

RESUMEN:

En nuestros días es común la presencia de hidrocarburos en el subsuelo. Las principales fuentes de contaminación son las fugas que se generan a partir de tanques de almacenamiento y de líneas de conducción, así como en el manejo y disposición inadecuados, principalmente en patios de mantenimiento de automóviles, autobuses, ferrocarriles (Calabrese, 1989) y aeropuertos. Los tanques y conducciones llegan a ser corroídos; acomodamientos del terreno producen tensiones y dislocaciones de tuberías; roturas accidentales también son frecuentes. En terminales de diferentes medios de transporte, se manejan hidrocarburos para el lavado de motores, los que después de su utilización eran descargados al sitio más próximo. Esta práctica no se realizaba por negligencia; era el método usual. Actualmente, ante el conocimiento del problema, en algunos países se ha tomado conciencia del problema y se trabaja en la limpieza del subsuelo.

El hidrocarburo ligero, como puede ser una gasolina, se infiltra al subsuelo y tiende a avanzar hasta el nivel estático, donde por presentar una menor densidad que el agua, flota sobre ella. Parte de este hidrocarburo se volatiliza ocupando espacios porosos o fracturas arriba del nivel estático. Cuando el hidrocarburo es más pesado, tiende a infiltrarse y sedimentarse hacia las partes inferiores del acuífero o permanece absorbido por retención molecular en las partículas del suelo. Una porción del hidrocarburo llega a ser diluida por el agua. La porción volátil es la que se aprovecha para su prospección, la cual se realiza a través de pozos de monitoreo someros. Práctica útil y común es la realización de análisis de cromatografía de gases, a partir de cuyos resultados se identifica el tipo de hidrocarburo y se cuantifican sus componentes.

En relación a la calidad del agua contaminada por hidrocarburos, recibe especial atención el benceno, debido al bajo límite permisible para el agua potable, el cual es de 1ppb; cancerígeno y el 35% de este compuesto es soluble en el agua. El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo está influenciado por el tipo y características del material a través del cual circula. En zonas cubiertas por arcillas, como es el caso de la Ciudad de



México, la circulación del contaminante es restringida, en contraste, suelos de alta permeabilidad como es el caso de la Ciudad de Guadalajara, la alta permeabilidad permite la libre circulación del contaminante en el subsuelo.

ABSTRACT

Nowadays is common to find underground hydrocarbons (HC) leakages. The main pollutant sources are: leakage from underground storage tanks and pipes, and inadequate management at the maintenance yards of cars, buses, trains and airplanes. After some time storage tanks are corroded; ground movements produce accidental ruptures and dislocations of pipes. At terminals of different kind of transports, HC are used in motors cleaning and were discharged to the closest area

PROSPECCIÓN DE CONTAMINACIÓN

DE ACUÍFEROS POR HIDROCARBUROS

after being used. This was not done by negligence, it was the usual method. Nowadays several countries have realized this problem and are working at underground remediation. A light HC like gasoline, infiltrates into the ground and tends to reach the static level. Due to its lower density, gasoline floats over the water. Part of this HC is volatilized and stored at the ground porous or fractures above the static level. When the HC is heavier, it tends to infiltrate and accumulate towards the base of the aquifer, or it is absorbed by molecular retention to ground particles. The volatile portion of a HC is used for detection through shallow monitoring wells. From chromatographic analysis are determined the type of HC and amount of its components. In relation to water quality polluted by HC, benzene is special importance due to its very low permissible limit in drinking water (1 ppb). Benzene is carcinogenic and 35% of it is soluble in water.

INTRODUCCIÓN

Una fuerte transformación en la tecnología y en la vida del hombre, se produjo a partir del cambio de energía de vapor por hidrocarburo, a partir de los años 40s. El manejo y disposición de los hidrocarburos no contemplaba la repercusión de los efectos que causaría al infiltrarse al subsuelo. No fue sino hasta que se empezó a manifestar la contaminación de suelo y el agua, que se inició la cultura de la prevención de la contaminación y saneamiento del subsuelo y los acuíferos.

Por ello es común encontrar zonas contaminadas por fugas de hidrocarburos. En esta década de los 90s, se inició en México la exploración y saneamiento del subsuelo por hidrocarburos, con las limitantes que la economía del país ha permitido.

MOVIMIENTO DEL HIDROCARBURO EN EL SUBSUELO

El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo está influenciado por el tipo y características del material a través del cual circula. A manera de ilustración de este punto, a continuación se mencionan las características de los subsuelos de las ciudades de México y Guadalajara, ya que en la primera de ellas, la existencia de arcillas superficiales restringen la contaminación, mientras que en la otra, la alta permeabilidad del subsuelo permite la libre circulación del contaminante.

La mayor parte del área metropolitana de la Ciudad de México se encuentra asentada sobre sedimentos arcillosos de origen lacustre, cuyo espesor varía de 20 a más de 80 metros. Estas arcillas presentan una permeabilidad reducida que las hace que funcionen como un acuitardo (material que permite la entrada de agua pero impide o limita su salida por retención molecular). El flujo de agua en el acuitardo de la Ciudad de México es muy reducido; tiene una permeabilidad del orden de 10^{-7} a 10^{-9} m/seg. La presencia de estas arcillas en el subsuelo limita el movimiento del agua y de sus contaminantes, los que circulan en forma muy lenta, retardando la contaminación. Sin embargo, el contacto de zonas impregnadas de hidrocarburos con espacios abiertos en el subsuelo, tales como el drenaje, ductos telefónicos e infraestructura subterránea en general, pueden constituir zonas a través de las cuales pueda circular libremente el hidrocarburo en el subsuelo. También la existen-

cia de agrietamientos llega a permitir el flujo rápido de agua con hidrocarburos.

En contraste, el subsuelo de la Ciudad de Guadalajara esta constituido, en sus aproximadamente 20 metros superiores, por arenas pumíticas (llamadas localmente «jales»), las cuales presentan una alta permeabilidad que permite la libre y rápida infiltración de contaminantes al subsuelo. A profundidades de entre 5 y 15 metros se encuentra el nivel freático, sobre el cual se llegan a acumular fugas de hidrocarburos líquidos. La zona no saturada entre la superficie y el nivel freático, permite la libre circulación de volátiles, haciendo de ésta, una zona de alta vulnerabilidad.

CARACTERÍSTICAS DE LOS HIDROCARBUROS

Con el objeto de entender el comportamiento de los hidrocarburos en el subsuelo, se presentan algunas de sus características físicas y químicas.

Las gasolinas son una compleja mezcla de hidrocarburos. Pueden ser identificados más de 150 compuestos en una gasolina típica. Estudios efectuados por Fleischer et al (1986), enfocados a los 13 compuestos más comunes de las gasolinas, los dividió en los 4 grupos siguientes: (1) Compuestos que preferentemente son absorbidos por la estructura del suelo; (2) los que se volatilizan rápidamente; (3) los que pueden causar mayor peligro; (4) los que no tienen un comportamiento de migración definido. En la tabla No. 1 se muestra la capacidad de adsorción, volatilización y solubilidad de los componentes más comunes de las gasolinas.

Los hidrocarburos ligeros tienden a volatilizarse, mientras que los pesados permanecen entre las partículas del suelo (Lyman et al., 1992). Los hidrocarburos ligeros son conocidos como LNAPLS (Ligh-Nonaqueous Phase Liquids) (Nielsen, 1991).

Las gasolinas son utilizadas como combustible para máquinas. Los principales componentes químicos incluyen las cadenas de alcanos, cicloalcanos y los aromáticos. La primera cadena corresponde también a parafinas. El porcentaje en volumen de las cadenas mencionadas son de aproximadamente 51% para los alcanos, 36% para los cicloalcanos y 14% de aromáticos, En la tabla No. 2, se presentan algunos de estos compuestos en ciertas gasolinas.

El diesel es una mezcla de parafinas de cadena rota. Los diferentes tipos de hidro-

carburos comerciales, entre ellos la gasolina y el diesel, corresponden a cortes de destilación. La gasolina contiene relativamente grandes concentraciones de aromáticos como benceno y tolueno. En contraste, en el diesel estos aromáticos prácticamente no se encuentra presentes.

Dentro de los productos del petróleo, los aromáticos corresponden al grupo más importante desde el punto de vista ambiental. El benceno, el tolueno y los xilenos, presenta densidades menores a uno. El benceno es el más soluble con hasta 1780 ppm a la temperatura ambiente. El tolueno

tiene una solubilidad de 5 15 ppm a 20 ° C. Los componentes aromáticos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) se consideran los de más alta movilidad.

La identificación de los componentes de los hidrocarburos se realiza mediante un análisis de cromatografía (Kostecki, 1992), por medio del cual se llegan a identificar y cuantificar. En la figura 1 se muestra el cromatograma de una mezcla de hidrocarburos (Nyer, 1993), así como los rangos de destilación de ciertos compuestos y en la figura 2, los cromatogramas de algunos productos.

Tabla 1.
Capacidad de absorción, volatilización y solubilidad de los componentes más comunes de las gasolinas.

COMPUESTOS DE LAS GASOLINAS	CAPACIDAD DE		
	ABSORCION POR EL SUELO (%)	VOLATILIZACION (%)	SOLUBILIDAD (%)
Benceno	3	62	35
Etilbenceno	21	59	20
(n) Heptano	0.1	99.8	0.1
(n) Hexano	0.1	99.8	0.1
(n) Pentano	0.1	99.8	0.1
Benc (a) Antraceno	100	0	0
Benc (a) Pireno	100	0	0
Naftaleno	61	8	31
Fenantreno	88	2	10
1-pentano	0.1	99.8	0.1
Fenol	9	0.01	91
Tolueno	3	77	20
Xileno	15	54	31

Tabla 2.
Algunos de los principales constituyentes de las gasolinas (Adaptada por Perry y Modificada por Nyer 1993)

CONSTITUYENTES	VOLUMEN %		
	GASOLINA 1	GASOLINA 2	GASOLINA 3
ALCANOS			
n-PENTANO	0.33	0.44	1.12
n-HEXANO	6.44	7.75	9.15
n-HEPTANO	6.9	5.94	8.42
2-METILPENTANO	2.89	2.56	3.47
2,3-DIMETILHEXANO	0.22	1.3	2.39
CICLOALCANOS			
CICLOPENTANO	0.96	1.76	0.67
METILCICLOPENTANO	6.51	10.29	5.01
CICLOHEXANO	10.4	7.63	7.13
METILCICLOHEXANO	22	14.55	18.07
ETILCICLOPENTANO	2.03	4.38	2.34
TRIMETILCICLOPENTANO	3.64	8.12	4.18
AROMATICOS			
BENCENO	3.27	2.22	3.61
TOLUENO	16.19	7.94	12.02

Algunos constituyentes de los hidrocarburos puede ser cancerígenos, en especial el benceno. La norma de calidad para el benceno en agua es de 1 ppb. (parte por billón).

Los hidrocarburos se pueden encontrar en diferentes formas en el subsuelo como son: fase líquida; fase disuelta en el agua y fase absorbida por el suelo. Estudios recientes han adoptado el BTEX como una forma de expresar a los hidrocarburos.

EXPLORACIÓN Y DELIMITACIÓN DE PLUMAS DE HIDROCARBUROS

En el Subsuelo

Parte de los hidrocarburos más comunes se volatiliza, propiedad que se aprovecha para, mediante perforaciones someras, realizar mediciones de los hidrocarburos volátiles existentes y delimitar la zona afectada.

El proceso de exploración se inicia con la perforación de pozos someros, mediante los cuales se realizan mediciones *in situ* y se obtienen muestras de gas y líquido para el análisis de cromatografía. Los resultados de las mediciones permiten delimitar la zona afectada y cuantificar el volátil y el líquido.

Pozos de Medición o Monitoreo

La perforación de los pozos someros de medición, se puede realizar mediante muestreadores manuales o perforadoras sencillas (Devitt, 1987). Son comunes los rotomartillos accionados por energía eléctrica. El rotomartillo «inca» barras de acero inoxidable generalmente de 3/4" de diámetro (Kva, 1990; Kerfoot, 1988). La perforación de este tipo de pozos generalmente alcanza de 2 a 6 metros de profundidad.

Mayores profundidades requieren maquinas perforadoras especiales que incluyen tuberías para perforación y muestreo de suelo, denominadas «augers» (Abdud, 1989).

Mediciones *IN SITU*

Una vez perforados los pozos someros, se pueden realizar mediciones *in situ* de hidrocarburos volátiles (HCV), oxígeno, explosividad y bióxido de carbono. Un plano con la distribución de HCV puede mostrar claramente la presencia y extensión de la zona contaminada. Los valores de explosividad, además de poder indicar la magnitud de la pluma, dan una «idea» del riesgo, aunque su medición puede estar afectada por la ausencia de oxígeno.

En todos los suelos existen bacterias que biodegradan a los hidrocarburos provocando: (1) ausencia de oxígeno que es consumido por la acción bacteriana y (2) abundancia de bióxido de carbono, como producto de la biodegradación, por ello, la medición y mapeo de los parámetros mencionados constituyen otras formas de delimitar las áreas impregnadas por hidrocarburos.

Cuando en las perforaciones de monitoreo se alcanza el nivel freático, se puede medir el espesor de los hidrocarburos líquidos (HCL) que se encuentran flotando sobre el nivel freático.

Muestreo de Hidrocarburos

El muestreo se puede llevar a cabo sobre muestras de suelo, gas, agua y producto líquido.

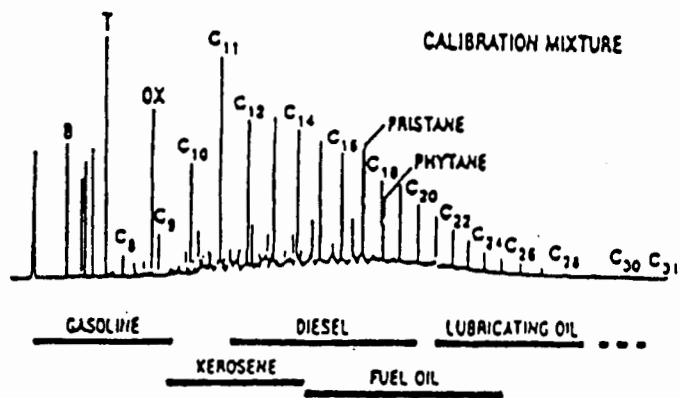


Figura 2.
Cromatogramas de mezcla de Hidrocarburos (Nyer, 1993)

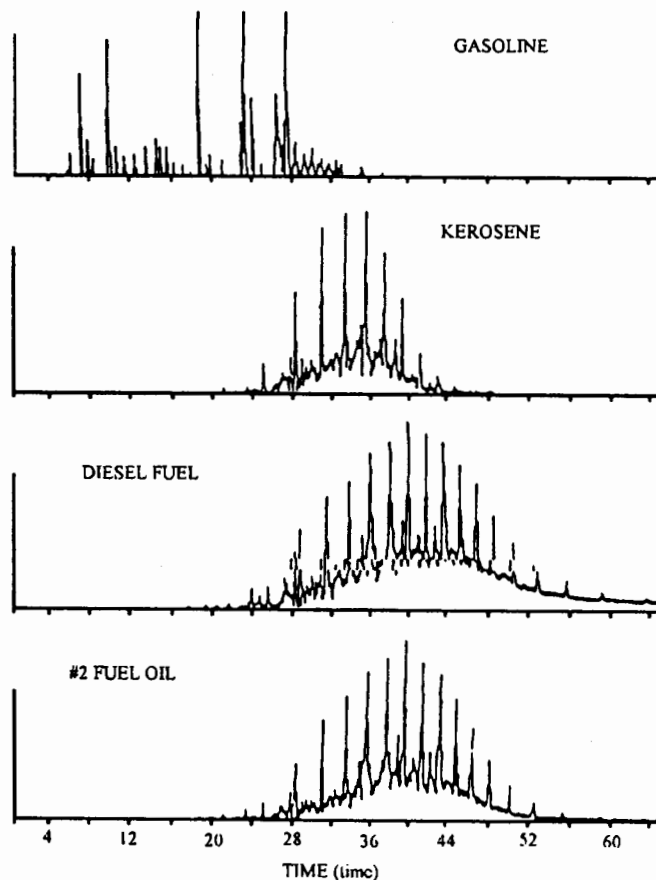
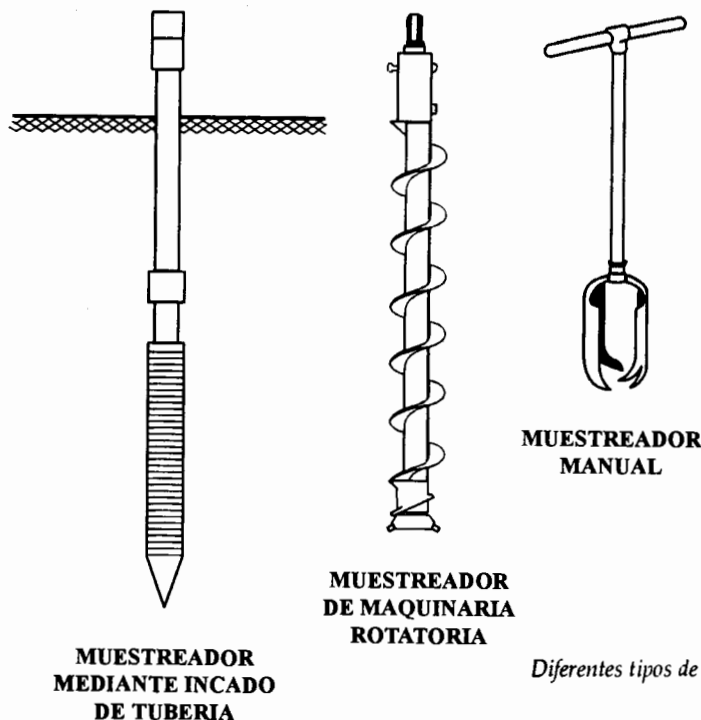


Figura 2.
Cromatogramas de diferentes Hidrocarburos (De Calabrese y Kostek, 1989)

MUESTRAS DE SUELOS

Con el objeto de definir la litología del subsuelo y extraer muestras de suelo e hidrocarburos, se perforan pozos con obtención de núcleos de suelo inalterado, a partir de la superficie y hasta la profundidad total del pozo. Los núcleos son enviados al laboratorio para efectuarles un análisis de cromatografía. Existen varias formas de realizar el muestreo de núcleos de suelo. Generalmente para profundidades someras (1-10 m), el muestreo se realiza mediante un tubo de acero inoxidable, el cual incluye una punta cónica truncada; a través de ésta, entra el material arcilloso del suelo al tubo, al ser impulsado el muestreador hacia abajo. El tubo muestreador se encuentra revestido en su interior por un empaque de acetato, dentro del cual se aloja la muestra de material. Al sacar el tubo muestreador, se extrae el empaque de acetato y muestra de suelo, al que se le colocan tapas en las partes superior e inferior. Las tapas pueden ser de diferente color con el objeto de marcar la orientación de la muestra.

Para el muestreo a profundidades mayores de 10 metros, generalmente se utilizan máquinas perforadoras rotatorias, equipadas con tuberías de perforación especiales para muestreo, denominadas «augers». En la figura 3 se muestran diferentes tipos de equipos de muestreo.



Muestras de Gas

La obtención de muestras de gas en los pozos someros se realiza colocando un tubo plástico flexible dentro del pozo. Se extrae el gas por medio de una pequeña bomba o una hipodérmica y se almacena en bolsas especiales, fabricadas con materiales que no reaccionan con el hidrocarburo o bien en recipientes de vidrio. Las muestras obtenidas son enviadas al laboratorio para su análisis cromatográfico. Son comunes los cromatógrafos portátiles que pueden realizar el análisis en el sitio.

Muestras de Producto Líquido

Cuando la perforación alcanza el nivel freático, puede obtenerse una muestra de agua y del producto (hidrocarburo) líquido. Existen diferentes aparatos para su extracción. El producto líquido debe envasarse y sellarse en recipientes especiales.

Análisis de Laboratorio

En la prospección de hidrocarburos, las muestras de gas, agua o suelo, son analizadas por el método de cromatografía de gases (GC/FID = Gas chromatography with flame ionization detection). Los resultados pueden interpretarse cualitativa y cuantitativamente. En la gráfica (cromatograma) resultante de un análisis, los picos relacionan a los diferentes compuestos presentes en la muestra. (figuras 1 y 2).

CONCLUSIONES

Las fugas de hidrocarburos y su consecuente contaminación de suelos y agua subterránea, son comunes en sitios donde se manejan estos productos, principalmente gasolineras y patios de ferrocarriles, autobuses y aeropuertos. El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo depende del tipo y características del material que constituye el medio. Los hidrocarburos comerciales corresponden a cortes de destilación, que van de ligeros y alto grado de volatilización, a pesados o densos. La exploración y delimitación de hidrocarburos en el subsuelo se realiza mediante determinaciones de HCV, O_2 , CO_2 y BTEX, entre otros, medidos en pozos someros. Generalmente se obtienen muestras de gas, líquido y/o sólido para su análisis, cualitativo y cuantitativo; la técnica usual es la cromatografía de gases.

REFERENCIAS

ABDUL, S.A. 1989. *Limitations of Monitoring Wells for the Detection and Quantification of Petroleum Products in Soil and Aquifers In: GWMR.*

ALLER, L. et al., 1989, *Handbook or Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells.*

CALABRESE, E. J. and P. T. Kostecki, 1989. *Petroleum Contaminated Soils. Vol. 2 Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assessment Analytical Methodologies. Lewis Publishers. Inc.*

DEVITT, D. A. et al., 1987. *Soil Gas Sensing for Detection and Mapping of Volatile Organics. National Water Well Association.*

KVA, ANALYTICAL SYSTEMAS. 1990. *Soil Gas Equipment and Brief Field Techniques. Publisher K-V Associates, INC.*

KERFOOT, H. B. 1988. *Is Soil-Gas Analysis, an Effective Means of Tracking Contaminant Plumes in Groundwater? What are the limitations of the Technology Currently Employed, In: GWMR.*

KOSTECKI, P. T. AND E. J. CALABRESE. 1992. *Contaminated Soils, Diesel Fuel Contamination. Lewis Publishers.*

LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. *Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments. C. K. Sholey, Inc.*

NIELSEN, D. M. 1991. *Practical Handbook of Ground-Water Monitoring. National Water Well Association .*

NYER, E. K. 1993. *Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers.*

Figura 3.

Diferentes tipos de muestreadores.