



Descontaminación del suelo

Master en Ingeniería del Medio Ambiente Módulo Suelos

Carlos Dorronsoro Fernández
Dpto Edafología y Química Agrícola
Facultad de Ciencias. Universidad de Granada
efdorrón@ugr.es
<http://edafologia.ugr.es>
<http://www.edafologia.net>



Descontaminación del suelo

- 1 Introducción
- 2 Técnicas de anulación del suelo
- 3 Técnicas físicas y químicas
- 4 Técnicas biológicas
- Casos prácticos

En cada una de las técnicas se mostrarán una serie de casos prácticos.



Descontaminación del suelo

Técnicas de anulación

- 1 Introducción
- 2 Técnicas de anulación del suelo
- 3 Técnicas físicas y químicas
- 4 Técnicas biológicas
- Casos prácticos

producen la anulación del suelo: bien sea por aislamiento o bien por destrucción



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

Técnicas de anulación del suelo

- almacenamiento
- protección superficial
- pantallas de aislamiento
- sellado in situ
- solidificación/estabilización
- vitrificación
- incineración
- pirolisis

Como producen la anulación del suelo son técnicas a evitar su utilización, solo recomendables para casos extremos de contaminaciones muy peligrosas y con concentraciones muy altas y muy estables, o con costes excesivos para otras técnicas. En este tema trataremos de estas tres técnicas.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación

Almacenamiento

(landfill)

Vertederos controlados


Ventajas

- Simplicidad
- Rapidez
- Costes (100 a 300 \$/m³)
- Eficacia

Solución más fácil, llevar al suelo a un vertedero controlado, pero la menos recomendable pues produce la anulación del suelo.

Simplicidad (excavación y transporte)

Ee eficaz para cualquier tipo de contaminante y suelo

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	<p><input type="checkbox"/> Inconvenientes</p> <ul style="list-style-type: none"> ⊙ Anulación ⊙ No destrucción ⊙ Liberación contaminantes ⊙ Seguimiento ⊙ Transporte <p><input type="checkbox"/> Aplicabilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> ⊙ Irreversible ⊙ Para residuos 			

INCONVENIENTES

- El suelo se anula completamente, se destruye.
- Los contaminantes no se destruyen, frecuentemente se requiere una preparación previa para disminuir la peligrosidad de los contaminantes.
- Posible liberación de contaminantes a la atmósfera durante las operaciones.
- Requiere un seguimiento periódico en el vertedero.
- El transporte del suelo contaminado puede generar problemas de seguridad, además del gasto.

APLICABILIDAD

- Sólo para casos extremos ya que es un proceso irreversible.
- Recomendable más que para tratar a los suelos en sí mismos, para los residuos originados al limpiar el suelo por otras técnicas.



almacenamiento **protección sup.** pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

Protección superficial

(landfill cap)

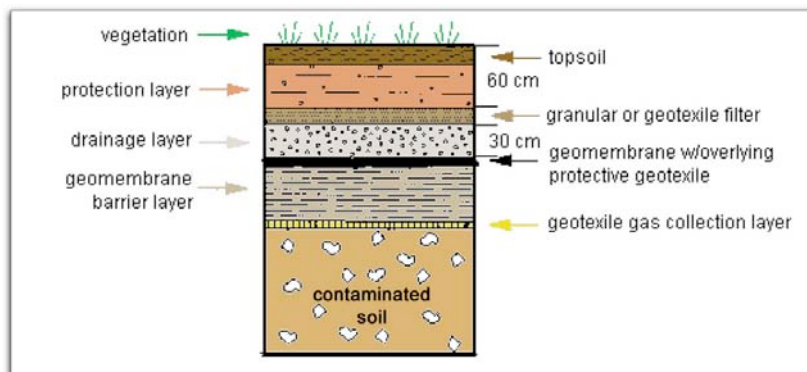
Protección del suelo contaminado mediante una recubierta.



almacenamiento **protección sup.** pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

□ Descripción



www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-27.html

Protección superficial del suelo con cubiertas resistentes a los agentes atmosféricos y a la circulación de personas y vehículos, por ejemplo con pavimentos de arcillas compactadas, o uso de geotextiles (polietileno de alta densidad).

La recubierta superficial es una técnica que proporciona una barrera entre el suelo contaminado y la superficie (aire y agua, hacia arriba) y hacia abajo: emisiones e infiltraciones para la protección de aguas subterráneas.

Para asegurar su eficacia se construyen con una secuencia de capas (naturales-arcillas compactadas- o artificiales-geotextiles-). Unas son permeables para drenar los percolados y otras son impermeables para evitar migraciones.


Una recubierta típica puede estar constituida por la siguiente sucesión de capas (desde la superficie hacia abajo, tal y como estaría en el campo):

- capa de vegetación
- capa de suelo no contaminado
- capa aislante, permeable geonet
- capa de drenaje, de arena
- capa de baja infiltración, para prevenir la infiltración del agua al suelo contaminado.

Las capas impermeables suelen ser de arcillas compactadas o geotextiles de 5 a 15 cm de espesor. También se utilizan polímeros PVC (cloruro de polivinilo) y otros polietilenos de distintas densidades.

El asfalto también es utilizado con cierta frecuencia para formar una simple capa que aísla el suelo contaminado del medio ambiente.

-Finalmente se debe establecer un sistema para recoger los gases que pueden salir del suelo contaminado (metano y dióxido de carbono). Los gases a veces pueden ser liberados directamente a la atmósfera, pero en ocasiones se eliminan quemándolos y sólo para los más tóxicos es necesario recurrir a procesos de purificación.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	<input type="checkbox"/> Localización. In situ			
	<input type="checkbox"/> Aplicaciones y ventajas			
	◉ Superficies extensas			
	◉ Previene migraciones verticales			
	◉ Reserva temporal			
	<input type="checkbox"/> Limitaciones e inconvenientes			
◉ No destruye ni inmoviliza, migraciones laterales				
◉ Enraizamiento cubierta				
◉ Gases				
<input type="checkbox"/> Tiempo. Muy rápido				
<input type="checkbox"/> Costes. 400-550 \$/ha				

APLICACIONES Y VENTAJAS

- Recomendable para superficies extensas (por ejemplo para las escombreras de las minas).
- Previene sólo las migraciones verticales
- Constituye un método muy adecuado para reservar el suelo temporalmente mientras se aplica otro tratamiento.

LIMITACIONES E INCONVENIENTES

- No modifica la toxicidad ni la movilidad de los contaminantes, solamente evita su migración vertical pero no las laterales.
- Pueden aparecer problemas con el enraizamiento de la vegetación de la cubierta.
- Es necesario controlar los gases procedentes del suelo enterrado.



almacenamiento **protección sup.** pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

□ Un caso práctico

Situación inicial

Localización. California (USA)

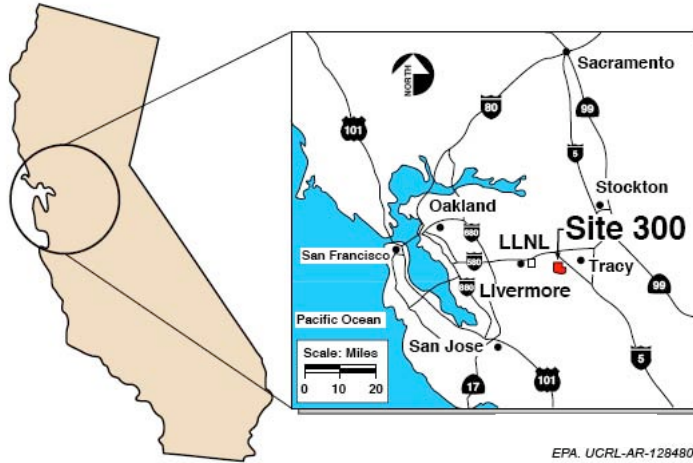




almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

Lawrence Livermore National Laboratory



EPA. UCRL-AR-128480

Estado de California

Localización. El Lawrence Livermore National Laboratory se sitúa en el oeste de California (USA).



Este laboratorio se localiza en una zona montañosa muy árida. Sobre la rambla del río Corral. En una terraza fluvial, a 12 metros de altura sobre el cauce.

El vertedero de Lawrence Livermore (Pit 6 Landfill) depende Universidad California y está adscrito al Dpto de Energía de USA. Desde 1964 a 1973 se abandonan los restos resultantes de las actividades de dichas instituciones.



Localización exacta del sitio

Se calculan que se depositaron en la zona un total unos 1.450 m³ de residuos.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

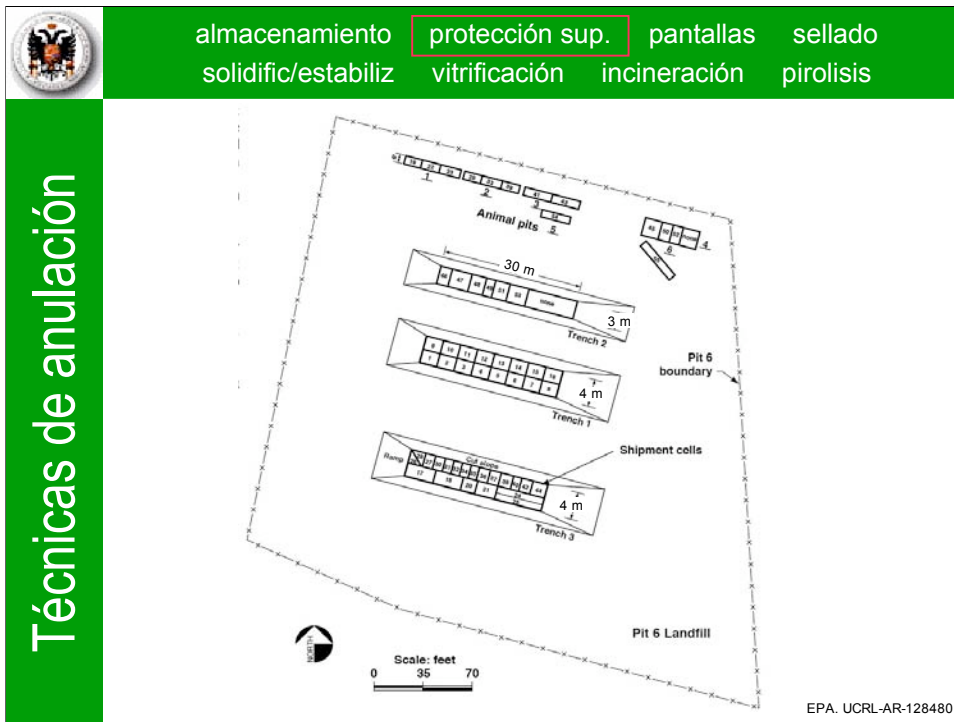


Pero cuanto representan 1.450 m³ de residuos ¿?.

Un camión tipo dumper, con una bañera para transportar tierra, de tipo medio, tiene una capacidad de carga de 15 m³, luego los residuos ocuparían ...



luego los residuos ocuparían aproximadamente 100 camiones !j.



Tipo de restos: todo tipo orgánicos e inorgánicos, y también radioisótopos y residuos biomédicos.

Se colocaron en 3 trincheras, y 6 fosos (en la zona norte) para los restos animales.

Trincheras de: largo, 30 m; ancho, 3 a 6 m; prof. 3m (divididas en 44 celdas).

Trincheras restos de todo tipo: bidones, cajas, cilindros de gases, lámparas de alto voltaje, tubos de ignición, productos de laboratorio, residuos sanitarios, ensayos biomédicos.

Los 6 fosos: largo, 6-12 m; ancho, 2-3 m; prof, 5 metros.

Restos en fosos: cadáveres, sangre, heces, y otros.

Los análisis efectuados detectaron la presencia de 42 elementos radioactivos, con un actividad total de 0,7 a 2,1 Curies y una vida media de 13 horas a 30 años.



almacenamiento **protección sup.** pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

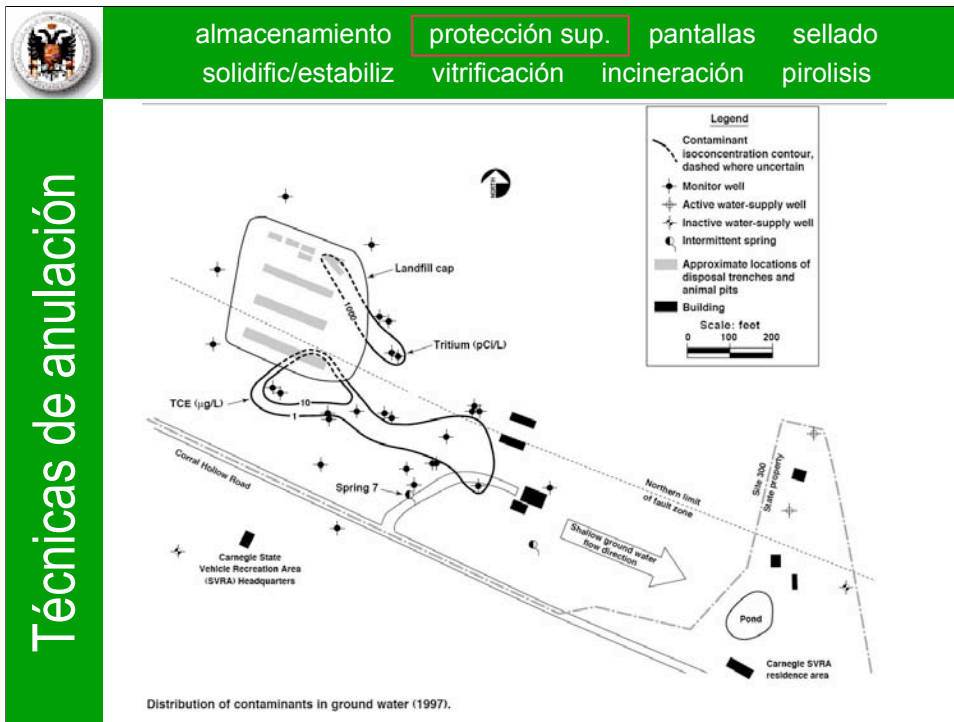
Técnicas de anulación



Pit 6 Landfill and overlying rifle range prior to cap construction; view looking south (May 1997).

EPA, LORL-AR-12840

En 1973 se completa el almacenaje y después del abandono solo se recubren con una capa de suelo de los alrededores. Sin delimitar la zona ni realizar ningún control de lixiviados (canales de drenaje de las aguas de escorrentía). Se instaló un campo de tiro para rifles.

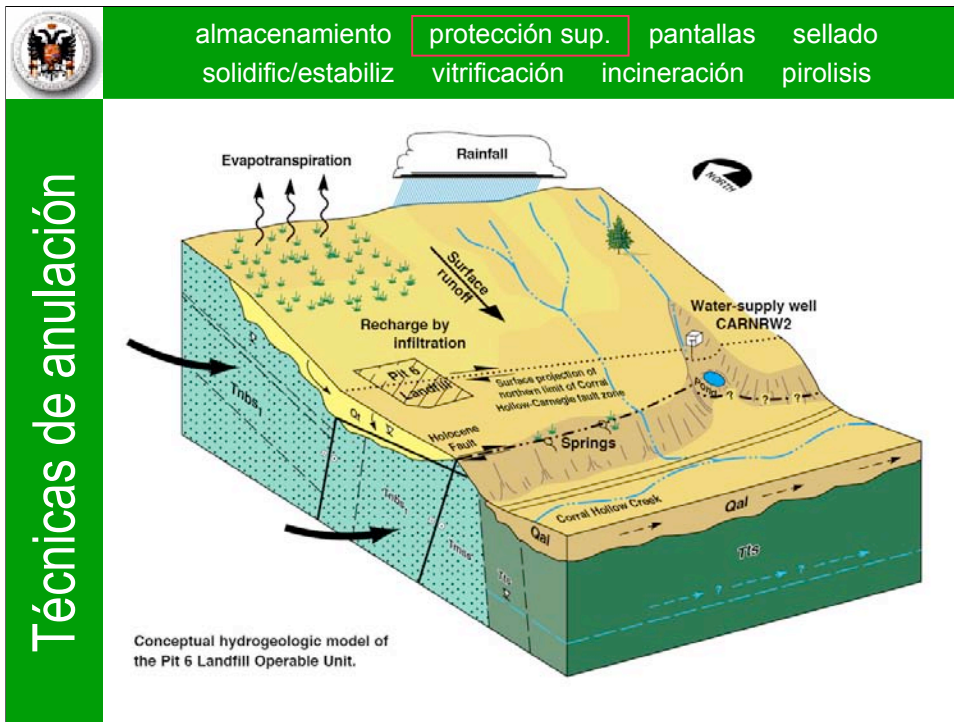


En 1997 se detecta contaminación en los suelos y en el agua.

El análisis de las aguas y de los suelos indicó que los VOCs (compuestos orgánicos volátiles) y el tritio salieron de la zona del vertedero.

tricloroetileno (TCE)

Contaminación se propaga hacia el sureste, donde existen algunas fuentes y captaciones de agua.



La situación del vertedero resultó muy peligrosa, claramente afectando a la escorrentía superficial, hipodérmica y subterránea, con inclinación hacia el río.

El nivel freático estaba situado a unos 9 - 15 metros de la superficie y a sólo 5 metros del fondo de los depósitos.

Cercanos a fuentes y captaciones por pozos.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación



EPA, UCRL-AM-120400

Installing the HDPE/geosynthetic clay liner (July 1997).

En 1997 se inician las operaciones de control.

Debido a la peligrosidad de los residuos no se excavan.

Se procede a recubrirlos con una multicapa, para evitar infiltraciones y emanaciones.



almacenamiento **protección sup.** pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

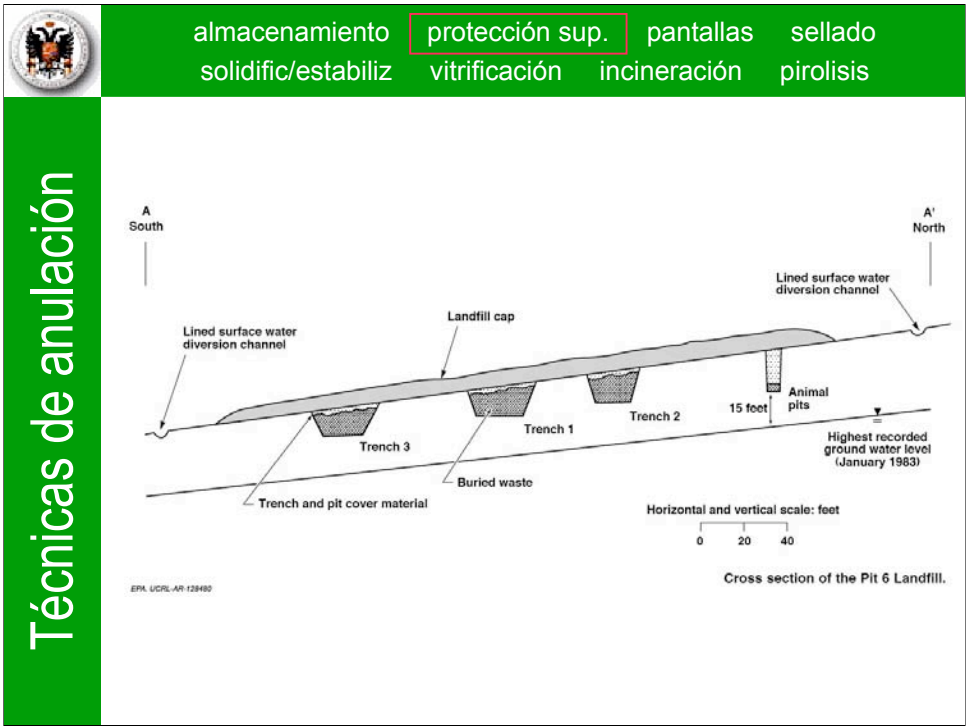
Técnicas de anulación



EPA 600/R-97/125480

Pit 6 Landfill liner during installation; view looking south (July 1997).

Multicapa de 1 hectárea

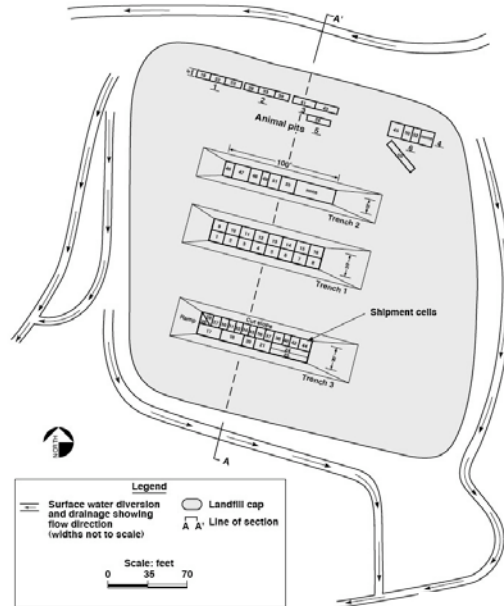


Se establece un control del agua de escorrentía superficial. La superficie del vertedero se inclina hacia el río, por lo que se excavan canales de drenaje del agua



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación



Se rodea de una serie de canales superficiales de drenaje para evitar que entren en la zona las aguas de escorrentía superficial. El recubrimiento se desarrolla rebasando el área de las trincheras y los fosos, en una zona de seguridad de unos 8 metros.



Finalmente, una vez terminado el recubrimiento del suelo contaminado, nuevamente se monta un campo de tiro



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
 solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Resultado final

Técnicas de anulación

REMEDIATION PERFORMANCE

Design concern	Performance goals	Performance criteria
Infiltration	Minimize surface water infiltration to prevent leachate generation.	Vegetative/topsoil layer 2 feet thick (minimum) to maximize evapotranspiration. Geocomposite drainage layer prevents ponding of infiltrated rainwater on liner. Combined 60-mil HDPE liner and 0.25-inch-thick geosynthetic clay liner provides a permeability of less than 4×10^{-12} cm/sec.
Subsidence caused by void space collapse in buried waste	Ensure long-term integrity of cap and safety of onsite workers.	Geogrid reinforcement layers used to bridge potential void spaces. Strength of layers capable of supporting loads from new rifle range structure and a 2.5-ton service truck.
Surface water control	Protect cap from storm water run-off and run-on.	Perimeter drainage system including concrete-lined ditches, rip-rap-lined channel, and corrugated metal culverts with capacity for a 24-hour Probable Maximum Precipitation storm event.
Vapor control	Prevent the possible escape of low concentration VOC vapors to the surface to mitigate potential inhalation exposure to onsite workers.	Low permeability liner used to prevent water infiltration also prevents vapor escape. Buried waste will not produce methane so gas buildup not a concern.
Burrowing animals	Prevent damage to liner system by burrowing animals.	Geocomposite drainage layer to deter animals. Periodic inspections to be conducted.
Earthquake damage	Minimize potential for liner integrity compromise as a result of a seismic event that could potentially occur on a fault located about 150 feet south of the landfill.	Used probability assessment to determine Peak Ground Acceleration (PGA) with a 10% chance of being exceeded in 50 years. Determined that 2-foot-thick general fill layer beneath liner is sufficient to prevent damage to liner as a result of 4.4-g PGA.
Post-closure use	Cap must accommodate installation of a new rifle range to replace the one demolished during construction.	An additional geogrid reinforcement layer was placed over a portion of the landfill to bear the load of the rifle range structure.

Informe final

Objetivos, prestaciones y acciones.



almacenamiento **protección sup.** pantallas sellado
 solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Resultado final

Técnicas de anulación

REMEDIATION PERFORMANCE

Design concern	Performance goals	Performance criteria
Infiltration	Minimize surface water infiltration to prevent leachate generation.	Vegetative/topsoil layer 2 feet thick (minimum) to maximize evapotranspiration. Geocomposite drainage layer prevents ponding of infiltrated rainwater on liner. Combined 60-mil HDPE liner and 0.25-inch-thick geosynthetic clay liner provides a permeability of 1×10^{-12} cm/sec.
Subsidence caused by void space collapse in buried waste	<ul style="list-style-type: none"> ○ Protección adecuada 	Layers used to bridge potential voids are capable of supporting loads from a 2.5-ton service truck.
Surface water control	<ul style="list-style-type: none"> ○ Estabilidad garantizada 	Drainage system including concrete-lined ditches, corrugated metal culverts with 100-year probable Maximum Precipitation storm event.
Vapor control	Prevent the possible escape of low concentration VOC vapors to the surface to mitigate potential inhalation exposure to onsite workers.	Low permeability liner used to prevent water infiltration also prevents vapor escape. Buried waste will not produce methane so gas buildup not a concern.
Burrowing animals	Prevent damage to liner system by burrowing animals.	Geocomposite drainage layer to deter animals. Periodic inspections to be conducted.
Earthquake damage	Minimize potential for liner integrity compromise as a result of a seismic event that could potentially occur on a fault located about 150 feet south of the landfill.	Used probability assessment to determine Peak Ground Acceleration (PGA) with a 10% chance of being exceeded in 50 years. Determined that 2-foot-thick general fill layer beneath liner is sufficient to prevent damage to liner as a result of 4.4-g PGA.
Post-closure use	Cap must accommodate installation of a new rifle range to replace the one demolished during construction.	An additional geogrid reinforcement layer was placed over a portion of the landfill to bear the load of the rifle range structure.

Conclusiones

Protección adecuada de la toxicidad y movilidad de los contaminantes. Los ensayos de efectividad realizados confirman que la recubierta desarrollada protege a la salud humana y al medio ambiente.

Estabilidad permanente garantizada y proporciona efectividad a largo plazo.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
 solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

REMEDIATION COSTS

Cost elements for the Pit 6 Landfill

General activity areas (WBS)	WBS second level cost elements (WBS)	Cost items	Costs (\$K)	Subtotal (\$K)
Preliminary/Preconstruction Activities (32)	• RI/FS (32.02)	• Feasibility Study (Engineering Evaluation/Cost Analysis) and related work - Alternative evaluation - Conceptual design - Ground water extraction modeling - Document preparation - Regulatory interface • Addendum to EE/CA • Public Workshop/Action Memorandum	844 47 65	1,401
	• Remedial Design (32.03)	• Landfill Cap Design - Title I design document - Title II design document • Post-closure plan	398 47	
Construction Activities (33)	• Mobilization and Preparatory Work (33.01)	• Contractor selection/site preparation - RFP distribution/contractor selection - Controlled burn of vegetation - Security coordination - Construction site fencing installation - Archaeological and ecological clearances - Coordination with other facility operations	53	1,078
	• Site Work (33.03)	• Removal Action Construction: - Demolish rifle range - Construct landfill cap • Construction quality assurance and report • Construction management	698 89 238	
Post-Construction Operations and Maintenance: Removal Action (34)	• Monitoring, Sampling, Testing, and Analysis (34.02)	• Landfill Operation and Maintenance (30 yrs in present-worth dollars) - Inspections, surveys, reporting - Maintenance and repairs • Ground water monitoring (30 yrs in present-worth dollars) - Sampling - Analysis	121 1,491	1,612
Total Pit 6 Landfill Removal Action				\$4,091K

Finalmente el estudio económico pone de manifiesto ...

El monto total fue de 4 millones de dólares.

Las cifras está expresadas en "Kilodolares" dólar *1.000.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación

Pantallas de aislamiento

(subsurface barriers)

Paredes impermeables

Zanjas de protección generalmente verticales rellenas con materiales diversos. Las horizontales son para prevenir migraciones verticales pero resultan difíciles de construir.

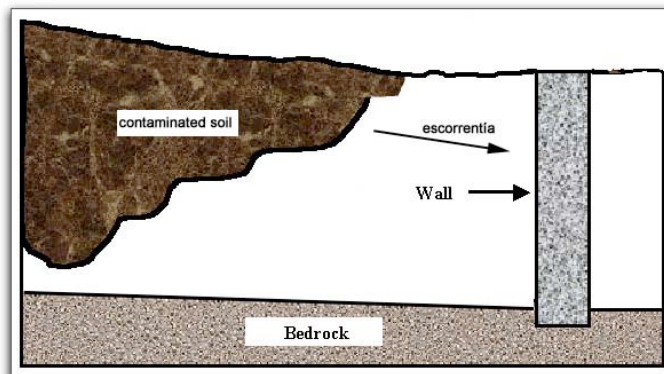


almacenamiento protección sup. **pantallas** sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

❑ Descripción: barreras verticales (horizontales)

- impermeables
- excavadas o inyectadas
- arcillas, bentonitas, cemento, cal, geomembranas
- de 0,5-1,5 m de espesor y de hasta 30 m de profundidad



www.iffr.gov/matrix2/section4/D01-4-53.html

Suelen ser impermeables pero a veces son reactivas (neutralizan la contaminación, solo para protección aguas subterráneas).

Pueden ser de dos tipos: excavación y relleno

Generalmente se excavan zanjas verticales que se rellenan con un material impermeable, PERO TAMBIÉN SE INYECTAN MATERIALES a través del suelo

•Inyección (sin excavación). Dos tipos: baja (lechada) y alta presión.

En los de lechada se inyecta a baja presión un material de baja viscosidad que rellena los poros del suelo sin producir cambios significativos en la estructura del suelo.

Las otras se inyectan a alta presión y velocidad destruyéndose la estructura del suelo: la lechada se mezcla con el suelo y forma una masa homogénea.

Los materiales más usuales de las pantallas de aislamiento son: cemento, cal, plásticos, arcillas, bentonitas, especialmente utilizadas estas últimas ya que mezcladas con agua forman una mezcla de muy buenas prestaciones. Esta mezcla de bentonita y agua se emplea también para estabilizar las paredes en el caso de las barreras de excavación.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis


Técnicas de anulación

Localización In situ.

Aplicaciones y ventajas

- ⊙ Contaminaciones extensas.
- ⊙ Amplio grupo pero de baja peligrosidad.
- ⊙ Temporales o permanentes.
- ⊙ Reserva el suelo mientras se aplica otro tratamiento.
- ⊙ Muy poco utilizadas.

⊙ Relativamente frecuentes para proteger aguas subterráneas pero casi inexistentes para proteger a los suelos, frecuentemente asociadas a recubrimientos superficiales.

	almacenamiento protección sup. pantallas sellado solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis
Técnicas de anulación	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Limitaciones e inconvenientes <ul style="list-style-type: none"> ⊙ Sólo evita migraciones ⊙ Los materiales de las barreras pueden degradarse ⊙ Construcciones complejas <input type="checkbox"/> Tiempo Muy corto. <input type="checkbox"/> Costes <ul style="list-style-type: none"> ⊙ Mucho más barata que otras tecnologías. ⊙ 550-750 \$/m² de barrera

Limitaciones e inconvenientes

- ⊙ No modifica la toxicidad ni la movilidad de los contaminantes, solamente evita su migración. Evita la movilidad horizontal (laterales) de los contaminantes pero no impide los movimientos verticales.

- ⊙ Los materiales de las barreras pueden degradarse con el tiempo, sufrir fracturas o ser atacados por las soluciones contaminantes (por ejemplo, las barreras de bentonita no resisten a las soluciones fuertemente ácidas o alcalinas, o las soluciones salinas, o con determinados compuestos orgánicos).

Procedimiento extraordinariamente rápido.