

Sinopsis de Tecnología

Tecnologías de Tratamiento en Superficie

Tercero en la Serie de Tópicos Avanzados de
Optimización de Procesos de Restauración



Marzo del 2006

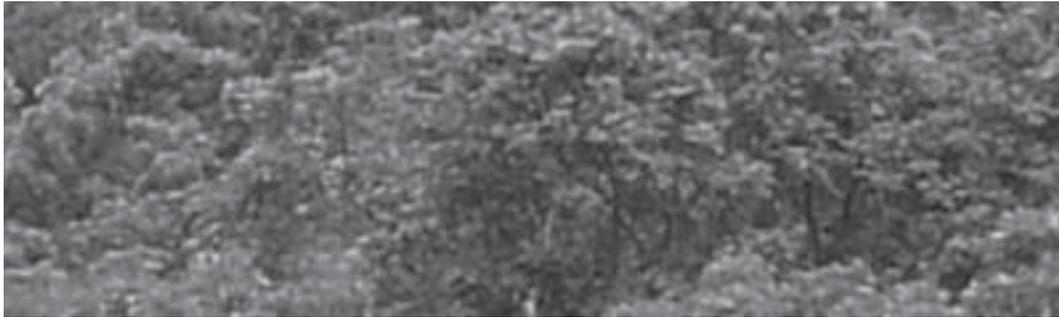
Preparado por
The Interstate Technology & Regulatory Council
Equipo de Optimización de Procesos de Restauración



Descripción de la Tecnología

TECNOLOGÍAS DE RESTAURACIÓN EN SUPERFICIE

Tercero en la Serie de Tópicos Avanzados Relacionados
con la Optimización de Procesos de Restauración



Marzo del 2006

Preparado por
El Equipo de Optimización de Procesos de Restauración
Consejo Interestatal Regulatorio y de Tecnología

Derechos Reservados 2006 Consejo Interestatal Regulatorio y de Tecnología
444 North Capitol Street, NW, Suite 445, Washington, DC 20001



Se autoriza el referir o citar esta publicación con el reconocimiento apropiado de la fuente. La referencia sugerida para citar este documento es la siguiente:

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2006. *Above Ground Treatment Technologies*. RPO-4. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Remediation Process Optimization Team. www.itrcweb.org.

Advertencias

Este documento está diseñado para ayudar a agentes reguladores y otras personas interesadas a desarrollar una metodología para la evaluación, aprobación normativa e implementación de tecnologías específicas para sitios determinados. Aunque se cree que la información en este documento es confiable y precisa, este documento, y todo el material incluido como parte de este documento, se proporciona sin garantías, expresas o implícitas, de ningún tipo, incluyendo, pero no limitado, a garantías en la precisión o integridad de la información. Las implicaciones técnicas de cualquier información o guía contenidas en este documento pueden variar ampliamente basadas en hechos específicos y no deben utilizarse como sustituto de la asesoría profesional de un consultor competente. Aunque los autores trataron de enfocarse en lo que consideran puntos relevantes, este documento no pretende ser un tratado extensivo y exhaustivo de los tópicos discutidos en el mismo. Los lectores interesados deben conducir su propia investigación y utilizar las referencias incluidas en este documento como punto de partida. Este documento no necesariamente discute todos los riesgos asociados a la salud y la seguridad, o precauciones con respecto a materiales, condiciones, o procedimientos específicos en la aplicación de las tecnologías abordadas. Consecuentemente, el Consejo Interestatal Regulatorio y de Tecnología (*ITRC - Interstate Technology and Regulatory Council - por sus siglas en inglés*) también recomienda que se consulten los estándares, leyes y reglamentos correspondientes, así como la información de proveedores de materiales y las hojas de seguridad para el uso de materiales, como fuente de información de los riesgos asociados con la salud y seguridad así como las precauciones necesarias y el cumplimiento con las leyes y reglamentos correspondientes. El uso de este documento y los materiales presentados en el mismo se hacen a riesgo del usuario. ECOS, ERIS, e ITRC no serán legalmente responsables por ninguno de los daños directos, indirectos, incidentales, especiales, significativos o punitivos causados por el uso de cualquier información, instrumento, método o proceso discutido en este documento. Este documento puede ser actualizado o suprimido en cualquier momento sin aviso previo.

ECOS, ERIS, e ITRC no endosan el uso, ni tratan de determinar los meritos de ninguna tecnología o proveedor de tecnologías específicos a través de la publicación de este documento o cualquier otro documento de ITRC. El tipo de trabajo descrito en este documento debe llevarse a cabo por profesionales entrenados y de acuerdo a leyes federales, estatales

y municipales. Si existe algún conflicto entre este documento y las leyes, reglamentos y/o ordenanzas correspondientes, ECOS, ERIS, e ITRC no serán legalmente responsables. El mencionar marcas o productos comerciales no constituye un endoso o recomendación de uso por parte de ECOS, ERIS, e ITRC.

Reconocimientos

Los miembros del Equipo de Optimización de Procesos de Restauración (OPR) (*RPO - Remediation Process Optimization - por sus siglas en inglés*) del Consejo Interestatal Regulatorio y de Tecnología (*ITRC - Interstate Technology and Regulatory Council - por sus siglas en inglés*) desean reconocer a los individuos, organizaciones y agencias que contribuyeron al desarrollo de esta serie de 5 folletos sobre tópicos avanzados de OPR. Los siguientes individuos de agencias estatales, federales y del sector privado son miembros activos del Equipo OPR y apoyaron la preparación de estos documentos:

- New Jersey Department of Environmental Protection - Tom O'Neill (Co-team Leader)
- South Carolina Department of Health & Environmental Control - Sriram Madabhushi (Co-team Leader)
- California Department of Toxic Substances Control - Ning-Wu Chang
- Florida Department of Environmental Protection - Bheem Kothur
- Georgia Department of Natural Resources - Christopher Hurst
- South Dakota Petroleum Release Compensation Fund - John McVey
- Virginia Department of Environmental Quality - Tom Modena
- U.S. Air Force - Don Gronstal, Rod Whitten, Javier Santillán
- U.S. Army Corps of Engineers - Dave Becker
- U.S. Navy - Karla Harre
- U.S. Department of Energy - Beth Moore
- U.S. Environmental Protection Agency - Kathy Yager, Richard Hammond, Pamela Baxter, Ellen Rubin
- Lawrence Livermore National Lab - Maureen Ridley
- Battelle Corporation - Russell Sirabian
- Booz Allen & Hamilton - Joann Socash
- Dajak, LLC - Mark Kluger
- Intergraph Corporation - Tanwir Chaudhry
- Mitretek Systems - John Horin, Patricia Reyes
- Northeastern University - Mary J. Ondrechen
- Remedial Operation Group, Inc. - Bud Johnson
- S.S. Papadopoulos and Associates, Inc. - Michael T. Rafferty, P.E.
- SRS/Westinghouse - Kevin Brewer

Deseamos agradecer de manera especial a los autores principales de este documento de Tratamiento en Superficie: Chris Hurst, GA DNR; and Dave Becker, USACOE.

Tecnologías de Restauración en Superficie

Introducción

Esta sinopsis presenta al lector los conceptos básicos de optimización de las tecnologías de tratamiento sobre la superficie. En el año 2004, El Consejo Regulatorio de Tecnología Interestatal de Optimización de Procesos de Restauración (*ITRC - Interstate Technology and Regulatory Council Remediation Process Optimization - por sus siglas en inglés*) desarrolló una guía técnica/regulatoria titulada, *Remediation Process Optimization: Identifying Opportunities for Enhanced and More Efficient Site Remediation*. Basados en comentarios hechos al equipo de Optimización de Procesos de Restauración (OPR) (*RPO - Remediation Process Optimization - por sus siglas en inglés*) durante cursos de capacitación y a la continua investigación de este tópico, el equipo OPR identificó la necesidad de obtener mayor información con respecto a la optimización de las tecnologías de restauración sobre la superficie. Esta sinopsis presenta en forma generalizada algunas de las oportunidades más comunes de optimización para los sistemas de restauración sobre la superficie incluyendo: (1) extracción de aguas subterráneas, (2) inyección de aire/extracción de vapores del suelo, y (3) extracción de fases múltiples. Aunque existen muchas áreas en las cuales se puede aplicar la optimización, esta sinopsis se enfocará solamente en estas tres. La Figura 1 muestra la disposición de los componentes de un sistema de restauración



Figura 1. Tecnología Típica de Tratamiento en Superficie

típico. Es importante mencionar que la discusión que se hace sobre la extracción de aguas subterráneas en esta sinopsis, no tiene la intención de auspiciar los sistemas de extracción de aguas subterráneas por el método de bombeo y tratamiento, sino reconocer que estos sistemas existen y son candidatos potenciales para optimización.

Esta sinopsis está organizada de acuerdo a la identificación de la información siguiente: (1) información operacional necesaria para evaluar el rendimiento del sistema de restauración, (2) temas generales que son necesarios para optimizar un sistema de restauración, y (3) temas

comunes y sistemas de mejoramiento encontrados durante estudios de optimización para cada uno de los tres tipos de sistemas de restauración. Unas de las metas claves de optimización incluyen reducción de costos de mano de obra, incremento en el rendimiento del sistema, reducción de costos de energía, mejoramiento en la captura de contaminantes, y mejoramiento en la reducción de la masa de contaminación.

Para cualquiera de estos sistemas es importante tomarse el tiempo para evaluar el modelo conceptual del sitio y verificar que sea preciso y que refleje las condiciones reales del área y los objetivos de restauración. Debe notarse que no todos los sistemas son iguales y por lo tanto unas técnicas de optimización serán más efectivas que otras. Es también importante tener en mente el costo de las modificaciones del sistema. La figura 1 es un ejemplo típico de los sistemas de tratamiento en superficie: carbono activado granulado para el tratamiento de agua subterránea contaminada.

Quiénes Somos yCuál es Nuestra Audiencia

La ITRC es una coalición estatal de reguladores, expertos en la industria, ciudadanos interesados, catedráticos, y socios federales que trabajan para alcanzar la aprobación normativa de tecnologías ambientales innovadoras. Esta coalición consiste de 46 estados y una red de aproximadamente 7,500 personas que trabajan en conjunto para romper barreras, reducir costos y facilitar la aplicación de nuevas tecnologías para resolver problemas ambientales. La ITRC ayuda a incrementar el uso eficiente de recursos estatales al crear un foro donde se exploran tecnologías innovadoras y problemas de procesos. En conjunto, los miembros están desarrollando la habilidad de la comunidad ambiental para acelerar la toma de decisiones de calidad y a su vez proteger la salud humana y el medio ambiente.

Esta sinopsis tiene la intención de atraer la atención de la audiencia que está involucrada en procesos de restauración OPR o en proyectos de restauración de sitios con residuos peligrosos usando GBR, incluyendo:

- Reguladores Federales y Estatales
- Dueños y Operadores de Instalaciones
- Ingenieros y Consultores
- Partes Interesadas

Las agencias estatales y federales juegan varios roles en el proceso de OPR

y GBR: como reguladores, y como operadores o dueños de instalaciones donde se utilizan fondos públicos para llevar a cabo los trabajos de restauración. Como reguladores, las agencias federales y estatales son responsables de proteger la salud humana y el medio ambiente. También, los dueños de instalaciones públicas o privadas, tienen el mayor interés de alcanzar las metas específicas del proyecto de restauración. Además, la comunidad de ingeniería y consultoría que guía y proporciona opiniones profesionales a los dueños, debe tener un conocimiento profundo de las técnicas que puedan asegurar una restauración rápida y efectiva. Para que el público pueda ser partícipe de los esfuerzos de restauración ambiental y pueda entender el proceso GBR, no solamente deben conocer las tecnologías que se utilizaran en el sitio, sino también deben entender las bases técnicas que apoyan el proceso de la toma de decisiones. Este documento tiene como propósito sintetizar las estrategias de salida basadas en resultados; sin embargo, se exhorta a los usuarios que consulten las referencias presentadas al final de la hoja informativa.

Esta sinopsis es parte de una serie de cinco folletos: *Gerencia Basada en Resultados*, *Análisis de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Superficiales*, *Análisis de Estrategias de Salida*, *Manejo de la Información*, *Análisis y Técnicas de Visualización*, y *Análisis de Costo del Ciclo de Vida del Proyecto*; cada uno de estos folletos pueden servir como un excelente recurso para llevar adelante sus proyectos OPR y GBR.

Evaluación de la Información Operacional Pertinente

Para evaluar la eficiencia o rendimiento de la restauración es necesario analizar la información operacional y compararla con los criterios de saneamiento establecidos en los objetivos de la acción de restauración a largo plazo (RAOs - Remedial Action Objectives - por sus siglas en inglés) y con la información de los costos-de-finalización y tiempo requerido para restaurar el sitio. Esta información debe ser incluida en el Estudio de Viabilidad (FS - Feasibility Study - por sus siglas en inglés) o en el Estudio de Medidas Correctivas (CMS - Corrective Measure Study - por sus siglas en inglés) y en el Documento de Decisión. El tipo de información común que se incluye en las evaluaciones de rendimiento son:

- Concentraciones contaminantes, a través del tiempo, del medio (aguas subterráneas, suelos, etc.) afectado y los resultados de afluencia/efluencia del sistema de restauración

- Profundidad de las aguas subterráneas
- Espesor de los líquidos livianos en fase no acuosa (NAPL - Nonaqueous-phase liquid - por sus siglas en inglés) para sitios contaminados con combustibles (hidrocarburos del petróleo)
- Concentraciones/mediciones de los parámetros geoquímicos (por ejemplo, oxígeno disuelto y otros gases, alcalinidad, pH, potencial de oxidación/reducción)
- Parámetros operacionales del sistema (por ejemplo, diseño e índices de flujo presentes, índices de rendimiento, ciclos de bombeo, índices de remoción de masa, y generación de residuos secundarios).
- Historia operacional (problemas de rendimiento, detalles de modificaciones a los sistemas, violaciones regulatorias)

La siguiente información es normalmente analizada cuando se realizan evaluaciones de rendimiento de restauración usando varias herramientas de análisis.

- Gráficas que contengan información del rendimiento de restauración para cada pozo de extracción a través del tiempo con el propósito de identificar aspectos de operación y mantenimiento y aspectos de saneamiento (por ejemplo, limitaciones geohidrológicas o geoquímicas/restricciones por bio-obstrucción)
- Mapas potenciométricos bajo condiciones de bombeo y no bombeo para analizar las zonas de captura y el evaluar la contención de la contaminación
- Mapas y secciones transversales que muestren distribuciones y concentraciones de los parámetros geoquímicos y contaminantes, a través del tiempo y en forma espacial para analizar la dinámica y contención de la pluma, evaluar los procesos de atenuación natural, identificar rutas preferenciales de migración, verificar cumplimiento los criterios protectivos en los puntos de acatamiento y documentar el progreso enfocándose en los objetivos hacia las acciones de restauración
- Gráficas que incluyan información geoquímica y de contaminación del tipo series-tiempo para cada punto de extracción y monitoreo
- Evaluación de comparaciones de atenuación natural y remoción de masa contaminante de las concentraciones del afluente y efluente de un sistema de restauración a través del tiempo para analizar su eficiencia (por ejemplo, relativo a las expectativas del diseño), identificar condiciones asintóticas (oblicuas) que indiquen la

limitación potencial de la tecnología para remover el contaminante y evaluar cumplimiento con los requerimientos de descarga

- Recursos de consumo, incluyendo electricidad, uso y transportación de combustibles y modelos analíticos simples para predecir escenarios futuros y progreso basado en los escenarios observados hasta el tiempo presente

Para muchas evaluaciones de este tipo, el uso de software para Sistemas de Información Geográfica y herramientas estadísticas para análisis de evaluación simple son muy prácticos para visualizar la información y realizar una evaluación de la eficiencia de la investigación. Además este tipo de herramientas puede incrementar la capacidad para analizar la información. Para evaluar la efectividad de una decisión de restauración, la evaluación OPR puede agruparse en dos áreas generales de investigación: rendimiento o eficiencia de los componentes de restauración y efectividad del programa de monitoreo. Información adicional puede encontrarse en la Guía Técnica/Regulatoria titulada *Remediation Process Optimization: Identifying Opportunities for Enhanced and More Efficient Site Remediation* (ITRC 2004).

Tópicos Generales a Considerar

- **Evaluación de las Etapas de Tratamiento o Equipo Innecesarios o Ineficaces**

La función de cada proceso en el Tren de Tratamiento es evaluado tomando en consideración las concentraciones de los contaminantes. El análisis de OPR generalmente requiere información de contaminantes intermedios así como del afluente y el efluente. Las contaminaciones intermedias deben ser medidas dentro de cada proceso para evaluar el impacto de cada uno; de la misma manera la efectividad de cada pieza del equipo debe ser evaluada críticamente para determinar si cumple con las necesidades presentes. Generalmente, el reporte original del diseño incluye la justificación necesaria para el equipo de proceso. Usualmente las concentraciones de los parámetros considerados por equipos o procesos específicos son inferiores a los considerados en el diseño. Esto resulta en el uso innecesario del proceso o de ciertas partes del equipo. Por ejemplo, si concentraciones de metales del afluente están por debajo o al mismo nivel que los estándares actuales del efluente, el equipo de protección para precipitación (por ejemplo, tanque de floculación,

tanque de asentamiento, prensa de filtro) puede no ser requerido. Si las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles son menores que las que se consideraron durante el diseño, uno de los dos extractores de aire conectados en serie podría ser desconectado y la planta seguiría cumpliendo con los estándares del efluente. En otros casos, las concentraciones de los parámetros, después del proceso de tratamiento, podría no reducir los contaminantes adecuadamente, o no reducirlos por completo, cómo se esperaba. Esto resultaría en la operación ineficaz del equipo posterior. Por ejemplo, el inyectar compuestos químicos en exceso en una unidad de precipitación, floculación, o esclarecimiento podría resultar en una precipitación incompleta y el movimiento de cantidades inferiores de sólidos hacia las unidades de filtración ocasionando el deslavado constante de las unidades de carbono de fase líquida.

- **Reducción de Costos de Mano de Obra**

Es necesario realizar una evaluación de la mano de obra requerida para operar una planta de tratamiento. La mano de obra necesaria para operar una planta de tratamiento es bastante alta en las etapas iniciales, pero se reduce con el tiempo hasta que el equipo de la planta empieza a fallar debido al uso. Cuando esto ocurre, los costos de mano de obra tienden a incrementarse. El costo de sistemas de control automáticos (por ejemplo, computadoras, controles lógicos programables, válvulas automáticas, líneas de comunicación dedicadas) son relativamente bajos comparados con los ahorros de la mano de obra como resultado de la automatización, particularmente cuando los sistemas de tratamiento se operan por varios años. Una evaluación de la mano de obra requerida se puede hacer mediante la entrevista de los operadores de la planta acerca del uso de su tiempo (operando, reparando y manteniendo, muestreando, preparando reportes, manejando y comprando materiales y partes) o mediante la revisión detallada de los listados de mano de obra. El proceso OPR puede potencialmente reducir en forma significativa los costos de mano de obra al analizar y optimizar los procesos o actividades que el operador de la planta realiza diariamente. Es este caso en particular, una evaluación realizada por un Higienista Industrial Certificado puede ser muy valiosa al analizar el rol del operador que trabaja tiempo completo o tiempo parcial. En muchos casos, las recomendaciones de simplificación de procesos de tratamiento proporcionadas por el OPR pueden reducir los costos de la mano

de obra. La mano de obra utilizada para hacer reparaciones puede ser reducida al realizar buen mantenimiento, dar mantenimiento solamente al equipo que lo requiera, mantener un buen inventario de partes, y cambiar oportunamente el equipo viejo.

- **Reducción de los Costos de Energía**

El uso de energía eléctrica está normalmente relacionado con el bombeo de agua y extracción de compuestos en estado gaseoso del suelo y con la transferencia de agua entre los procesos en superficie. Los caballos de fuerza de cada bomba son identificados a través de la revisión de los diagramas de diseño o a través de la revisión de las especificaciones escritas en forma de etiqueta que se encuentran en cada bomba. El proceso OPR también registra el grado al cual cada bomba es ajustada y la presión diferencial requerida para cada bomba. Este tipo de información es muy útil para evaluar el impacto de los cambios propuestos a los procesos de tratamiento con respecto al uso y costo de la energía eléctrica. Se deben considerar procesos secuenciales alternativos para reducir el número de bombas que están operando. Además, la evaluación de optimización debe considerar el cambio de bombas eléctricas o sopladores existentes con unidades de tamaño adecuado o motores de frecuencia variada que pueden operar a menores flujos sin que se ahoguen y sean más eficientes. Otros factores se deben considerar, incluyendo tubería mal diseñada, filtros o recipientes tapados, o tubería obstruida que puede ocasionar el aumento de la carga hidráulica contra la cual el bombeo se llevará cabo y resultaría en mayor uso de energía eléctrica. Por lo tanto, se deben también evaluar recomendaciones para reducir estas limitaciones. Debido a que la energía eléctrica es comúnmente utilizada para calentar espacios y tubería exterior expuesta, la necesidad de calentar espacios debe ser evaluada especialmente si no existe riesgo de congelamiento y si la planta no es operada todo el día. Además, en una planta de tratamiento de aguas subterráneas, los tanques de proceso llenados con aguas subterráneas relativamente fría pueden tener una influencia moderada en las temperaturas de la planta. Otro tipo de equipo eléctrico puede ser evaluado para ver si es necesario o para encontrar otras alternativas posibles. La EPA ha emitido un Documento del Foro de Ingeniería titulado Introduction to Energy Conservation and Production at Waste Cleanup Sites, (USEPA 2004). Este documento presenta un listado general para realizar una auditoría de energía en sitios que están siendo saneados.

- **Modificación al Monitoreo del Proceso de Tratamiento**

Generalmente existen requerimientos muy estrictos para el muestreo del afluente y el efluente de un sistema de tratamiento, incluyendo el tipo de contaminantes y la frecuencia de muestreo. Otras muestras son obtenidas en áreas intermedias dentro del tren de tratamiento para apoyar las decisiones de las operaciones en la planta. Se debe realizar una evaluación para determinar el muestreo y análisis tomando en consideración los objetivos específicos del proyecto. El documento de la EPA (Environmental Protection Agency - por sus siglas en inglés) titulado Data Quality Objective Process (USEPA 2000) y el documento de USACE (United States Army Corps of Engineers - por sus siglas en inglés) titulado Technical Project Planning Process (USACE 1998) proveen las bases para evaluar el programa de muestreo basado en las decisiones que se van a llevar a cabo. Solamente la información que cumple con los requerimientos de cantidad (frecuencia de monitoreo y ubicación) y de calidad deben ser obtenidas. El muestreo intermedio debe efectuarse solamente si es necesario para mantener u optimizar procesos de tratamiento específicos. La evaluación de optimización debe considerar detalladamente la frecuencia, ubicación, y la lista de compuestos para muestreo intermedio debido a que la calidad de los resultados proporcionados por un laboratorio fijo no son siempre necesarios para las operaciones del tratamiento. Otras alternativas incluyen equipos de prueba manuales (por ejemplo, equipos del tipo Hach) que se pueden utilizar en el campo o equipo de medición que mida parámetros indicadores como orgánicos totales (por ejemplo, equipos de medición de Carbono Orgánico Total [TOC - Total Organic Carbon - por sus siglas en inglés] o monitores de compuestos orgánicos volátiles). Cuando se requieran obtener resultados de efluente y emisiones en forma rápida, requiriendo un pago extra para reducir el tiempo de respuesta de laboratorios fijos, el uso de equipo analítico de campo, incluyendo analizadores instantáneos y muestreadores automáticos es en ocasiones lo mas apropiado. Sin embargo, en muchos casos este tipo de equipo complejo no es costo-eficiente y es más económico utilizar métodos de laboratorios fijos. El programa de muestreo requerido puede estar sujeto a ser optimizado, particularmente si existe un campo de datos bastante grande que contenga resultados de muestreo que se han obtenido a través de mucho tiempo. Los requerimientos para procesar los permisos de descarga pueden incluir compuestos químicos que nunca se han

detectado a lo largo de muchos años de operación. En estos casos, la evaluación de optimización podrá sugerir que se pida a la agencia regulatoria que este tipo de análisis químico sea eliminado como un requerimiento del permiso.

- **Reducción en Materiales y Piezas de Refacción**

Uno de los primeros aspectos a considerar es la posibilidad de sustituir partes del equipo, como por ejemplo, sustituir filtros de bolsa por filtros de arena (aunque la elección del tipo de equipo debe ser de aplicación práctica), para equipos de filtración para los que el filtro de bolsa no es esencial para su funcionamiento. La implementación de sistemas de recipientes múltiples en lugar de sistemas de recipientes simples podría extender los tiempos de filtración y por lo tanto reducir el consumo de un medio filtrante, como el carbono. Además, un cambio en la selección del proceso de filtración a un sistema de recipientes múltiples (filtración completa en recipientes de conducción versus la detección inicial) podría extender el periodo de operación de medio filtrante. Además, se debe realizar una evaluación de los costos de combustible (gas propano o gas natural), como parte de la operación del equipo, para determinar si el cambiar el tipo de combustible o equipo podría resultar en la reducción de costos o consumo de combustible. Basados en las concentraciones variantes del contaminante, se debe evaluar la cantidad de aditivos químicos para determinar si se pueden reducir o ajustar. La compra y almacenamiento de compuestos químicos al mayoreo se debe evaluar para determinar si se pueden reducir costos.

- **Modificaciones en las Prácticas de Disposición de Residuos**

Existen varias fuentes potenciales de residuos provenientes de los procesos de tratamiento en superficie que requieren disposición final adecuada; estos incluyen carbono residual, resina de intercambio iónico, filtros de bolsa, lodos residuales (comprimido o no comprimido), y aguas subterráneas tratadas. Los costos de disposición de estos residuos pueden ser muy altos. Por ejemplo, el lodo puede ser considerado peligroso y por lo tanto va a requerir ser dispuesto en un relleno sanitario del tipo RCRA Subtítulo C; por otro lado, las aguas subterráneas tratadas podrían ser descargadas en un sistema de drenaje a un precio unitario bastante alto. Se deben evaluar alternativas que reduzcan el volumen de desperdicios y los costos de disposición de residuos y cerciorarse de que la disposición

final se haga de forma apropiada. La inyección al subsuelo de las aguas tratadas puede ser menos costosa siempre y cuando se consideren de forma adecuada los costos de mantenimiento de los pozos de inyección o zanjas. Una alternativa podría ser descargar las aguas subterráneas tratadas en superficie. En este caso se deben considerar los costos administrativos para obtener los permisos (o para solicitar lo equivalente a un permiso) y los costos para hacer modificaciones a los lechos de los arroyos o realizar estudios hidráulicos. En áreas donde los recursos hidráulicos son escasos se podría inyectar las aguas tratadas para preservar las aguas subterráneas. En algunos casos el “desenlistado” de las listas de residuos peligrosos de un residuo (por ejemplo, el lodo residual), puede ser lo más aconsejable y permitiría la disposición final del residuo de una forma más económica, sin embargo, los costos administrativos para conseguir el desenlistado podrían ser bastante altos. La evaluación de optimización puede recomendar otras medidas para reducir el volumen de los residuos. Por ejemplo, el sustituir una tecnología que genera bastante volumen de residuos por una tecnología que genera un bajo volumen de residuos.

- **Necesidad de Coordinar Cambios en las Operaciones en Superficie y Subsuelo**

Debido a que los cambios discutidos anteriormente no se pueden llevar a cabo de forma aislada, la relación entre las modificaciones en superficie y en subsuelo debe ser consideradas por el individuo(s) que realizan el proceso de optimización. Algunas veces los cambios de las operaciones en superficie van a ocasionar cambios en los flujos y concentraciones del afluente de tal manera que cambios al equipo sobre la superficie puede no ser necesarios o deben ser reconsiderados. También, cambios al sistema sobre la superficie pueden permitir cambios en las operaciones del subsuelo que no se pudieron considerar con anterioridad (mejoramiento de la capacidad, etc.). Estas consideraciones son específicas al sitio.

Aspectos Comunes de Optimización

Extracción y Tratamiento de las Aguas Subterráneas

Basados en una gran cantidad de estudios de optimización que se han llevado a cabo en varios sitios en donde las aguas subterráneas están contaminadas, existen muchos aspectos que se deben considerar cuando se realiza optimización. Una hoja informativa de la EPA (Environmental Protection Agency - por sus siglas en inglés) sobre el manejo efectivo de sistemas de bombeo y tratamiento se puede encontrar en el sitio web de CLU-IN (<http://clu-in.org/download/remed/rse/factsheet.pdf>) el cual cubre estos tópicos en más detalle.

- **Sistemas de Precipitación de Metales**

Muchos sistemas de tratamiento de las aguas subterráneas fueron diseñados para permitir la precipitación de metales ya sea basados en la necesidad de sanear contaminantes metálicos de un sitio o remover metales como hierro y manganeso con anterioridad a otros procesos de tratamiento (por ejemplo, extracción con aire) en donde los depósitos de óxidos de hierro pueden reducir la efectividad e incrementar los costos de mantenimiento. La necesidad de estos sistemas ha sido frecuentemente basada en muestras de pozos de monitoreo que podrían haber presentado agua de alta turbidez durante el muestreo. En muchos casos, las concentraciones de metales del afluente de la planta no son ni cercanamente similares a las concentraciones consideradas durante el diseño. La operación continua de los procesos de precipitación de metales ha causado costos innecesarios de materia prima (por ejemplo, polímeros, cáusticos, etc.) y de mano de obra. Por lo tanto, los sistemas con equipo de precipitación de metales deben ser evaluados cuidadosamente y deben considerarse su eliminación del proceso o la sustitución del equipo y utilizar medios para alcanzar los mismos objetivos finales.

- **Duplicidad en los Procesos**

Los sistemas con equipo tales como separadores de ciclón conectados en serie (multiciclón), sistemas de filtración múltiple, o purificación con carbono seguido de un tratamiento posterior, pueden ser candidatos para optimización. Los resultados de muestreo intermedio en el proceso deben ser examinados para determinar si la existe duplicidad en el proceso. Un sistema de ciclón o la purificación con

carbono por si solos puede ser todo lo que se necesita para lograr el objetivo final.

- **Concentraciones y Flujos Menores a lo Esperado**

En muchos casos, los sistemas de tratamiento de las aguas subterráneas se han operado a menores índices de flujo y concentraciones que los considerados en el diseño. Menores índices de flujo resultan frecuentemente en bombas de estrangulación o cíclicas y desperdicio de energía. La planta puede ser operada en modo discontinuo, pero esto podría incrementar los costos de operación si los periodos de índice cero disminuyen el rendimiento del equipo. Se debe considerar la sustitución de bombas de estrangulación por bombas operadas por motores de frecuencia variable. La recirculación una proporción del agua tratada podría permitir operaciones constantes. Concentraciones menores podrían permitir la eliminación de ciertos procesos o la reducción en ciertos índices de suministro de los compuestos químicos (de los reactivos). La tarea fundamental del proceso de optimización es evaluar las necesidades de cambios en la operación de la planta para igualar el flujo y la concentración del afluente en vez de realizar la operación de acuerdo al diseño original.

- **Manejo del Carbono de Adsorción**

El trabajo de optimización podría evaluar el manejo de los procesos del carbono de adsorción. Esto podría incluir el análisis económico de carbonos alternativos, incluyendo el uso de carbono regenerado en lugar de carbono virgen. La definición de rendimiento de penetración también debe ser evaluada con el propósito de programar y ordenar cambios del carbono para cerciorarse que la capacidad de adsorción del carbono has sido completamente usada. Para muchos contaminantes, el cambio de la fuente principal de carbono se puede hacer cuando se llega al punto cercano de desgaste total (las concentraciones de descarga son casi iguales a las concentraciones de entrada). Otros contaminantes podrían requerir cambios anticipados para evitar tratamiento o filtración inaceptable de recipientes adsorbentes o el uso de tres tanques de carbono en serie. Finalmente, se deben evaluar las bases y los medios para llevar a cabo el reacondicionamiento o regeneración de recipientes de carbono. El reacondicionamiento o regeneración inapropiados podría acelerar el desgaste del carbono.

- **Tratamiento de Gases Emitidos**

En muchas plantas de tratamiento de aguas subterráneas, como parte del proceso se generan componentes en fase gaseosa que luego son conducidos por medio de ciclones y otros sistemas de control para ser tratados por de oxidación térmica o por adsorción utilizando carbono activado. Si las concentraciones del afluente son tan altas como las concentraciones consideradas durante el diseño o si las concentraciones del afluente han bajado conforme avanza la restauración, la necesidad de limpiar continuamente las emisiones de gases debe ser evaluada. Puede ser posible que la calidad de los gases emitidos permita la descarga directa a la atmósfera. Esto va a requerir la identificación de la masa aceptable de carga a la atmósfera y la consulta de las partes involucradas y los reguladores. La sustitución de oxidación térmica por adsorción en carbono de la fase gaseosa debe considerarse siempre y cuando las concentraciones de contaminantes hagan posible que este cambio sea costo eficiente y las características de adsorción sean las apropiadas.

- **Mantenimiento Inadecuado del Equipo**

El análisis de optimización debe considerar el estado del equipo de restauración y debe examinar la cantidad de trabajo necesario para hacer las reparaciones (vea la Figura 2). Después de evaluar los requerimientos establecidos en el Plan de Operaciones y Mantenimiento, se deben ofrecer recomendaciones para cambiar los horarios de mantenimiento preventivo. Esto puede reducir los costos de mano de obra (ocasionados por tiempo extra y llamadas nocturnas) y reducir los periodos de inactividad. Un buen inventario de partes extras puede también reducir los periodos de inactividad.

- **Obstrucción de Bombas, Ranurado de Pozos y Tubería**

El rendimiento de los sistemas subterráneos de extracción de las aguas subterráneas es frecuentemente deteriorado por el crecimiento de la biomasa en el ranurado de pozos, espacio anular, bombas y tuberías. Como consecuencia, la optimización del sistema debe considerar la



Figura 2. Ejemplo de formación de escamas o capas de residuo

presencia de obstrucción y recomendar métodos para resolver los problemas. Además, la rehabilitación de pozos puede considerar el uso de ácidos orgánicos, dispersantes, y oxidantes, así como agitación y cepillado; es importante notar que es muy probable que las bombas requieran de ser desarmadas.

- **Captura de la Pluma Contaminante**

El aspecto primario de optimización subterránea para sistemas de extracción de las aguas subterráneas es la captura tridimensional de la pluma(s) contaminante. Existen varias líneas de evidencia que pueden ser utilizadas durante la optimización para determinar la extensión de la zona de captura, incluyendo la tendencia de la concentración química de las aguas subterráneas en pozos cercanos y gradiente abajo de los pozos de extracción, así como los contornos de los niveles de profundidad de las aguas subterráneas, incluyendo la determinación de la extensión de la contaminación por medios computacionales o modelaje y la zona de captura basada en los valores de conductividad hidráulica. La EPA está actualmente preparando una hoja informativa acerca de evaluación de zonas de captura para pozos de extracción.

Extracción de Componentes Gaseosos o Volátiles del Suelo/ Aspersión por Aire

Es importante analizar los objetivos de tratamiento que fueron definidos cuando el sistema de Extracción de componentes gaseosos o volátiles del Suelo/Aspersión por Aire (SV fue diseñado para asegurarse que siguen siendo alcanzables y aplicables). Muchos sistemas de Extracción de Componentes Gaseosos o Volátiles del Suelo/Aspersión por Aire (SVE/AS - Soil Vapor Extraction/Air Sparging - por sus siglas en inglés) han sido instalados sin obtener el grado de caracterización del subsuelo requerido para determinar cómo la geología subterránea del suelo impactará la recuperación de contaminantes. Un entendimiento completo de la geología del sitio y el perfil de contaminación (un Modelo Conceptual del Sitio bien definido) ayudarán a optimizar la colocación del ranurado de los pozos de extracción. Los siguientes aspectos se pueden utilizar para solucionar unos de los problemas más comunes y frecuentes relacionados con las tareas de optimización de los sistemas de Extracción de Componentes Gaseosos o Volátiles del Subsuelo/Aspersión por Aire. El documento titulado Engineer Manual on Soil Vapor Extraction and Bioventing (USACE 2002) esta disponible cómo recurso potencial para la

optimización de estos sistemas.

- **Tratamiento Inadecuado en Volumen del Suelo**

Un problema frecuente de rendimiento es el tratamiento inadecuado en volumen del suelo contaminado. Una de las técnicas más comunes de optimización incluye el desarrollar un mejor entendimiento de las condiciones de humedad del suelo y su relación con las aguas subterráneas, reducción de áreas de estancamiento dentro del sistema causado por la competencia entre zonas de influencia del vacío al apagar pozos de extracción en competencia o al variar los índices de extracción entre pozos adyacentes, y determinar si la presencia de una capa o cobertura en la superficie está impidiendo el flujo en la parte somera de la zona vadosa, lo cual puede corregirse creando perforaciones en la cobertura. Si el extraer aire en índices altos no incrementa el índice de remoción de la masa, el sistema podría estar moviendo más aire de lo necesario o si hay evidencia de cortocircuito a lo largo del ademe del pozo o a través de un conducto de la infraestructura subterránea o en las fracturas del suelo, entonces se debe considerar la reubicación o sustitución del pozo. Para solucionar el problema de flujo inadecuado de aire se debe analizar la posibilidad de incrementar los índices de extracción de aire en los pozos existentes o añadir más pozos a la red de pozos en la zona que está siendo restaurada. Conforme se vayan saneando las zonas de alta permeabilidad, es preferible que se cierren los intervalos ranurados en estas áreas para que la extracción de vapores se enfoque a las zonas de menor permeabilidad.

- **Entrampamiento de Líquidos Livianos en la Fase No Acuosa**

Otro tipo de problema frecuente de los sistemas de Extracción de Componentes Gaseosos o Volátiles del Subsuelo/Aspersión por Aire es la presencia de líquidos livianos en fase no acuosa atrapados en la franja capilar o debajo del nivel freático. Esto está representado por las concentraciones estables de las aguas subterráneas en el área fuente que parecen no están siendo afectadas por la remoción de masa en la zona no saturada y también por el resurgimiento significativo de las concentraciones en los puntos de monitoreo de compuestos gaseosos más próximos al nivel freático. En estas situaciones se deben considerar otras actividades posibles de optimización, incluyendo el uso de otras tecnologías de restauración como bio-aspersión y extracción de fase múltiple para sanear los líquidos livianos en fase no

acuosa en (o próximo a) el nivel freático con el propósito de desaguar (reducir el nivel de agua) en la área fuente (vea la Figura 3). El sistema de extracción de fase doble se puede utilizar para sanear los líquidos densos en fase no acuosa por debajo del nivel freático si el volumen del suelo puede ser desagüado de manera efectiva. También al aplicar calor a las partes superiores de las aguas subterráneas en forma de inyección de vapor o calentamiento por medio de resistencias, se puede crear vapor de las aguas subterráneas, y como resultado se pueden extraer compuestos orgánicos volátiles del suelo.

- **Concentraciones Asintóticas de Compuestos Orgánicos Volátiles**
Si existe una situación en la cual la tendencia de las concentraciones de los compuestos orgánicos volátiles en el gas extraído (ya sea de pozos combinados o de la mayoría de los pozos en forma individual) ha llegado a ser asintóticas, entonces se debe considerar si al reducir los niveles de flujo, pulsar el sistema, instalar más pozos, usar métodos térmicos, o usar bioventilación, podría remover la masa contaminante de la fuente. Causas típicas de tales situaciones son limitaciones de difusión, fuente continua de material contaminante, o mala colocación de los pozos.

- **Concentraciones Variables de Compuestos Orgánicos Volátiles**
Variaciones significativas en las concentraciones de los compuestos orgánicos volátiles en el gas extraído debido a fluctuaciones en las aguas subterráneas, cambios en la humedad del suelo, o a una fuente periódica del material contaminante. Se debe considerar controlar los niveles de las aguas subterráneas, instalar una cobertura en la superficie, o aplicar otros

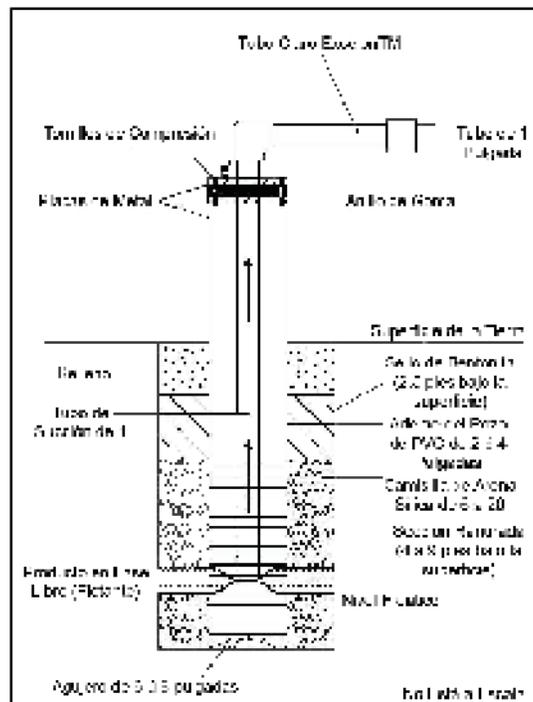


Figura 3. Diagrama de Pozo de Extracción

métodos de remoción en la fuente. Si los niveles totales de extracción no han podido alcanzar los niveles considerados durante el diseño o los niveles necesarios para llevar a cabo una operación eficiente, se debe considerar el sustituir los pozos, instalar más pozos, equilibrar los niveles de aire a través del sistema, controlar los niveles de las aguas subterráneas, o modificar el tamaño de los sopladores. Además, si hay concentraciones de volátiles muy altas, a (o cerca de) niveles explosivos, entonces se debe considerar el agregar aire para disolver la mezcla explosiva, reducir el flujo de los pozos con las concentraciones más altas, o sustituir el tratamiento de emisión de gases del sistema de extracción de vapores por un sistema de motor de combustión interna.

- **Aspectos de Condensación**

Un problema común encontrado en los sistemas de extracción es la acumulación de vapor de agua en la tubería de entrada, lo cual puede causar variaciones repentinas del flujo de aire, bajo flujo de aire, o restricciones en el volumen de la tubería debido a congelamiento. Las soluciones a estos problemas incluye la inclinación de la tubería hacia los pozos de extracción, instalación de la tubería en el subsuelo para reducir los efectos de la temperatura y revertir periódicamente el flujo para que sople el vapor de agua hacia el pozo. Debido a que los niveles elevados de agua pueden causar frecuentes interrupciones del sistema, las opciones para prevenir esto sería la instalación de una bomba automática controlada por el nivel del líquido, incrementar la capacidad de la bomba de transferencia, reducir el nivel de vacío, o instalar un sello en la superficie o un tubo de mayor diámetro arriba de la boca del pozo.

- **Modificaciones al Sistema en General**

Otras modificaciones pueden incluir la eliminación de los sistemas de tratamiento de compuestos gaseosos debido a la disminución de los niveles de contaminantes dentro del la masa de aire o debido a la remoción individual de pozos. Hay muchas causas por las que la remoción de pozos improductivos puede ocasionar un mayor del flujo del aire a través de las zonas contaminadas del sitio. Otra consideración sería la instalación de pozos adicionales o incrementar la cuota de extracción en las celdas de pozos en serie existentes, de tal manera que la restauración se vea acelerada, reduciendo por lo tanto el tiempo total de la operación del sistema. Considerar otras tecnologías es de gran ventaja siempre, tecnologías que puedan ser

capaces de alcanzar los objetivos de remediación reduciendo los tiempos de operación y costo. Algunos ejemplos de tecnologías adicionales a considerar son: extracción de fases múltiples; excavación del suelo; bio-ventilación; facturación del suelo; tratamiento térmico. Finalmente, basados en las concentraciones remanentes de los contaminantes, es importante evaluar si las operaciones de Extracción de Componentes Gaseosos o Volátiles del Subsuelo (SVE - Soil Vapor Extracción - por sus siglas en inglés) son todavía necesarias. Aun cuando los objetivos de remediación no hayan sido alcanzados con SVE, puede ser prudente apagar el sistema SVE y monitorear la restauración por medio de la atenuación natural, cuidando siempre de que la salud humana y la ecología se mantengan protegidos.

Extracción de Fases Múltiples

Esta es una tecnología In-situ que también se le conoce como extracción de dos que combina la recuperación de producto libre (o flotante sobre el agua subterránea) utilizando vacío con bio-ventilación y extracción de la fase gaseosa. La Extracción de Fases Múltiples (EFM) (*MPE - Multi-Phase Extraction - por sus sigla sen inglés*) recupera por lo tanto simultáneamente el producto libre o líquidos ligeros en la fase NO acuosa (*LNALP - Light non-aqueous phase liquids - por sus siglas en inglés*) presentes sobre el nivel freático y la franja capilar, promoviendo al mismo tiempo la bio-restauración aeróbica y la extracción de hidrocarburos en la zona vadosa del subsuelo. Esto típicamente se lleva a acabo utilizando un tubo de succión instalado en un pozo de tal manera que el final de este tubo se encuentre tocando la interfase agua LNALP o ligeramente arriba. El vacío se aplica al tubo de succión utilizando un equipo de vacío que extraiga simultáneamente el agua, LNALP y la fase gaseosa. Los componentes en superficie tienen que ser capaces de generar un vacío de alto a moderado, separando mezclas de agua subterránea contaminada, LNALP, y la fase gaseosa cargada de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) (*VOC - Volatile Organic Compounds - por sus siglas en inglés*) y dar tratamiento al agua subterránea y la fase gaseosa a los niveles apropiados de restauración. Las complicaciones que provienen de la operación de los sistemas EFM y como pueden ser abordados se discuten a continuación.

- **Extracción de fluidos**
La EFM se basa en la habilidad y capacidad de equipos de funcionamiento mecánico para generar suficiente vacío y caudal

volumétrico que induzcan la extracción de líquidos y fase gaseosa y propagar una respuesta neumática en la zona insaturada. La recuperación de LNALP tiende a incrementarse a medida que la extracción por vacío aumenta. Sin embargo la recuperación de agua también aumenta con caudales de vacíos superiores. Por lo tanto el costo total por galón de LNALP recuperado puede ser superior a vacíos superiores. Además la sobre explotación de un pozo de extracción podría causar que la capa de LNALP se vuelva discontinua, lo cual disminuye el movimiento subsiguiente de LNALP hacia el pozo de extracción. En cada sitio existe la necesidad de hacer ajustes y monitorear el rendimiento para optimizar el vacío bajo el cual el sistema es operado para maximizar la recuperación de LNALP al mismo tiempo que se disminuye de extracción de agua.

Complicación que a veces ocurren y que limitan la efectividad de EFM incluyen: a) vacío insuficiente en el tubo de succión para jalar agua y LNALP, b) respuesta insuficiente al vacío en formación para inducir el flujo e incrementar el contenido de oxígeno en la formación, c) alta incidencia de tiempos en reparación.

- a) *El vacío insuficiente en el tubo de succión para extraer el agua y LNALP*
Existen varios tipos de equipos mecánicos que inducen vacíos, los de uso común en el área ambiental incluyen: sopladores regenerativos, sopladores de desplazamiento positivo, y bombas de vacío de anillo líquido. Sopladores regenerativos: Generalmente no son aplicables al EFM por que el nivel de vacío que generan es frecuentemente insuficiente para jalar los líquidos de la formación. Los sopladores de desplazamiento Positivo pueden operar típicamente a niveles de vacío de 15 pulgadas de mercurio (Hg) y las bombas de vacío de anillo líquido (BVAL) pueden generar los mayores niveles de vacío disponibles en el mercado, generalmente operan a vacíos de 29 pulgas de Hg, es por esto que las BVAL son las de mayor uso. Para formaciones compactas o de agua subterránea a grandes profundidades, las BVAL son recomendables. En algunos casos la profundidad al agua puede exceder los 33 pies, teóricamente el nivel el máximo de vacío que se puede alcanzar. En estos casos una columna de agua puede alcanzar el estancamiento dentro del tubo de succión por lo tanto cortando el flujo de cualquier líquido. Para contrarrestar este problema un pequeño hoyo puede ser perforado en el tubo de vacío a un nivel superior del líquido en el pozo. Esto permitirá el flujo

del aire dentro del tubo de succión que romperá la caída estática. El flujo de la fase gaseosa entrampará gotas de agua subterránea y LNALP, estableciendo así el flujo de los tres fluidos. Alternativamente se puede alcanzar el ajuste de las condiciones del tubo de succión para crear la succión de los líquidos junto con el aire / mezcla de fase gaseosa.

b) *Insuficiente respuesta al vacío en la formación*

Típicamente esto no es debido a la capacidad máxima de vacío ejercida por el equipo mecánico, más bien es debido a la proporción del flujo volumétrico que el equipo puede producir. La proporción del flujo requerido está en función de las características de la formación y el número de pozos en línea. Para formaciones de alta permeabilidad, un mayor proporción de flujo por pozo es necesaria para inducir la respuesta al vacío. Si la proporción del flujo no es suficiente esto puede solucionarse incrementando la capacidad del sistema o reduciendo el número de pozos que se encuentran en línea en un momento determinado. Para la mayoría de los sitios se recomienda que los pozos sean ciclados (alternados) para reducir la capacidad de los dispositivos en superficie e incrementar la eficiencia de operación permitiendo que los pozos se reequilibren después de un periodo de operación en línea. Para sitios de alta permeabilidad, un soplador de desplazamiento positivo puede ser más adecuado que un BVAL ya que los sopladores de desplazamiento positivo pueden generar un mayor flujo para un dado tamaño de motor a niveles de vacío inferiores a 10 pulgadas de Hg.

c) *Alta incidencia de tiempos en reparación*

El mantenimiento preventivo es crítico para minimizar los tiempos de reparación. Además es importante operar dentro de las condiciones de operación recomendadas. Esto es particularmente importante para las BVAL. Si estos equipos son operados a niveles de vacío demasiados bajos, el aceite de proceso requerido para bombas lubricadas selladas puede ser expulsado de la unidad creando problemas de mantenimiento. Para las bombas lubricadas selladas es importante asegurarse que el aceite es revisado y remplazado de acuerdo con las especificaciones del fabricante. También la acumulación de condensado en el tanque sellado puede crear condiciones frecuentes de paro si esto no se atiende ya sea con la instalación de un método automático de remoción de condensado del tanque sellado usando

una bomba y niveles de control o reduciendo el nivel de vacío a la entrada del BVAL o por condiciones de clima caliente, reduciendo la temperatura de la entrada de la BVAL instalando un múltiple subterráneo. Para equipos herméticos con sello hidráulico un intercambiador de calor y/o una fuente continua de agua es requerida.

- **Separación de LNALP y Agua**

En general, LNALP y agua pueden ser separadas gravimetricamente, sin embargo la separación gravimétrica frecuentemente se complica por la emulsificación física y química, las pequeñas diferencias en la gravedad específica y obstrucción de la separación de medios.

- a) Las emulsiones mecánicas se pueden formar por medio de la alta resistencia y el mezclado dentro del pozo de succión y dentro de las BVAL (si los líquidos procesados entran directamente a la BVAL). Es preferible colocar el separador vapor/líquido antes de la BVAL; sin embargo, cuando esta acción se lleva a cabo el contenedor de separación vapor/líquido se encuentra bajo alta presión y una bomba de cavilación progresiva se utilizaría típicamente para bombear el líquido de este recipiente. La bomba de cavilación progresiva a pesar de que es considerada de baja fricción con otros equipos, también contribuye a la emulsificación mecánica (vea la Figura 4). La emulsificación mecánica puede ser manejada ya sea por medio del sobredimensionando del separador gravitacional para incrementar el tiempo de retención o agregando un tanque de retención inmediatamente antes del separador gravitacional (con flujo de gravedad hacia afuera del tanque de retención) para darle tiempo a la separación.
- b) La emulsificación química y la baja diferencia en gravedad específica es menos común pero puede ocurrir en sitios donde existen mezclas de varios contaminantes. Estas condiciones son más difíciles de resolver y pueden llevar a un incremento de costos. Puede requerir el uso de tratamiento químico combinado con flotación de aire disuelto. Esto ha probado su efectividad, pero el costo de implementar esta tecnología puede ser alto. El diseño y la utilización de un pozo de succión dual (NFESC, 1998) puede reducir la cantidad de producto que requiere de ser separado del agua, quitando el producto de manera separada en un pozo de succión mientras que el agua y el vapor son extraídos por el otro. Si la cantidad de LNALP, es moderada la filtración de arcillas orgánicas ha probado ser una tecnología efectiva para remover produc-

tos emulsificados. El uso de arcillas orgánicas no se basa en la separación por gravedad sino en la adsorción del aceite por la arcilla bentonítica modificada hidrofóbicamente que soportada por una matriz antracítica. Si se requiere el refinamiento del flujo acuoso utilizando carbono activado en gránulos CAG (GAC - granular activated carbon - por sus siglas en inglés), el uso de las arcillas orgánicas beneficiará protegiendo el CAG de los productos emulsificados y extenderá la vida del CAG.



Figura 4. Tanque de Emulsificación

- c) La obstrucción del separador agua / aceite frecuentemente es el resultado del uso de los floculantes que se usan en muchos separadores gravimétricos. Para mitigar los impactos de obstrucción el espaciamiento del medio debe ser relativamente amplio y el impacto en su funcionamiento será resuelto sobredimensionando la unidad. Además una válvula en el efluente puede ser usada para cerrar el efluente periódicamente y causar una sobre presión a través del medio para ayudar a limpiar el material acumulado. También la unidad puede ser diseñada instalando un difusor de aire por debajo del medio que permita el burbujeo para limpiar el mismo.
- d) *Tratamiento de la fase gaseosa*
 El tratamiento del gas generado por los sistemas de extracción de fases múltiples es un aspecto importante en el diseño y operación efectivos del sistema de extracción. En algunos casos el tratamiento de gas puede ser no requerido si las concentraciones de los contaminantes que nos preocupan (CCP) (COCs - *Contaminants of Concern - por sus siglas en inglés*) tienen una baja volatilidad y por lo tanto se encuentran presentes en concentraciones bajas en el Gas. Sin embargo, la EFM es frecuentemente utilizada para remediar sitios contaminados con LNALP que contienen una fracción alta de Compuestos altamente volátiles, como benceno; por lo tanto el tratamiento de la fase gaseosa es necesaria. Cuando se diseña un sistema EFM es importante notar que las concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles en el

gas generado son significativamente mayores durante la operación inicial comparadas con las fases de operación posteriores. Por lo tanto el tratamiento de la fase gaseosa con carbono activado en gránulos puede no ser una elección costo eficiente durante el inicio de la operación. En algunos casos la concentración es tan alta que un oxidador térmico es la elección mas apropiada. En esos sitios, es importante poner atención a los cambios que ocurren durante el ciclo de vida de la operación del sistema en EFM. Esto puede manejarse primero utilizando un oxidador térmico que puede ser modificado posteriormente para operar catalíticamente. Una vez que las concentraciones han disminuido hasta cierto nivel, se puede hacer entonces la transición hacia el carbono activado en granos en el momento apropiado y posteriormente cambiar a descarga directa una vez que el tratamiento ya no es necesario.

Si el carbono activado (CAG) es utilizado para tratar la fase gaseosa, el acondicionamiento adecuado del gas que pasara a través del CAG es considerado importante. Los gases de la BVAL tienden a ser tibios y húmedos, condiciones no favorables para el uso del CAG ya que puede causar el uso ineficiente del CAG. Para incrementar la eficiencia del CAG, la fase gaseosa deberá ser recalentada para reducir la humedad relativa.

Conclusiones

A pesar de que el enfoque de este resumen se limita a los tópicos de tratamiento en superficie del agua subterránea extraída, Extracción de Componentes Gaseosos o Volátiles del Suelo/Aspersión por Aire, y Extracción de Fases Múltiples, existen otras muchas áreas en las cuales los esfuerzos de optimización pueden llevarse a cabo. Los asuntos generales discutidos al principio de esta sinopsis pueden ser extrapoladas a otras tecnologías y hay muchos recursos disponibles para ayudar a optimizar adecuadamente los sistemas de tratamiento. Para mas información sobre el proceso de optimización en general, se recomienda consultar el documento titulado Identifying Opportunities for Enhanced and More efficient Site Remediation: Technical and Regulatory Guideline for Remedial Process Optimization (ITRC 2004).

Referencias

Interstate Technology Regulatory Council. 2004. *Technical and Regulatory Guideline for Remedial Process Optimization: Identifying Opportunities for Enhanced and More Efficient Site Remediation*.

Naval Facilities Engineering Service Center. 1998. *Application Guide for Bioslurping, Volume II, Principles and Practices of Bioslurping*, TM-2301-ENV.

United States Army Corps of Engineers. 1998. *Technical Project Planning (TPP) Process*, EM 200-1-2. Available on the internet at <http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em200-1-2/toc.htm>.

United States Army Corps of Engineers. 2002. *Engineering and Design-Soil Vapor Extraction and Bioventing*, EM 1110-1-4001. Available on the internet at <http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em1110-1-4001/toc.htm>.

United States Environmental Protection Agency. 2000. *Guidance for the Data Quality Objectives Process*, EPA QA/G-4, EPA/600/R-96/055. Available on the internet at <http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g4-final.pdf>.

United States Environmental Protection Agency. 2004. Introduction to Energy Conservation and Production at Waste Cleanup Sites, *Engineering Forum Issue Paper*, EPA 542-S-04-00 1. Available on the Internet at <http://www.epa.gov/tio/tsp/download/epa542s04001.pdf>.

Fuentes de Expertas

Interstate Technology Regulatory Council. 2005. *Technical and Regulatory Guideline for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater*, 2nd Edition.

United States Air Force Environmental Restoration Program. 1999. *Remedial Process Optimization Handbook*.

United States Air Force Environmental Restoration Program. 2001.

Guidance on Soil Vapor Extraction Optimization.

United States Army Corps of Engineers. 1999. *Multi-Phase Extraction, Engineering and Design*, EM 1110-1-4010.

United States Environmental Protection Agency. 2002. *Elements for Effective Management of Operating Pump and Treat Systems*. 542-R-02-009, OSWER 9355.4-27FS-A.

www.itrcweb.org

RPO-4

Contactos
Líderes del Equipo de

Optimización de Procesos de Restauración

SCDHEC
2600 Bull Street
Columbia, SC 29201
803-896-4085
madabhs@dhec.sc.gov

Tom O'Neill
NJ Department of Environmental Protection
P.O. Box 413
401 East State Street, Sixth Floor
Trenton, NJ 08625-0413
609-292-2150
tom.o'neill@dep.state.nj.us