



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
efdorr@ugr.es
<http://edafologia.ugr.es>
<http://www.edafologia.net>



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 por aislamiento o 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



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación

Sellado in situ

on site landfill

encapsulado

Protección superficial, paredes y fondo; formando una caja. El suelo queda encapsulado.



almacenamiento
solidific/estabiliz

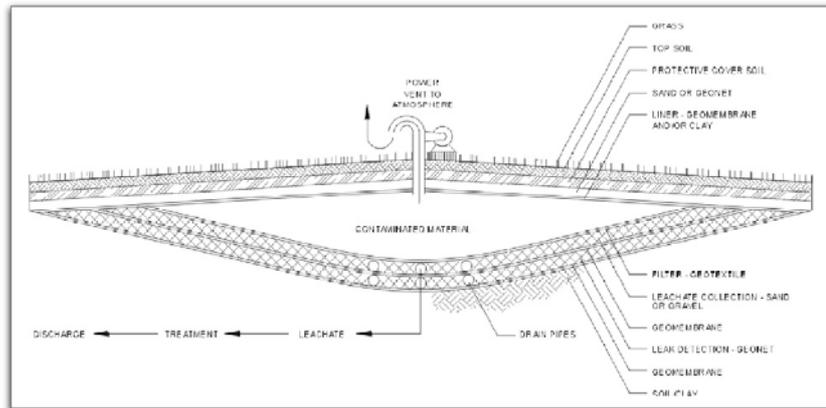
protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación

□ Descripción



<http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs>

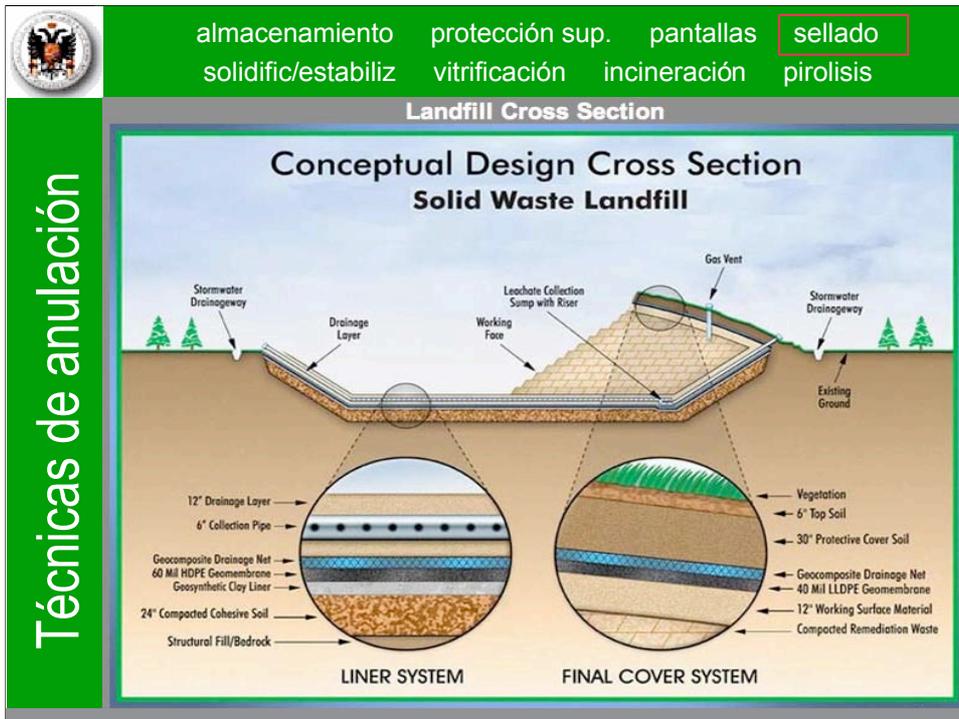
Capa superficial como en la anterior técnica de protección superficial.

Paredes y fondo como en la anterior técnica de pantallas de aislamiento.

Barreras naturales (arcillas, cemento, cal) y sintéticas (plásticos, PVC, geomembranas o geotextiles).

Típicamente se trata de capas múltiples, arriba a abajo (tal y como están dispuestas en el campo),

- capa de sellado con un geotextil permeable
- capa de drenaje (arenas y gravas)
- geomembrana impermeable
- capa permeable (arenas y gravas) para recoger las posibles infiltraciones de las capas superiores
- geomembrana
- capa de arcilla compactada



Técnicas de anulación

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

Para las paredes laterales y el fondo, de arriba hacia abajo:

- capa de drenaje (arenas y gravas) de 30 cm
- canal para recoger líquidos
- capa de drenaje (arenas y gravas) de 20 cm
- geotextil permeable para drenar los líquidos que puedan percolar de las capas superiores
- geomembrana impermeable
- capa impermeable de arcilla sintética

Para la recubierta similar

- vegetación
- capa de 15 cm de suelo de suelo orgánico
- capa de 75 cm de suelo limpio
- geotextil permeable
- geomembrana impermeable
- capa de 30 cm de material de relleno
- suelo contaminado



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

Técnicas de anulación

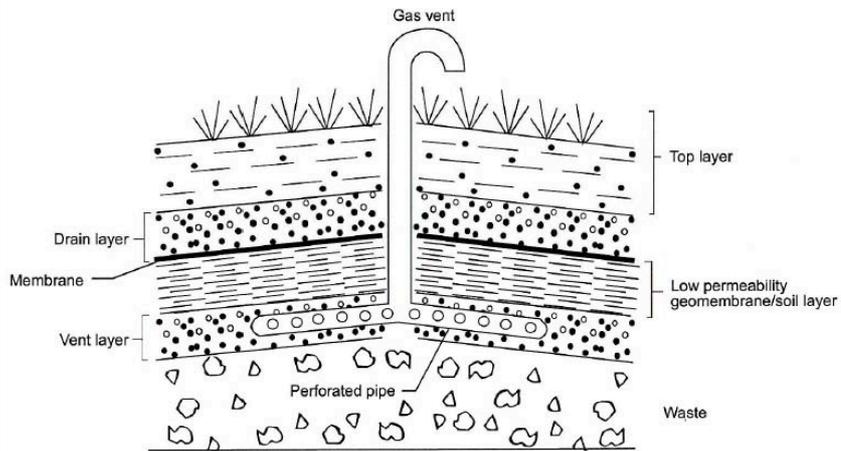


Figure A-11
Cover With Gas Vent
Outlet and Vent Layer

<http://www2.bren.ucsb.edu/>

También se deben controlar los gases y se debe mantener una vigilancia para evitar que se produzcan fracturas en las barreras.

La seguridad del sistema mejora sensiblemente si entre las capas se establecen controles para las posibles infiltraciones.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	<input type="checkbox"/> Localización			
<input type="checkbox"/> Aplicaciones y ventajas				Altas conc./muy difícil recuperación/baja peligrosidad
<input type="checkbox"/> Limitaciones e inconvenientes				<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Sólo se evita migración ⊙ Movilizaciones de tierras y construcciones
<input type="checkbox"/> Tiempo				Muy rápido
<input type="checkbox"/> Costes				De coste bajo

El suelo se deja en el mismo lugar, pero el procedimiento requiere excavación.

Para suelos de alta concentración de contaminantes de muy difícil recuperación, pero de baja peligrosidad.

Evita la movilidad horizontal y vertical, impidiendo la migración fuera del recinto.

Limitaciones e inconvenientes

- No destruye a los contaminantes, no modifica la toxicidad ni la movilidad de los contaminantes, solamente evita su migración.
- Exigen importantes movilizaciones de tierras y de construcción laboriosa.



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

Técnicas de anulación

❑ **Un caso práctico**

Situación inicial

Localización. Pensilvania





La zona se encuentra ubicada en un precioso paisaje geológico con unos pronunciados plegamientos que forman fértiles valles.



El sitio está localizado en el Green Acres-West Industrial Park en el lado norte de la carretera State Route 54 en Borough of Nesquehoning, Carbon County, Pennsylvania. A tres millas al oeste de Nesquehoning. Zona rural e industrial con varios vertederos.

Intensa influencia antrópica.

El sitio pertenece a un área industrial con numerosas industrias, (manufactures residential house siding, a coal company and its stockpiles, and a company that blends plastics).



Localización exacta del sitio



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

Técnicas de anulación

Fecha	Evento
	Historial de la contaminación
1920-1972	Abandono de residuos de una mina de carbón de la compañía Pensilvania Power and Light. Vertedero de residuos de diversa procedencia.
1972	La Tonolli Corporation se instala la parcela. Levanta varios edificios, construídos sobre una capa de residuos mineros de 0 a 6 metros de espesor.
1974-1985	Residuos del reciclado de baterías y fundición de plomo por la Tonolli Corp.



Foto: EPA

Localización. Tonolli Corporation, Route 54, Carbon County, Nesquehoning, Pensilvania. (USA)

Abundantes montones de restos de carbón. En un principio en el sitio hubo industrias de tratamiento del carbón.

La Tonolli Corp. se dedica al reciclado de baterías para extraer el plomo y el ácido



La Tonolli Co. ocupa un área de 12 ha. En el lado norte de la carretera State Route 54, a tres millas al oeste de Nesquehoning.

Junto a las instalaciones de la Tonolli Co. existe una laguna para almacenar el agua necesaria para sus procesos industriales y varios vertederos controlados.

Las actividades consisten en el almacenamiento, trituración, procesado y fundición de baterías agotadas y materiales de desecho conteniendo plomo.

Las baterías era fragmentadas y almacenadas al aire libre junto a las instalaciones.

El ácido de las baterías era canalizado en unos sumideros y conducido a una planta de tratamiento para su neutralización.

Los fragmentos de baterías eran llevados a una trituradora y una vez triturados y llevados a una planta de separación mediante agua se separaban las piezas metálicas del plástico de las cajas y de la baquelita de las placas de circuitos (por flotación).

Las piezas de plástico eran transportadas en camiones a una planta de reciclado. Las de baquelita eran almacenadas en un vertedero de la empresa, situada en la parte este de las instalaciones. Mientras que las partes metálicas eran recicladas en unos hornos de la fundición para obtener el plomo. Los restos de la fundición se concentraban en planchas que eran almacenadas en el vertedero.

Como resultado de este proceso se generaban cinco tipos de residuos:

1. Planchas de plomo con los restos de los fundidos de la fundición (almacenadas en el vertedero).
2. Lodos de sulfato cálcico producido por los depuradores de los gases procedentes de los hornos de fundición (vertidos al vertedero).
3. Residuos de plástico (llevados a un almacén).
4. Residuos de baquelita (almacenados en el vertedero)
5. Líquidos contaminados procedentes de: ácidos de las batería, agua utilizada durante el proceso y aguas de escorrentía procedentes de las tormentas (reconducidos a una planta de tratamiento para su reutilización en los procesos industriales y almacenados en dos tanques, uno de ellos enterrado, de medio millón de litros).

Para evitar la circulación de las aguas de escorrentía se excavan unos canales de drenaje que vierten directamente en el arroyo Nesquehoning Creek.

Técnicas de anulación	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
	Historial de la contaminación			
	1920-1972	Abandono de residuos de una mina de carbón de la compañía Pensilvania Power and Light. Vertedero de residuos de diversa procedencia.		
	1972	La Tonolli Corporation se instala la parcela. Levanta varios edificios, construidos sobre una capa de residuos mineros de 0 a 6 metros de espesor.		
	1974-1985	Residuos del reciclado de baterías y fundición de plomo por la Tonolli Corp.		
	1985	La Tonolli Corp. cesa sus actividades y abandona el sitio.		
	Historial de la descontaminación			
	1985	Se realizan las primeras inspecciones por las autoridades locales (Pb, Cd, As).		
	1986	Se solicita la intervención de la EPA		
	FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).			
	1987	EPA realiza los primeros análisis: altas concentraciones en Pb, Cd, Cr, As, Cu y petróleo en suelos, (ácido sulfúrico), aguas superficiales y subterráneas.		
1989	Primeras medidas de remediación. EPA retira 1.900 m ³ de residuos.			
1989	El sitio entra en el Listado Nacional de Prioridades (SUPERFUND).			
1989	EPA localiza a 46 compañías con responsabilidad en la contaminación y las implica en la descontaminación de la zona.			

CRONOLOGÍA

Inmediatamente después de que la Tonolli Co. abandona el sitio, las autoridades locales (concretamente la Pennsylvania Department of Environmental Resources - PADER-) Inspecciona el sitio y encuentra una canal de desagüe que vierte el agua de escorrentía contaminada directamente en el arroyo Nesquehoning Creek que se había construido para evitar que entrase en la laguna. PADER emite un acta contra la Tonolli. Meses más tarde PADER realiza unos análisis en el sitio y encuentra contaminación por Pb, Cd y As.

Al comienzo de 1986 PADER solicita la intervención de la EPA.

FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).

En 1987 EPA lleva a cabo una investigación de la zona y encuentra altas concentraciones en Pb, Cd, Cr, As, Cu y petróleo en suelos, (ácido sulfúrico), aguas superficiales y subterráneas.

En 1989, EPA realiza las primeras medidas de remediación: excavación y tratamiento de las aguas y de los lodos de la laguna, construcción de una sistema de recogida del agua de escorrentía superficial y su posterior tratamiento, y reparación de la cerca que rodea las instalaciones. La zona fue estabilizada, se retiraron los residuos más peligrosos, se rellenó la laguna y el sitio fue aplanado.

Técnicas de anulación	almacenamiento solidific/estabiliz	protección sup. vitrificación	pantallas incineración	sellado pirolisis
	Historial de la descontaminación			
	1985	Se realizan las primeras inspecciones por las autoridades locales (Pb, Cd, As).		
	1986	Se solicita la intervención de la EPA		
	FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).			
	1987	EPA realiza los primeros análisis: altas concentraciones en Pb, Cd, Cr, As, Cu y petróleo en suelos, (ácido sulfúrico), aguas superficiales y subterráneas.		
	1989	Primeras medidas de remediación. EPA retira 1.900 m ³ de residuos.		
	1989	El sitio entra en el Listado Nacional de Prioridades (SUPERFUND).		
	1989	EPA localiza a 46 compañías con responsabilidad en la contaminación y las implica en la descontaminación de la zona.		
	FASE II. INVESTIGACIÓN DETALLADA (INITIAL SITE INVESTIGATION).			
1990	EPA realiza los análisis definitivos: 8.300 mg/kg media de Pb en los suelos del sitio 433 mg/kg media de Pb en los suelos de la zona.			

CRONOLOGÍA

FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).

FASE II. INVESTIGACIÓN DETALLADA (INITIAL SITE INVESTIGATION).

Se desarrolla entre 1990 y 1991. Incluye:

muestreo de: suelos en superficie y en profundidad, montones de residuos, materiales del vertedero (sólidos y líquidos), aguas superficiales y sedimentos del arroyo; instalación de 20 pozos para monitoreo y análisis; contoles del acuífero; muestreadores de aire exterior y en el interior de los edificios; controles de drenaje de aguas y muestreo; control de residentes.

Los resultados pusieron de manifiesto: que la concentración media de Pb en los suelos del sitio fue de 8.300 mg/kg y de 433 mg/kg media de Pb para los suelos de la zona; además de otros metales contaminantes como As, Cd y Cu.

(10-50 mg/kg, valores normales en suelos del mundo)

(NIVEL GENÉRICO DE REFERENCIA agrícola, 200 mg/kg)

(NIVELES DE INTERVENCIÓN: suelos agrícolas, 500 mg/kg,; espacios libres, 1.000 mg/kg; suelos industriales, 2.000 mg/kg)



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

Técnicas de anulación

Historial de la descontaminación	
1985	Se realizan las primeras inspecciones por las autoridades locales (Pb, Cd, As).
1986	Se solicita la intervención de la EPA
FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).	
1987	EPA realiza los primeros análisis: altas concentraciones en Pb, Cd, Cr, As, Cu y petróleo en suelos, (ácido sulfúrico), aguas superficiales y subterráneas.
1989	Primeras medidas de remediación. EPA retira 1.900 m ³ de residuos.
1989	El sitio entra en el Listado Nacional de Prioridades (SUPERFUND).
1989	EPA localiza a 46 compañías con responsabilidad en la contaminación y las implica en la descontaminación de la zona.
FASE II. INVESTIGACIÓN DETALLADA (INITIAL SITE INVESTIGATION).	
1990	EPA realiza los análisis definitivos: 8.300 mg/kg media de Pb en los suelos del sitio 433 mg/kg media de Pb en los suelos de la zona.
FASE III. PLANIFICACIÓN (REMEDIAL INVESTIGATION/FEASIBILITY STUDY)	
1991	EPA plantea una serie de posibles medidas para la remediación de la zona

CRONOLOGÍA

FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).

FASE II. INVESTIGACIÓN DETALLADA (INITIAL SITE INVESTIGATION).

FASE III. PLANIFICACIÓN (REMEDIAL INVESTIGATION/FEASIBILITY STUDY)

Se plantean una serie de medidas de remediación para la zona

Técnicas de anulación		almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado	
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis		
	Historial de la descontaminación					
	1985	Se realizan las primeras inspecciones por las autoridades locales (Pb, Cd, As).				
	1986	Se solicita la intervención de la EPA				
		FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).				
	1987	EPA realiza los primeros análisis: altas concentraciones en Pb, Cd, Cr, As, Cu y petróleo en suelos, (ácido sulfúrico), aguas superficiales y subterráneas.				
	1989	Primeras medidas de remediación. EPA retira 1.900 m ³ de residuos.				
	1989	El sitio entra en el Listado Nacional de Prioridades (SUPERFUND).				
	1989	EPA localiza a 46 compañías con responsabilidad en la contaminación y las implica en la descontaminación de la zona.				
		FASE II. INVESTIGACIÓN DETALLADA (INITIAL SITE INVESTIGATION).				
	1990	EPA realiza los análisis definitivos: 8.300 mg/kg media de Pb en los suelos del sitio 433 mg/kg media de Pb en los suelos de la zona.				
		FASE III. PLANIFICACIÓN (REMEDIAL INVESTIGATION/FEASIBILITY STUDY)				
	1991	EPA plantea una serie de posibles medidas para la remediación de la zona				
	FASE IV. PLAN DE ACTUACIÓN (RECORD OF DECISION).					
1992	EPA dicta el Plan de Actuación (ROD, Record of Decision)					
1998	EPA aprueba el final del Plan de Actuación					

CRONOLOGÍA

FASE I. VALORACIÓN PRELIMINAR (PRELIMINARY SITE ASSESSMENT).

FASE II. INVESTIGACIÓN DETALLADA (INITIAL SITE INVESTIGATION).

FASE III. PLANIFICACIÓN (REMEDIAL INVESTIGATION/FEASIBILITY STUDY)

FASE IV. PLAN DE ACTUACIÓN (RECORD OF DECISION).

En 1992 EPA dicta el Plan de Actuación (ROD, Record of Decision), fijando la máxima concentración permisible de Pb en los suelos en 1.000 mg/kg del sitio y de 500 mg/kg para las zonas residenciales limítrofes.



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

Técnicas de anulación

Los **objetivos concretos del ROD** son :

1. Prevenir a las personas de la inhalación e ingestión de suelos y otros materiales con concentraciones > 1.000 ppm de Pb.
2. Prevenir a las personas del contacto directo con restos de baterías con concentraciones > 1.000 ppm de Pb.
3. Prevenir a las personas del contacto directo con los materiales enterrados en el vertedero y reducir los migración de lixiviados.
4. Prevenir a los residentes de la exposición a los suelos con concentraciones > 500 ppm de Pb.
5. Reducir la contaminación del acuífero.
6. Prevenir la contaminación de la escorrentía producida por las aguas de lluvia.
7. Prevenir la contaminación de las aguas superficiales y de los lixiviados procedentes del vertedero.
8. Prevenir la contaminación de los sedimentos del río.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION			
	Alternativa 1 - No acción/No posterior acción. <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento situación: contaminantes y riesgos. • Mantenimiento del cercado de la zona. • Vigilancia de: aguas subterráneas y sedimentos del arroyo. frecuencia: trimestral durante dos primeros años y semestral hasta los 30 años. • Los niveles de contaminación permanecen inaceptables • Costes: inicial 0\$ operacion, vigilancia y mantenimiento anual, 54.600\$ precio global: 550.000\$ • Tiempo de desarrollo de las medidas: inicial cero años. Elaboración de un estudio cada 5 años 			

La normativa de la NCP (The National Contingency Plan) obliga a EPA a presentar un conjunto de medidas de remediación que son agrupadas en una serie de alternativas de remediación y una de ellas ha de ser “la no acción”, que sirve como nivel de referencia para comparación de las demás alternativas de “si actuación”.

Para este sitio se propusieron siete alternativas de remediación.

Alternativa 1.

Se mantiene como están los contaminantes en los suelos, los montones de restos de baterías y sedimentos. Esta situación va a provocar la contaminación de los sedimentos y las aguas del arroyo Nesquehoning Creek durante las tormentas, así como la dispersión de los contaminantes en suelos y aguas.

Continua el riego para los potenciales visitantes, trabajadores de la zona y residentes.

Realización de un estudio de la situación cada 5 años.



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

Técnicas de anulación

ALTERNATIVAS DE REMEDIACION

Alternativa 1 - No acción/No posterior acción.

Alternativa 2 - Acción limitada/Controles institucionales.

- Mantenimiento contaminantes pero disminución de los riesgos.
- Control de las aguas de escorrentía de las tormentas.
- Análisis: aguas subterráneas, suelos y sedimentos del arroyo.
- Restricciones de uso de la zona, prohibición de circulación de personas, prohibición de excavaciones.
- Los niveles de contaminación permanecen inaceptables
- Vigilancia cada 5 años
- Costes: inicial 0\$
operacion, vigilancia y mantenimiento anual 277.600\$
precio global: 4.000.000\$
- Tiempo de desarrollo de las medidas : inicial cero años

Mantenimiento del sistema ya presente en el sitio de recogida y tratamiento de las aguas de escorrentía.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION			
	Alternativa 1 - No acción/No posterior acción.			
	Alternativa 2 - Acción limitada/Controles institucionales.			
	Alternativa 3 - Recubrimiento/Sellado vertedero/Descontaminación de edificios.			
	<ul style="list-style-type: none"> • Recubierta para los suelos contaminados y residuos. 10.000 m³ de restos de baterías, 18 m³ de virutas de óxido de hierro, 30.000 m³ deberán ser clasificados, apilados, compactados y junto a los suelos con más de 1.000 mg/kg de Pb, deberán ser recubiertos por capa de asfalto de 10 cm. • Sellado del vertedero. Recubiertos por una multicapa permeable / impermeable y por suelos nativos y revegetados. • Tratamiento on site aguas de escorrentía y lixiviados vertedero. • Descontaminación de los edificios. • Vigilancia trimestral en los 2^{os} años, bianual hasta los 30 años • Costes: inicial 5.100.000\$ operacion, vigilancia y mantenimiento anual 40.600\$ precio global: 6.210.000\$ • Tiempo de desarrollo de las medidas: un año. 			

Tratamiento on site de aguas de escorrentía, lixiviados del vertedero y otros fluidos antes de descargarlos en el arroyo Nesquehoning.

Las áreas a ser cubiertas deben ser aplanadas para reducir las pendientes y si es necesario en zonas se debe rellenar con materiales para no sobrepasar pendientes superiores al 2% para un correcto drenaje del agua y deben ser revegetadas para reducir la erosión.

Mantenimiento del vertedero. Vigilancia trimestral durante los dos primeros años y semianual hasta los 30 después.

Sedimentos del río con más de 450 mg/kg de plomo han de ser excavados y llevados a al vertedero.

Las pilas de baterías de níquel/cadmio deben ser transportadas a un vertedero externo.

Los edificios deben ser descontaminados in situ usando las técnicas de vacío o de lavado. Si estos se reutilizan deberán ser monitorizados cada 5 años.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION			
	Alternativa 1 - No acción/No posterior acción.			
	Alternativa 2 - Acción limitada/Controles institucionales.			
	Alternativa 3 - Recubrimiento/Sellado vertedero/Descontaminación de edificios.			
	Alternativa 4 - Recubrimiento/Recuperación de recursos/Sellado vertedero/Descontaminación de edificios			
<ul style="list-style-type: none"> • Semejante a la opción anterior pero recogiendo los restos de las baterías para reciclar el Pb y reutilizar determinados productos como carburantes. • Costes: inicial 8.290.000\$ operacion, vigilancia y mantenimiento anual 41.600\$ precio global: 9.200.000\$ • Tiempo de desarrollo: 18 meses. 				

Transporte de restos de baterías y otros residuos a una fundición externa para su reciclado:

10.000 m³ de restos de baterías

11.000 m³ de sedimentos de los sumideros

18.000 m³ de óxidos de hierro

0,4 m³ de polvo del interior de los edificios.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION			
	Alternativa 1 - No acción/No posterior acción.			
	Alternativa 2 - Acción limitada/Controles institucionales.			
	Alternativa 3 - Recubrimiento/Sellado vertedero/Descontaminación edificios.			
	Alternativa 4 - Recubrimiento/Recuperación de recursos/Sellado vertedero/Descontaminación de edificios			
	Alternativo 5 - Disposición in situ de los suelos/Recuperación de recursos/Sellado vertedero/Descontam. edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.			
Difiere de la alternativa anterior en dos medidas:				
<ul style="list-style-type: none"> • se propone la excavación de los suelos con concentraciones mayores de 1.000 mg/kg del sitio y mayores de 500 mg/kg de la zona residencial y consolidarlos en el vertedero. • se propone también el tratamiento de las aguas subterráneas, incluyendo la construcción de una barrera vertical activa (rellenada de caliza triturada) • Costes: inicial 11.290.000\$ operacion, vigilancia y mantenimiento anual 35.600\$ precio global: 12.310.000\$ • Tiempo de desarrollo: 20 meses. 				

Se considera que el vertedero existente es estable y tiene capacidad suficiente para recibir los 37 m³ de suelos que se calculan que se van a excavar.

Las áreas excavadas han de ser suavizadas o rellenadas de material limpio y sembradas para controlar el drenaje y la estabilidad.

Las aguas de escorrentía, los lixiviados del vertedero y otros fluidos han de ser tratados antes de descargarlos al arroyo Nesquehoning Creek.

Se ha de construir una barrera para interceptar las aguas antes de su vertido al arroyo. La barrera caliza hará que suba el pH de las aguas al atravesarla con lo que es de esperar que precipiten los metales pesados disueltos. La medida del pH de esta agua a la salida de la barrera constituye una buena medida de control.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION			
	Alternativa 1 - No acción/No posterior acción.			
	Alternativa 2 - Acción limitada/Controles institucionales.			
	Alternativa 3 - Recubrimiento/Sellado vertedero/Descontaminación edificios.			
	Alternativa 4 - Recubrimiento/Recuperación de recursos/Sellado vertedero/Descontaminación de edificios			
	Alternativo 5 - Disposición in situ de los suelos/Recuperación de recursos/Sellado vertedero/Descontam. edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.			
	Alternativa 6 - Tratamiento de los suelos on site/Recuperación de recursos/Sellado vertedero/Descontaminación de edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.			
Difiere de la anterior: tratamiento de los suelos con más de 1.000 mg/kg de Pb y otros residuos por estabilización/solidificación antes de su almacenamiento en el vertedero.				
<ul style="list-style-type: none"> • Costes: inicial 22.945.000\$ <li style="padding-left: 100px;">operacion, vigilancia y mantenimiento anual 35.300\$ <li style="padding-left: 100px;">precio global: 24.179.000\$ • Tiempo de desarrollo: 24 meses. 				

Se consideran dos tipos de tratamiento para los suelos: el lavado y la solidificación/estabilización. Realizados unos ensayos sobre el terreno EPA se inclina por la solidificación/estabilización. El proceso de lavado resulta muy lento y genera gran cantidad de material secundario contaminado que requiere de un posterior tratamiento. También resultó una técnica mas costosa.

Para el tratamiento de solidificación/estabilización los suelos se mezclaron con una mezcla de cemento.



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

Técnicas de anulación

ALTERNATIVAS DE REMEDIACION

Alternativa 1 - No acción/No posterior acción.

Alternativa 2 - Acción limitada/Controles institucionales.

Alternativa 3 - Recubrimiento/Sellado vertedero/Descontaminación edificios.

Alternativa 4 - Recubrimiento/Recuperación de recursos/Sellado vertedero/
Descontaminación de edificios

Alternativo 5 - Disposición in situ de los suelos/Recuper. recursos/Sellado
vertedero/Descontaminación de edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.

Alternativa 6 - Tratamiento de los suelos on site/Recuper. recursos/Sellado
vertedero/Descontaminación de edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.

Alternativa 7 - Tratamiento off site y almacenaje/Recuper. recursos/Sellado
vertedero/Descontaminación de edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.

Tratamiento de suelos contaminados y restos en una planta externa.

- Costes: inicial 42.750.000\$
 operacion, vigilancia y mantenimiento anual 35.300\$
 precio global: 43.760.000\$
- Tiempo de desarrollo: 20 meses.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Discusión de las alternativas

Criterios de evaluación

1. Protección de la salud humana y del medio ambiente
2. Cumplimiento con las normativas del estado y de la nación
3. Reducción de la toxicidad, movilidad
4. Efectividad a corto plazo
5. Efectividad a largo plazo
6. Implementación
7. Costos
8. Aceptación por los residentes
9. Aceptación a nivel estatal



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

Técnicas de anulación

ALTERNATIVAS DE REMEDIACION

ALTERNATIVA	no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentía y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
1	x										
2		x									
3			x	x	x				x		
4			x	x	x				x		x
5			x	x	x	x			x	x	x
6			x	x	x	x	x		x	x	x
7			x	x	x			x	x	x	x

Técnicas de anulación		 almacenamiento solidific/estabiliz protección sup. vitrificaci3n pantallas incineraci3n sellado pirolisis										
		ALTERNATIVAS DE REMEDIACION										
		Protecci3n de la salud humana y del medio ambiente										
ALTERNATIVA		no acci3n	acci3n limitada	recubrimiento contaminaci3n	sellado vertedero	descontaminaci3n de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentia y lixiviados	tratamiento aguas subterr3neas	recuperaci3n de recursos
X	x											
X		x										
?			x	x	x					x		
?			x	x	x					x		x
5			x	x	x	x				x	x	x
6			x	x	x	x	x			x	x	x
7			x	x	x			x		x	x	x

Las alternativas 1 y 2 no pueden ser consideradas como protectoras de la salud humana y del medio ambiente, por tanto han de ser rechazadas totalmente desde este punto de vista.

Las alternativas 3 y 4 protegen en parte al recubrir los suelos contaminado, sellar el vertedero y descontaminar los edificios, pero el sitio queda en una situaci3n peligrosa ya que cualquier excavaci3n en la zona puede aflorar la contaminaci3n. Por otra parte el tratamiento de las aguas se considera insuficiente, al no colocar ninguna barrera para la protecci3n del arroyo.

Las alternativas 5, 6 y 7 son las que la salud humana y el medio ambiente quedan m3s protegidos. El suelo se trata, se lleva al vertedero y se sella. Las aguas tambi3n se protegen.

Técnicas de anulación		 almacenamiento solidific/estabiliz protección sup. vitrificación pantallas incineración sellado pirolisis										
		ALTERNATIVAS DE REMEDIACION										
		Cumplimiento normativas										
ALTERNATIVA		no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas esorrentia y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
X	x											
X		x										
X			x	x	x					x		
X			x	x	x					x		x
5			x	x	x	x				x	x	x
6			x	x	x	x	x			x	x	x
7			x	x	x			x		x	x	x

Las alternativas 1, 2, 3 y 4 no cumplen con la normativa estatal para las aguas subterráneas y de bebida.

las alternativas 5, 6 y 7 no infringen ninguna normativa.

		almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado							
		solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis							
ALTERNATIVAS DE REMEDIACION												
Reducción toxicidad, movilidad												
Técnicas de anulación	ALTERNATIVA	no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentia y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
	X	x										
	X		x									
	X			x	x	x				x		
	X			x	x	x				x		x
	?			x	x	x	x			x	x	x
	6			x	x	x	x	x		x	x	x
	7			x	x	x			x	x	x	x

Las alternativas 1, 2, 3, y 4 no reducen la toxicidad ni la movilidad (los suelos contaminados sólo se recubren).

La alternativa 5 reduce la toxicidad y movilidad en parte al llevar los suelos al vertedero, pero al no tratar previamente a los suelos la inmovilidad no está asegurada. Sí se considera suficiente el tratamiento de las aguas superficiales y subterráneas y los otros líquidos.

Las alternativas 6 y 7 sí reducen la toxicidad y movilidad al tratar a los suelos más contaminados y llevarlos, junto a otros no tan contaminados, a un vertedero.

Por este criterio, junto a los anteriores quedan plenamente rechazadas las cuatro primeras alternativas y parcialmente la 5.

Técnicas de anulación		 almacenamiento solidific/estabiliz protección sup. vitrificación pantallas incineración sellado pirolisis										
		ALTERNATIVAS DE REMEDIACION										
		Efectividad a corto plazo										
ALTERNATIVA		no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentía y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
5			x	x	x	x				x	x	x
6			x	x	x	x	x			x	x	x
7			x	x	x			x	x	x	x	x

La efectividad a corto plazo se refiere a la protección durante el tiempo que duren las operaciones de limpieza.

Las alternativas 5 y 7 son las que necesitan de menos tiempo y las de menor complejidad.

La alternativa 6 utiliza las técnicas más complejas y en las que los trabajadores estarán durante más tiempo expuestos.

La alternativa 7 requiere transportar 30m³ de suelos contaminados con camiones y realizar largos trayectos (generación de polvo, problemas de contaminación, circulación por núcleos poblados, posibles accidentes, etc).

Criterio poco importante al tener un carácter temporal (durante los trabajos de remediación).

Técnicas de anulación		 almacenamiento solidific/estabiliz protección sup. vitrificación pantallas incineración sellado pirolisis										
		ALTERNATIVAS DE REMEDIACION										
		Efectividad a largo plazo										
ALTERNATIVA		no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentia y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
5			x	x	x	x				x	x	x
6			x	x	x	x	x			x	x	x
7			x	x	x			x		x	x	x

Se refiere a la peligrosidad residual del sitio una vez que se ha procedido a su remediación y a la facilidad de mantenimiento.

Las alternativas 5, 6 y 7 vuelven a ser las más recomendadas y de ellas son las dos últimas las más efectivas, al tratar a los suelos previamente a su almacenamiento en el vertedero, reduciendo la concentración de las sustancias peligrosas.

La alternativa 5 vuelve a resultar la menos recomendable y por tanto se despega del grupo más recomendable que es el formado por la 6 y la 7.

Técnicas de anulación		 almacenamiento solidific/estabiliz protección sup. vitrificación pantallas incineración sellado pirolisis										
		ALTERNATIVAS DE REMEDIACION										
		Implementación										
ALTERNATIVA		no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrenría y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
5			x	x	x	x				x	x	x
6			x	x	x	x	x			x	x	x
7			x	x	x			x	x	x	x	x

Se refiere a la facilidad de realizar la remediación, disponibilidad de material y grado de especialización de los operarios.

Las tres alternativas seleccionadas se pueden implementar. De las tres es la 5 y la 7 son las menos complejas y fáciles de realizar.

La alternativa 6 requiere de tecnologías complejas para desarrollar on site.



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

Técnicas de anulación

ALTERNATIVAS DE REMEDIACION

Costos

ALTERNATIVA	no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	tratamiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentía y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
5			x	x	x	x			x	x	x
6			x	x	x	x	x		x	x	x
7			x	x	x			x	x	x	x

Los costes son muy variables, desde 0\$ de la alternativa 1 a los 43.760.000\$ de la alternativa 7, pero también son absolutamente diferentes sus resultados.

Las alternativas 6 y 7 son las de más altos costes pero también son las que proporcionan mejores rendimientos. La 6 evita el transporte del suelo a la planta de tratamiento pero requiere los costes correspondientes al montaje de una planta móvil on site.

Técnicas de anulación		almacenamiento solidific/estabiliz	protección sup. vitrificación	pantallas incineración	sellado pirolisis						
	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION										
Aceptación por los vecinos											
ALTERNATIVA	no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	traatmiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentia y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas	recuperación de recursos
5			x	x	x	x			x	x	x
6			x	x	x	x	x		x	x	x
7			x	x	x			x	x	x	x

Los residentes no se han manifestado en contra de las posibles alternativas 5, 6 y 7, ni en las asambleas publicas ni en las dependencias municipales

Técnicas de anulación		almacenamiento solidific/estabiliz	protección sup. vitrificación	pantallas incineración	sellado pirolisis						
	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION										
	Aceptación oficial										
	ALTERNATIVA	no acción	acción limitada	recubrimiento contaminación	sellado vertedero	descontaminación de edificios	almacenamiento suelos on site	traatmiento suelos on site	tratamiento y almacena. suelos off site	tratamiento aguas escorrentia y lixiviados	tratamiento aguas subterráneas
5			x	x	x	x			x	x	x
6			x	x	x	x	x		x	x	x
7			x	x	x			x	x	x	x

El Estado de Pensilvania no manifestó ningún desacuerdo con las tres posibles alternativas.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis
Técnicas de anulación	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION			
	Alternativa 1 - No acción/No posterior acción.			
	Alternativa 2 - Acción limitada/Controles institucionales.			
	Alternativa 3 - Recubrimiento/Sellado vertedero/Descontaminación edificios.			
Alternativa 4 - Rec./Recuperación recursos/Sell verte./ Descont. edificios				
Alternativo 5 - Disposición in situ de los suelos/Recuper. recursos/Sellado vertedero/Descontaminación de edificios/Tratamientos aguas subterráneas.				
Alternativa 6 - Tratamiento de los suelos on site/Recuper. recursos/Sellado vertedero/Descontaminación edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.				
Alternativa 7 - Tratamiento off site y almacenaje/Recuper.recursos/Sellado vertedero/Descontaminación edificios/Tratamientos de aguas subterráneas.				
ALTERNATIVA SELECCIONADA				
Alternativa 6, modificada - Tratamiento suelos on site/Recuperación recursos /Sellado vertederos/Descont. edificios/Trat. aguas subterráneas.				
La modificación se refiere a la necesidad de someter a tratamiento de estabilización/solidificación sólo a suelos > 10.000 mg/kg de Pb y realización de una enmienda caliza para los suelos entre 1.000-10.000 mg/kg antes de su almacenamiento en el vertedero.				

EPA propone un Consent Decree (Decreto de Consenso) exponiendo el plan de remediación a la discusión pública durante 30 días (publicación en un periódico local y una asamblea pública en unas dependencias del gobierno local)

PADER recoge los comentarios y envía a EPA un extenso resumen, como resultado se elige la Alternativa 6, pero con algunas modificaciones.

La alternativa 6 planteaba el tratamiento por estabilización/solidificación de todos los suelos con concentraciones de Pb mayores de 1.000 mg/kg.

(la enmienda caliza trata de mantener un pH alto en los suelos para evitar que los percolados que salen del vertedero lleven altas concentraciones de metales)



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

Técnicas de anulación

DESPUÉS AL LLEVAR EL PLAN DE REMEDIACIÓN A LA PRÁCTICA SE PRODUCEN UNA SERIE DE AJUSTES DE ÚLTIMA HORA:

1. Demolición y traslado de los restos de los edificios de la compañía (Aunque el ROD en un principio preveía sólo la descontaminación de los edificios, dado que las edificaciones no eran muy grandes se optó por su demolición).
2. Aumentar el área de suelos a excavar.
3. Ampliar el vertedero para dar cabida a la totalidad de suelos excavados.
4. Ampliar el tratamiento de los percolados.
5. Realizar tratamiento de biorremediación para suelos contaminados por petróleo.
6. Modificar el plan final de movilización de tierras en la zona.
7. El edificio de oficinas no necesita ser demolido y con una descontaminación puede ser reutilizado.

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

Técnicas de anulación

El plan de Actuación (ROD) establece las siguientes medidas:

1. Retirada de los restos sólidos de baterías y residuos de fundición.

64.800 m³

Pb:
11.200 mg/kg
68.300 mg/kg

Pb suelo, 39.000 mg/kg

Fotos: EPA

10-50 mg/kg, valores normales en suelos del mundo

200 mg/kg, NIVEL GENÉRICO DE REFERENCIA agrícola

500 mg/kg, NIVELES DE INTERVENCIÓN suelos agrícolas

1.000 mg/kg, NIVELES DE INTERVENCIÓN espacios libres

2.000 mg/kg, NIVELES DE INTERVENCIÓN suelos industriales

Se retiran 64.800 m³ de residuos sólidos; de los cuales 10.000 m³ son de baterías (nickel/cadmium batteries). Y se llevan para su reciclado a una planta externa, la Exide/General Battery Corporation en Reading, PA.

Las concentraciones de plomo en estos restos van de 11.200 mg/kg a 68.300 mg/gk.

El suelo debajo de las pilas de residuos tiene una concentración media de 39.000 mg/kg.



Se encontraron gran cantidad de planchas de residuos de la fundición y se llevaron también a la Exide Corp. para su reciclado.

Aproximadamente 4.000 toneladas de material rico en plomo en planchas.

	almacenamiento solidific/estabiliz	protección sup. vitrificación	pantallas incineración	sellado pirolisis
Técnicas de anulación	<p>E 1 2</p>  <p>Looking southwest at crusher and smelter building before demolition</p>	<p>02) es de bat ificios hormi</p>  <p>View of demolished crusher building with smelter building in background.</p>	 <p>Looking southwest, crusher and smelter building foundations have been removed exposing soil under the buildings.</p>	 <p>Looking southwest, crusher and smelter buildings have been demolished. Only the concrete foundations remain.</p>

Se demolieron todos los edificios de las instalaciones (con la excepción de la oficina que sólo fue descontaminada para su posible reutilización): planta de fundición, refinería, trituradora, cimientos, muros, etc,



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

Técnicas de anulación

El plan de Actuación (ROD, 1992) establece las siguientes medidas:

1. Retirada de los restos sólidos de baterías y residuos de fundición.
2. Demolición y retirada de los edificios de la Tonolli Corp. La trituradora, la fundición y diversos muros de hormigón y cimientos. Almacenamiento en el vertedero.

14 edificios demolidos

7.500 m³ de muros de hormigón

221.000 mg/kg en el polvo cercano a la fundición



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

Técnicas de anulación

El plan de Actuación (ROD, 1992) establece las siguientes medidas:

1. Retirada de los restos sólidos de baterías y residuos de fundición.
2. Demolición y retirada de los edificios de la Tonolli Corp: el laboratorio de trituración, la fundición y diversos muros de hormigón y cimientos.
3. Excavación de los suelos con concentraciones de Pb mayores de 1.000 mg/kg o de 500 mg/kg en los suelos residenciales de los alrededores y su almacenaje en un vertedero en el propio sitio. Rellenado de los huecos con material limpio. En la zona residencial la excavación se recubre de suelos nativos hasta alcanzar las superficies originales.

Pb:

152-433 mg/kg, suelos no contaminados de la zona

95.000 mg/kg valor máximo suelos contaminados del sitio

87.400m³ excavados >1.000 mg/kg

10-50 mg/kg, valores normales en suelos del mundo

200 mg/kg, NIVEL GENÉRICO DE REFERENCIA agrícola

500 mg/kg, NIVELES DE INTERVENCIÓN suelos agrícolas

1.000 mg/kg, NIVELES DE INTERVENCIÓN espacios libres

2.000 mg/kg, NIVELES DE INTERVENCIÓN suelos industriales

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

Técnicas de anulación



Cuanto representa 87.000 m³ ¿?

Si tomamos como referencia un camión tipo dumper con una bañera de tamaño medio de 15 m³ de los que se utilizan en el movimiento de tierras... el suelo excavado llenaría 5.800 camiones, que si se pusiesen uno detrás de otro tocándose, formarían una fila de 35 km

Podría equivaler también a aproximadamente 4 campos de fútbol excavados a una profundidad de 2 metros

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

Técnicas de anulación



Loading treated soil for transport to onsite landfill.



Landfill condition, February 1998, prior to the start of remedial action.
Note water ponded on landfill surface.

Fobes, EPA

Tonolli Corporation

On-Site Landfill construction and closure

El vertedero se prepara eliminando el agua y compactando los materiales.

El vertedero se queda pequeño (se excava un volumen doble del que en un principio estaba previsto) y es necesario ampliarlo y también se hace una nueva excavación adyacente al primitivo vertedero.

Este nuevo vertedero se construye cumpliendo las nuevas normativas del Estado de Pensilvania. Con fondo y paredes construidas con multicapas de capas permeables alternando con otra impermeables.



Antes y durante las operaciones de remediación



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

Técnicas de anulación

El plan de Actuación (ROD, 1992) establece las siguientes medidas:

1. Retirada de los restos sólidos de baterías y residuos de fundición.
2. Demolición y retirada de los edificios de la Tonolli Corp: el laboratorio de trituración, la fundición y diversos muros de hormigón y cimientos.
3. Excavación de los suelos con concentraciones de Pb mayores de 1.000 mg/kg o de 500 mg/kg en los suelos residenciales de los alrededores y su almacenaje en un vertedero en el propio sitio (87.000m³).
4. Separación y estabilización/solidificación de los suelos con concentraciones de Pb más altas de 10.000 mg/kg antes de su almacenamiento en el vertedero.

25.500m³ de suelos excavados con >10.000 mg/kg de Pb

25.500 m³ algo más que un campo de fútbol excavado a 2 m de prof



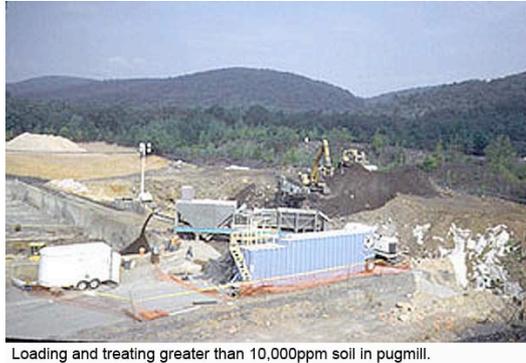
almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

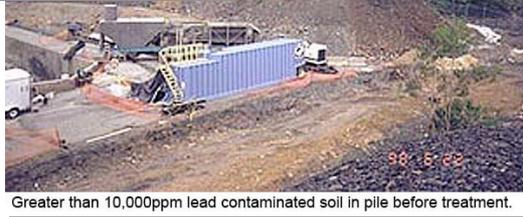
Técnicas de anulación



Loading and treating greater than 10,000ppm soil in pugmill.

Tonolli Corporation

**Treating soil
contaminated with lead**



Greater than 10,000ppm lead contaminated soil in pile before treatment.

Fotos: EPA

Excavación suelos

Separación suelos con mas de 10.000 mg/kg de los de más de 1.000 y estabilización con una mezcla de cemento

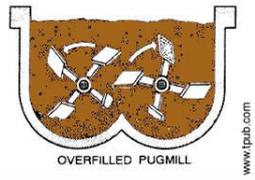
Separación fracciones gruesas (>32 mm).

Para subir el pH se le añade caliza triturada (en un 5% en peso).

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

Técnicas de anulación



Adición y mezcla del suelo con un agente aglomerante (cemento) en una mezcladora mecánica (del 15% al 17% en peso, mas un 10% de agua).



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

Técnicas de anulación

El plan de Actuación (ROD, 1992) establece las siguientes medidas:

1. Retirada de los restos sólidos de baterías y residuos de fundición.
2. Demolición y retirada de los edificios de la Tonolli Corp: el laboratorio de trituración, la fundición y diversos muros de hormigón y cimientos.
3. Excavación de los suelos con concentraciones de Pb mayores de 1.000 mg/kg o de 500 mg/kg en los suelos residenciales de los alrededores.
4. Separación y estabilización/solidificación de los suelos con concentraciones de Pb más altas de 10.000 mg/kg.
5. Vertido de los suelos en el vertedero, estabilización y sellado del vertedero.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

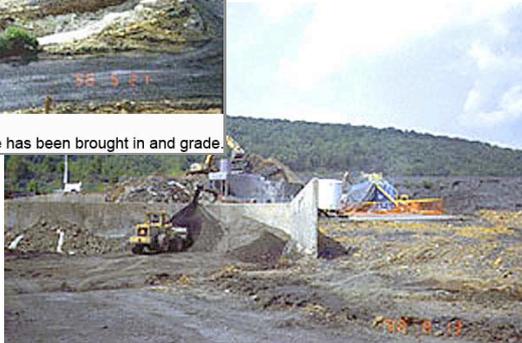
pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación



Landfill condition, late May 1998.
Landfill surface is now dry and some waste has been brought in and grade.



Loader collecting and stockpiling treated soil.

Fotos: EPA



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación



Landfill condition, September 1998.
Bulldozer spreading and grading soil in the landfill.



Landfill condition, July 1998.
Note piles of treated / stabilized soil are present in the landfill.

Fotos: EPA

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

Técnicas de anulación



View south of landfill showing final cap and cover in place on 04/24/2002.

Landfill condition, December 1998.
landfill cover is in place covering waste.

Fotos: EPA

La superficie se suaviza para estabilizarla y disminuir la acción de la escorrentía y se siembra para evitar la erosión.

El vertedero se aísla del terreno circundante para evitar que lo invada la escorrentía de las zonas próximas y se dota de un sistema de control de gases y de agua, así como de una estación de bombeo de los lixiviados.

Además antes de la colocación de la capa impermeable, sobre el material limpio de relleno se colocará una capa de caliza troceada.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación



El sellado se realiza mediante una cubierta multicapa que luego se siembra.

sellado

niento protección sup. pantallas estabiliz nitrificación incineración pirolisis



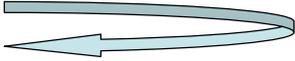
Landfill condition, February 1998, prior to the start of remedial action. Note water ponded on landfill surface.



Landfill condition, late May 1998. Landfill surface is now dry and some waste has been brought in and grade.



Landfill condition, July 1998. Note piles of treated / stabilized soil are present in the landfill.

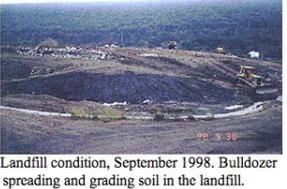




View south of landfill showing final cap and cover in place on 04/24/2002.



Landfill condition, December 1998. landfill cover is in place covering waste.



Landfill condition, September 1998. Bulldozer spreading and grading soil in the landfill.

Total restauradas 8 hectáreas para uso muy restringido: no agrícola, no residencial, no industrial, espacio reservado, interés paisajístico.

	almacenamiento protección sup. pantallas sellado solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis
Técnicas de anulación	<p>El plan de Actuación (ROD, 1992) establece las siguientes medidas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Retirada de los restos sólidos de baterías y residuos de fundición. 2. Demolición y retirada de los edificios de la Tonolli Corp: el laboratorio de trituración, la fundición y diversos muros de hormigón y cimientos. 3. Excavación de suelos con concentraciones de Pb mayores de 1.000 mg/kg o de 500 mg/kg en los suelos residenciales de los alrededores. 4. Separación y estabilización/solidificación de los suelos con concentraciones de Pb más altas de 10.000 mg/kg. 5. Vertido de los suelos en el vertedero, estabilización y sellado del vertedero. 6. En las áreas residenciales rellenado con suelo limpio 7. Biorremediación de los suelos contaminados con petróleo. 8. Limpieza de sedimentos del río Nesquehoning (<300 mg/kg; 30 m³). 9. Tratamiento de las aguas. 10. Tratamiento de los lixiviados. 11. Controles periódicos, revisiones cada 5 años, hasta 30.

Expediente EPA ID#: PAD073613663

Finalmente la remediación de la zona termina con una serie de medidas complementarias.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirólisis
Técnicas de anulación	Los objetivos concretos del ROD son :			
	1. Prevenir a las personas de la inhalación e ingestión de suelos y otros materiales con concentraciones > 1.000 ppm de Pb.			
	2. Prevenir a las personas del contacto directo con restos de baterías con concentraciones > 1.000 ppm de Pb.			
	3. Prevenir a las personas del contacto directo con los materiales enterrados en el vertedero y reducir los migración de lixiviados.			
	4. Prevenir a los residentes de la exposición a los suelos con concentraciones > 500 ppm de Pb.			
	5. Reducir la contaminación del acuífero.			
	6. Prevenir la contaminación de la escorrentía producida por las aguas de lluvia.			
	7. Prevenir la contaminación de las aguas superficiales y de los lixiviados procedentes del vertedero.			
	8. Prevenir la contaminación de los sedimentos del río.			

Revisión a los 5 años

Puntos 1 al 3 conseguidos por el vertido de los suelos y otros materiales contaminados al vertedero y sellado de este. Se realizó un muestreo de confirmación a los 5 años de los suelos residenciales y las concentraciones de Pb no rebasó e ningún caso los 400 mg/kg.

Punto 4 también cumplido.

Punto 5 parcialmente alcanzado. Si se han rebajado los límites en el acuífero profundo, pero las operaciones de remediación de los suelos y vertido en el vertedero han contaminado al acuífero superficial. EPA sospecha que el vertedero sigue siendo fuente de contaminación (no se excavó para aislar completamente el fondo)

Puntos 6 y 8 alcanzados plenamente.

Punto 7 con buenos resultados en lo referente a las aguas superficiales pero con posibles problemas en lo referente a los lixiviados. Se propone un seguimeinto intenso de estos con el tiempo por organismos oficiales.

Se propone un continuo control para evitar posibles excavaciones o nuevas construcciones en la zona del vertedero. La zona debe quedar para un uso industrial controlado. Profundas restricciones, al menos temporales, para la utilización del agua de los acuíferos.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirolisis

Técnicas de anulación

- **Costes.** Costel total: 16.616.000\$
- **Tiempo de desarrollo.** 24 meses.