

INVESTIGACIÓN DE UN SUELO INDUSTRIAL DEL VALLES (BARCELONA)
CONTAMINADO POR COMPUESTOS HALÓGENOS VOLÁTILES Y SU
DESCONTAMINACIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN DE GASES DEL SUELO

W. HOLZWARTH⁽¹⁾, P. BERAZA⁽²⁾ y M.ª B. MUIÑA⁽³⁾

Director de GEYSER HPC, S.A.⁽¹⁾, Jefe de proyectos de GEYSER HPC, S.A.⁽²⁾
Jefe de proyectos de GEYSER HPC, S.A.⁽³⁾

RESUMEN

La actividad industrial y en concreto determinadas operaciones desarrolladas durante años en el emplazamiento han originado la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas con compuestos halogenados volátiles. La empresa a la que pertenece este suelo contaminado se dedica a la fabricación de componentes para grupos electrógenos utilizando percloroetileno y tricloroetileno como disolventes en la operación de desengrase de piezas.

Una vez estudiada la situación y consideradas las alternativas posibles se decidió proceder a la descontaminación de este suelo mediante la técnica de recuperación *in situ* de extracción de gases.

PALABRAS CLAVE

Descontaminación, saneamiento, extracción de gases (SVE), compuestos halogenados.

ABSTRACT

As a result of historical operations associated with an industrial facility, soil and groundwater underlying the property have been contaminated with volatile halogenated compounds. The operator of the facility is active in the

production of electrical components using perchloroethylene and trichloroethylene in degreasing processes. Upon completion of a feasibility study, a soil vapor extraction technology was selected for the remediation of the contaminated soil.

KEY WORDS

Remediation, Soil Vapor Extraction (SVE), Halogenated Compounds.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de un período de tiempo cercano a los dos años, GEYSER HPC, S.A. llevó a cabo diferentes actuaciones en el emplazamiento estudiado encaminadas básicamente hacia la descontaminación de los terrenos afectados por las actividades desarrolladas en él. La contaminación detectada estaba en su mayoría constituida por hidrocarburos halogenados volátiles cuyo origen viene ligado a las diferentes operaciones de desengrase que se llevaban a cabo en el lugar. Previamente a la elección de la mejor tecnología disponible para llevar a cabo el saneamiento de los terrenos se tuvieron que realizar una serie de estudios dirigidos primero a verificar la existencia de contaminación, posteriormente a delimitarla y cuantificarla y finalmente a realizar ensayos de comportamiento con el fin de observar la reacción del terreno ante una extracción piloto se procede a construir toda la instalación que permitiría llevar a cabo la descontaminación del terreno.

2. ANTECEDENTES

2.1. Auditoría medioambiental

Fue la primera de las investigaciones que GEYSER HPC, S.A. llevó a cabo en el emplazamiento. Consistió básicamente en la obtención de información referente a las diferentes actividades desarrolladas en el área, identificación de materiales utilizados, localización de las áreas en las cuales eran utilizados los diversos compuestos, etc.

A partir de las conclusiones obtenidas de esta investigación se señalaron algunas áreas como sospechosas de poder presentar contaminación. Éstas se correspondían en general con las zonas destinadas a almacén de productos químicos, estación de desengrase y almacén de residuos, principalmente. Las recomendaciones de esta auditoria estuvieron dirigidas a la realización de investigaciones invasivas mediante el muestreo del suelo utilizando para ello sondeos ligeros, y realizando mediciones semicuantitativas del gas del suelo, así como al muestreo del agua subterránea existente en el emplazamiento.

2.2. Investigación preliminar

Se procedió a la realización de nueve (9) sondeos ligeros en las áreas clasificadas como sospechosas, tomándose muestras de suelo y gas del suelo. Asimismo se procedió al muestreo del agua subterránea utilizando los pozos existentes en el emplazamiento. Este último apartado se consideró de gran importancia debido a que el agua de estos pozos estaba destinada tanto para el abastecimiento para los procesos como para consumo humano.

Los resultados del laboratorio pusieron de manifiesto la existencia de una contaminación por hidrocarburos halogenados volátiles en el gas del suelo y en el agua subterránea. El componente mayoritario de esta contaminación fue el percloroetileno (PCE), compuesto que había sido utilizado en el pasado como agente desengrasante.

Se alcanzaron concentraciones de 1.800 mg/m³ en los sondeos SL 2 y SL 3 y de 2.500 mg/l en la muestra de agua subterránea tomada en el Pozo 1. Otro componente que destacó también en el Pozo 1 fue el freón.

El hecho de detectar tales concentraciones hizo necesario la ampliación de la campaña de muestreo tanto de suelo y gas del suelo como del agua subterránea.

2.3. Ampliación de las investigaciones

Con el fin de localizar y delimitar los posibles fuentes de contaminación existentes en el emplazamiento, así como obtener información acerca del funcionamiento del acuífero, se llevó a cabo esta ampliación de investigación.

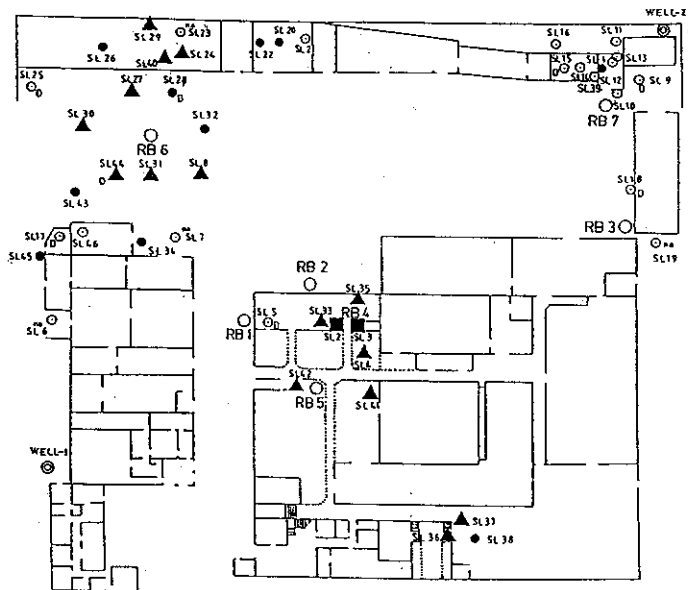
En esta investigación se realizaron 37 sondeos ligeros que permitieron la obtención de muestras. Básicamente se muestreó el gas del suelo, aunque en aquellas áreas en que así se indica se muestreó también el suelo. Asimismo y con el fin de obtener información sobre el comportamiento del acuífero se realizaron tres (3) ensayos de bombeo, dos en el Pozo 1 y uno en el Pozo 2.

El programa analítico, en función de los resultados de las investigaciones previas, estuvo dirigido principalmente hacia la detección de hidrocarburos halogenados volátiles, así como el freón.

Los resultados de estas investigaciones confirmaron la existencia en el emplazamiento de una fuerte contaminación por compuestos halogenados, principalmente percloroetileno, tricloroetileno y freón. Asimismo, también se pudo concluir que la contaminación estaba relacionada con tres áreas fuentes diferentes.

- Antigua zona de almacenaje de residuos
- Zona de desengrase, destilación y mecanizado de piezas metálicas
- Zona de desengrase por freón

En la Figura 1 se muestra un plano del emplazamiento con la situación de todos los sondeos realizados, así como las concentraciones detectadas.



Concentraciones de hidrocarburos halogenados volátiles en gas del suelo no analizado, O: 10 mg/m³, ●: 100 mg/m³, ▲: 500 mg/m³, ■: >500 mg/m³

Fig. 1. Localización de los sondeos realizados con las concentraciones detectadas.

Dado el carácter volátil de estas sustancias contaminantes se han formado alrededor de las zonas de infiltración, aureolas, donde el gas presente en los poros del suelo está saturado de estos compuestos.

Una vez confirmada y delimitada la extensión de la contaminación el siguiente paso desarrollado consistió en la elección de la mejor alternativa de saneamiento. Así atendiendo a las características específicas del emplazamiento, así como a una relación óptima calidad de saneamiento-precio de saneamiento, se decidió que la metodología idónea para este era la extracción de gases.

La técnica de la extracción de gases consiste básicamente en la instalación de unos pozos de extracción en los focos de contaminación (utilizando únicamente tubería filtro en el espesor de la zona no saturada), y acoplado posteriormente bombas de vacío o ventiladores que sean capaces de producir vacío.

El gas extraído es reemplazado por aire limpio procedente de las zonas colindantes, lo que acelera la volatilización de los compuestos, facilitando de esta manera la extracción de importantes cantidades de materiales volátiles en fase gaseosa. El gas extraído pasa a continuación a un sistema de depuración consistente en filtros de carbón activo donde quedan retenidos los compuestos halogenados.

3. SANEAMIENTO DE LOS TERRENOS AFECTADOS

En toda operación de saneamiento de este tipo, es decir, utilizando la metodología de la extracción de gases, previo a la realización de cualquier obra de acondicionamiento para la instalación del sistema de descontaminación, se hace necesario la comprobación de la idoneidad del sistema elegido mediante la realización de ensayos de extracción y posterior modelización.

3.1. Investigación de saneamiento

Con el objetivo de obtener información del comportamiento del terreno se procedió a la realización de diversos estudios. Para ello fue necesaria la instalación en el emplazamiento de cinco pozos de extracción de gases (Vapor Extraction Wells, VEW) cuya construcción requirió la utilización de un equipo especial de sondeos, de reducidas dimensiones, que pudiese acceder y ejecutar los pozos dentro de las naves de la empresa.

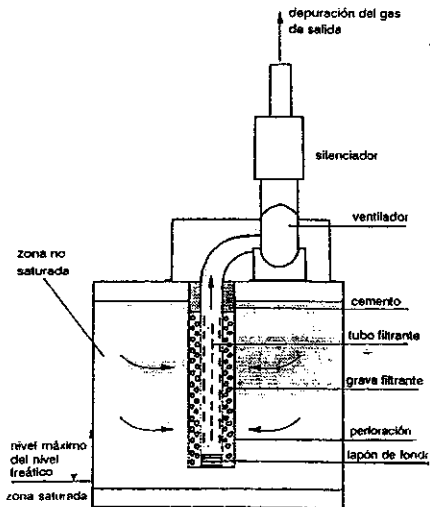
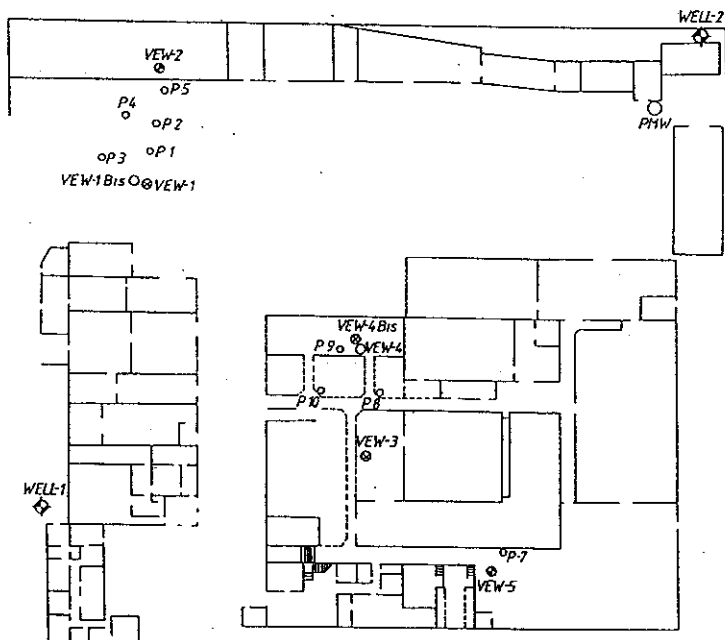


Fig. 2. Esquema de extracción de gases

El diámetro de perforación fue de 200 mm. y el de la tubería utilizada en el revestimiento de los pozos fue de 115 mm.

Para controlar el funcionamiento del sistema fue necesaria la construcción de unos piezómetros de control permanentes (9) (Permanent Vapor Monitoring Probes, PVMP) que permitiesen obtener información sobre los rangos de rendimiento y el radio de afección de la extracción.

La localización de los pozos de extracción de gases (VEW), los piezómetros de control (PVMP), así como de los pozos de control del agua subterránea se muestra en la Figura 3.



⊗: Pozo de extracción de gases y control de agua, ○: Pozo de control de agua, ⊗: Pozo de extracción de gases, ⊙: Pozo de abastecimiento de agua, ○: Piezómetros de control

Fig. 3. Localización de los VEW y PVMP

3.1.1. Ensayos de extracción

Con el fin de extrapolar la reacción del subsuelo ante la situación de una extracción más intensa, se procedió a realizar ensayos de extracción de una hora de duración cada uno. Para ello se utilizó un aspirador del tipo compresor a canal lateral, con un caudal nominal de 280 m³/h y un vacío de 220 mbar.

Al final del ensayo de extracción se procedió a tomar muestras del gas en tubos de carbón activo con el fin de proceder a su posterior análisis. Asimismo durante la realización del ensayo se llevó a cabo una serie de determinaciones semicuantitativas destinadas a obtener datos in situ. En la Tabla 1 se muestran los resultados de tales mediciones.

Estos ensayos permitieron la obtención de datos (caudal de aspiración, rangos de presión), utilizando tanto los pozos de extracción (realizando en ellos la aspiración) como los piezómetros de control permanentes (realizando mediciones), que posteriormente permitieron calcular el radio de acción.

Tabla 1.
Resultados de las mediciones semicuantitativas del gas extraído

	Percloroetileno (ppm)
VEW 1	300
VEW 2	500
VEW 3	>>500
VEW 4	400
VEW 5	100

Las siguientes tablas recogen los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados en los distintos pozos, así como las afecciones provocadas en los piezómetros de control permanentes.

Tabla 2.
Resultados de los ensayos de extracción

	VEW-1	VEW-2	VEW-3	VEW-4	VEW-5
Caudal de extracción (m ³ /h)	49	12	12	46	19,8
Presión diferencial (mbar)	-94,5	-94,9	-94,9	-92,5	-97,8

Tabla 3.
Presiones diferenciales obtenidas en los piezómetros de control permanentes (PVMP)

Pozo de control	Profundidad (m)	Extracción en VEW-1	Extracción en VEW-2	Extracción en VEW-3	Extracción en VEW-4	Extracción en VEW-5
P1	2.7	-1.56	-0.18	-	-	-
P2	3	-0.06	-0.02	-	-	-
P3	3	-0.03	-0.05	-	-	-
P4	5	-0.45	-0.37	-	-	-
P5	2.3	-0.39	-0.63	-	-	-
P7	3	-	-	-	-	-0.77
P8	3.2	-	-	-0.45	-0.06	-
P9	4.7	-	-	-0.15	-2.41	-
P10	3.1	-	-	-0.06	-0.02	-

3.1.2. Modelización

Simultáneamente a la instalación de los pozos de extracción y de los piezómetros de control, se llevó a cabo una modelización del flujo de gases con el fin de comprobar si el número de pozos de extracción y su localización garantizaban el saneamiento completo de la zona no saturada, pudiendo realizar en caso negativo los pozos adicionales necesarios dentro de la misma campaña de sondeos.

Con el fin de llevar a cabo la citada modelización, se hizo uso del modelo "HAIR" (HPC AIR INDUCED REMEDIATION) introduciendo en él todos los datos obtenidos a partir de los ensayos previamente realizados. Este modelo permite descifrar incógnitas tales como:

- Número de pozos de extracción necesarios.
- Localización de estos pozos de extracción.
- Diseño (Profundidad de los pozos, localización de la zona con tubería filtro).
- Rangos de extracción.
- Interacción entre los diferentes pozos de extracción.
- Selección del aspirador más adecuado.
- Modo de operación (continuo/discontinuo).

Al aplicar el modelo se presentan dos límites, uno inferior y otro superior. El límite inferior viene impuesto por el nivel del agua subterránea. Con respecto al límite superior podemos disponer de un límite que posibilita el intercambio de aire con el subsuelo (zonas no cubiertas), o de un límite que no permite el intercambio (zonas cubiertas).

Al aplicar el modelo HAIR se deben de asumir una serie de puntos:

- Principio de continuidad.
- Validez de la Ley General de Gases.
- Existencia de un régimen de flujo laminar y que se cumple la Ley de Darcy.
- La masa molar del gas es constante.

Con el fin de proceder al estudio de los terrenos se dividió el emplazamiento en dos subáreas A y B. La subárea A que comprende el VEW 1 y VEW 2 y la subárea B que comprende el VEW 3, VEW 4 y VEW 5.

En el área B, a pesar de estar previsto en un principio la realización del pozo de extracción VEW 3, la construcción de éste estaba condicionada a los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas in situ (a partir de los ensayos de extracción), mostrando finalmente la conveniencia de su construcción.

Después de la evaluación realizada a partir de los ensayos de extracción se determinaron las siguientes permeabilidades de gas:

Área A: $3,5 \times 10^{11} \text{ m}^2$

Área B: $2,9 \times 10^{10} \text{ m}^2$

Durante la simulación final, en el modelo se introdujeron los actuales pozos de extracción con el fin de confirmar la validez de los mismos. Si durante la simulación se hubiese observado que estos pozos no son suficientes, se habría podido introducir nuevos pozos y examinar su influencia en el modelo resultante.

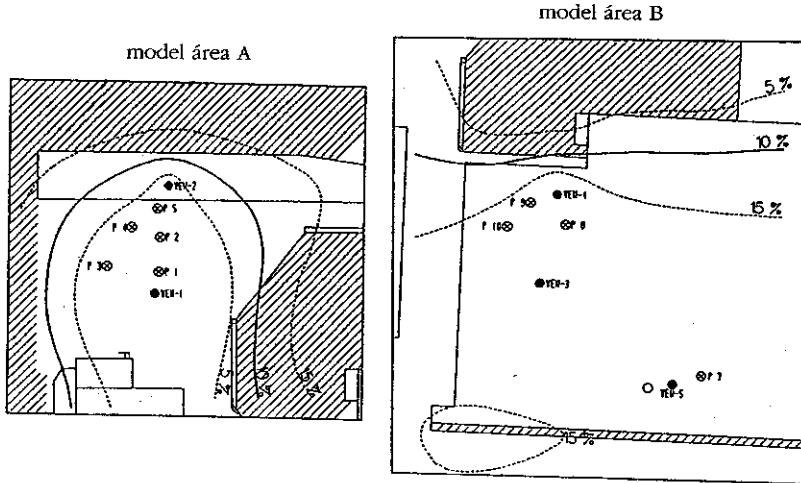


Fig. 4. Radio de afección obtenida a partir de la modelización realizada

Con los rangos de flujo obtenidos durante los ensayos de extracción y que se encuentran recogidos en la Tabla 2, se consigue cubrir todo el área que se quiere recuperar sin necesidad de construir más pozos de extracción. Esto queda recogido en la Figura 4 en la cual se puede observar el radio de acción obtenido al introducir los valores resultado de los ensayos de extracción realizados.

Así las concentraciones de compuestos halogenados en el gas de emisión extraído durante estos ensayos alcanzaron en ocasiones los 16 g/m^3 . El caudal de extracción del gas fue de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ contabilizando una cantidad de 1 Kg/h de compuestos halogenados extraídos.

3.2. Saneamiento de los terrenos afectados

Actualmente nos encontramos en la fase de saneamiento de los terrenos. La modelización realizada confirmó la elección de la tecnología a aplicar. El siguiente paso consistió en el diseño de la instalación de saneamiento.

Debido a las grandes distancias existentes entre los distintos focos de contaminación, se optó por instalar sistemas de extracción individuales en cada pozo en lugar de conectar subterráneamente los focos de contaminación a un sistema único de extracción lo que hubiese requerido construcción de zanjas y otras obras que obstaculizarían la actividad industrial diaria.

A pesar de las concentraciones obtenidas durante los ensayos de extracción realizados, éstas deberán de ser tenidas en cuenta en su justa medida.

Por regla general en una recuperación de un suelo aplicando la tecnología de extracción de gases, los rendimientos obtenidos durante los primeros meses son más elevados. Así en una recuperación llevada a cabo a lo largo de un año de duración (ver Figura 5), las concentraciones del gas extraído disminuyeron en los tres primeros meses de 750 ppm de la suma de hidrocarburos halogenados a aproximadamente 100 ppm.

Asimismo también se observa que durante estos tres primeros meses la cantidad de hidrocarburos halogenados volátiles constituye prácticamente el 50% del total de gases extraídos durante un periodo de un año de duración.

En el caso concreto que nos ocupa se estima en un principio un comportamiento similar al comentado, con una extracción elevada durante los primeros meses.

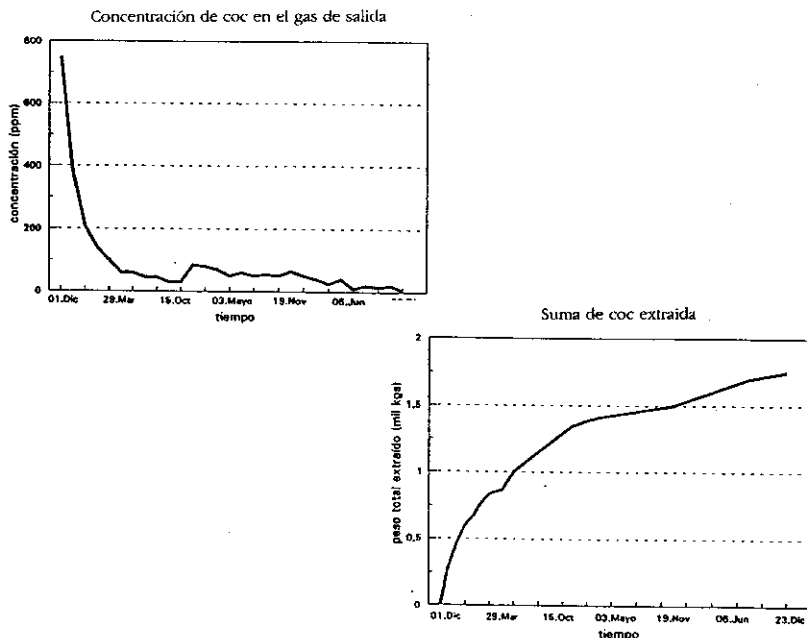


Fig. 5. Concentraciones obtenidas en un saneamiento por extracción

Es durante estos meses cuando se debe realizar un seguimiento más constante debido a las posibles variaciones que nos podemos encontrar en las concentraciones del gas extraído, procediendo a ajustar los diferentes parámetros de depuración (presión de vacío, tiempo de cambio del carbón activo, caudal de aspiración) en función de esas concentraciones.

Durante la etapa posterior de la extracción, las posibles variaciones aún pudiendo existir serán de mucha menor entidad.

BIBLIOGRAFÍA

- BAEHR, A. L., HOAG, G. E., AND MARLEY, M. C. (1989). Removing volatile contaminants from the unsaturated zone by inducing advective air-phase transport. *Journal of Contaminant Hydrology*. 4:1-26
- BAKER, R.S. AND WISEMAN, J. T. (1992). Importance of vadose zone monitoring during soil vapor extraction pilot studies. *International Symposium on In Situ Treatment of Contaminated Soil and Water*. Cincinnati, OH. February 3-6, 1992. *Air and Waste Management Association*, pp. 26-41.
- BALL, R. AND WOLF, S. (1990). Design considerations for soil cleanup by soil vapor extraction. *Environmental Progress*. 9(3):187-90.
- BECKETT, G. D. AND HUNTLEY, D. (1994). Characterization of flow parameters controlling soil vapor extraction. *Groundwater*. 32:239-47.
- BENNEDESEN, M. B., SCOTT, J. P., AND HARTLEY, J. D. (1987). Use of vapor extraction systems for in situ removal of volatile organic compounds from soil. *National Conference on Hazardous Wastes and Hazardous Materials*. Hazardous Materials Control Research Institute, Washington, DC. pp. 92-5.
- BUCK, F. A. M. AND SEIDER, E. L. (1991/1992). State of the art VOC abatement from soil-venting operations. *Remediation journal of Environment Cleanup Cost, Technologies and Techniques*. 2(1):39-50.
- DANKO, J (1989). Applicability and limitations of soil vapor extraction. *Soil Vapor Extraction Technology Reference Handbook*. Appendix B.
- JOHNSON, P. C., BAEHR, A., BROWN, R. A., HINCHEE, R., AND HOAG, G. (1994). Innovative Site Remediation Technology Series, Vol. 8. *Vacuum Vapor Extraction*. WASTECH. W.C. Anderson (de.), American Academy of Environmental Engineers, Annapolis, MD. 224 pp.
- JOHNSON, P.C., AND ETTINGER, R. A. (1994). Considerations for the design of in situ vapor extraction systems: Radius of influence vs. zone of remediation. *Ground Water Monitoring Review*. Summer 123-128.
- HILLER, D.H. (1991). Performance characteristics of vapor extraction systems operated in Europe. *Symposium on Soil Venting*. EPA/600/R-92/174. Houston, TX. April 29-May 1, 1991. USEPA Office of Research and Development, Washington, D.C. pp. 193-202.
- HOAGH, G. E. (1991). Soil vapor extraction research developments. *Soil Vapor Extraction Technology Reference Handbook*. EPA/540/2-91-003. Office of Research and Development.