

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO.
GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA**



**Estudio de Evaluaciones por Contaminación de Suelos en
Estaciones de Servicios**

**TITULACIÓN POR ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PETROQUÍMICO**

ELABORADO POR

JAIME GUALBERTO VALDEZ CARPIO

PROMOCION 1,995-0

LIMA - PERU

2,007

A mi padre por su gran ejemplo
A mi madre por su invaluable apoyo
A Rodrigo y Ada por ser la inspiración de mi vida.

Estudio de Evaluaciones por Contaminación de suelos en Estaciones de Servicios

INDICE

	PÁG
CAPÍTULO 1 Sumario.	1
CAPÍTULO 2 Introducción.	3
CAPÍTULO 3 Antecedentes	
3.1 Características físicas de los combustibles como contaminantes de suelos.	5
3.1.1 Dispersión de contaminantes en suelos y acuíferos.	5
3.1.2 Desarrollo de niveles guía de Hidrocarburos Totales de Petróleo en suelos	7
3.1.3 Impacto de los Hidrocarburos del Petróleo en el Suelo	8
3.1.4 Biodegradación de los Hidrocarburos en el suelo	9
3.2 Descripción física y geológica de suelos	12
3.2.1 Descripción física	12
a. La fase sólida	13
b. La fase líquida	13
c. La fase gaseosa	14
d. Propiedades físicas y físico- químicas del suelo	15
3.2.2 Descripción Geológica	16
3.3 Estaciones de servicio.	16
a. Normas y reglas de seguridad	19
b. Diseño de las Instalaciones	19
c. Construcción de las Instalaciones	20
d. Red de cañerías y boca de tanques	20
e. Seguridad de la limpieza en las fosas de lubricación	20
f. Derrame de combustibles, acciones a tomar	20
g. Principales impactos ambientales en grifos	20
h. Abandono	21
3.4 Marco Legal y Técnico.	21
CAPÍTULO 4 Contaminación de suelos en estaciones de servicios	24
4.1 Causas	24
4.2 Consecuencias	24
4.2.1 Capacidad de auto-depuración y propiedades del suelo	25
CAPÍTULO 5 Muestreo, metodología, pautas y Evaluación de contaminación de suelos en estaciones de servicios.	27
5.1 Tipos de evaluaciones y su metodología.	27
5.2 Secuencia de evaluaciones.	27
5.2.1 Evaluación de antecedentes	28
5.2.1.1 Inspección del sitio	28
a. Descripción del sitio	28

b.	Procesos del sitio	28
c.	Propiedades vecinas	29
d.	Receptores sensitivos potenciales	29
e.	Marco del trabajo de campo de evaluación de gases	29
5.2.1.2	Evaluación de gases confinados en el suelo	29
5.2.1.3	Perforaciones	29
5.2.1.4	Medición de vapores ocluidos	30
5.2.1.5	Taponeo y abandono de taladros	30
5.2.2	Métodos de perforación de suelos	30
5.2.3	Métodos de muestreo de suelos	33
5.2.3.1	Muestreos alterados	33
5.2.3.2	Parcialmente alterados	35
5.2.3.3	Muestreos inalterados	35
5.2.4	Cuidado y preservación de muestras de suelos	38
5.3	Protocolos de toma de muestras y su evaluación.	39
CAPÍTULO 6	Remediación de suelos contaminados.	41
6.1	¿Qué se ha hecho en el pasado?	41
6.2	El poder descontaminante de la propia naturaleza	42
6.3	Datos requeridos para la remediación de suelos contaminados	42
6.4	Clasificación de tecnologías de remediación	44
6.5	Estrategia de remediación	44
6.6	Lugar de realización del proceso de remediación	44
6.7	Tipo de tratamiento	45
6.8	Tecnologías tradicionales.	46
6.9	Tecnologías de remediación biológicas (biorremediación)	46
	Tecnologías in situ	47
	a. Bioventeo	47
	b. Bioestimulación	48
	c. Biolabranza	48
6.10	Tecnologías de remediación fisicoquímicas	49
	a. Extracción de vapores (EV)	50
6.11	Tecnologías de remediación térmicas	51
6.12	Selección de una tecnología de remediación	52
6.13	Conclusiones y perspectivas	56
CAPITULO 7	Casos Reales.	57
7.1	Estaciones de servicio en funcionamiento	59
7.2	Caso 2 Estaciones de servicio fuera de funcionamiento	60
7.3	Los métodos de perforación	60
7.3.1	Perforaciones manuales con cuchara de muestro y espirales	60
7.3.2	Sistema de perforación diamantina con muestreos localizados	60
CAPÍTULO 8	Conclusiones y recomendaciones.	68
CAPITULO 9	Bibliografía.	69

ESTUDIO DE EVALUACIONES POR CONTAMINACIÓN DE SUELOS EN ESTACIONES DE SERVICIOS

CAPÍTULO 1

Sumario.

El presente trabajo tiene por objetivo enfocar el problema de la evaluación de la presencia de contaminantes en los suelos de las estaciones de servicios de Lima Metropolitana y proponer métodos para su remediación.

Actualmente se hacen necesarios los estudios de suelos de las estaciones de servicios ya que hay la tendencia de evaluar económicamente la presencia de pasivos ambientales en las propiedades. En este informe se dará especial énfasis al estudio de los terrenos donde se ubican las estaciones de servicios.

La contaminación por derrames en estaciones de servicios pueden deberse a malas maniobras al momento de la descarga, daños en los sistemas de almacenaje y sistemas de conducción de los combustibles a causa de corrosión de las estructuras y en menor proporción por fallas estructurales en las lozas de las estaciones.

De acuerdo a la naturaleza de los productos que se manejan en las estaciones de servicios, son de especial interés para el presente estudio los cortes no volátiles de las gasolinas, el kerosene y el diesel. En menor proporción, los aceites lubricantes usados provenientes de servicios de cambio y residuos de lavado. Estos hidrocarburos por su naturaleza y su uso son los que están implicados en contaminaciones de suelos.

Una vez producido el derrame de hidrocarburos, la migración de las moléculas de los combustibles se ve facilitada por la porosidad y permeabilidad que presenta el suelo. Es importante considerar el tamaño de las moléculas ya que de acuerdo a esto permitirá la migración a través de los poros del suelo facilitando el incremento del volumen de suelo afectado por la contaminación o tamaño de la pluma contaminante.

La metodología para efectuar los estudios presenta una secuencia; en una primera etapa se hacen estudios históricos, posteriormente se evalúan los vapores ocluidos, finalmente se efectúa el muestreo localizado del suelo, eventualmente se hacen evaluaciones de la napa freática que estuviera cercana al área de influencia de la contaminación para evaluar la presencia de hidrocarburos en el agua subterránea y su magnitud. El poco conocimiento de las técnicas de perforación y muestreo de suelos hace que muchas de las tomas de muestras no sean las apropiadas para evitar la pérdida de hidrocarburos presentes en las muestras. Así mismo las normas de seguridad de las estaciones de servicios en actividad no permiten la toma de muestras en cualquier lugar de las estaciones.

La remediación de la contaminación implica aún mayor dificultad ya que desde la toma de decisión debe evaluarse el costo beneficio que cada técnica presenta ya que por la naturaleza del medio contaminado puede implicar maniobras de movimientos de suelos que puede hacerse con maquinaria pesada pudiendo en ciertos casos significar daño a las estructuras de la estación de servicios.

CAPÍTULO 2

Introducción.

La preocupación por el ambiente se ha convertido en un tema de urgencia a nivel mundial. Esta nueva percepción de urgencia es atribuida a los numerosos estudios científicos de gran envergadura que demuestran los cambios que están ocurriendo en los sistemas de la tierra como resultado de las acciones del hombre. Los resultados de dichos estudios han incrementado la preocupación e interés público por el medio ambiente natural; forzando el desarrollo de una nueva legislación ambiental alrededor del mundo.

En la industria petrolera han ocurrido derrames de buques petroleros y el calentamiento global de la tierra, asociados con emisiones de gas que generan el efecto "invernadero" producido por combustibles fósiles, han centrado la atención mundial en la reducción de los impactos ambientales de la industria petrolera.

En el caso de estaciones de servicios se puede citar el caso de la estación de servicio Shell en Buenos Aires, Argentina, ubicada en Calle Lima entre las calles Estados Unidos e Independencia, donde se detectaron fugas de combustible que afectaba a la estación del subterráneo cercana, donde empleaban compresoras de aire para mantener bajos los niveles de hidrocarburos en el ambiente de la estación.

El almacenamiento y distribución de hidrocarburos implica diversos impactos ambientales potenciales.

Debido a que los hidrocarburos son volátiles e inflamables, se deberán tomar precauciones para asegurar que los impactos sean minimizados. Además de los problemas ambientales, existen riesgos para la salud y seguridad del personal y el público en general ante una amenaza de incendio o explosión.

Los temas ambientales de importancia asociados con las instalaciones de distribución de petróleo son: Contaminación del suelo, aguas subterráneas y superficiales, emisiones al aire, manejo de desechos de las instalaciones.

El almacenamiento de hidrocarburos en tanques de acero relativamente desprotegidos es una práctica que ha ocasionado la contaminación a gran escala de los suelos, aguas subterráneas y superficiales. Una vez que la contaminación se produce, sus efectos pueden prevalecer durante décadas, se sabe de diversas técnicas de remediación para contaminación de suelos por hidrocarburos, pero no existe una tecnología apropiada para limpiar acuíferos subterráneos contaminados y, si existe, puede ser no práctica o excesivamente costosa. La respuesta debe recaer en mejorar los métodos de detección temprana y prevención para minimizar los daños.

La gasolina y el diesel contienen compuestos orgánicos volátiles (VOCs en inglés), tales como butano, pentano, benceno tolueno, y xileno. Los VOCs reactivos pueden generar la formación de ozono (O₃) en presencia de la luz solar

como un proceso de reacciones fotoquímicas en la atmósfera. El ozono cerca del suelo contribuye al "smog fotoquímico", que es un tema de preocupación ambiental y de salud. Los vapores de gasolina también contienen compuestos que son considerados tóxicos.

La antigüedad de las estaciones de servicios es variable pero la gran mayoría de ellos ha sido modificada, en mayor o menor grado, para adecuarse a las actuales normas legales.

Dentro de los diseños de estaciones modernas se considera la presencia de pozos de monitoreo o "piezómetros" los que sirven para evaluar contenidos de vapores en el suelo o muestrear la napa freática si esta se encuentra próxima a la superficie.

Dado que la legislación ambiental es relativamente nueva se da el caso de estaciones de servicios que por su antigüedad no hay ningún sistema de monitoreo de los suelos.

De acuerdo al Reglamento de Protección Ambiental tenemos máximos permitidos para contenidos de hidrocarburos en suelos, en este caso, en estaciones de servicio pero no hay la exigencia del cumplimiento de estos máximos; básicamente por motivos económicos. Pero la tendencia de minimizar los pasivos ambientales hace pensar que en un futuro cercano habrá la necesidad de adecuar los contenidos de hidrocarburos en suelos a los límites exigidos por la ley.

Para una evaluación de contaminantes en los suelos de las Estaciones de Servicio existe una jerarquía y protocolos según normas internacionales. La legislación nacional no es muy precisa respecto a esto.

En una primera instancia se hacen estudios históricos donde se evalúa reportes de mermas importantes en los volúmenes de combustible recibido frente al despachado, posteriormente se hace perforaciones de la loza de la Estación de servicio y excavaciones de poca profundidad; no mayores a un metro para evaluar la presencia de vapores ocluidos VOC's. De ser positiva la evaluación anterior se procede a hacer perforaciones "profundas", empleando maquinas de perforación las que permiten tomar muestras de mas de 10 metros, en las que se busca obtener muestras "in situ" del suelo para evaluar la presencia de contaminación por medio pruebas de laboratorio buscando contenidos de hidrocarburos en las muestras.

Las metodologías de muestreo, técnicas y maniobras de perforación se aplica fácilmente para estaciones de servicio fuera de uso por tener a disposición cualquier área sin interferir ninguna actividad pero se ven limitadas en el caso de aplicarse a estaciones de servicio en funcionamiento sea por el cumplimiento de las normas de seguridad en áreas altamente sensibles a accidentes por roturas de instalaciones o para no afectar el normal funcionamiento de la estación ya que esto tendría implicancias económicas por la disminución de los puntos de venta.

Existen muchos métodos para la remediación de suelos los cuales pueden ser aplicados en casos de requerirse. La legislación y reglamentos nacionales no hacen precisiones a cerca de que métodos emplear.

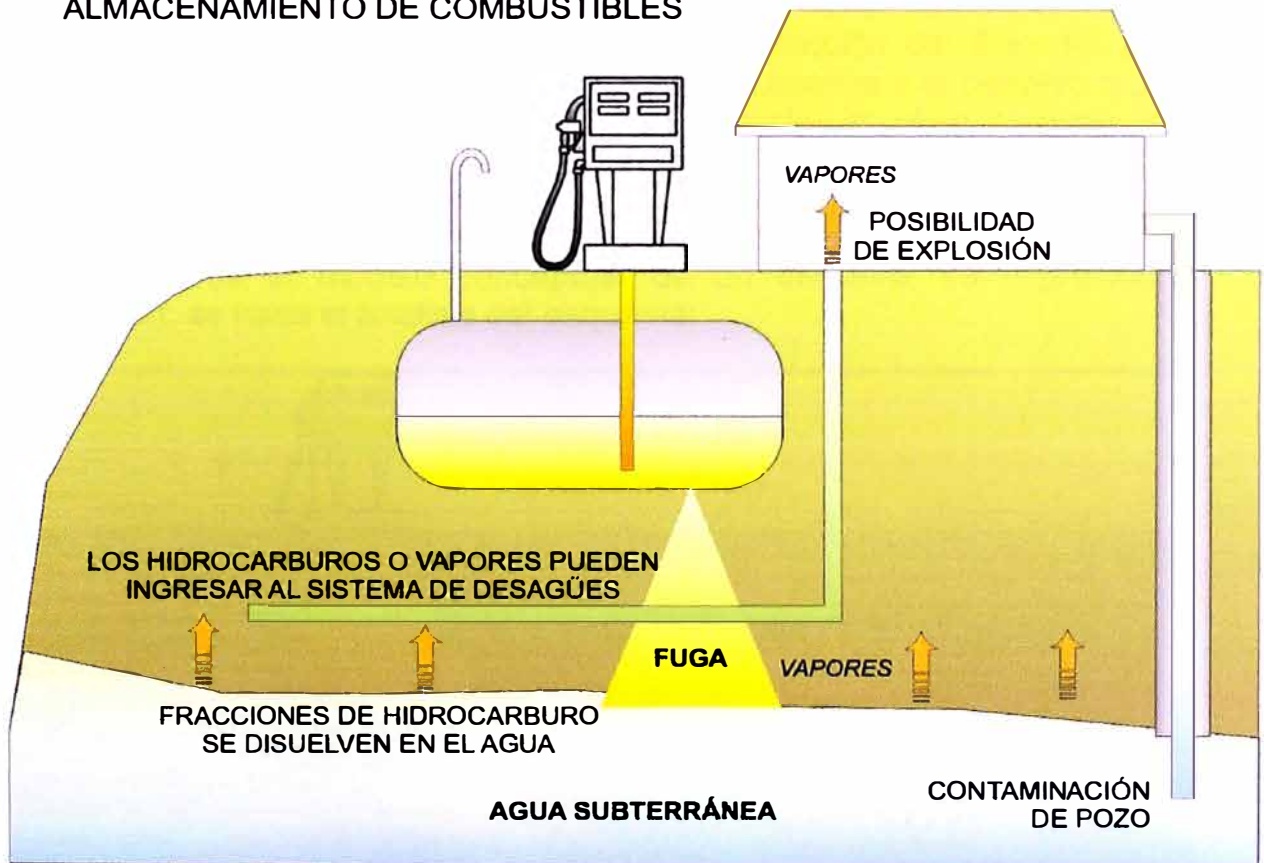
CAPÍTULO 3

Antecedentes.

3.1 Características físicas de los combustibles como contaminantes de suelos.

En la actividad petrolera, las disposiciones y el manejo habitual de hidrocarburos y combustibles, en algunos casos conlleva a la contaminación del suelo cuando tanques, oleoductos y diversas instalaciones sufren pérdidas. Los líquidos migran hacia el suelo y subsuelo (zona vadosa), hacia al agua subterránea (zona saturada acuífero) o superficialmente hacia un bajo topográfico o curso de agua.

FUGAS EN TANQUES SUBTERRÁNEOS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES



3.1.1 Dispersión de contaminantes en suelos y acuíferos.

Una vez que ha ocurrido un derrame de contaminantes en el suelo, los fenómenos de capilaridad y gravedad los conducen hacia las aguas subterráneas, por ello, se hace necesario entender la forma del transporte.

En términos generales, el comportamiento de los contaminantes está en función de sus características fisicoquímicas en las que se incluyen principalmente densidad, solubilidad, viscosidad, además de las

características del medio que los rodea como son: el tipo de suelo, adsorción, permeabilidad, tamaño de las partículas, contenido de humedad y de materia orgánica, succión, profundidad del nivel del agua, donde exista agua subterránea, entre otros.

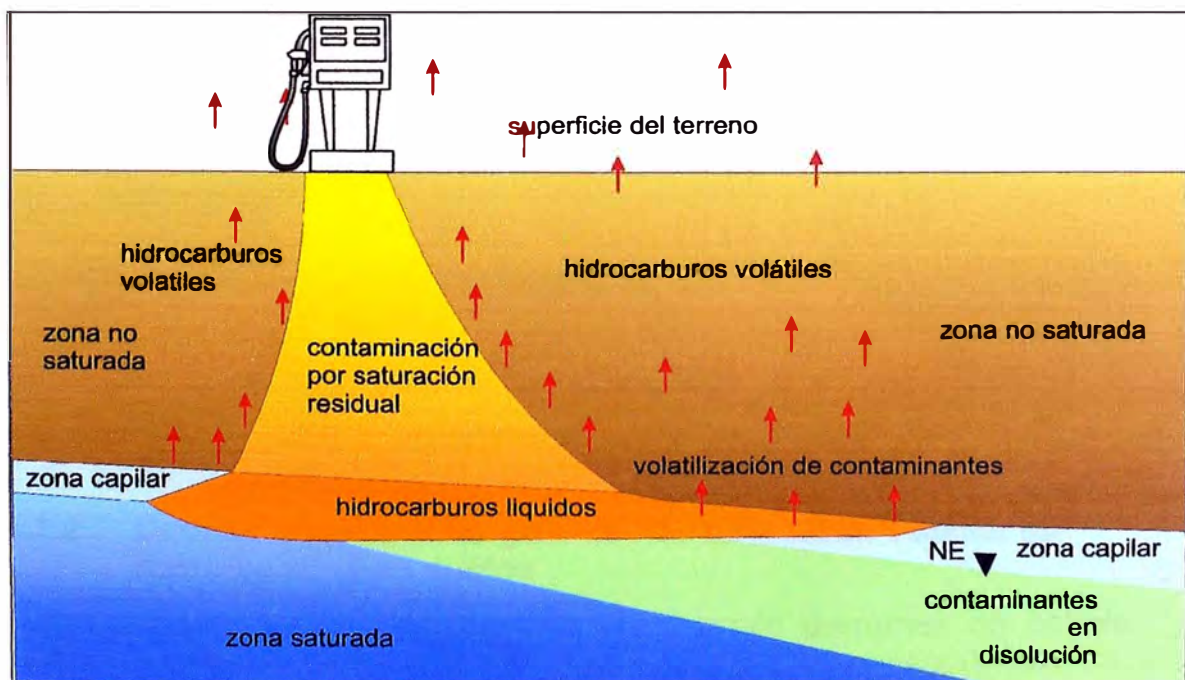
Los factores climatológicos como la temperatura y las precipitaciones pluviales también tienen influencia; todos los fenómenos físico-químicos definen el tamaño y distribución de la pluma de contaminación en una zona.

De acuerdo a su densidad, los compuestos orgánicos se clasifican en dos grupos:

- Aquellos cuya densidad es menor a la del agua se denominan ligeros.
- Mientras Los que poseen una densidad mayor a la del agua se les conoce como densos.

La densidad determina los procesos de transporte en el acuífero, por ejemplo: los ligeros tienden a formar una capa en forma de nata en el nivel freático y se mueven horizontalmente en la dirección del flujo del agua subterránea, tal y como lo hacen las gasolinas, aceites y el petróleo crudo; en cambio los densos migran hacia la base del acuífero creando una columna a partir de la cual pueden viajar en la dirección del flujo de agua subterránea contaminando el acuífero, sus representantes son los Bifenilos Policlorados, que no son el objeto del presente trabajo.

Para formarse el modelo conceptual de un derrame, su migración y dispersión; se hace el análisis del esquema:

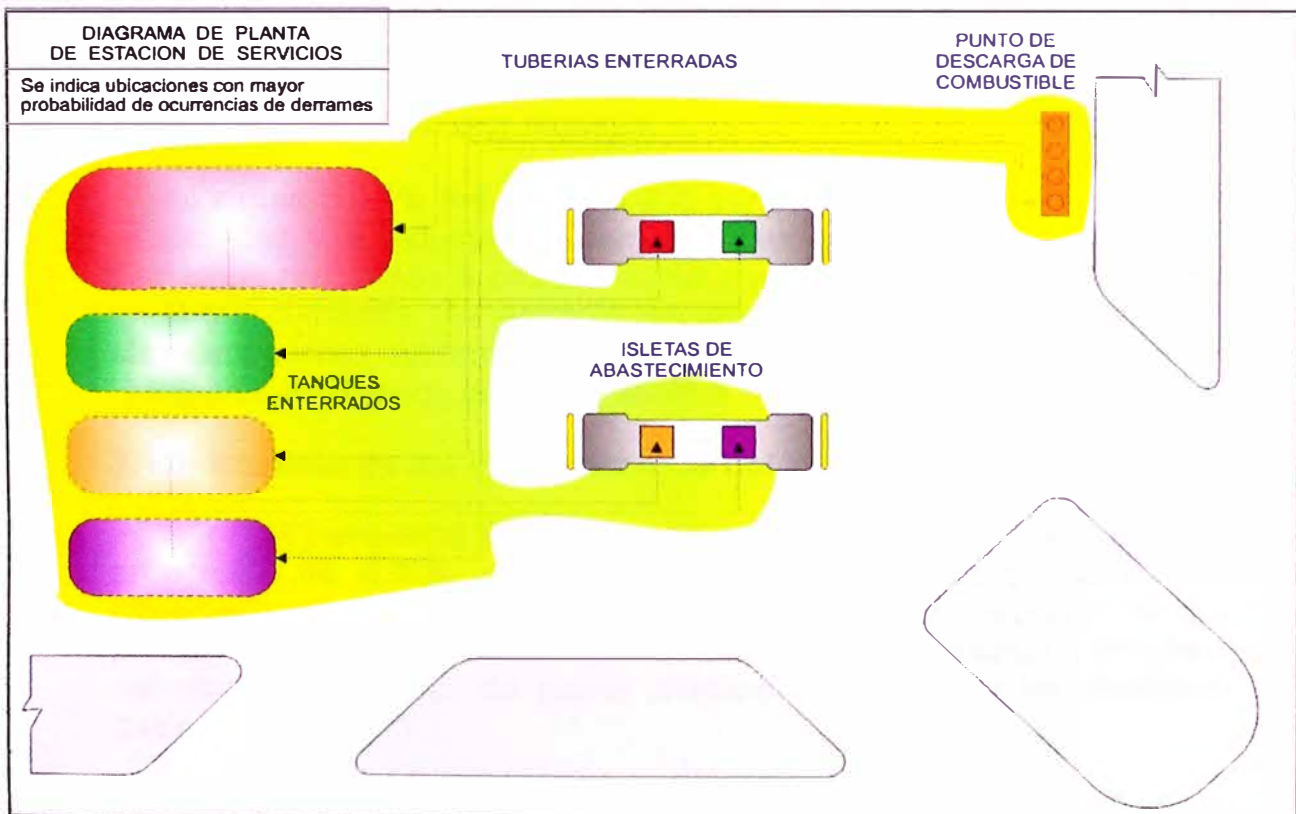


Modelo Conceptual de un derrame, procesos de migración y dispersión en el suelo y la atmósfera.

Suponiendo que una tubería de conducción de gasolina sufrió corrosión debido a la presencia de sulfatos en el sitio donde estaba alojada, a través del tiempo se da la fuga y los hidrocarburos migran verticalmente por efecto de la gravedad hasta el nivel estático.

Existe la zona de agua capilar donde el hidrocarburo, por diferencia de densidad y su incapacidad para desalojar el agua intersticial, da origen a los procesos de dispersión y difusión; la mayor parte de los hidrocarburos se acumulan directamente sobre el nivel del agua y bajo la fuga, extendiendo una pequeña cuña hacia la zona de menor gradiente hidráulico y viceversa.

Un pequeño volumen de contaminantes viaja disuelto en el agua a través de la zona vadosa y por debajo de la fuga queda un volumen de geomateriales con la denominada "contaminación residual", que se define como aquella sustancia que queda adherida a los granos de suelo de manera estable y que no puede ser removida por ningún procedimiento físico o químico.



3.1.2 Desarrollo de niveles guía de Hidrocarburos Totales de Petróleo (htp) en suelos

Históricamente, la industria del petróleo produjo derrames de petróleo y generó residuos derivados de la actividad. Como consecuencia de los daños producidos, se desarrolló un valor guía del 1% P/P de HTP en suelos. En un principio este valor guía fue aplicado empíricamente, para luego fundamentarse en estudios de investigación detallados.

El valor guía del 1% P/P de HTP se estableció en base a dos criterios:

- El primero fue el impacto de los hidrocarburos sobre la vegetación.
- El segundo fue la movilidad hacia el agua subterránea.

O sea, la movilidad y biodegradabilidad de los hidrocarburos del petróleo fueron los factores mas importantes para evaluar el valor guía (IPEC; 1999).

El petróleo crudo derramado de una formación en producción, o los lodos de perforación con petróleo, son la principal fuente de hidrocarburos del petróleo en los residuos de exploración y producción (E&P). Históricamente, los análisis de los hidrocarburos del petróleo en residuos de E&P, han sido informados como grasas y aceites (G&A), hidrocarburos totales del petróleo (HTP), o carbono orgánico total (COT). La medida de Grasas y Aceites fue utilizada hasta los '90 como un parámetro para los residuos de E&P, mientras que a partir de lo '90 se utilizó la medida de HTP.

Los HTP son determinados por cromatografía gaseosa o análisis infrarrojo de un extracto obtenido con un solvente, y el COT, es analizado por oxidación húmeda de una muestra.

El valor guía del 1% fue desarrollado para responder a las necesidades de la sociedad y la industria. El uso de otras regulaciones ha provocado en ocasiones problemas a causa de una rigurosidad no justificada y dificultad en el cumplimiento. Por ejemplo, se establecieron límites para tanques de almacenamiento subterráneo en el orden de los 100 ppm en suelo para hidrocarburos livianos como la gasolina.

3.1.3 Impacto de los Hidrocarburos del Petróleo en el Suelo

Pllice (1948) encontró que el crudo, agregado a un suelo arenoso en proporción de 0.75% p/p, estimulaba el crecimiento de soya, además observó que con un incremento de 4% p/p de hidrocarburos las mismas plantas morían. El carbono orgánico podría ser incrementado directamente debido a la adsorción de gases propano y butano por las partículas del suelo.

Suelos contaminados con gas natural o crudo mostraron incrementos en materia orgánica, carbono total y nitrógeno comparado con suelos normales. Pllice (1948) encontró grandes incrementos en la materia orgánica en suelos que se han contaminado con crudo y también determinó que los suelos contaminados con gas natural tienen pH alrededor del punto neutral. Evgin (1989) determinó efectos de los hidrocarburos en algunas propiedades mecánicas del suelo como la cohesión. Simultáneamente a los efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo, suceden cambios en las condiciones de fertilidad, donde se observaron incrementos en nitrógeno y contenido de materia orgánica (PLICE, M. J.; 1948). De manera similar, Dobson y Wilson (1964) observaron mayor actividad microbiológica en suelos impregnados con hidrocarburos que en suelos libres del mismo.

Por otra parte, cuando se realiza un estudio de evaluación o de caracterización de un sitio contaminado con hidrocarburos, se determinan diversos parámetros físicos y químicos y no se considera que se han afectado de alguna forma, de tal manera que el resultado que se obtiene se considera aceptable. Sin embargo, el valor real puede estar modificado de acuerdo con el tiempo, tipo y cantidad de hidrocarburo que se haya derramado sobre un suelo específico así como a sus propiedades. Un factor determinante en los posibles efectos por hidrocarburos, es la textura del suelo, es decir, por la presencia proporcional de partículas como arenas, limos o arcillas (Martínez M. V. E., López S. F.; 2000).

Además, es muy importante conocer las características físicas y químicas de un suelo que se ha impactado con hidrocarburos y que son básicos si se requiere diseñar alguna tecnología de restauración. Así, por ejemplo, la porosidad, pH, humedad, temperatura y contenido de nutrientes son indispensables para los procesos de bioremediación (Morgan, P., Watkinson, R. J.; 1989). En el caso de aplicar métodos de extracción de vapor del suelo, se requiere conocer su porosidad, permeabilidad y textura (Suthersand S. S.; 1998).

Es importante considerar el efecto que tienen los hidrocarburos sobre la disponibilidad por las plantas de macronutrientes y micronutrientes en el suelo, mediante bioensayos con especies vegetales para determinar su rendimiento con condiciones de contaminación variable, que pueden ser motivo de otros estudios para definir con mayor amplitud los efectos de los hidrocarburos sobre propiedades físicas y químicas del suelo.

3.1.4 Biodegradación de los Hidrocarburos en el suelo

En los últimos años, la biodegradación de los hidrocarburos del petróleo ha sido estudiada y documentada. La biorremediación es reconocida como un método efectivo de bajo costo para tratar el suelo y otros residuos de E&P que contengan hidrocarburos del petróleo. La biodegradación de los hidrocarburos del petróleo consiste en una remoción selectiva de ciertos compuestos derivados de hidrocarburos (alcanos, alquenos, aromáticos, y polares), que son metabolizados por microorganismos autóctonos del suelo. Como consecuencia los hidrocarburos del petróleo son convertidos a dióxido de carbono, agua y biomasa.

Se han identificado muchos factores que afectan la duración y cinética de la remoción de hidrocarburos. Estos incluyen las propiedades del suelo, tales como pH, temperatura, humedad, aireación, y estado de los nutrientes; características de los hidrocarburos; y la ecología de las poblaciones microbianas presentes en el suelo (IPEC; 1999).

Estudios respecto a la duración del proceso de biodegradación de hidrocarburos establecen una relación con la carga inicial encontrada de hidrocarburos del petróleo. Un estudio desarrollado para el API sobre prácticas de tratamiento de suelos, indicó que el 70-90% de los

hidrocarburos presentes en lodos empetrolados fue removido del suelo en el que fueron dispuestos teniendo una carga de 10.000- 50.000 mg/kg.

Un estudio sobre la tratabilidad de un lodo empetrolado en terrenos de yacimientos con un suelo aluvional, demostró que el 60-70% de los hidrocarburos inicialmente derramados (20.000- 55.000 mg/kg) (como grasas y aceites) fueron biodegradados en 2-3 años (TPHCWG, 1998).

Huesemann y Moore (1993) realizaron un estudio que muestra que el 93% de los hidrocarburos saturados, y el 79% de los aromáticos que tenían un número de carbono en el rango de C10-C44+, fue degradada en un suelo arenoso de Michigan (EEUU) que contenía petróleo crudo intemperizado (grado API intermedio) con una concentración inicial de 30.000 mg/kg HTP. El estudio también indica que la fracción polar fue resistente al metabolismo microbiano y no se degradó durante los 5 meses y medio que duró el estudio.

Un trabajo de Huesemann (1995) sobre la duración y los límites de la remediación de los HTP en diferentes suelos, mostró que el 90% de los alcanos y compuestos monocíclicos saturados, y que el 50-70% de los compuestos aromáticos (<C44) fueron degradados.

Salanitro *et al* (1997) señala que la efectividad de la biorremediación es dependiente sobre todo del tipo de hidrocarburo, poblaciones microbianas, y condiciones del tratamiento.

El estudio de Huesemann (1995) también mostró que los compuestos aromáticos y saturados con estructuras policíclicas fueron más resistentes a la remoción por biotratamiento en suelos.

Un factor importante respecto a la presencia de compuestos recalcitrantes del petróleo (compuestos que no son biodegradados) puede ser atribuida a la no biodisponibilidad de los mismos.

El tratamiento biológico de suelos contaminados involucra el uso de microorganismos para la degradación de los contaminantes orgánicos, a través de la actividad biológica que altera la estructura molecular del contaminante.

Previamente al proceso de biorremediación se determina la concentración de HTP del residuo a tratar. Luego el material es tratado por medio de mezclado mecánico continuo, hasta su recuperación.

Los procesos biológicos de degradación de hidrocarburos del petróleo, requieren el aporte de macroelementos como son el nitrógeno y fósforo, los cuales actúan como nutrientes de los microbios actuantes. Los mismos son incorporados en forma de fertilizantes de uso agrícola. Las sales usualmente utilizadas y agregadas a los suelos son las siguientes:

- Fosfato diamónico, para el aporte de nitrógeno y fósforo.
- Urea para el aporte de nitrógeno.

La masa incorporada de nutrientes se determina a partir de la concertación inicial de residuos sólidos y semisólidos a tratar.

El proceso de biorremediación requiere el control de los niveles de nitrógeno, como así también de los niveles de fósforo y de hidrocarburos totales del petróleo. Debido a que es un proceso en el que se involucran microorganismos, el número de microbios también es un factor a tener en cuenta.

Mc Millen *et al* (2001) publicó sus estudios sobre la biodegradabilidad de 70 petróleos de diferentes partes del mundo. Su trabajo indica una correlación entre la degradación de hidrocarburos y la graduación API de cada petróleo crudo. Los petróleos con grados API >30 son fácilmente biodegradados, mientras que los que poseen una graduación <20 serán lentamente degradados.

El valor guía de HTP en suelos del 1% P/P parece estar fundado en las más recientes investigaciones sobre biodegradación de los hidrocarburos del petróleo.

Si bien en algunas situaciones resulte aplicable alcanzar niveles más bajos al 1% de HTP en suelos, puede resultar difícil en otras, debido sobre todo a la presencia de hidrocarburos intemperizados y/o recalcitrantes.

Dentro de los combustibles que se manejan en las estaciones de servicios, desde el punto de vista de contaminantes de suelos son de especial interés los cortes no volátiles de las gasolinas y el petróleo diesel ya que por el tamaño de las moléculas que los constituyen son favorecidos para la migración a través de los poros que presenta el suelo limeño.

En menor proporción están los residuos de aceites usados provenientes de los servicios de cambio de aceites ya que la contaminación de estos tiene poca difusión y es bastante localizada.

La gasolina y el diesel contienen compuestos orgánicos volátiles (VOCs en inglés), tales como butano, pentano, benceno, tolueno, y xileno.

No solo las contaminaciones se producen por roturas de los sistemas de almacenaje o de transporte, sino que el mal manejo del producto puede provocar impactos negativos en la ecología regional, como por ejemplo derrames desde oleoductos en mal estado, mal funcionamiento de válvulas, etc.

El petróleo en el suelo, que pasa a considerarse como un contaminante, se convierte en un riesgo para la salud humana y el ecosistema. En algunos casos, la contaminación no solo provoca problemas de toxicidad, sino que además puede ocasionar grandes riesgos de accidentes (explosiones) debido a las acumulaciones de gases en el suelo.

3.2 Descripción física y geológica de suelos

3.2.1 Descripción física:

El suelo es un medio multifásico, de composición variable en el espacio y el tiempo, al que afectan fenómenos físicos, químicos, biológicos y climáticos por una parte y por otra la acción del hombre a través de la contaminación.

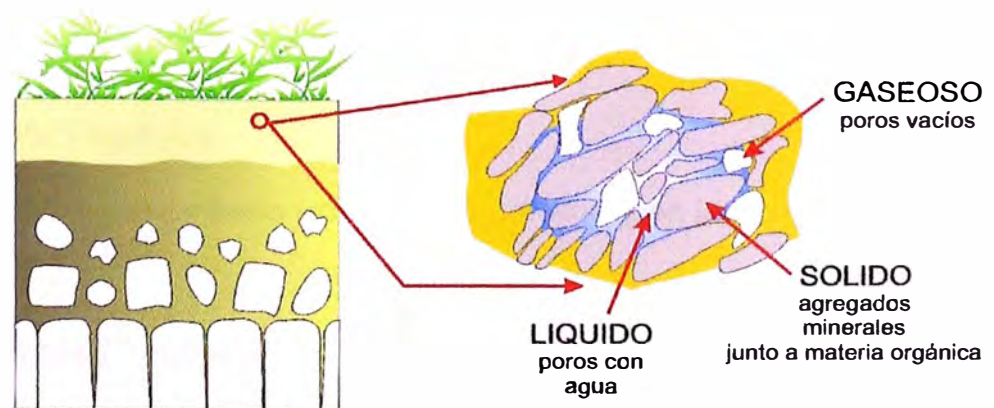
El suelo esta compuesto por tres fases: la fase sólida, compuesta a su vez por la fracción mineral y la orgánica; la fase líquida; y la fase gaseosa, que ocupa el espacio que la fase líquida deja libre en la porosidad presente en el suelo.

En un promedio general la materia orgánica constituye un 5% del suelo, el agua 25%, el aire 25% mientras que la fracción mineral esta representada en un porcentaje del 45%.



Composición porcentual de las fases del suelo.

Como consecuencia de estas tres fases, el suelo presenta determinadas propiedades que dependen de la composición y constitución de sus componentes. La fase líquida constituye el medio ideal que facilita la reacción entre las tres fases, pero también se producen reacciones dentro de cada fase.



Fases del suelo.

a. La fase sólida

Los minerales constituyen la base del armazón sólido que soporta al suelo. Cuantitativamente en un suelo normal la fracción mineral representa de un 45-49% del volumen del suelo. Pero dentro de la fase sólida constituyen, para un suelo representativo, del orden del 90-99% (el 10-1% restante corresponde a la materia orgánica). La fase sólida representa la fase más estable del suelo y por tanto es la más representativa y la más ampliamente estudiada. Es una fase muy heterogénea, formada por constituyentes inorgánico y orgánico.

Los suelos se forman a partir de una serie de interacciones entre la roca madre, cuyo papel es estático pero que sufre transformaciones provocadas básicamente por factores exógenos, el agua en sus diferentes estados, el aire, los seres vivos y la acción del hombre, si éste participa con sus actuaciones (por ejemplo a través de la contaminación). Así pues, la formación de los suelos se puede expresar en muchos casos con la ecuación de Jenny, a la que hemos añadido el factor humano, pues en el caso que nos afecta (contaminación por hidrocarburos), su incidencia es crucial:

$$S = f (R, C, B, t, p, h)$$

Donde: S= suelo;
R= Roca madre;
C= Clima;
B= Biología;
t= Tiempo;
p= Pendiente;
h= Acciones del hombre, en el caso de que existan.

La Fracción Mineral

El grupo más importante de los minerales del suelo es el de los silicatos

La fracción Orgánica

La materia orgánica tiene una gran importancia en la génesis y fertilidad del suelo

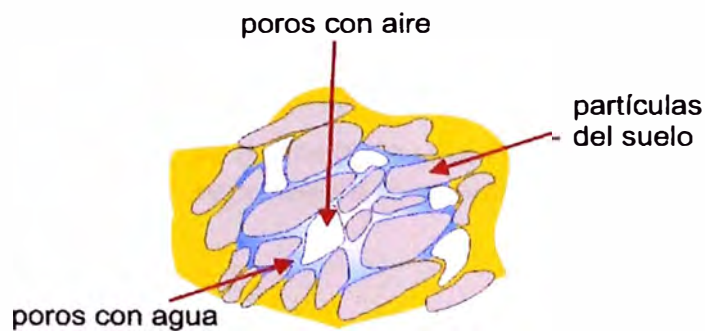
b. La fase líquida

Se caracteriza por su variabilidad en el espacio y por el tiempo, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo. Esta variabilidad esta condicionada por las propiedades específicas de esa fase líquida,

por las características de los espacios en que se encuentra y por las propiedades del suelo que la sustenta.

La dinámica general del agua en el suelo, esta relacionada con el exterior en lo que se refiere a los aportes, como son las fuentes, la lluvia o la infiltración, y en lo que se refiere a las pérdidas, como son la evaporación o la alimentación de las aguas subterráneas (acuíferos y corrientes). Ambos intercambios constituyen el balance hídrico, que tiene como reflejo por una parte el sistema suelo-vegetación-atmósfera-suelo, y por otra la gestión natural, que comprende, entre otras cosas, el almacenamiento o retención en el suelo, indispensable para las plantas y para la hidrológica, y el suministro de líquido a los acuíferos.

La fase líquida circula a través del espacio poroso, quedando retenida en los poros del suelo; esta en constante competencia con la fase gaseosa. Los cambios climáticos estacionales, y concretamente las precipitaciones atmosféricas, hacen variar los porcentajes de cada fase en cada momento.



Espacio poroso por donde circula la fase líquida en el suelo.

c. La fase gaseosa

Es la mezcla de gases que ocupa los espacios que la fase líquida deja libres en la porosidad de suelo. Debido a sus características intrínsecas como fluido, la fase gaseosa presenta una marcada similitud con la fase líquida del suelo, sobre todo en lo que se refiere a su dinámica, aunque tiene algunas diferencias con respecto a ésta.

La atmósfera del suelo esta condicionada por la dinámica de los procesos biológicos que se producen en relación a ella, y que están determinados por el consumo de oxígeno y por la producción de CO₂ que realizan los microorganismos y las plantas durante sus procesos de oxidación.

Los distintos procesos biológicos que se producen en el suelo hacen que la fase gaseosa se encuentre sometida a constantes variaciones en su composición. A consecuencia del incremento en la proporción de determinados gases, paralelo al descenso de las proporciones de otros, se produce un desequilibrio entre la composición de la atmósfera del suelo y la del exterior, ambas en contacto directo, compensado por una serie de intercambios entre una y otra que permiten una homogeneización de la composición, y cuya función última es permitir asegurar la vida de los organismos del suelo.

d. Propiedades físicas y físico- químicas del suelo

Textura

El suelo está constituido por partículas de muy diferente tamaño. Conocer esta granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. Para clasificar a los constituyentes del suelo según su tamaño de partícula se han establecido muchas clasificaciones granulométricas. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase.

Los términos texturales se definen de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones.



Importancia de la granulometría en la contaminación de suelos

Las arenas son muy inertes mientras que las arcillas tienen un alto poder de amortiguación, pueden fijar y transformar a los contaminantes y presenta por tanto una alta capacidad de auto depuración.

3.2.2 Descripción Geológica:

Lima Metropolitana está asentada sobre las terrazas y llanuras de las cuencas de los ríos Chillón, Rimac y Lurín, estas terrazas aluvionales son producto de los acarreo de material de estos ríos, los que depositaron en su cauce cantos rodados, arenas y arcillas formando un potente apilamiento cuyo grosor completo es desconocido.

Hacia la zona sur estos depósitos son cubiertos con depósitos de arenas, producidos por el acarreo eólico, característicos de las zonas de San Juan de Miraflores y Villa El Salvador.

La llanura aluvial del río Lurín continúa hacia el sur con una planicie costanera más angosta, frente a Punta Hermosa, San Bartolo y Chilca es rellenado por los materiales acumulados por las quebradas que discurren directamente al mar, teniendo una cobertura de arena eólica.

A causa de la actividad humana, se desarrollaron tierras de cultivo en las cuencas de los ríos de Lima, lo que produjo suelos ricos en materias orgánicas y arcillas.

Según el desarrollo urbano de la ciudad las antiguas áreas agrícolas fueron empleándose para la construcción de viviendas. Posteriormente de acuerdo a las necesidades de construcción, en algunos sitios se emplearon rellenos por desmonte y hasta basura.

Aunque puede tomarse como una descripción general, se puede decir que el suelo de Lima Metropolitana es muy heterogéneo reuntando difícil un clasificación general. Esta heterogeneidad resulta, para los casos de migración de hidrocarburos en suelos un fenómeno diferente para cada estación e inclusive en diferentes puntos dentro de una estación de servicios. Debiéndose hacer una revisión histórica de los usos anteriores que estas tenían.

Pero la generalidad permite asumir que tenemos suelos aluvionales, que constan de cantos rodados, arenas eólicas y de acarreo de río y arcillas en diversas proporciones.

3.3 Estaciones de servicio.

La estrategia de manejo más efectiva para minimizar los impactos ambientales de cualquier operación industrial consiste en establecer

adecuadamente la ubicación y diseño de las instalaciones antes de su construcción con el fin de asegurar que los riesgos para el medio ambiente sean mínimos.

Los lugares deberán ser seleccionados no sólo por su potencial comercial, sino también es importante asegurar que su ubicación no corresponda a una zona extremadamente sensible, o a un área que sea susceptible a impactos. Las implicancias ambientales deberán también ser consideradas durante la fase de construcción. Esto es especialmente crítico en el caso de construcción e instalación de tanques de almacenamiento superficiales y subterráneos, así como la correspondiente instalación de tubería.

Muchos problemas asociados con fugas en los tanques y la consecuente contaminación del lugar están directamente relacionados con técnicas de instalación deficientes, o con el uso de equipo que no satisface el estándar requerido.

Una vez que se han construido las instalaciones, su modificación puede ser costosa en caso que se presentaran problemas. Por lo tanto es vital que el diseño y la construcción de una instalación consideren todos los parámetros posibles y los problemas potenciales antes de su construcción.

- Las instalaciones no deberán estar ubicadas en áreas ambientalmente susceptibles, especialmente, en el caso de los tanques enterrados. Las áreas que deben evitarse incluyen:
 - Áreas próximas a lagos, ríos u otras aguas superficiales,
 - áreas susceptibles de inundaciones,
 - áreas con altos niveles freáticos,
 - áreas críticas para la vida silvestre o vegetación poco común.
- Evitar la selección de lugares en áreas donde emisiones de gas o derrames potenciales podrían afectar la salud y la seguridad del ser humano. Estas áreas incluyen colegios, hospitales, o áreas en donde comúnmente se utilizan pozos de agua.
- Elegir un lugar que no requiera modificación significativa del relieve local del terreno. Evitar los cortes (o tajos) y rellenos que podrían causar erosión, hundimientos, deslizamientos u otro daño ambiental y estético.
- Considerar los patrones de drenaje natural con el fin de reducir el número de zanjas de drenaje o alcantarillas requeridas.
- Determinar si las condiciones del subsuelo permiten sostener adecuadamente el peso de la construcción de edificaciones, tanques y bombas.
- Evitar la utilización de lugares que puedan ser susceptibles de impactos ocasionados por vehículos, tales como la base de un cerro (carretera) o en una curva de alta velocidad de una carretera.

Consultar con los propietarios de tierras del lugar, negocios y residentes antes de ejecutar un proyecto.

Las estaciones de servicios, sus permisos y las normas que deben seguirse para su construcción están determinadas por reglamentos del

Ministerio de Transportes Comunicaciones, Vivienda y Construcción. En ellas se determina detalles de construcción; distancias respecto al entorno, tamaño del terreno en relación a los radios de giro de potenciales clientes; ya sean estos vehículos de carga o vehículos ligeros, así también hay gran precisión respecto a las ubicaciones de los elementos interiores de la estación como distancias entre isletas de abastecimiento, dimensiones de vías de ingreso y salida de vehículos, ángulos respecto a la o las vías que circundan la propiedad además de la forma como debe armonizar los diseños de la estación de servicio con el entorno urbano; veredas, retiros, etc. De igual forma se reglamenta el material que debe emplearse en la construcción de las estaciones de servicios.

Lo que respecta a los tanques de almacenaje; la norma exige que debe ser de fibra de vidrio o plancha de fierro en espesores indicados por los cálculos pero en ningún caso el espesor de la plancha debe ser inferior a 3/16", las conexiones deben hacerse por la parte superior del tanque y deben contar con tapas herméticas, incluyendo aquellas que sirven para la medición del contenido del tanque. La conexión de llenado debe extenderse hasta llegar a 15 cm. del fondo. Todo tanque deberá llevar una placa de identificación donde se consigne el fabricante del tanque, fecha de fabricación y la presión de prueba a la que fue sometido. Esta placa deberá instalarse en una parte visible para posterior control una vez que haya sido enterrado.

Para el caso de la instalación del tanque, este deberá enterrarse y protegerse para resistir los sistemas de carga exteriores a que puedan estar sometidos. En ningún caso la protección será menor a una cubierta de 0.45 metros de material estabilizado y compactado, hacia la superficie del suelo o pavimento.

Los tanques no deben ser enterrados bajo edificios o vías públicas, si el tanque es enterrado a una profundidad igual o superior a su diámetro, deberá verificarse la necesidad de reforzar el tanque.

Los tanques deberán apoyarse uniformemente sobre una capa de espesor mínimo de 15 cm. de material inerte no corrosivo y que no dañe la capa protectora del tanque.

Si el nivel freático está a menos de 4 metros de la superficie del terreno los tanques se colocarán en estructuras de concreto armado o de albañilería debidamente impermeabilizados. Estas estructuras pueden contener más de un tanque. En caso de que el nivel freático sea mayor; no serán necesarias estas estructuras.

Protección de los tanques; los tanques deben ser protegidos contra la corrosión, este tipo de protección debe ser consecuente al tipo de suelo que será expuesto. Se recomienda pinturas en base a asfalto en un espesor mínimo de 3 mm. La excavación en que se deposite el tanque debe quedar aislada de elementos del terreno que puedan producir corrosión en el tanque como azufre o sales.

Los tanques serán evaluados hidráulicamente en el terreno, en la fosa y antes de ser cubiertos con el material de relleno a una presión mínima de 69 KPa durante una hora para poder detectar posibles filtraciones.

Lo que respecta al venteo y las líneas de venteo de los tanques. Cada tanque estará dotado de una tubería reventilación o de venteo. La capacidad de los sistemas de venteo de los tanques deberá calcularse y los sistemas construidos deben diseñarse para que nunca se produzcan presiones superiores a 17 KPa. Las líneas de venteo deben ser independientes para cada tanque, en ningún caso debe interconectarse líneas diferentes. Para el caso de gasolinas, el sistema debe permanecer cerrado cuando el tanque no está en operación asegurándose que las presiones que se llegarán a producir no lleguen a exceder los parámetros de diseño.

La descarga de las tuberías de venteo se colocarán en áreas abiertas a no menos de 3 m. de edificios, estructuras o adyacentes del terreno donde puedan acumularse vapores. Los extremos de los tubos de ventilación descargarán los vapores hacia arriba u horizontalmente pero nunca hacia abajo. Se debe tener especial cuidado de no acercar las ventilaciones a las aberturas, patio, pozos de aire y luz, etc de las construcciones vecinas. En el caso de contarse con sistemas de recuperación de vapor estos equipos debe permitir el libre flujo de gases sin que las presiones manométricas superen los 17 KPa.

Deberán efectuarse mediciones diarias de los volúmenes que existan cada tanque para verificar posibles pérdidas, los resultados deberán consignarse en un libro que deberá quedar a disposición de la Autoridad Competente cuando esta lo requiera.

a. Normas y reglas de seguridad:

De las muchas normas de seguridad de las estaciones de servicio se ha considerado las relacionadas a prevención y procedimientos a ejecutar en casos de derrames además de actividades que pudieran relacionarse de una u otra forma a posibles casos de contaminación de suelos por derrame.

b. Diseño de las Instalaciones

- Utilizar barreras protectoras y sardineles para proteger de impactos de vehículos todo equipo crítico, tales como bombas y tanques, así como los puntos de carga y descarga.
- Considerar únicamente, los mejores materiales y tecnologías disponibles en el diseño de las instalaciones.
- Incorporar medidas específicas de protección ambiental en el diseño de las instalaciones, tales como muros de contención de derrames en todos los puntos de probable fuga, recuperación de vapor o líneas de balance y venteos presión/vacío en tanques, contención secundaria y sistemas de detección de fugas.
- Asegurar que las instalaciones estén diseñadas apropiadamente, antes de iniciar la construcción.

c. Construcción de las Instalaciones

- Cualquier desecho generado durante la construcción deberá ser dispuesto fuera del lugar de manera apropiada. Esto es especialmente importante para algunos desechos líquidos tales como aceites lubricantes o fluido hidráulico para maquinaria.
- Cualquier derrame de combustible u otra contaminación durante la construcción de las instalaciones deberá ser limpiado de inmediato.

d. Red de cañerías y boca de tanques.

Todas las tuberías de llenado y despacho o ventilación estarán instaladas de manera que queden protegidas contra desperfectos y accidentes. Donde estén soterradas las tuberías deberán estar a una profundidad mínima de 40 centímetros por debajo de la superficie del terreno y deberán ser debidamente protegidas contra la corrosión, antes de ser cubiertas deberán ser probadas con una presión no menos de 3 libras por pulgada cuadrada para las tuberías de recuperación y venteo, y de 60 lbs/pulg² para las de despacho durante 30 minutos.

En la instalación de la boca de llenados de los tanques debe cumplirse que:

Estarán dotadas de tapas herméticas diferenciadas para cada producto.

Estarán por lo menos a un metro de cualquier puerta o abertura del establecimiento.

Se ubicarán de manera que los edificios y propiedades vecinas queden protegidos de cualquier derrame de combustible.

Estarán ubicados dentro del patio de maniobras de la estación de servicios de tal modo que permitan la descarga del camión tanque sin invadir la vía pública ni entorpecer el normal funcionamiento del establecimiento.

e. Seguridad de la limpieza en las fosas de lubricación.

Por ningún motivo debe usarse gasolina para limpieza dentro de las fosas de lubricación.

f. Derrame de combustibles, acciones a tomar.

En caso de ocurrir un derrame de combustible deberá interrumpirse el tránsito interno y proceder al secado inmediato para permitir que el conductor ponga en marcha su vehículo. Los trapos empapados con combustible que se usen para secar el derrame deben depositarse en un recipiente de metal con tapa. Es obligatorio contar con cilindros y/o baldes llenos de arena.

g. Principales impactos ambientales en grifos:

- Volatilidad de gasolinas o derrames que generan emisiones de gases tóxicos dañinos para la salud y medio ambiente.

- Preocupación del vecindario inmediato ante la posibilidad de incendio, explosión y desconocimiento de de la población de las medidas de seguridad existente.
- Generación de residuos industriales consistentes en material contaminado con hidrocarburos, en algunos casos de difícil disposición final apropiada.
- Generación de aceites usados contaminantes.
- Generación de efluentes líquidos con residuos aceitosos que forma parte del desagüe del grifo.
- Pérdida del valor de la propiedad contigua al grifo.

h. Abandono:

Si por alguna circunstancia se abandonase definitivamente el uso de los tanques de combustible, el dueño puede proceder de alguno de los dos modos; lo retirará del suelo, o como alternativa puede ser llenado de laguna sustancia inerte como arena debiendo comunicarse a la Dirección General de Hidrocarburos o Dirección Regional de Energía y Minas, según corresponda.

3.4 Marco Legal y Técnico.

Principios de derecho ambiental:

- Prevención.
- Contaminador Pagador.
- Solidaridad.
- Participación en la información.
- Introducción de la Variable Ambiental en la Toma de Decisiones.

Con el esbozo del principio rector en la materia, quien contamina paga, se comienza a considerar la obligación, para quien realice un daño por contaminación al medio ambiente, de repararlo. Este principio corre el riesgo de ser mal interpretado, si se entiende quien pague tiene derecho a contaminar.

Código del medio ambiente y los recursos naturales:

Derecho a gozar de un Ambiente Saludable y equilibrado.

Participación ciudadana:

Toda persona tiene derecho a participar en la definición de las políticas y en la adopción de medidas de carácter nacional y local relativas al medio ambiente.

Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos (DS N° 046-93 EM)

Artículo 10° Previo al inicio de cualquier actividad de hidrocarburos o ampliación de las mismas, le responsable del proyecto presentará ante una autoridad competente un Estudio de Impacto Ambiental.

Contenido del E.I.A.

- Estudio de Línea Base.
- Descripción del proyecto.
- Descripción de los impactos ambientales.
- Plan de Manejo Ambiental.
- Plan de Contingencias.
- Plan de abandono del área.

Medidas de seguridad en grifos y estaciones de servicios. D.S. N° 054-93-EM. D.S.N° 020-2001-EM.

- Cables eléctricos.
- Tanques de almacenamiento
- Tanques superficiales.
- Instalaciones eléctricas.
- Venteos.
- Extintores, Puestas a Tierra, Pulsador de emergencia.
- Panel de precios.
- Diseños de accesos.
- Accesos no delimitados.
- Sardineles de seguridad.
- Instalaciones eléctricas.
- Detectores de fuga.
- Placas de identificación de tanques.
- Sellos antiexplosivos.
- Válvulas de impacto.
- Sistemas de recuperación de vapores.

Marco Legal

Las obligaciones ambientales para la industria de Hidrocarburos están reguladas en un conjunto de Leyes y Reglamentos, dentro de las principales tenemos:

- a) El Decreto Ley N° 17752 Ley General de Aguas.
- b) Ley Orgánica N° 26221 (20 - 08 – 93).
- c) Ley N° 28611 (13 –10 – 05) Ley General del Ambiente
- d) Decreto Supremo N° 046-93-EM (12–11–93).
- e) Decreto Supremo N° 052-93-EM (20-11-93).
- f) Decreto Supremo N° 054-93-EM (20-11-93).
- g) Decreto Supremo N° 030-98-EM (03-08-98).
- h) Decreto Supremo N° 01-94-EM.
- i) Decreto Supremo 027-94-EM.
- j) Decreto Supremo N° 019-97-EM (05-09-97), Reglamento de Establecimientos de Gas Licuado de Petróleo para uso automotor – Gasocentros.
- k) Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.
- l) Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, Reglamento de la Ley N° 27314 – Ley de Residuos Sólidos.

- m) Resolución Ministerial N° 596-2002-EM/DM, Reglamento de Participación Ciudadana para la presentación del EIA.
- n) Resolución Ministerial N° 535-2005-PCM, Reglamento de Participación Ciudadana.
- o) Decreto Supremo N° 042-2005-EM, Texto Único Ordenado de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.
- p) Decreto Supremo N° 045-2005-EM, Modificación de Diversas Normas de los Reglamentos de Comercialización del Subsector de Hidrocarburos y del Glosario, Siglas y Abreviaturas del Subsector Hidrocarburos.
- q) Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente.

CAPÍTULO 4 Contaminación de suelos en estaciones de servicios.

4.1 Causas.

Se ha hecho un recuento de las causas de la contaminación de suelos en las estaciones de servicios, siendo básicamente debido a la corrosión de las estructuras y del material de que están hechos los tanques y las tuberías de conducción, esta corrosión tiene diversos orígenes, pudiendo en mayor de los casos deberse a presencia de sustancias corrosivas inherentes al suelo.

Otra de las causas es la mala operación de las estaciones; descargas, sobre presiones, etc.

4.2 Consecuencias.

Los hidrocarburos, cualesquiera que sean, comienzan a experimentar transformaciones químicas en sus cadenas por los procesos de oxidación (oxigenación) y reducción (hidrogenación).

La Zona Óxica se divide en dos porciones: “contra” y “hacia” el gradiente hidráulico del nivel del agua. En la primera se produce Bióxido de Carbono como resultado de las actividades metabólicas de respiración de los microorganismos presentes, disolución de carbonatos y Aluminosilicatos; en la segunda porción aparece la precipitación de Carbonatos, Silicatos y Óxido de Hierro.

En la Zona Anóxica existe la disolución del cuarzo, movilización del Hierro y Manganeseo, así como el blanqueamiento por precipitación de carbonatos. Conforme viaja el hidrocarburo a través de una región desplaza el aire pero no el agua, dejando una contaminación residual por debajo del núcleo del derrame; el porcentaje del hidrocarburo que permanece inmóvil varía entre 7% y 20% dependiendo de la naturaleza química del medio.

Si la cantidad de hidrocarburo derramada en el suelo es menor a la requerida para llenar los espacios de los poros, juntas o fracturas interconectadas, entonces el compuesto nunca llegará al nivel estático permaneciendo como un volumen colgante arriba del techo del acuífero.

La degradación del suelo tiene importantes consecuencias, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Pérdida de elementos nutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg, etc.): de manera directa, bien al ser eliminados por las aguas que se infiltran en el suelo o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía, o de una forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos.
- Modificación de las propiedades fisico-químicas: acidificación, desbasificación y bloqueo de los oligoelementos que quedan en posición no disponible.

- Deterioro de la estructura. La compactación del suelo produce una disminución de la porosidad, que origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad, como consecuencia se produce un encostramiento superficial y por tanto aumenta la escorrentía.
- Disminución de la capacidad de retención de agua por degradación de la estructura o por pérdida de suelo. Esta consecuencia es especialmente importante para los suelos sometidos a escasas precipitaciones anuales, como es el caso de los suelos de la zona.
- Pérdida física de materiales: erosión selectiva (parcial, de los constituyentes más lábiles, como los limos) o masiva (pérdida de la capa superficial del suelo, o en los casos extremos de la totalidad del suelo).
- Incremento de la toxicidad. Al modificarse las propiedades del suelo se produce una liberación de sustancias nocivas.

En el agua, los hidrocarburos se esparcen rápidamente, debido a la existencia de una importante diferencia de densidades entre ambos líquidos, llegando a ocupar extensas áreas, y dificultando por lo tanto sus posibilidades de limpieza.

4.2.1 Capacidad de auto-depuración y propiedades del suelo

El suelo es un sistema abierto en el espacio y en el tiempo. Evoluciona transformándose hasta alcanzar el equilibrio con las condiciones ambientales y a partir de ese momento tiende a permanecer estable. El suelo puede considerarse como un sistema depurador porque es capaz de degradar o inmovilizar los contaminantes.

El poder de amortiguación de un suelo representa la capacidad que tiene un suelo de inactivar los efectos negativos de los contaminantes. Esta beneficiosa acción se puede ejercer por varios mecanismos: *Neutralización, Degradación biótica o abiótica, Adsorción, Complejización, Insolubilización.*

La capacidad depuradora depende fundamentalmente de determinadas características de los horizontes superficiales:

- La actividad microbiológica, que facilita la descomposición e inmovilización de los contaminantes.
- La arcilla y la materia orgánica que mediante reacciones fisicoquímicas adsorben a los contaminantes y permiten su inmovilización o liberación.
- La capacidad filtrante, que va a regular la facilidad de penetración de los contaminantes.

Estas acciones dependerán de determinadas propiedades del suelo que influyen en los mecanismos de auto depuración:

- *Textura*. Los suelos de textura arcillosa tienen una alta capacidad de auto depuración.
- *Estructura*. Los agentes contaminantes pueden provocar la destrucción de la estructura, por dispersión, si contienen altos contenidos en sodio.
- *Porosidad y permeabilidad*. Facilitan la circulación de los contaminantes en el suelo y pueden eliminar rápidamente los contaminantes y traspasarlos a los niveles freáticos.
- *Capacidad de intercambio iónico*. Aumenta la capacidad de auto depuración al fijar los contaminantes sobre la superficie de las partículas.
- *Salinidad*. Los contaminantes pueden aumentar la salinidad y como consecuencia disminuir la estabilidad del suelo.
- *pH*. Los contaminantes pueden acidificar el suelo, por vertidos o por oxidación de sulfuros y óxidos nitrosos, con lo que aumenta la vulnerabilidad del suelo.
- *Eh*. El ambiente oxidante aumenta el poder auto depurador al facilitar la actividad microbiana de descomposición.
- Los *gases del suelo* ejercen también un importante papel, proporcionando el suficiente oxígeno para la actividad microbiana.

De cualquier forma, por muy favorables que sean las características del suelo, es evidente que la capacidad depuradora no es ilimitada. El suelo no puede asimilar, inmovilizar, inactivar y degradar todos los contaminantes que recibe y por ello, en un determinado momento, cuando se superan determinados umbrales, puede transferir los contaminantes a otros medios e incorporarlos en las cadenas tróficas.

CAPITULO 5

Muestreo, metodología, pautas y Evaluación de contaminación de suelos en estaciones de servicios.

Los estudios para la evaluación de contaminación de suelos en estaciones de servicios se realizan por medio de los llamados Estudio Base Ambiental (EBA). Al no existir legislación nacional ni reglamentos aprobados, las empresas interesadas en este tipo de estudios basan sus estudios en normas ASTM. Para los casos vistos en el presente informe se emplearon las normas:

- ASTM E1527 – 05 STANDARD PRACTICE FOR ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENTS: PHASE I ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENT PROCESS.

- ASTM E1903 – 97 STANDARD GUIDE FOR ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENTS: PHASE II ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENT PROCESS.

“Prácticas Estándar para Evaluaciones de Estado Ambiental” y se define como “la presencia actual o probable de cualquier sustancia riesgosa o derivado del petróleo en una propiedad bajo condiciones que indiquen la presencia de una pérdida actual o pasada, o un riesgo actual de pérdida de cualquier sustancia peligrosa o derivado del petróleo hacia las estructuras de la propiedad o hacia el suelo, agua subsuperficial o superficial de la propiedad

5.1 Tipos de evaluaciones y su metodología.

Debido a que es imposible identificar todos los constituyentes de un derivado del petróleo, estos son frecuentemente descritos por sus rangos de puntos de ebullición. Debido a que las destilaciones no son capaces de producir distinciones definidas en los puntos de ebullición, es que hay superposición entre las fracciones destiladas. Los rangos de puntos de ebullición se correlacionan con el número de átomos de carbono, a mayor número de átomos de carbono, mayor punto de ebullición. Sin embargo, la estructura influiría también en los puntos de ebullición. Los compuestos aromáticos y ramificados del mismo número de carbonos difieren en los puntos de ebullición de su correspondiente análogo lineal. Por esta razón, los puntos de ebullición actualmente definen un rango aproximado de carbonos.

5.2 Secuencia de evaluaciones.

La secuencia de las operaciones, independiente de las técnicas a elegir siempre es:

- Evaluación de antecedentes.
- Perforación.
- Muestreo de suelos; inalterado y disturbado.
- Preparación y traslado a laboratorio de las muestras.

5.2.1 Evaluación de antecedentes

5.2.1.1 Inspección del sitio

a. DESCRIPCION DEL SITIO

- La descripción se basa en las observaciones de los supervisores.
- Se debe hacer la descripción de las facilidades de la estación de servicio como la tienda o “food mart”, el número de isletas de abastecimiento, la cantidad de tanques de almacenaje subterráneos, áreas de llantería, lavado de carros y cambio de aceite, con sus facilidades; equipos como compresoras elevadores neumáticos, bombas de agua, etc.
- Descripción del área pavimentada el material de que esta hecha y su estado, descripción de las isletas de abastecimiento.
- La ubicación exacta de los tanques subterráneos y la ubicación de la tubería enterrada.
- Debe reportarse algún dato histórico respecto derrames o roturas accidentales.

b. PROCESOS DEL SITIO

- Se hace recuentos históricos a cerca del inicio de las operaciones de sitio, si se recibieron reportes, multas o notificaciones respecto violaciones a códigos ambientales.
- Sinopsis de las principales actividades desarrolladas en la estación de servicio incluyendo procesos de manejos de efluentes.
- Reporte de las principales corrientes de desechos procedentes de las principales actividades de la EESS como aceites usados, sólidos, papeles, llantas usadas, sólidos decantados y material aceitoso decantado procedente de las limpiezas periódicas del separador agua aceite.
- Tomar especial cuidado en existencias de residuos como refrigerantes, baterías o desechos similares que pudiesen haber generado en el sitio.
- El sistema de disposición de desechos sólidos. Si se toma en cuenta las diferentes clases de desechos sólidos; los domésticos, industriales, contaminantes, orgánicos, si se hace la correcta disposición de ellos. Si antes de ser despachados son dispuestos en cilindros metálicos y si estos se encuentran en buenas ubicaciones y en buenas condiciones.
- Descripción de los sistemas colectores de efluentes líquidos incluyendo sanitarios, colectores de lluvias, contenedores de derrames, del área mecánica y sistemas de drenaje del lavado de carros; si se hace separaciones agua-aceite de los efluentes de agua de desecho que lo necesiten antes de ser enviados al sistema de alcantarillado público.

- Evaluar si en las áreas adyacentes a las islas dispensadoras se tiene canaletas que pudieran contener derrames, donde se dirigirían estos derrames.
- Final ente debe reportarse el estado del separador agua-aceite; tiempo desde su ultimo mantenimiento y estado actual.

c. PROPIEDADES VECINAS

- Descripción general de la vecindad teniendo en cuenta la presencia de potenciales fuentes de hidrocarburos fuera del sitio 200 m. a la redonda.

d. RECEPTORES SENSITIVOS POTENCIALES

- Se trata de inferir potenciales áreas o propiedades que serian afectada por contaminación originada en la estación de servicios hace consultas respecto a la existencia de pozos de agua en áreas circundantes a la EESS o áreas de reservas naturales en un radio de 500 m.

e. MARCO DELTRABAJO DE CAMPO DE EVALUACION GAS-SÓLIDO

La documentación requerida para el marco de los trabajos de campo de evaluación gas en los suelos incluye:

- Revisión de Formularios de seguridad,
- Permisos diarios de trabajo,
- Revisión de formularios para autorización de perforaciones.
- Hojas de calibración de equipos de medición.

Las actividades de campo para la evaluación de gases confinados en el suelo consisten en los siguientes puntos.

5.2.1.2 Evaluación de gases confinados en el suelo

Posterior al reconocimiento del sitio, se lleva a cabo la evaluación de vapores de hidrocarburos ocluidos en el suelo. El propósito es una investigación sub-superficial para la investigación de las condiciones ambientales del suelo bajo las instalaciones de la estación de servicios.

Determinación del número de perforaciones, indicando su profundidad.

Perforación de los puntos seleccionados a las profundidades programadas.

Medición de las concentraciones de gases ocluidos en el suelo.

Medición de la concentración de gases ocluidos en los pozos de monitoreo, donde estos existan.

5.2.1.3 Perforaciones

Las ubicaciones de las perforaciones deben indicarse en los planos de la estación deservicio. Su selección se hace buscando determinar las

concentraciones de gas en el suelo en la inmediata vecindad de potenciales fuentes de hidrocarburos, como tanques enterrados, tuberías enterradas, sistemas de drenaje y áreas previamente señaladas como receptores potencialmente sensibles. Es recomendable, en el informe, especificar la razón de selección de cada punto a perforar.

Debe hacerse un registro geológico de las estructuras que se perforan como parte de la descripción del suelo subyacente.

5.2.1.4 Mediciones de vapores ocluidos

Las muestras de vapores ocluidos en el suelo recolectadas a las diferentes profundidades de las perforaciones propuestas por medio de un tubo de teflón que es parte de equipo PID y esta conectado al punto del sensor del PID por medio de una manguera, se aplica una succión de gases mediante una bomba manual para purgar un volumen requerido para obtener condiciones de muestreo óptimas las que se dan cuando las concentraciones de vapores orgánicos son estables.

Se efectúan tres medidas por cada profundidad reservándose la más alta para el reporte, lo que se informa en una tabla. Es recomendable que todo el equipo de perforación sea descontaminado mediante un lavado de un jabón industrial no fosfatado y agua para evitar una posible contaminación. Cuando las condiciones del suelo no permiten el avance de la perforación se usa un cobertor plástico y por medio de la sección del equipo se recolecta los gases existentes.

Se busca ubicaciones donde las concentraciones de vapor superen los 10 ppm

5.2.1.5 Taponeo y abandono de taladros

Las perforaciones que han sido evaluadas deben ser cementadas y dejadas con mezcla de cemento. El concreto debe rellenarse hasta el nivel de la carpeta de la estación de servicios.

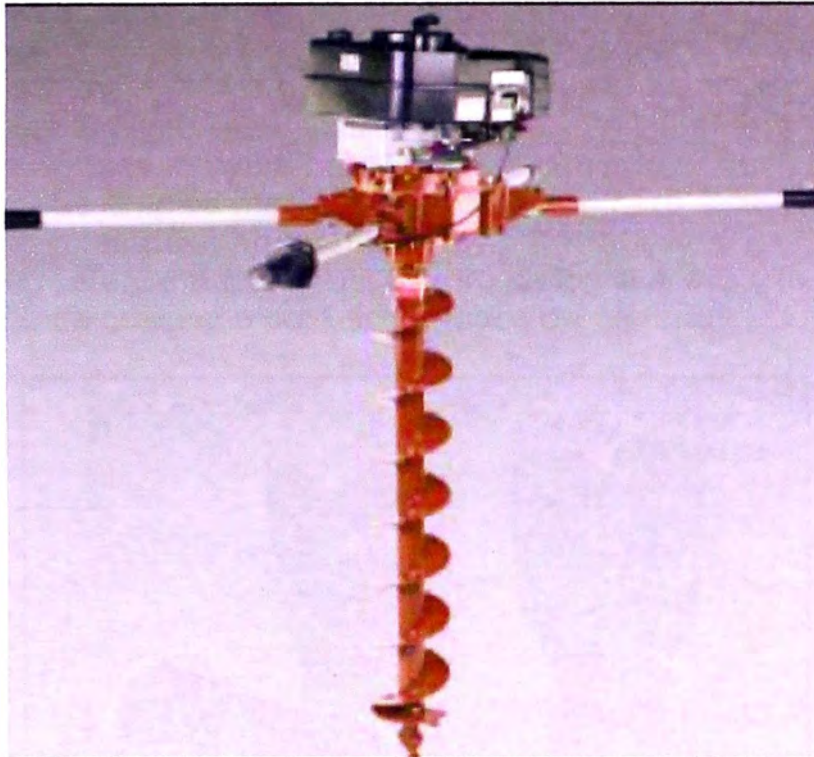
5.2.2 Métodos de perforación de suelos:

Solid Flight Augers (Barrenas helicoidales sólidas)

- Alcance de 10 metros
- Debe removerse la mecha de perforación para muestrear el suelo.
- La barrena de perforación es de tipo “dedos” (finger) o tipo “cola de pez” (fish tail).
- Los detritos de perforación deben recogerse del la boca del pozo.



Mechas para barrenas helicoidales



Barrena helicoidal

Hollow Stem Augers (Barrenas espirales huecas)

- Permiten el muestreo sin retirar la mecha de perforación.
- Actúa como revestimiento para estabilización temporal del taladro.
- Limitados a una profundidad menor a los 30 metros.
- No es aplicable en arenas, limos ni formaciones bajo el nivel freático.



Espirales huecas

Rotary Wash boring (Perforación con lavado rotatorio)

- Es una de las mejores técnicas para perforación de estructuras bajo nivel freático.
- Puede lograrse más de 100 metros de profundidad.
- Se emplea mechas de excavación para arcillas y mechas rotatorias para arenas.
- La estabilización del taladro se logra por medio de instalación de casing o por uso de lodos de perforación.



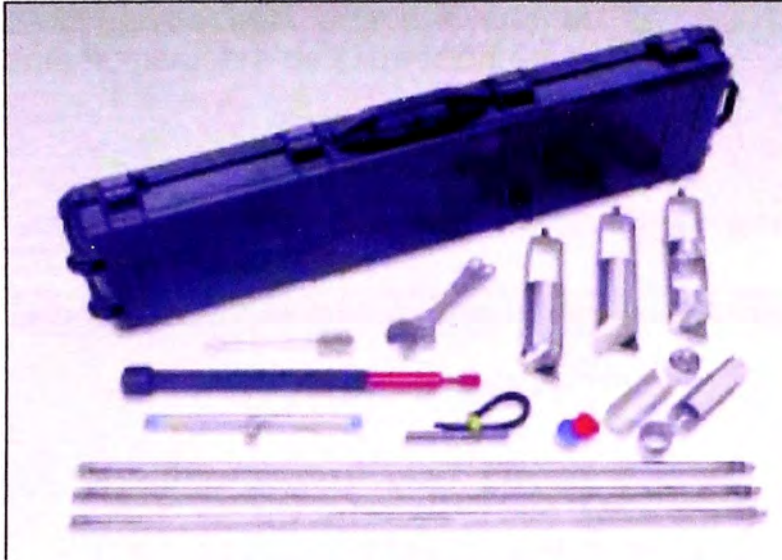
Variedad de mechas para wash boring

Bucket Auger Borings (Perforaciones con espirales con balde)

- Puede usarse para obtener muestras inalteradas largas.
- Buenas para suelos gravosos y con cantos rodados

Otros métodos físicos de exploración.

- Métodos de barrenas manuales (Manual hand auger methods)
- Barrenas motorizadas manuales (Hand operated power augers).
- Pozos de monitoreos o Calicatas excavadas con retroexcavadoras.



Juego de Barrenas Manuales de Acero Inoxidable



Barrenas Tipo Estándar

5.2.3 Métodos de muestreo de suelos.

5.2.3.1 Muestreos alterados

Muestreos en “bruto” (bulk simples) de los cortes de las barrenas helicoidales o de excavaciones de pozos de monitoreos tipo “calicatas”. Brindan datos útiles para diseños de ingeniería civil.

Muestreos dirigidos (drive samples)

Son los que se obtienen por medio de tubos partidos. Muestreos muy usados para investigaciones geotécnicas. Se aplica la norma ASTM 1586. Longitud máxima de muestra es de 457 a 610 mm.

Es un tubo bipartido de uso general que puede ser utilizado tanto en sondeos geotécnicos como medioambientales. Frecuentemente es utilizado para determinar la resistencia del suelo como se requiere en el ensayo SPT. Está diseñado para tomar muestras del terreno en el fondo de sondeos limpios mediante el golpeo de una maza. La medida normalizada del tomamuestras es de 623 mm facilitando una muestra de 559 mm. La cabeza del conjunto esta provista de una válvula de bola que previene de la pérdida de la muestra durante la maniobra de extracción del sondeo.



Muestreador de cuchara partida



Muestra típica del muestreador de cuchara partida



Ensayo de percusión en el campo

5.2.3.2 Parcialmente alterados

Muestras logradas con muestreo de empuje hidráulico continuo.

5.2.3.3 Muestreos inalterados.

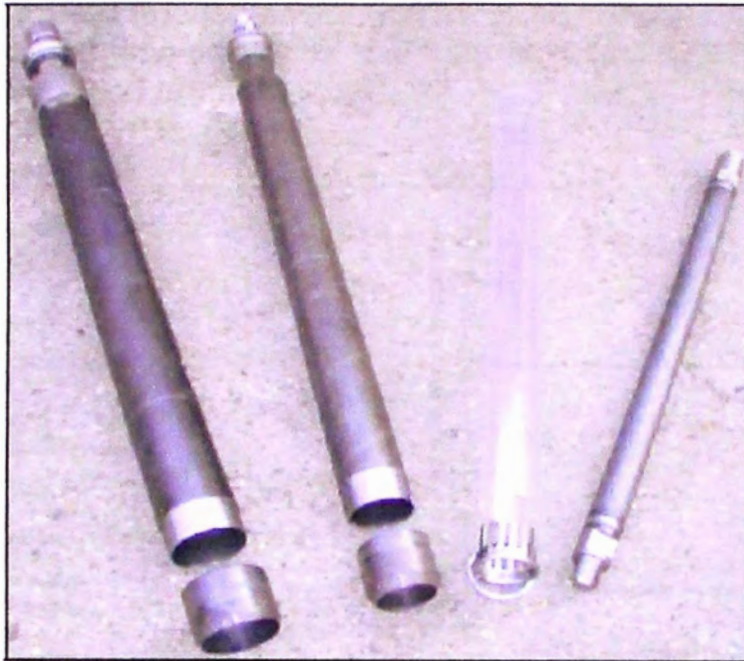
Para la toma de muestras, el tomamuestras inalteradas es introducido en la formación por medio de un martillo eléctrico, neumático o hidráulico. Se utiliza varillaje de extensión para alcanzar la profundidad deseada. Cuando se saca el tomamuestras, a través de las ventanas, puede realizarse un perfil y/o tomar una muestra del interior del tubo. Los tomamuestras de ventana tienen un tratamiento para el endurecimiento de la superficie y las zapatas pueden ser remplazadas. El varillaje extensible, suministrado en longitudes de 1 metro, tiene un diámetro de 32 mm y llevan rosca macho tipo sogá en ambos extremos. Se conectan mediante manguitos.

Tubos con presión de empuje

Aquí tenemos a tubos shellby, muestreos a pistón, laval, sherbrook.

El tubo tomamuestras Shelby es un sistema de muestreo "in situ" diseñado para obtener muestras prácticamente inalteradas en suelos y arcillas. La cabeza tiene una rosca de conexión hembra en un extremo e incorpora una válvula de bola para control de vacío. El tubo de pared delgada se une a la cabeza por medio de tres tornillos. La cabeza lleva mecanizado un escalón para que el tubo asiente firmemente sobre el mismo, a fin de asegurar el buen asiento del tubo, de forma que la fuerza de empuje sea aplicada de

forma uniforme. El tomamuestras debe ser hincado en la formación mediante la aplicación de una fuerza constante hasta llenarlo o alcanzar el punto de rechazo. El tubo debe ser desconectado de la cabeza y colocadas tapas en sus extremos para los posteriores ensayos.



Tomamuestras de Pared Delgada Shelby



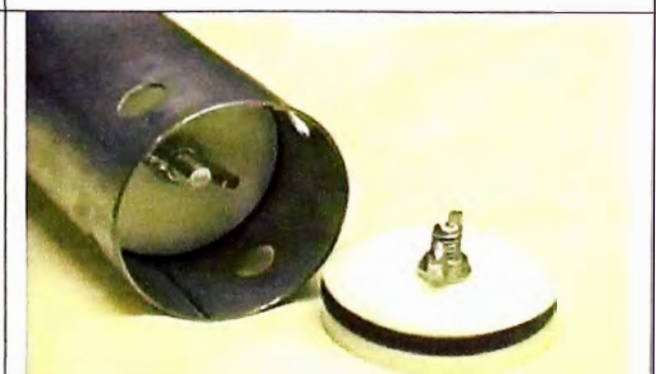
Tubos Shelby



Filo cortante de tubo shellby



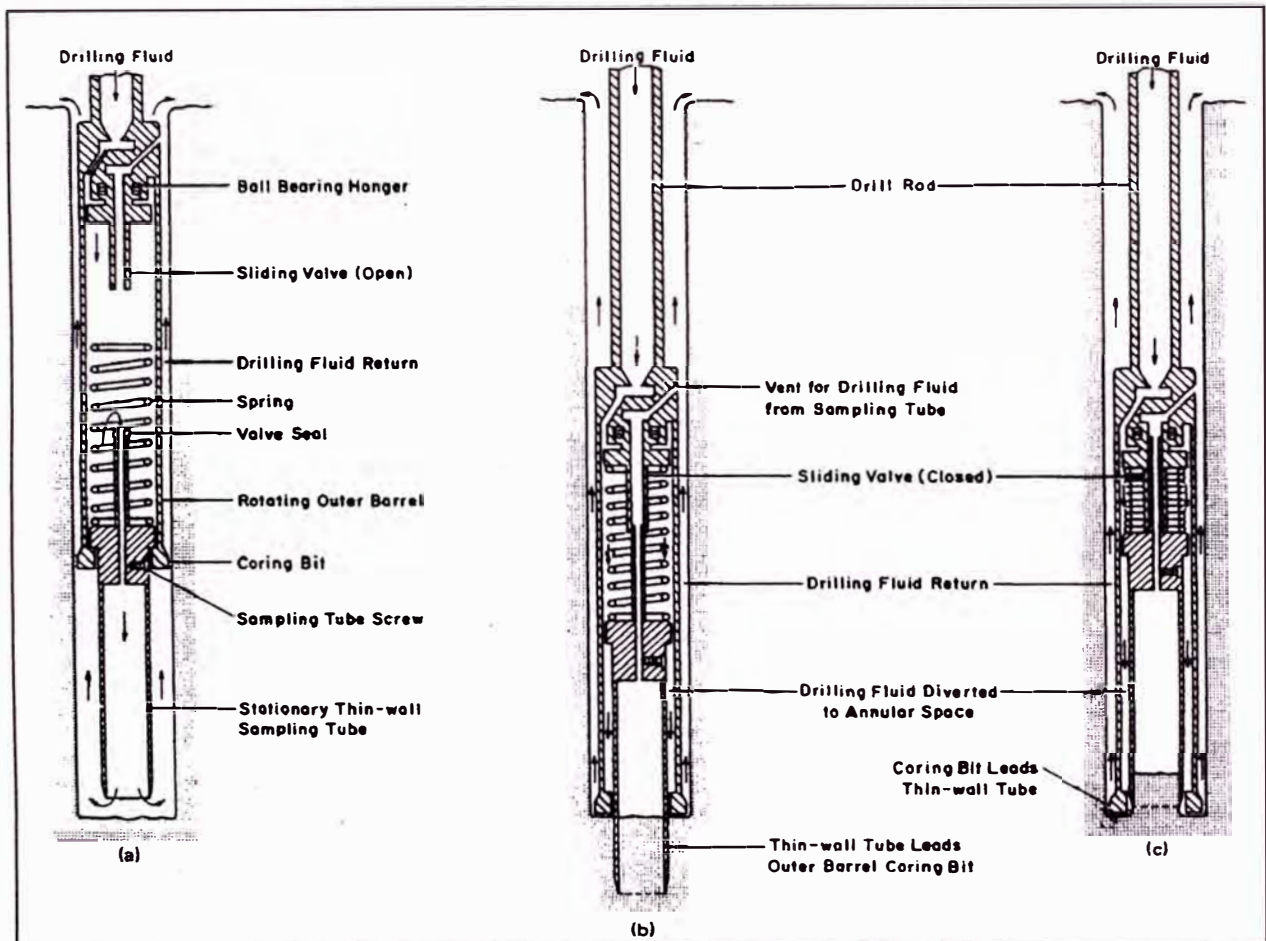
Agua atrapada en la muestra



Sellos herméticos

Empuje rotatorio; muestreador Denison y Pitcher.

- Son empleados en conjunción con algún método rotatorio de perforación.
- Se emplea para obtener muestras en arcillas duras y medias y formaciones rocosas blandas.
- El tubo denison es similar a una proyección del tubo de perforación y es accionado manualmente.



Muestras de bloque.

Son tomadas con cuidado de los materiales de excavación

Intervalos usuales de muestreos:

Los muestreos de cuchara partida se hacen en intervalos de 1.5 a 3.0 metros pudiendo ser escogidos de acuerdo a las necesidades de la exploración.

Los muestreos a pared delgada son tomados a discreción del ingeniero responsable del estudio y requieren especial cuidado en el transporte y embalaje.

5.2.4 Cuidado y preservación de muestras de suelos.

Las muestras de suelos serán convenientemente almacenadas en envases con tapa hermética, mantenidas a baja temperatura y tomadas por duplicado, e identificadas mediante tarjetas donde constarán nombre y firma del responsable, fecha, sitio, proyecto, número y profundidad de muestra y sondeo. Además, se confeccionarán planillas individuales por sondeo con indicación de las características de los sondeos efectuados, perfil de suelos y sedimentos, características macroscópicas observables y especiales del sitio. Se confeccionará una planilla resumen con el total de las perforaciones de exploración.

Los frascos de muestreo deben almacenarse en cajas de madera o cartón. Deben protegerse de condiciones extremas de calor, frío sequedad, vibración excesiva, golpes, etc.

El embalaje debe minimizar la posibilidad de pérdida de humedad.



5.3 **Protocolos de toma de muestras y su evaluación.**

El muestreo de suelos se puede efectuar de acuerdo a las siguientes normas:

- ASTM 5283-92 para establecer el Plan de Muestreo y aseguramiento de la calidad.
- ASTM 1452-80/90 de Investigación de suelos mediante barrenos helicoidales. Soil Investigation and Sampling by Auger Borings.
- ASTM D 1586 Prueba de penetración Standard y muestreos con cuchara partida. Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
- ASTM D 1587 Muestreo de suelos por tubo de pared delgada. Thin-Walled Tube Sampling of Soils
- ASTM D 2488 Descripción e identificación de suelos (Procedimiento manual y visual). Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).
- ASTM 420-93 para Muestreo de suelos.
- ASTM 4220-89 referente al Transporte y preservación de muestras.

Las herramientas utilizadas para el muestreo serán convenientemente higienizadas mediante detergente no fosforado y agua desionizada previo a cada extracción. Las muestras se tomarán cada metro de avance o cambio en las condiciones físicas de los sedimentos atravesados, de acuerdo a las observaciones in situ.

Toma de muestras inalteradas

Los tomamuestras inalteradas son normalmente utilizados como un método simple, de bajo costo y efectivo para obtener muestras inalteradas en profundidades de hasta 15 metros en los que la muestra se introduce en una camisa de plástico. Esto hace adecuado el sistema para formaciones blandas y fracturadas.

Perforaciones de muestreo

Las perforaciones de exploración y para instalación de freáticos se recomiendan ejecutarse siguiendo las Normas ASTM y aplicando las reglas del arte en la materia. Se utilizarán barreno manual y un equipo mecánico de accionamiento eléctrico y mecha sin fin. En el caso de pozos de exploración, los materiales extraídos de los mismos serán nuevamente colocados en el sondeo. En el caso de la instalación de freáticos, los sedimentos extraídos una vez separadas las muestras, serán colocados en las bolsas y recipientes que se dispondrán de acuerdo al grado de contaminación que tengan; de no presentar contaminación alguna se dispondrán donde el cliente indique, caso contrario serán dispuestos según normativa vigente. Previo al inicio de las tareas se coordinará con personal

de la empresa la ubicación de los sitios donde se perforará y se señalarán esos sectores con cintas de seguridad. Durante la perforación se medirán concentraciones de gases explosivos en el aire. Posterior a la instalación de los freáticos se colocarán las cajas y tapas acotadas mediante nivelación e indicación de referencia.

Seguridad de las operaciones y el personal

El personal a cargo de las tareas utilizará la indumentaria adecuada, zapatos con protección de punta de acero, cascos, guantes antiparras, protectores auditivos y máscaras de acuerdo a las áreas de trabajo. Se gestionarán los permisos de trabajo correspondientes. No se utilizarán equipos con motores a explosión. En todos los casos se observarán las recomendaciones sobre Seguridad e Higiene de los responsables en la materia.

Nivelación de puntos de observación.

Se efectuará la nivelación y acotamiento de una cantidad a determinar de puntos, referidos a un punto IGM próximo. Del punto de referencia se parte con Nivel óptico y el relevamiento en el predio se efectúa con Estación Total mediante coordenadas x y z. Se instalará una marca de referencia en sitio conveniente y se dejarán marcas de referencia en las bocas de los freáticos.

Ensayos hidráulicos.

Los ensayos hidráulicos se efectuarán por bombeo mediante bombas manuales o eléctricas, en tres puntos, de modo de obtener valores representativos de los parámetros hidráulicos a tener en cuenta en la evaluación de las condiciones del sitio con vistas al pronóstico del movimiento del primer acuífero y las posibles medidas de remediación a aplicar. El método de interpretación será Recuperación de THEIS.

Medición de niveles de agua y sobrenadantes.

La medición del nivel de agua se efectuará con sonda eléctrica. La medición de sobrenadante se efectuará con cinta y pastas. En todos los casos las mediciones se efectuarán con niveles y límites de fase estabilizados.

Calibración de equipos de medición:

Los elementos a utilizar para mediciones, tales como cintas, sondas, nivel óptico, termómetro y ph-metro serán previamente calibrados.

CAPÍTULO 6 Remediación de suelos contaminados.

6.1 ¿Qué se ha hecho en el pasado?

Se han aplicado diversas técnicas, con variado índice de éxito para contrarrestar el efecto de la contaminación por hidrocarburos. Sin embargo, no se elaboró una guía que permitiese analizar la eficacia, costos, así como las ventajas y desventajas en general de la aplicación de dichas técnicas.

Una de las prácticas más comunes que se ha realizado en el pasado, consiste en la utilización de encapsuladores para estabilizar presas de crudo. Estos productos absorben el hidrocarburo y lo retienen en su estructura interna. Pero, la mayoría de los encapsuladores no contienen algún componente que lleve a cabo la biodegradación con el fin de descomponer el petróleo encapsulado. Además de que ciertos contaminantes como los son algunos compuestos orgánicos no polares (aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos, halogenados), así como algunos compuestos orgánicos polares (alcoholes, ácidos orgánicos) pueden retardar o inhibir la hidratación adecuada de los encapsuladores evitando su correcta cementación o endurecimiento [2]. Por lo cual los sitios quedarían vulnerables a la contaminación del agua freática, en caso de que se rompiera la estructura de retención. Otro inconveniente importante de esta técnica, es el aumento considerable del volumen del material tratado.

En otros casos, se han aplicado productos a base de detergentes, con el objeto de hacer un lavado del suelo y así separar la matriz (suelo, sedimento o agua) del hidrocarburo a un costo considerable. Los surfactantes sintéticos frecuentemente aplicados en el lavado de suelos, debido a su alta solubilidad, movilizan contaminantes orgánicos adsorbidos o absorbidos al suelo. No obstante, ellos tienden a inhibir la actividad microbiológica sobre las moléculas del contaminante.

Con esta técnica, más de 100 sitios han sido remediados en el Oriente Ecuatoriano en buena medida, pero sin tomar en cuenta los inmensos costos subsiguientes relacionados con el tratamiento, limpieza y utilización final del crudo bombeado desde estas presas para su reincorporación en el ciclo productivo.

En México se usó esta tecnología para la limpieza de 45,000 ton. de sedimentos contaminados por hidrocarburos en cooperación entre PEMEX y una empresa alemana especializada en estos servicios. El proyecto se ejecutó con mucho éxito debido a las características favorables del sedimento contaminado, siendo ciertas propiedades del sedimento como la textura (alto contenido de arcillas) y el contenido de materia orgánica un limitante para esta tecnología.

En varios sitios contaminados por la industria petrolera mexicana se aplica el concepto de la biorremediación con resultados regulares debido a problemas en la estimulación de las bacterias y del monitoreo continuo de los sitios. Así mismo, estas primeras experiencias son promisorias y deben continuarse en el futuro.

Tecnologías como el proceso de incineración, la desorción térmica, extracción con vapor o la vitrificación resultan demasiado costosas y/o ecológicamente incompatibles para considerarse como una solución viable.

6.2 El poder descontaminante de la propia naturaleza.

Mientras tanto, el ecosistema natural está trabajando sin descanso en respuesta a la contaminación con hidrocarburos. Se conoce perfectamente que algunas bacterias del suelo aumentan el proceso microbiológico el cual puede a su vez, degradar y descomponer el aceite mineral y restituirlo al ciclo natural en una forma no tóxica [4,5].

Se ha comprobado la biodegradación de hidrocarburos hasta en aguas marinas [6].

La naturaleza puede subsanar incluso los peores daños ambientales ocasionados por hidrocarburos del petróleo empleando para ello su capacidad de auto regeneración, siempre y cuando ésta tenga tiempo para hacerlo. Para lo anterior, podrían ser necesarias varias decenas de años hasta que el crudo se haya descompuesto totalmente, a menos que el hombre promueva el proceso apoyando a los microorganismos en ese trabajo.

Se presentan y definen las principales tecnologías de remediación de suelos utilizadas en Estados Unidos de América.

Para los propósitos de exposición, las tecnologías de remediación para suelos fueron divididas con base en su principio de acción o tipo de tratamiento: biológicas, fisicoquímicas y térmicas. Adicionalmente, se presentan los costos y tiempos estimados para la remediación de un sitio contaminado.

Antes de considerar el uso de una tecnología de remediación para un sitio en particular, es indispensable contar con información del sitio y llevar a cabo su caracterización, así como la del contaminante a tratar. Posteriormente, la tecnología puede elegirse con base en sus costos y a la disponibilidad de materiales y equipo para realizar el tratamiento.

El lavado de suelos, la oxidación química y la separación física constituyen otra parte importante de las tecnologías de remediación más empleadas.

6.3 Datos requeridos para la remediación de suelos contaminados

Cada sitio a tratar presenta un reto único. No obstante, cada sitio puede analizarse en términos de un juego limitado de características fundamentales y de una solución que sea efectiva en cuanto a los costos de dichas características. Las opciones de remediación para sitios

6.4 Clasificación de tecnologías de remediación

Las tecnologías de remediación pueden clasificarse de diferentes maneras, con base en los siguientes principios:

- (i) estrategia de remediación
- (ii) lugar en que se realiza el proceso de remediación.
- (iii) tipo de tratamiento.

Es importante mencionar que cada una de estas clasificaciones proporciona diferente información acerca de las tecnologías de remediación. A continuación se describen con más detalle las clasificaciones anteriores (Van Deuren *et al.* 1997, Sellers 1999, EPA 2001).

6.5 Estrategia de remediación.

Son tres estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de los sitios contaminados:

- Destrucción o modificación de los contaminantes. Este tipo de tecnologías busca alterar la estructura química del contaminante.
- Extracción o separación. Los contaminantes se extraen y/o separan del medio contaminado, aprovechando sus propiedades físicas o químicas (volatilización, solubilidad, carga eléctrica).
- Aislamiento o inmovilización del contaminante. Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos.

6.6 Lugar de realización del proceso de remediación.

En general, se distinguen dos tipos de tecnología:

- In situ. Son las aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos del suelo contaminado, sin necesidad de excavar el sitio. Es decir, se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación.
- Ex situ. La realización de este tipo de tecnologías, requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio (*on site*) o fuera de él (*off site*).

En el cuadro se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de ambos tipos de tecnología.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN *IN SITU* Y *EX SITU*

	IN SITU	EX SITU
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar - Potencial disminución en costos 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor tiempo de tratamiento - Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Mayores tiempos de tratamiento - Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo - Dificultad para verificar la eficacia del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de excavar el suelo - Aumento en costos e ingeniería para equipos - Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante

6.7 Tipo de tratamiento.

Esta clasificación se basa en el principio de la tecnología de remediación y se divide en tres tipos de tratamiento:

- **Tratamientos biológicos (biorremediación).** Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos.
- **Tratamientos fisicoquímicos.** Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.
- **Tratamientos térmicos.** Utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes en un suelo.

En el cuadro se muestran las principales ventajas y desventajas del uso o aplicación de los métodos biológicos, fisicoquímicos y térmicos. Además de las clasificaciones anteriores, las tecnologías de remediación pueden clasificarse con base en el tiempo que llevan en el mercado y al grado de desarrollo en el que se encuentran, en tecnologías tradicionales y en tecnologías innovadoras (EPA 2001).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN, CLASIFICADAS DE ACUERDO CON EL TIPO DE TRATAMIENTO

	Ventajas	Desventajas
Tratamientos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Son efectivos en cuanto a costos - Son tecnologías más benéficas para el ambiente - Los contaminantes generalmente son destruidos - Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior 	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren mayores tiempos de tratamiento - Es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos - No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano
Tratamientos fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> - Son efectivos en cuanto a costos - Pueden realizarse en periodos cortos - El equipo es accesible y no se necesita de mucha energía ni ingeniería 	<ul style="list-style-type: none"> - Los residuos generados por técnicas de separación, deben tratarse o disponerse: aumento en costos y necesidad de permisos - Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes: necesidad de sistemas de recuperación
Tratamientos térmicos		<ul style="list-style-type: none"> - Es el grupo de tratamientos más costoso

6.8 Tecnologías tradicionales.

Son tecnologías utilizadas comúnmente a gran escala, cuya efectividad ha sido probada. La información disponible acerca de costos y eficiencia es de fácil acceso. Entre las tres tecnologías tradicionales usadas con mayor frecuencia, se encuentran: la incineración *in situ* y *ex situ*, la solidificación/estabilización, la extracción de vapores y la desorción térmica.

Es importante aclarar que los costos que se presentan, son promedios obtenidos de la aplicación de cada tecnología en los E.U.A. y están dados en dólares americanos.

6.9 Tecnologías de remediación biológicas (biorremediación)

El término biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía (Van Deuren *et al.* 1997).

Las rutas de biodegradación de los contaminantes orgánicos, varían en función de la estructura química del compuesto y de las especies microbianas degradadoras. El proceso de biorremediación incluye reacciones de oxido-reducción, procesos de sorción e intercambio iónico, e

incluso reacciones de acomplejamiento y quelación que resultan en la inmovilización de metales

La biorremediación puede emplear organismos propios del sitio contaminado (autóctonos) o de otros sitios (exógenos), puede realizarse *in situ* o *ex situ*, en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno) (Eweis *et al.* 1998). Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles a la biodegradación, los procesos de biorremediación se han usado con éxito para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos del petróleo (HTP)

Tecnologías in situ

Las técnicas *in situ* buscan estimular y crear un ambiente favorable para el crecimiento microbiano a partir de los contaminantes. Este objetivo generalmente puede lograrse con el suministro de aire u oxígeno (bioventeo), nutrientes (bioestimulación), microorganismos (bioaumentación) y/o humedad, además del control de temperatura y pH (EPA 2001).

a. Bioventeo

El bioventeo es una tecnología relativamente nueva, cuyo objetivo es estimular la biodegradación natural de cualquier compuesto biodegradable en condiciones aerobias. El aire se suministra en el sitio contaminado a través de pozos de extracción, por movimiento forzado (extracción o inyección), con bajas velocidades de flujo, con el fin de proveer solamente el oxígeno necesario para sostener la actividad de los microorganismos degradadores (Van Deuren *et al.* 1997).

Aplicaciones.

Se utiliza para tratar compuestos orgánicos biodegradables semivolátiles (COS) o no volátiles. Además de favorecer la degradación de contaminantes adsorbidos, pueden degradarse COV, por medio de su movimiento a través del suelo biológicamente activo (Eweis *et al.* 1998). Se ha utilizado con éxito para remediar suelos contaminados con HTP.

Limitaciones.

Algunos factores que pueden limitar la efectividad del bioventeo son:

- (i) el tipo y la concentración del contaminante,
- (ii) falta de nutrientes
- (iii) bajo contenido de humedad
- (iv) dificultad para alcanzar el flujo de aire necesario.

Costos y tiempos de remediación.

Es una tecnología en la que los tiempos de limpieza pueden variar desde algunos meses hasta varios años, y sus costos de operación varían entre 10 y 70 USD/m³. Esta tecnología no requiere de equipo caro, pero los costos pueden variar en función de la permeabilidad

del suelo, espacio disponible, número de pozos y velocidad de bombeo.

b. Bioestimulación

La bioestimulación implica la circulación de soluciones acuosas (que contengan nutrientes y/u oxígeno) a través del suelo contaminado, para estimular la actividad de los microorganismos autóctonos, y mejorar así la biodegradación de contaminantes orgánicos o bien, la inmovilización de contaminantes inorgánicos *in situ*.

Aplicaciones.

Se ha usado con éxito para remediar suelos contaminados con gasolinas, COV, COS

Limitaciones.

Esta tecnología no es recomendable para suelos arcillosos, altamente estratificados o demasiado heterogéneos, ya que pueden provocar limitaciones en la transferencia de O₂.

Pueden limitar su aplicación, incluyen:

- (i) que el tipo del suelo no favorezca el crecimiento microbiano.
- (ii) incremento en la movilidad de los contaminantes;
- (iii) obstrucción en los pozos de inyección provocada por el crecimiento microbiano.

Costos y tiempos de remediación.

La limpieza de una pluma de contaminación, puede tomar varios años. Su costo oscila entre 30 y 100 USD/m³. La naturaleza y profundidad de los contaminantes y el uso de bioaumentación pueden aumentar sus costos.

c. Biolabranza

Durante el proceso de biolabranza, la superficie del suelo contaminado es tratada en el mismo sitio por medio del arado. El suelo contaminado se mezcla con agentes de volumen y nutrientes, y se remueve periódicamente para favorecer su aireación. Las condiciones del suelo (pH, temperatura, aireación) se controlan para optimizar la velocidad de degradación y generalmente se incorporan cubiertas u otros métodos para el control de lixiviados (Riser-Roberts 1998). La diferencia entra la biolabranza y el composteo, es que en la biolabranza, se mezcla el suelo contaminado con suelo limpio, mientras que el composteo generalmente se realiza sobre el suelo.

Aplicaciones.

Los contaminantes tratados con éxito por biolabranza, incluyen diesel, gasolinas, lodos aceitosos, PCP, creosota y coque, además de algunos pesticidas y HTP (Alexander 1994). Es una tecnología de gran escala, que se practica en los Estados Unidos de América,

Canadá, Reino Unido, Holanda, Suiza, Dinamarca, Francia y Nueva Zelanda.

Limitaciones.

La biolabranza debe manejarse con cuidado para prevenir la contaminación de acuíferos, superficies de agua, aire o en la cadena alimenticia. El mayor problema es la posibilidad de lixiviados de los contaminantes hacia el suelo y el agua. Otra limitante para su utilización, es que por la incorporación de suelo contaminado en suelo limpio, se genera un gran volumen de material contaminado. No es recomendable su uso para contaminantes diluidos, ni tampoco cuando no todos los contaminantes son biodegradables

Costos y tiempos de remediación. Es una tecnología de mediano a largo plazo. El costo para su aplicación en desechos peligrosos oscila entre 30 y 70 USD/ m³

6.10 Tecnologías de remediación fisicoquímicas

Como ya se mencionó, los tratamientos fisicoquímicos aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.

Este tipo de tecnologías generalmente son efectivas en cuanto a costos y pueden concluirse en periodos cortos, en comparación con las tecnologías de biorremediación. Sin embargo, los costos pueden incrementarse cuando se utilizan técnicas de separación en las que los contaminantes pueden requerir de tratamiento o disposición. Mientras que las tecnologías de biorremediación son principalmente métodos destructivos, las fisicoquímicas incluyen las tres estrategias básicas de acción sobre el contaminante (destrucción, separación e inmovilización).

Al igual que el resto de las tecnologías de remediación, las fisicoquímicas pueden realizarse *in situ* o *ex situ*. Sin embargo, la mayoría de estas tecnologías se aplican *in situ*. Entre las tecnologías fisicoquímicas para tratamiento *in situ*, se encuentra la remediación electrocinética (RE), el lavado de suelos (LS), la extracción por solventes (ES), la extracción de vapores (EV) y la solidificación/estabilización (S/E).

Lavado de suelos, extracción por solvente e inundación de suelos Estas tres tecnologías separan contaminantes orgánicos e inorgánicos del suelo por medio de un líquido de extracción. El fluido líquido requiere de un tratamiento posterior para remover o destruir los contaminantes. Cada una de estas tecnologías relacionadas entre sí, trabajan de manera diferente sobre los contaminantes.

- Lavado de suelos. Los contaminantes sorbidos en las partículas finas del suelo son removidos con el uso de soluciones acuosas en un suelo excavado. De esta manera se reduce el volumen del material contaminado, ya que las partículas finas son extraídas del resto del suelo.

- Extracción por solventes. Este tipo de procesos, utiliza solventes orgánicos para disolver los contaminantes y así removerlos del suelo.
- Inundación del suelo. Grandes cantidades de agua, en ocasiones con algún aditivo, se aplican al suelo o se inyectan en cuerpos de agua cercanos, para aumentar el nivel del agua en la zona contaminada, favoreciendo así el paso de los contaminantes del suelo hacia el cuerpo de agua. Un sistema de inundación, debe incluir la extracción y tratamiento del agua contaminada.

Aplicaciones.

El lavado de suelos se ha utilizado con éxito para tratar suelos contaminados con hidrocarburos, HAP, PCP, pesticidas y metales pesados. Por medio de inundación, pueden recuperarse compuestos inorgánicos (metales), y tratarse COV, COS, gasolinas y pesticidas.

Limitaciones.

Las soluciones utilizadas y los solventes pueden alterar las propiedades fisicoquímicas del suelo; es difícil tratar suelos poco permeables o heterogéneos; los surfactantes usados en el lavado pueden adherirse al suelo y disminuir su porosidad; los fluidos pueden reaccionar con el suelo reduciendo la movilidad de los contaminantes. En general, se requiere tratar previamente los suelos con alto contenido de materia orgánica y es necesario tratar los vapores generados.

Costos y tiempos de remediación.

La inundación y el lavado son tecnologías de corto a mediano plazo. Los costos para la inundación oscilan entre 20 y 200 USD/m³, y para el lavado el costo promedio es de 150 USD/m³.

a. Extracción de vapores (EV)

La EV, también conocida como ventilación del suelo, vaporización y volatilización, es una tecnología en la que se aplica un vacío al suelo, para inducir un flujo controlado y continuo de aire, y remover así contaminantes volátiles y semivolátiles del suelo. La EV usualmente se lleva a cabo *in situ*. Sin embargo, en algunos casos, puede usarse como una tecnología *ex situ* (Riser-Roberts 1998, EPA 2001). La efectividad del sistema de EV depende principalmente de la volatilidad de los contaminantes y de la permeabilidad y homogeneidad del suelo (Sellers 1999).

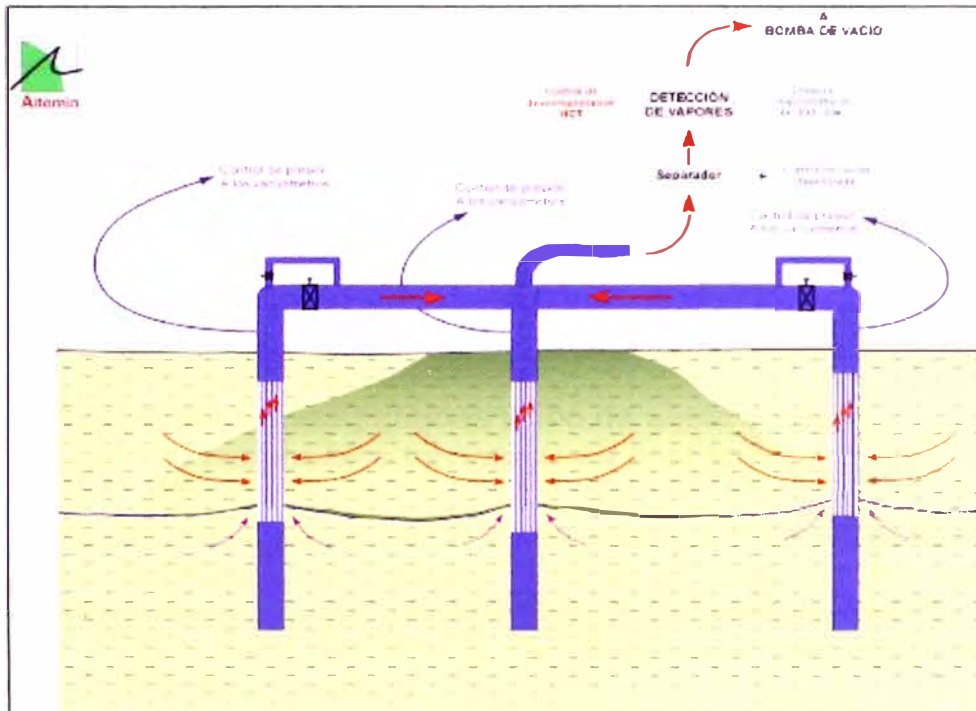
Aplicaciones.

La EV a menudo es usada para remediar sitios contaminados por derrames o fugas de COV y algunas gasolinas; puede aplicarse en zonas insaturadas. Además, la EV puede facilitar e inducir otros procesos de remediación como la biodegradación de contaminantes poco volátiles.

Limitaciones.

No es recomendable para la remoción de aceites pesados, metales, BPC o dioxinas; la técnica solo es aplicable para compuestos volátiles; la humedad, contenido de materia orgánica y permeabilidad del suelo al aire, afectan la eficiencia del proceso; no es una tecnología adecuada para zonas saturadas; un alto contenido de partículas finas afectan la operación del sistema; la descarga de aire del sistema puede requerir tratamiento y los líquidos residuales deben tratarse o disponerse.

Costos. Los costos de operación de la EV se encuentran entre 10 y 50 USD/m³.



Esquema conceptual del sistema de tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos ligeros

6.11 Tecnologías de remediación térmicas

Los tratamientos térmicos ofrecen tiempos muy rápidos de limpieza, pero son generalmente los más caros. Sin embargo, estas diferencias son menores en las aplicaciones *ex situ* que *in situ*. Los altos costos se deben a los costos propios para energía y equipos, además de ser intensivos en mano de obra. Al igual que las tecnologías fisicoquímicas y a diferencia de las biológicas, los procesos térmicos incluyen la destrucción, separación e inmovilización de contaminantes. Los procesos térmicos utilizan la temperatura para incrementar la volatilidad (separación), quemado, descomposición (destrucción) o fundición de los contaminantes (inmovilización).

Las tecnologías térmicas de separación producen vapores que requieren de tratamiento; las destructivas producen residuos sólidos (cenizas) y, en ocasiones, residuos líquidos que requieren de tratamiento o disposición. Es importante hacer notar que para ambos tipos de tratamiento, el volumen de

residuos generados que requieren de tratamiento o disposición, es mucho menor que el volumen inicial

La mayoría de las tecnologías térmicas pueden también aplicarse *in situ* y *ex situ*. Dentro de las tecnologías térmicas *ex situ*, principalmente se encuentran la incineración, pirólisis y desorción térmica.

Una de las tecnologías que se emplean *in situ* es la EV mejorada por temperatura.

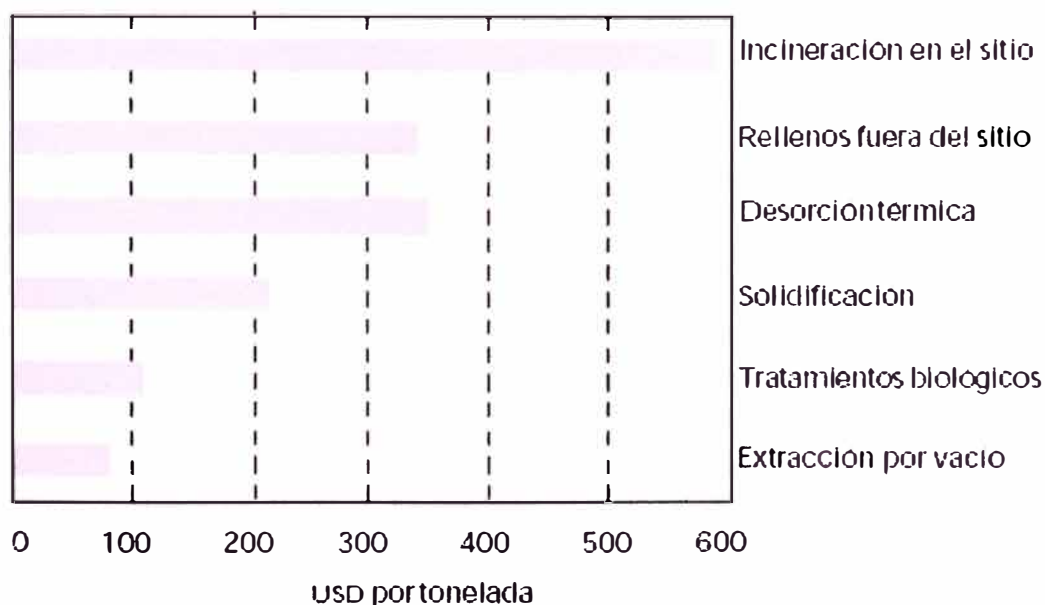
6.12 Selección de una tecnología de remediación

De acuerdo con la información antes presentada, puede decirse que la selección de una tecnología de remediación para un suelo con características particulares, contaminado con uno o más contaminantes en particular, básicamente depende de los siguientes criterios:

- Características ambientales, geográficas, demográficas, hidrológicas y ecológicas del sitio.
- Tipo de contaminante (orgánico o inorgánico), concentración y características fisicoquímicas.
- Propiedades fisicoquímicas y tipo de suelo a tratar.
- Costo de las posibles tecnologías a aplicar.

En cuanto a costos, como se ha mencionado, las tecnologías térmicas son las más costosas del mercado, mientras que dentro de las más económicas se encuentran las tecnologías de biorremediación aplicadas *in situ*. En la figura, se muestran los costos promedio para los diferentes tipos de tecnologías de remediación.

COSTOS PROMEDIOS (DÓLARES) POR TONELADA DE SUELO TRATADO, EN FUNCIÓN AL TIPO DE TECNOLOGÍA DE REMEDIACIÓN*



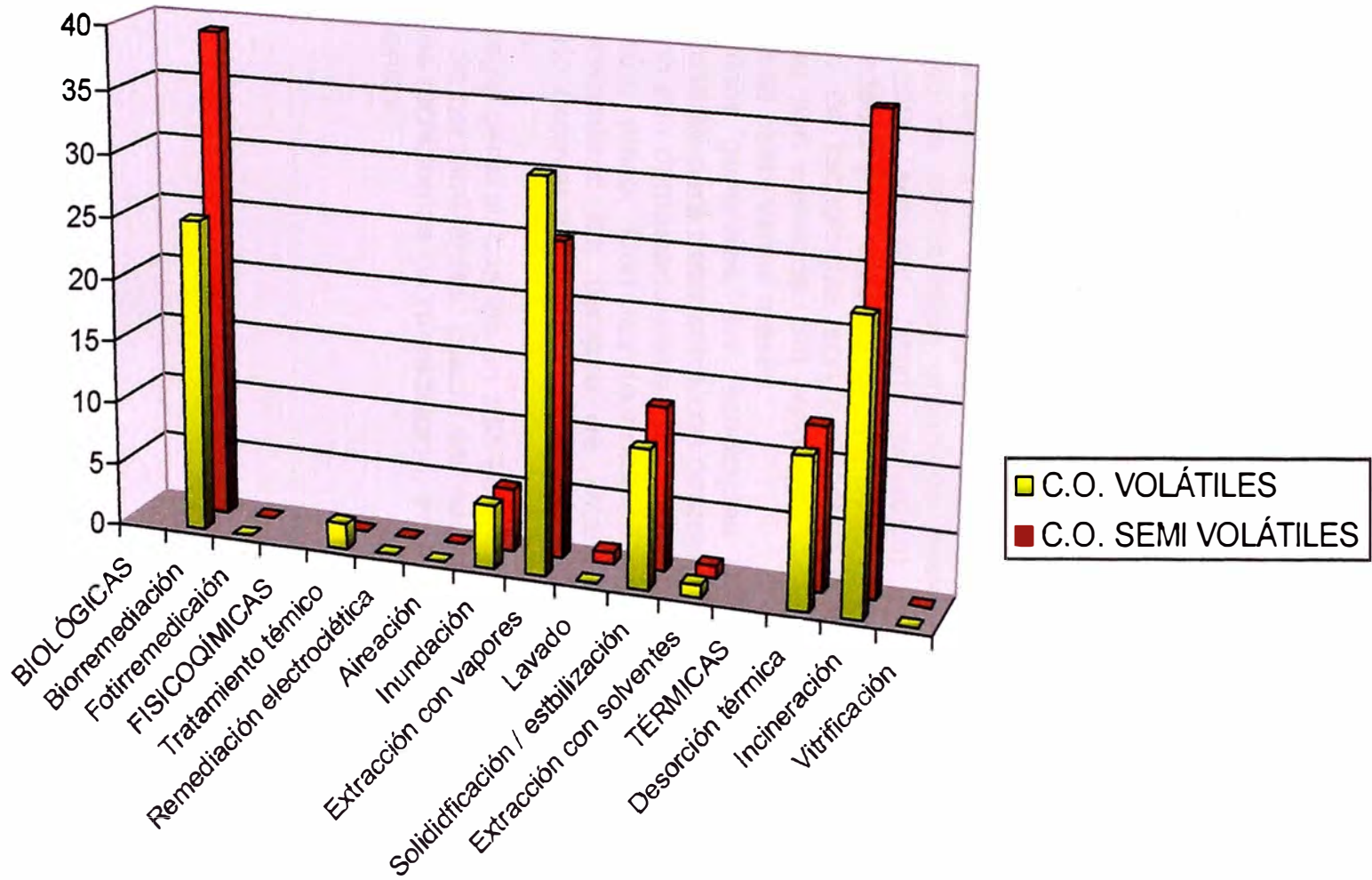
* Los valores presentados son el promedio de un total de 230 proyectos aplicados para una variedad de contaminantes biodegradables como gasolinas, lubricantes y HAP (EPA 1998).

En el cuadro se presenta una relación de los tipos de contaminantes que pueden tratarse por una tecnología en particular. Sin embargo, los datos presentados se obtuvieron de la EPA (2001), por lo que es importante aclarar que aunque el uso de ciertas tecnologías puede generalizarse para cierto grupo de contaminantes, las características de los suelos y las condiciones ambientales son completamente diferentes a las de Estados Unidos de América.

TECNOLOGÍA	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES HALOGENADOS	COMPUESTOS ORGÁNICOS SEMI VOLÁTILES	COMPUESTOS ORGÁNICOS SEMI VOLÁTILES HALOGENADOS	BENCENOS TOLUENOS XILENOS ETILBENCENO	HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICICLICOS	HERBICIDAS / PESTICIDAS	BIFENILOS POLICLORADOS	METALES	TOTAL
Biológicas										
Biorremediación	25	19	39	8	38	42	28	1	2	202
Fotirremediación	0	3	0	0	2	0	1	0	1	7
Fisicoquímicas										
Tratamiento térmico	2	3	0	4	1	1	3	3	8	25
Remediación electrociética	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Aireación	0	4	0	1	1	0	0	0	0	6
Inundación	5	8	5	4	6	3	1	0	4	36
Extracción con vapores	31	171	25	24	91	12	2	2	0	358
Lavado	0	0	1	1	0	1	1	1	3	8
Solidificación / estabilización	11	15	13	35	7	11	12	30	155	289
Extracción con solventes	1	2	1	3	0	1	0	3	0	11
Térmicas										
Desorción térmica	12	29	13	20	20	14	9	12	0	129
Incineración	23	48	37	63	29	22	32	38	2	294
Vitrificación	0	2	0	2	1	0	0	1	0	6
Total de proyectos	110	305	134	165	196	107	89	91	175	

Puede verse que la principal tecnología empleada en EE.UU. para el tratamiento de COV, COV halogenados y BTEX, es la extracción de vapores. Mientras que los COS y HAP se tratan generalmente por biorremediación.

**CUADRO COMPARATIVO DE
TECNICAS DE REMEDIACIÓN PARA COMPUESTOS ORGÁNICOS**



Es importante observar que dentro de las tecnologías más utilizadas en los EE.UU., independientemente del tipo de contaminante, se encuentran (en orden decreciente): EV, incineración, S/E, biorremediación y, por último la DT.

6.13 Conclusiones y perspectivas

Antes de considerar el uso de una tecnología de remediación, es indispensable contar con información del sitio y llevar a cabo su caracterización, así como la del contaminante a tratar. Posteriormente, la tecnología puede elegirse con base en sus costos y a la disponibilidad de materiales y equipo para realizar el tratamiento.

Aunque el uso de las tecnologías de biorremediación se ha limitado para el tratamiento de compuestos orgánicos biodegradables, algunas pueden usarse para separar (fitorremediación) o disminuir la toxicidad (biodegradación) de algunos compuestos inorgánicos no biodegradables. Este tipo de tecnologías son ambientalmente más «amigables» y sus costos no son elevados. Sin embargo, los tiempos de limpieza pueden prolongarse hasta varios meses.

En términos generales, las tecnologías de remediación fisicoquímicas pueden usarse para tratar sitios con características geológicas difíciles, sus costos no son demasiado elevados y los tiempos de limpieza son de corto a mediano plazo. Con las tecnologías térmicas es posible disminuir significativamente los tiempos de limpieza, aunque generalmente es necesario excavar el sitio contaminado y es el grupo de tratamientos más costoso.

Como regla general, cuando un sitio se encuentra contaminado con más de un tipo de contaminantes, puede ser necesario emplear una combinación de varias tecnologías de remediación, en lo que se conoce como «tren de tratamiento».

CAPITULO 7 Casos Reales.

Los casos citados en le presente informe se presentan en forma anónima ya que los contratos para realizar estudios ambientales en suelos de estaciones de servicios tienen una cláusula de confidencialidad la que impide divulgar los resultados a terceros.

En las secciones anteriores se ha citado métodos y normas internacionales aplicables a la toma de muestras de suelos los que pueden ser útiles para los muestreos de suelos contaminados por hidrocarburos en estaciones de servicios.

Para la investigación por contaminación en suelos en estaciones de servicios se puede emplear las normas ASTM E1527 – 05 y ASTM E1903 – 97 sobre Prácticas Estándar para Evaluaciones de Estado Ambiental Fases I y II.

Estas normas dirigirán la investigación para poder determinar la presencia de fugas en las instalaciones subterráneas de la estación de servicios como también podrá determinar si es posible que la fuente de contaminación provenga de otras propiedades vecinas.

Para poder confirmar la presencia de contaminantes en los suelos subyacentes a la estación se procede a la toma de muestras, esta toma de muestras se hace en secuencia:

Si la estación posee pozos de monitoreo, se procede a la evaluación de los vapores, esta evaluación puede hacerse con un "explosímetro" pero es preferible un detector fotoionizador (Photo Ionizator Detector PID) ya que ese aparato es muy sensible ante la presencia de hidrocarburos pudiendo detectar partes por millón de vapores de hidrocarburos en el aire.

Si no existen los pozos de monitoreo se debe programar el perforar pozos para poder evaluar la presencia de vapores de hidrocarburos ocluidos. Debido a sus características físicas los vapores ocluidos tienden a estar en zonas cercanas a la superficie pudiendo verse impedidos de migrar a la atmósfera por algún medio impermeable, pero la heterogeneidad del suelo de Lima hace posible la presencia de lentes de arcilla que pudieran atrapar estos vapores a niveles mas bajos por lo que se recomiendan perforaciones de hasta 3 metros de profundidad. En la realidad esto no es tan fácil de cumplir ya que para lograr estas profundidades es necesario el uso de perforadoras con motores de 30 Hp que permitan lograrlo.

Cuando se ha detectado la presencia de vapores ocluidos es necesario evaluar la presencia de suelo contaminado, por lo que se requiere hacer perforaciones y muestreos inalterados de suelos, para de esta forma lograr muestras que puedan analizarse en el laboratorio. Con los equipos de perforación diamantina es posible lograr las muestras requeridas a los niveles solicitados.

Una vez detectada la presencia de suelo contaminado, es recomendable el efectuar nuevas perforaciones para lograr determinar el área que esta ocupando

lade pluma de contaminación y tener un conocimiento real de la magnitud del suelo contaminado.

Finalmente ubicada la pluma de contaminación y determinada su magnitud es posible evaluar y efectuar algún método de remediación acorde con las condiciones de la estación de servicios.

Podemos enfocar la estrategia a emplear para la evaluación de los suelos contaminados por fugas en las Estaciones de servicios según el tipo de estación que se va a analizar:

- Tenemos las estaciones de servicio construidas recientemente; estas si se construyen siguiendo estándares de las leyes peruanas e internacionales; deben tener en alguna parte de sus instalaciones un pozo de monitoreo o piezómetro, el que nos permite hacer un análisis del subsuelo; ya sea por medio de un medidor de VOC's o de un muestreo de aguas subterráneas. A parte de tener un buen registro de los consumos y mermas de los tanques de almacenaje de la estación de servicio, cualquier sospecha de fuga puede constatarse por algún muestreo a través del pozo de monitoreo.
- Se dan casos de estaciones de servicios antiguas construidas antes de las actuales normas de medio ambiente en las que no hay pozos de monitoreo construidos para evaluar los terrenos subyacentes a las estaciones. Se ha querido adaptar las construcciones antiguas a la nueva legislación y estándares de monitoreo pero hay casos donde las limitaciones físicas y económicas impiden mayor desarrollo; debe evaluarse el record de consumo y mermas de combustibles. Inclusive los record de consumos, mermas y otros archivos sin insuficientes y en algunos casos inexistentes.

En caso de sospechar la presencia de fugas y de ser necesarios la evaluación y muestreos de puntos sospechosos, se puede ver dos escenarios; una estación de servicio fuera de funcionamiento y estaciones de servicios en funcionamiento.

De las estaciones de servicios que se evaluaron podemos clasificar dos tipos de escenarios:

- Estaciones de servicios en funcionamiento.
- Estaciones de servicios fuera de servicio.

Para ambos casos los estudios previos de recopilaciones de datos, registros, entrevistas a antiguos dueños y trabajadores es la misma. Los registros fotográficos y otros datos son más dificultosos cuanto mas antiguos son debido a la inexistencia de archivos sistematizados.

En le caso de estaciones fuera de servicio es posible el elegir cualquier lugar de la estación y esto implica cercanías de tanques y tuberías por lo que se puede elegir puntos de mayor probabilidad de presencia de derrames.

7.1 Estaciones de servicio en funcionamiento

Las estaciones de servicio en funcionamiento tienen muchos reparos por ubicar los puntos de muestreo donde se va hacer alguna perforación ya que su hoja y pautas de seguridad impiden el hacer maniobras con equipos de perforación en áreas cercanas a:

- Tanques de almacenaje.
- Tuberías de conducción.
- Bombas de abastecimiento.

Que si bien es cierto son áreas sensibles de ocurrir algún percance por alguna maniobra de perforación; también son áreas de alta probabilidad de presencia de fugas producidas por corrosión básicamente.

Según las hojas de seguridad la estación de servicio, no debe hacerse maniobra de perforación percusiva o rotativa cerca de taques enterrados o tubería de conducción de combustibles, lo que nos limita ha hacer muestreos en zonas circundantes a las áreas de despacho de la estación no pudiendo acercarnos mucho a las isletas de abastecimiento lo que limita la posibilidad de analizar puntos de mayor probabilidad.

Otro detalle a ser considerado es la presencia de líneas de electricidad, agua y desagüe; las que son áreas muy sensibles las cuales no pueden ser afectadas por maniobras de perforación o ser expuestas a riesgos de rotura a causa de alguna maniobra. Se encontraron casos donde por la antigüedad de la estación de servicios, no había planos de tendido eléctrico ni de agua y desagüe, debiendo recopilar los datos necesarios de la entrevista a algún antiguo trabajador de la estación o al constructor de esta. Se dio el caso donde por ahorro es emplearon las juntas de dilatación para instalar líneas eléctricas.



Selección de los puntos a perforar y evaluar

7.2 Estaciones de servicio fuera de funcionamiento

En el caso de estaciones fuera de servicio es posible el elegir cualquier lugar de la estación y esto implica cercanías de tanques y tuberías por lo que se puede elegir puntos de mayor probabilidad de presencia de derrames.

Se puede muestrear áreas alrededor de tanques, tuberías. Se puede detectar un derrame en el área de desembarque de combustible de la cisterna al grifo.

7.3 Los métodos de perforación

7.3.1 Perforaciones manuales con cuchara de muestro y espirales

Para el caso específico del suelo de Lima se vio la dificultad de emplear los sistemas de perforación manuales puesto que la heterogeneidad de los clastos que presenta impide el escarbado de la herramienta, debiéndose emplear excavaciones con barretas y picos, lo cual disturba el terreno haciendo imposible lograr una muestra inalterada.

Perforaciones con barrenas helicoidales (Auger Drills)

Recomendados por la norma ASTM para muestreo de suelos este tipo de perforaciones son aplicables a suelos tipo limo –arcillosos donde la presencia de rocas es poca o ninguna, y de darse la presencia de rocas estas deben ser menores a 4" de diámetro.

Como se vio la geología de Lima, el suelo de la ciudad es muy heterogéneo con presencia de cantos rodados de diferentes tamaños y muy poca arena o arcilla, esto dificulta el avance de perforaciones con barrenas helicoidales empleando el método manual, inclusive si ese empleara equipo pesado el avance es dificultoso.

Se vio los casos de Estaciones de Servicios en Villa El Salvador y Punta Hermosa que el suelo esta constituido de arenas eólicas, donde fue posible el perforar manualmente con la cuchara de muestreo pozos de hasta 2 metros de profundidad. Donde se pudo muestrear a lo largo de todo el taladro.

El restante de casos de estaciones de Lima fue imposible el lograra avances mayores a 30 cm. empleando este método.

7.3.2 Sistema de perforación diamantina con muestreos localizados

Para determinar las dimensiones de la pluma de hidrocarburos flotando sobre el nivel estático se procedió a medir las concentraciones de hidrocarburos volátiles y de explosividad, tal y como se muestra en las fotografías



Equipo de perforación diamantina DIAMEC 750 de VALCAIN S.A. aplicando el método de perforación diamantina para evaluación de contaminantes en una estación de servicios fuera de operación



Medición de la profundidad del pozo perforado



Perforación y medición de la concentración de hidrocarburos volátiles y explosividad.





Equipo DIAMEC 750 perforando, para la perforación diamantina es necesario el uso de agua como lubricante y refrigerante para la perforación, detalle del abasto de agua, se emplean otras maniobras para lograra muestras inalteradas

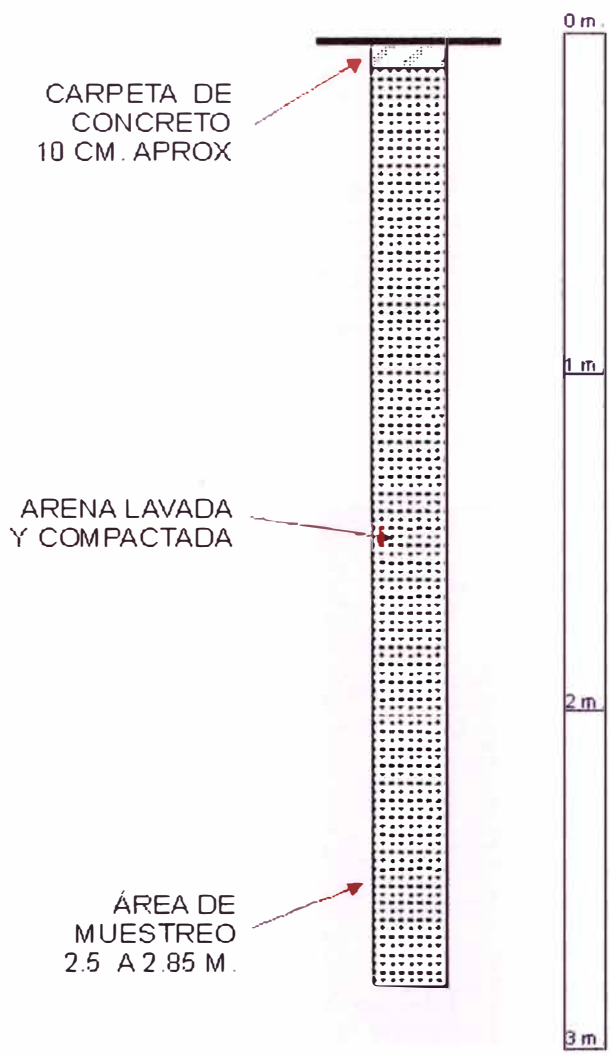


Cerrado de los pozos empleados posterior a las evaluaciones

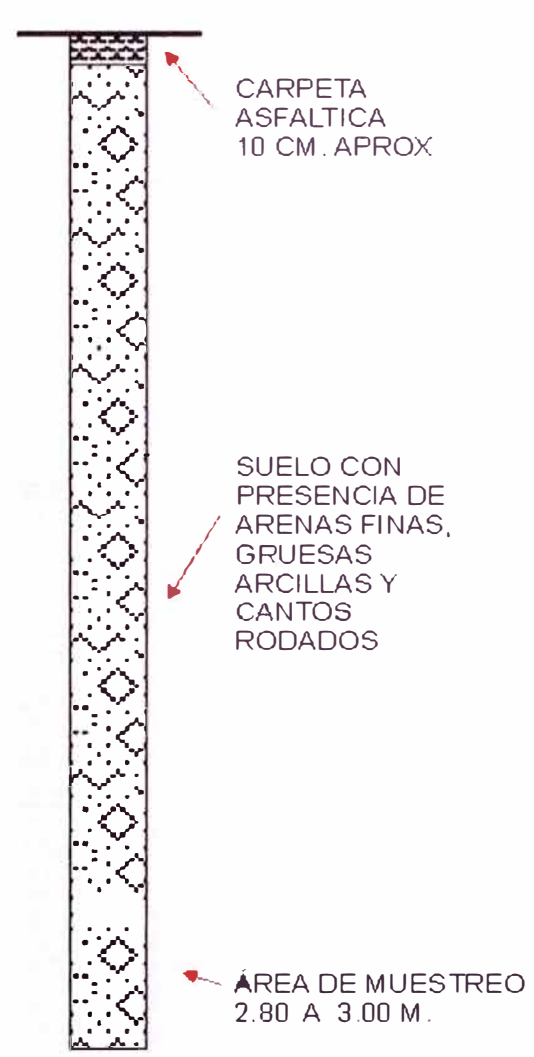
Perfiles Litológicos de los Sondeos

OBRA	Perforación y toma de muestras para evaluación de suelos
UBICACION	Estación de Bombeo No. 1, Calle 100 No. 100
FECHA	17 al 19 de Noviembre 2,003

Perfil de los sondeos S1, S2, S3, S4, S5 y S6



Perfil de los sondeos S7, S8 y S9



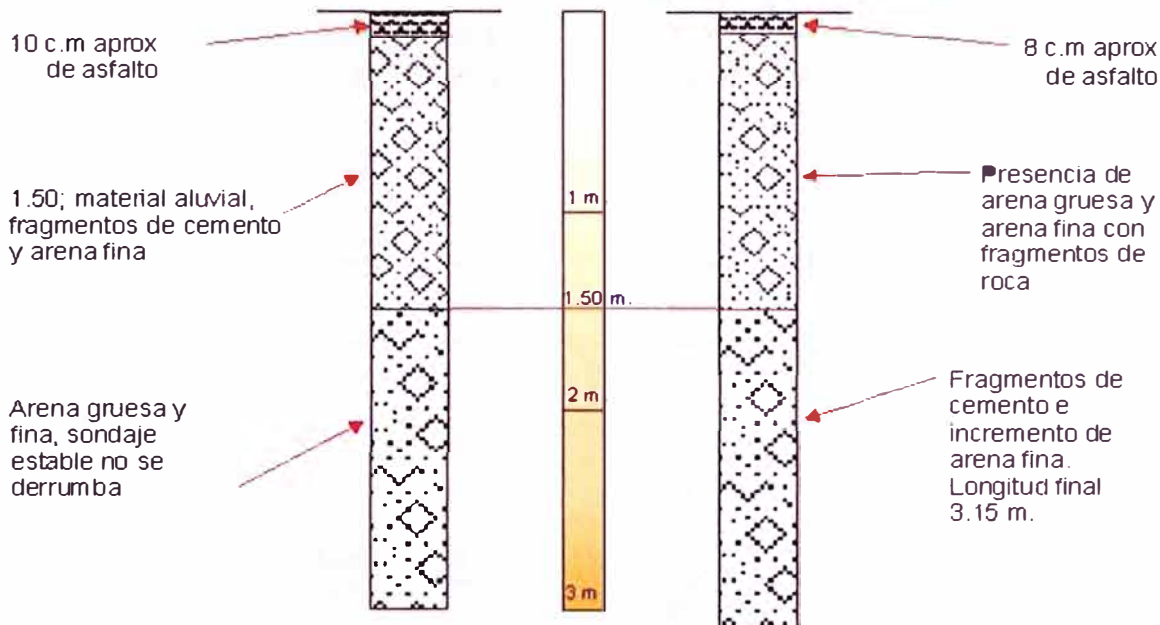
Perfil litológico de las perforaciones, en algunos casos se pudo perforar dentro de la caja de concreto donde reposa el tanque enterrado, pudiéndose muestrear la arena. En otros casos la perforación se hizo en el suelo nativo de la estación, encontrándose heterogeneidad de materiales.

Perfiles Litológicos de los Sondajes

OBRA	2° Perforación y toma de muestras para evaluación de suelos
UBICACION	XX
FECHA	16 al 17 de Diciembre 2,003

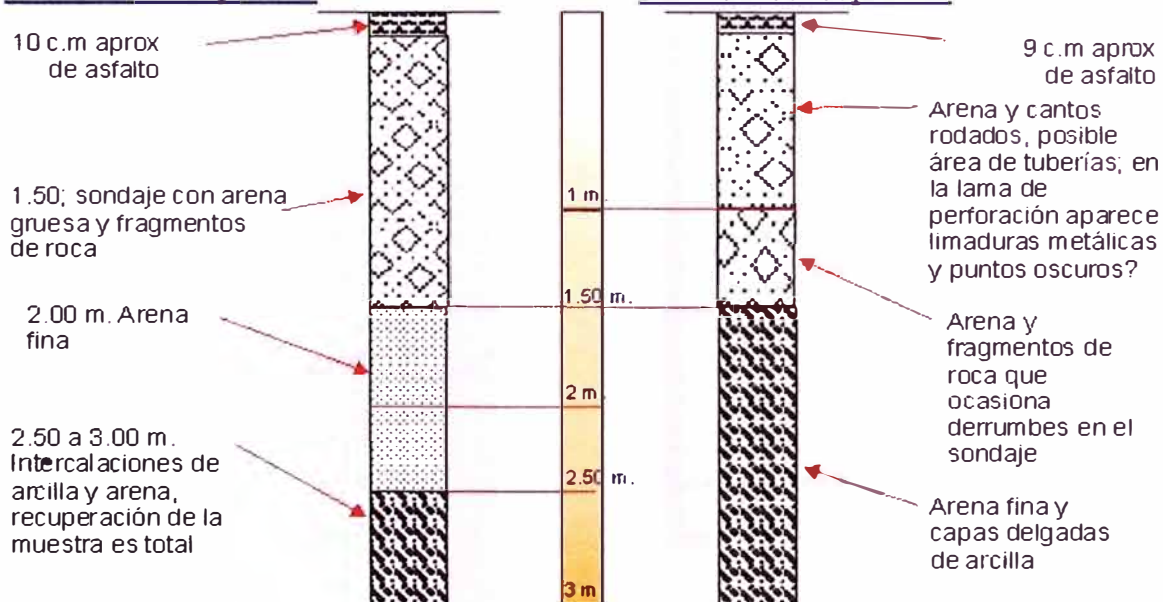
Perfil del sondaje S-10

Perfil del sondaje S-11



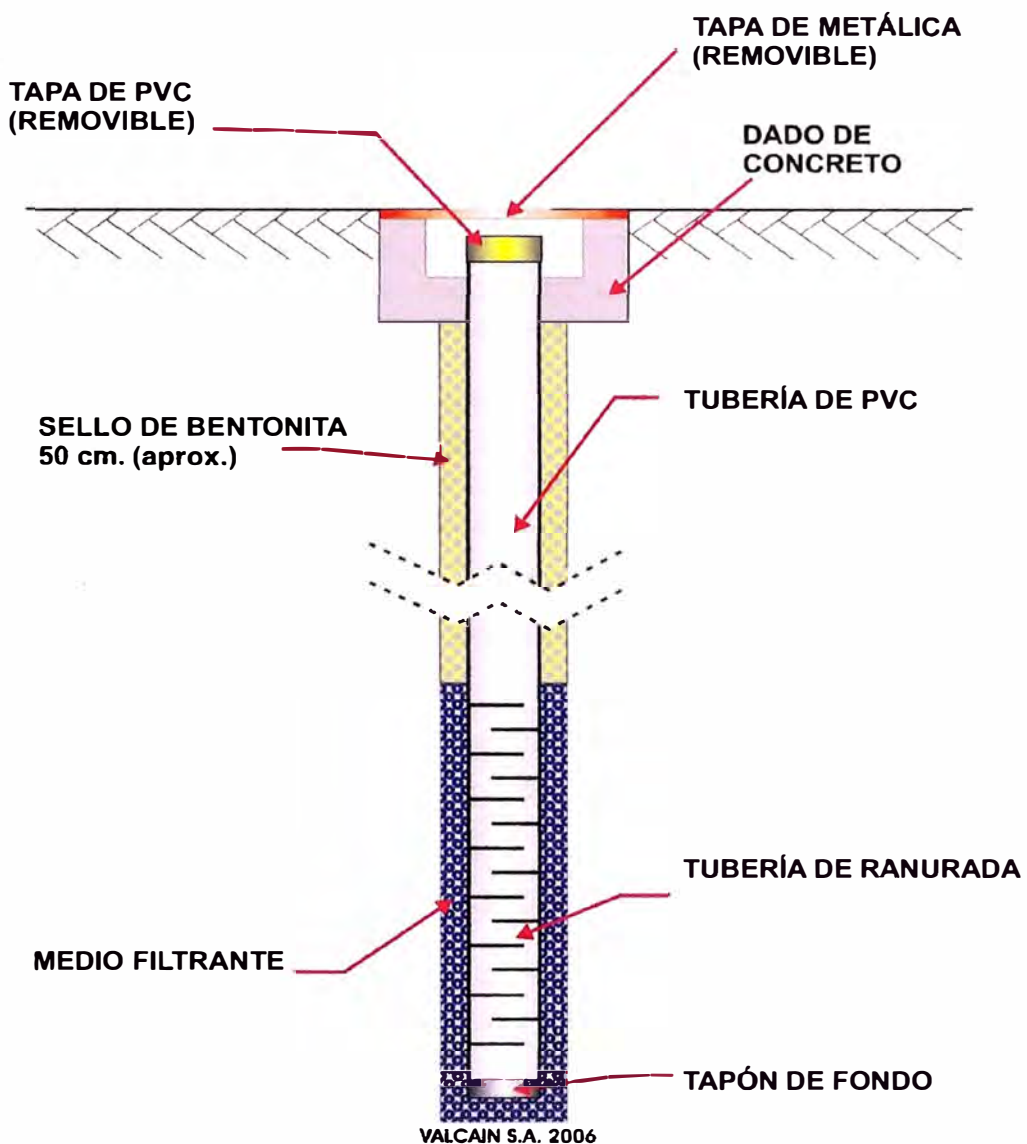
Perfil del sondaje S-12

Perfil del sondaje S-13



Perfil litológico de pozos en segunda etapa; habiéndose detectado un punto con presencia de hidrocarburos (en este caso fue kerosene) se procedió a realizar una segunda etapa de perforaciones al rededor del punto sospechoso, encontrándose una pluma de contaminación posteriormente fue retirado el suelo contaminado por medio de maquinaria pesada

**DETALLE DE LA CONSTRUCCIÓN DE PIEZÓMETRO
MODIFICADO PARA DETECCIÓN DE GASES EN SUELOS
DE ESTACIONES DE SERVICIO**



CAPÍTULO 8 Conclusiones y recomendaciones.

1. Las evaluaciones de suelos de las estaciones de servicios son importantes para la valorización de las propiedades, pudiendo tener gran influencia en la valorización de la propiedad. Es necesario tener la certeza de la ausencia de contaminantes antes de adquirir cualquier propiedad sea de uso de estación de servicios o industrial en general.
2. La metodología recomendada para la obtención de muestras inalteradas de suelos por medio de perforaciones empleando el sistema de espirales huecas (hollow steam auger) no es aplicable al suelo de Lima o suelos de similar composición.

Es recomendable el uso de otras técnicas como el sistema tubex o perforación diamantina.

3. Estos métodos de perforación citados, no pueden obtener muestras inalteradas pero se puede lograr muestras inalteradas empleando métodos específicos de "hincado" de muestreadores, como los muestreadores Shellby o muestreo con cuchara partida que logran muestras de las características requeridas para posteriores evaluaciones.
4. Las estaciones de servicios deben hacer un estudio de suelos detallado previo a su construcción puesto que la presencia de elementos nativos de los suelos que aceleren la corrosión de las estructuras de metal pueden causar roturas y posteriores derrames.
5. Las estaciones de servicios deben tener uno o varios pozos de monitoreo "piezómetros" para una fácil evaluación de la presencia de vapores de hidrocarburos.
6. Los pozos de monitoreo o "piezómetros" son muy empleados en la ingeniería civil para evaluación de aguas subterráneas, en el presente informe se ha propuesto un pozo de monitoreo modificado para evaluar presencia de vapores en los suelos.

Los sistemas de perforación citados emplean maquinaria pesada y de potencia suficiente para hacer instalaciones de pozos de monitoreo con posterioridad a la construcción de la estación de servicio, minimizando el impacto que pudiera sufrir el funcionamiento de la estación a causa de dichas operaciones.

CAPITULO 9 Bibliografía.

1. GEOLOGÍA DE LOS CUADRÁNGULOS DE LIMA, LURÍN, CHANCAY Y CHOSICA
Oscar Palacios Moncayo, Julio Caldas Vidal, Churchil Vela Velásquez
INGEMMET. Setiembre 1,992

2. EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL ESTADO DE CONTAMINACIÓN EN SUELOS DE LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN DONDE SE EFECTÚAN ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN HIDROCARBURÍFERA.
Pedro Augusto Brissio
Escuela Superior de Salud y Ambiente. Universidad Nacional del Comahue.
Octubre de 2005

3. TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS
Tania Volke Sepúlveda y Juan Antonio Velasco Trejo
Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) México

4. SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS: LA BIORREMEDIACIÓN COMO UNA SOLUCIÓN ECOLÓGICAMENTE COMPATIBLE
Dr. Wini Schmidt

5. ASTM E1527 – 05 STANDARD PRACTICE FOR ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENTS: PHASE I ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENT PROCESS

6. ASTM E1903 – 97 STANDARD GUIDE FOR ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENTS: PHASE II ENVIRONMENTAL SITE ASSESSMENT PROCESS.

7. ASTM D 5283 Standard Practice for Generation of Environmental Data Related to Waste Management Activities: Quality Assurance and Quality Control Planning and Implementation.