)

- 1.b.a) Biológicos**
- 1.b.b) Químicos**
- 1.b.c) Físicos**
- 1.b.d) Térmicos**

2. Medidas de seguridad para una minimización de las emisiones contaminantes.**2.a) Obras de control de aguas superficiales.**

- 2.a.a) Nivelación**
- 2.a.b) Drenajes / Cunetas**
- 2.a.c) Cobertura superficial**
- 2.a.d) Recultivación**

2.b) Medidas hidráulicas para el control de aguas subterráneas.

- 2.b.a) Sistemas de pozos:**
Well - point. / Pozos profundos / "Colinas" de presión.
- 2.b.b) Trincheras de interceptación**

2.c) Confinamiento mediante barreras verticales subsuperficiales.

- 2.c.a) Barreras conformadas con una suspensión de material fino**
- 2.c.b) Barreras compuestas.**
- 2.c.c) Barrera estructural.**
- 2.c.d) Barrera de lechada.**
- 2.c.e) Tablestacados.**
- 2.c.f) Sellado de fondo con lechadas**

TABLA IV.

Concentraciones umbrales de toxicidad para tratamientos biológicos, de varios elementos.

ELEMENTO	CONCENTRACION (mg / l)
Arsénico	0,1
Boro	50
Cadmio	1
Calcio	2500
Cinc	2
Cobre	5,5
Cromo	10
Hierro (férrico)	15
Magnesio	1000
Manganeso	10
Mercurio	2,5
Níquel	1,75
Plata	0,03
Plomo	0,1
Potasio	2500
Sodio	3500
Vanadio	10

VIII. Conclusiones.

De todo lo expuesto se destaca la gran variedad de tecnologías disponibles para efectuar el saneamiento de sitios afectados. Sin embargo es mucho más conveniente y económico la adopción temprana de medidas adecuadas de control sobre la manipulación, transporte, conducción, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, así como también un adecuado control del manejo de un sustancias y productos químicos dentro de establecimientos industriales .

IX. Bibliografía de consulta.

1. Barkowski, D.; Gunther, P.; Hinz, E.; Roechert, R..
Altlasten, Handbuch zur Ermittlung und abwehr von Gefahren durch kontaminierte Standorte. Karlsruhe (DE), Verlag C.F. Muller, 1987.
2. Dorstewitz, U. Altlasten - Abschätzung und abwehr von Gefahren.
Saarbrücken (DE), Stadtverband Saarbrücken 1988.
3. SLT - Lining Technology GmbH, Bremen (DE). Neuzeitliche Entwicklungen und Tendenzen beim Grundwasserschutz mit Kunststoffdichtungsbahnen, Bremen (DE), SLT , 1988.
4. Zublin AG - Bauunternehmung, ed. Zublin System.
5. Bilitewski - Haerdtle - Marek. Waste Management. Springer.
6. Bauer Spezialtiefbau GmbH. Schrobenhausen Deutschland.
7. Peter L. Berry - David Reid. Mecanica de Suelos. Mc Graw Hill.
8. Linsley - Kohler - Paulus. Hidrología para ingenieros. Mc Graw Hill.
9. Abastecimientos de agua potable. Facultad de Ingeniería. **Univ. de Bs. As.**
Publicación N° 7 - Año 1971. Instituto de Ingeniería Sanitaria.
10. Jorge Brion. Programas de Saneamiento de Sitios Contaminados. "Ingeniería Sanitaria y Ambiental" AIDIS N° 8 Setiembre 1992.
11. Griffin, Roger D. Principles of Hazardous materials management.
Michigan (US), Lewis Publishers, 1988.
12. Jackman, Allan P. and Powell, Robert L. Hazardous waste treatment technologies: biological treatment, wet air oxidation.
New Jersey (US), Noyes Publications, 1991.
13. Harry Freeman. Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal.
Mc graw hill.
14. K. Wagner et al. Remedial Action Technology for Waste Disposal Sites.
Noyes Data Corporation.
15. Morris Levin - Michael Gealt. Biotreatment of Industrial and Hazardous Waste.
Mc Graw Hill.
- 16.. Juárez Badillo, Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Tomo 3. Limusa Noriega Editores.
- 17.. Terzaghi Karl, Peck Ralph. Mecánica de Suelos en la Ingeniería práctica. Edit. El Ateneo.

18. .. Metcalf - Eddy. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Editorial Labor SA.
19. .. EPA / 625 / 8-87 / 014 September 1987. A Compendium of Technologies used in the Treatment of Hazardous Wastes.

**Planos del lugar.
Informes previos.**

Antecedentes del lugar.
Naturaleza del problema.
Extension del problema.
Historial de respuesta.

Planes de QA / QC

Plan de Higiene y Seguridad.
Plan de gestion.
Plan de muestreo.
Plan de relaciones con la comunidad.
Plan de manejo de datos.

Opciones de remediacion.

Ensayos a escala piloto.

Informe Final sobre IS.

Informes Administrativos.

Documento de Control.

Informe borrador sobre IS / EF.

Informe Final.

Evaluacion de riesgo.

Plan de pos clausura.
Cronograma de monitoreo.
Informes administrativos.
Documento de Control.

