

**PRETRATAMIENTOS DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA EL RELLENO SANITARIO DE
SEGURIDAD DE RELLENOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.**

ING. ALEXANDRA CACERES MARTINEZ

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

Director:

ING. JAIRO ERNESTO BELTRAN MENDOZA

Entidades interesadas:

RELLENOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
2.007**

**PRETRATAMIENTOS DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA EL RELLENO SANITARIO DE
SEGURIDAD DE RELLENOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.**

ING. ALEXANDRA CACERES MARTINEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
2.007**

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

"Gracias Dios por darme la inteligencia, la vida y el empuje para alcanzar una meta más en mi vida. Gracias a mi esposo y mi pequeño príncipe por creer en mi y estar a mi lado apoyándome, entendiéndome y ayudándome a alcanzar mis sueños ...LOS AMO".

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis sinceros agradecimientos:

A RELLENOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P. , especialmente al Ingeniero Jairo Ernesto Beltrán, por su colaboración, por su confianza, por permitir mi desarrollo profesional y por creer en mí como persona.

Al equipo de Trabajo de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P., por su apoyo y cooperación para la elaboración de este proyecto.

A mi familia, por animarme cada día a ser mejor.

A la Universidad Industrial de Santander por darme herramientas adicionales para mi crecimiento profesional.

A todos los que hicieron posible alcanzar este objetivo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	3
1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	4
2. TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS POR DIFERENTES INDUSTRIAS.....	6
3. ALTERNATIVAS DISPONIBLES EN EL PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS	11
4. RESIDUOS APROBADOS PARA CONFINAMIENTO EN RELLENOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P	15
4.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	19
4.2. UBICACIÓN RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD - MOSQUERA.....	21
4.3. OPERACIÓN RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD.....	23
5. DEFINICIÓN DE PRETRATAMIENTOS POR GRUPOS DE RESIDUOS.....	26
6. DESARROLLO DE LAS METODOLOGÍAS INDIVIDUALES DE PRETRATAMIENTO.....	27
7. CONCLUSIONES.....	28
8. BIBLIOGRAFÍA.....	30
9. ANEXOS.....	31
ANEXO 1. ETIQUETA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EMBALAJE	32
ANEXO 2. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE DESECADO.....	33
ANEXO 3. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE MACROENCAPSULAMIENTO.....	47
ANEXO 4. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE BIORREMEDIACIÓN	63
ANEXO 5. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE SOLIDIFICACIÓN	89
ANEXO 6. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE ESTABILIZACIÓN.....	101

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N. 1. Ejemplos de residuos peligrosos.....	4
Tabla N. 2. Tipos de residuos peligrosos y ejemplos.	5
Tabla N. 3. Residuos generados por tipo de industria.....	6

TÍTULO: PRETRATAMIENTOS DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA EL RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD DE RELLENOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.¹

Autor: CÁCERES MARTINEZ, Alexandra María.**

Palabras Claves: Pretratamiento, Confinamiento, residuos peligrosos, Celdas de seguridad.

El primer Relleno Sanitario de Seguridad de Colombia, construido y operado por la firma Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. ha señalado la necesidad de documentar en un sistema lógico, organizado y con enfoque ambiental, los diferentes pretratamientos aplicables a los residuos peligrosos destinados a confinamiento en celdas de seguridad de tal manera, que se optimicen las maniobras realizadas en el área operativa y que el posible impacto ambiental se minimice.

En el primer capítulo se establece una reseña conceptual de los aspectos más importantes relacionados con la configuración del Relleno de seguridad.

En los capítulos subsiguientes se desarrollan manuales de pretratamientos identificados como prioritarios para la ejecución de las actividades de acondicionamiento de los residuos a disponer en celdas de seguridad. Ellos proporcionan una breve descripción del origen y procedencia clásica de los residuos a manejar, sus características, los análisis de laboratorio requeridos para la viabilidad de disposición final, una descripción metodológica del pretratamiento especificando base conceptual, proceso, parámetros de control y diagrama de flujo operativo; así como una descripción de los elementos de protección necesarios para la operación.

Para asegurar un buen nivel de pretratamiento, es preciso puntualizar en la necesidad de infraestructura y personal capacitado que desarrolle la gestión operativa en el ámbito de la seguridad ocupacional y ambiental. Estos manuales consolidan un

¹ Trabajo de grado

** Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Jairo E. Beltrán Mendoza

sistema de trabajo documentado para que en su aplicación se planeen, supervisen, verifiquen y ejecuten las actividades planteadas, se garantice el pretratamiento y un buen desempeño ambiental de la compañía. Adicionalmente se convierten en un complemento muy importante para el proceso de certificación ISO 9001 Y 14001 que adelanta la compañía.

Title: PRETREATMENT OF HAZARDOUS WASTE FOR THE SPECIALLY ENGINEERED LANDFILL OF RELLENOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.²

Author: CÁCERES MARTINEZ, Alexandra María.**

Keywords: Pretreatment, confinement, hazardous waste, secured cells.

The first specially engineered landfill for hazardous waste of Colombia, built and operated by the firm Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. has indicated the necessity to document in a logic, organized, and environmental system, the different pretreatments applicable to the hazardous waste destined to confinement in secured cells, in such a way that the maneuvers carried out in the operating area may be optimized, and that potential environmental impact be minimized.

In the first chapter a conceptual key summary of the most important aspects related to the configuration of the hazardous waste landfill is established.

In the following chapters, the manuals of pretreatments identified as main priority for the execution of the conditioning activities of the waste subject to disposition to the secured cells are developed. These provide a brief description of the origin and whereabouts of the hazardous waste to handle, their characteristics, the laboratory analysis required for the practicality of final disposal, a methodological description of the pretreatment specifying conceptual base, process, control parameters and operating flow chart; as well as a description of the personal safety elements for the operation.

To assure a good level of pretreatment, it is important to highlight the need of infrastructure and trained personnel which develops the operation with the utmost respect to environmental and occupational safety guidelines. These manuals consolidate a system of processes, documented so that when applied the planning, supervision, verification and execution tasks presented in them may be carried over

² Monograph

** Chemical Engineer School. Environmental Engineer Specialist. Director Jairo E. Beltrán Mendoza.

while guaranteeing a good environmental performance for the company. Additionally, these become a very important complement for the ISO 9001 and 14001 certification process that is being carried out in the company.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la problemática generada en el sector industrial con respecto a la disposición o eliminación de sus residuos peligrosos, Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. ha puesto en marcha el primer relleno sanitario de seguridad de Colombia, ofreciendo una tecnología que garantiza al generador de residuos una disposición adecuada desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Actualmente el sistema consta de varias celdas de seguridad para confinar definitivamente residuos peligrosos y especiales, las cuales operan bajo el concepto de macroencapsulamiento. Con la información de caracterización de los residuos exigidos a los generadores, y con el material de consulta externo, se relaciona con seguridad un tipo de residuo específico con una celda en operación.

Uno de los compromisos establecidos por la empresa se relaciona directamente con la preservación del medio ambiente. Por ello, una gestión eficiente en los pretratamientos de los residuos a confinar es indispensable para garantizar que los riesgos por su manipulación y disposición final son minimizados en su magnitud desde el ámbito laboral y que derivado de ello, el medio ambiente tiene mínima afectación.

El objeto principal de este documento es establecer los pretratamientos a aplicar a los residuos semisólidos, sólidos y líquidos con características peligrosas y/o especiales y las actividades a desarrollar a nivel operativo a fin de garantizar el acondicionamiento de los residuos para su disposición definitiva en celdas de seguridad.

Se plantean alternativas tecnológicas viables para la empresa y se proporciona en cada uno de los manuales la información necesaria para el conocimiento de la base conceptual y de la metodología técnica a aplicar en campo. Esta información incluye una breve descripción del origen y procedencia clásica de los residuos a manejar, sus características, los posibles análisis de laboratorio requeridos para la

viabilidad de disposición final, una descripción metodológica del pretratamiento especificando base conceptual, proceso, parámetros de control y diagrama de flujo operativo.

Teniendo en cuenta que el factor humano involucrado en la operación del relleno de seguridad es de vital importancia para que la metodología se realice adecuadamente, se incluye dentro de cada pretratamiento, un listado del equipo de seguridad mínimo requerido para la gestión de los residuos peligrosos en planta.

1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Los Residuos Peligrosos se generan a partir de un amplio rango de actividades industriales, de la agricultura, y aún de las actividades domésticas.

Tabla 1. Ejemplos de Residuos Peligrosos

Sector	Fuente	Residuo Peligroso
Comercio & Agricultura	Servicio Autos	Aceites Residuales
	Aeropuertos	Aceites, Fluidos, etc.
	Secado al Vacío	Solventes Halogenados
	Transformadores	Bifenilos Policlorados(PCB's)
	Hospitales	Residuos Patógenos e Infecciosos
	Zonas Rurales	Pesticidas, Residuos Agrícolas
Mediana y Pequeña Industria	Tratamiento de Metales (Electro- Plateado, Galvanizado, Cromado, Anodizado, etc.)	Ácidos, Metales Pesados
	Industria Fotográfica	Solventes, ácidos, plata
	Textiles	Cadmio, ácidos minerales
	Impresión	Solventes, tintas, etc.
	Curtiembres	Solventes, Cromo, Sulfuros
Industria de Gran Escala	Refinerías	Catalizadores
	Petroquímica	Residuos de Aceites
	Química y Farmacéutica	Solventes, Residuos Tóxicos
	Celulosa y Papel	Mercurio, Organoclorados

Los Residuos Peligrosos pueden estar en la forma de sólidos, líquidos o semisólidos.

El grado de peligro de los residuos varía ampliamente. Una distinción útil es entre aquellos residuos que poseen un riesgo potencialmente alto para la salud humana, y aquellos donde el riesgo es menor, pero las cantidades son mucho mayores. Un ejemplo de la primera categoría incluyen solventes inflamables de bajo punto de inflamación, pesticidas altamente tóxicos o materiales persistentes clorinados como los PCB's, mientras que en la última categoría se incluyen grandes volúmenes de actividades mineras (relaves) y borras de caliza u otros minerales.

Tabla 2. Tipos de Residuos Peligrosos y ejemplos

RESIDUOS INORGÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> - ácidos y álcalis. - residuos de cianuro - borras y soluciones de metales pesados. - residuos de asbesto. - otros tipos de residuos sólidos
RESIDUOS ACEITOSOS	<ul style="list-style-type: none"> - aceites lubricantes y fluidos hidráulicos. - sedimentos del fondo de estanques de almacenamiento de aceites.
RESIDUOS ORGÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> - solventes halogenados - residuos de solventes no-halogenados (tolueno, etanol, etc.) - residuos de bifenilos policlorados (BPCs). - residuos de resinas y pinturas. - residuos de biocidas - otros tipos de residuos químicos orgánicos.
RESIDUOS ORGÁNICOS PUTREFACTOS	<ul style="list-style-type: none"> - aceites comestibles - residuos de mataderos, curtiembres, y otras industrias alimenticias.
RESIDUOS DE ALTO VOLUMEN - BAJA PELIGROSIDAD	<ul style="list-style-type: none"> - cenizas de la quema de combustibles fósiles, relaves de faenas mineras, lodos de perforaciones de la extracción del petróleo, etc.
RESIDUOS VARIOS	<ul style="list-style-type: none"> - residuos infecciosos - residuos de laboratorios - residuos explosivos

2. TIPO DE RESIDUOS GENERADOS POR DIFERENTES INDUSTRIAS

Tabla 3. Residuos generados por tipo de Industria

Industria	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Grupo de Residuo											
1. Residuos Inorgánicos											
Ácidos y álcalis.	•		•	•		•	•	•	•		
Residuos de cianuro				•							
Borras y soluciones de metales pesados.				•	•	•		•			
Residuos de asbesto.					•	•					
Otros residuos sólidos				•		•					
2. Residuos Aceitosos								•			
3. Residuos Orgánicos											
Solventes halogenados						•	•	•			•
Solventes no-halogenados.	•					•		•	•		
Residuos de BPCs.						•					
Residuos de resinas y pinturas.						•		•	•		
Residuos de biocidas	•				•	•		•	•		
Otros residuos químicos orgánicos			•	•		•					
4. Residuos Orgánicos Putrefactos	•					•	•				
5. Residuos de alto volumen-baja peligrosidad			•	•		•					
6. Residuos Varios											
Residuos infecciosos	•									•	
Residuos de laboratorios						•				•	
Residuos explosivos						•					•

Grupos Industriales

- A** Agricultura, Producción Forestal y de Alimentos
- o agricultura, manejo forestal, industria pesquera;
 - o productos animales y vegetales del sector alimentos;
 - o industria de licores;
 - o industria de alimentos de animales.
- B** Extracción Mineral (excluyendo Hidrocarburos)
- o minería y tratamiento de minerales no-metálicos.
 - o minería y tratamiento de minerales metálicos.

C Energía

- o industria del carbón , extracción, producción de gas y coque;
- o industria del petróleo y gas natural, extracción de petróleo y gas, producción de productos refinados;
- o producción de electricidad;
- o producción de agua potable;
- o distribución de energía.

D Manufactura de Metales

- o metalurgia ferrosa;
- o metalurgia no-ferrosa;
- o fundición y operaciones de trabajo de metales.

E Manufactura de Productos Minerales No-Metálicos

- o materiales de construcción, cerámicas y vidrios;
- o refinación de sal;
- o productos de asbestos;
- o productos abrasivos.

F Industria Química y Relacionadas

- o petroquímica;
- o producción de químicos primarios y productos intermedios;
- o producción de tintas, barnices, pinturas y pegamentos;
- o fabricación de productos fotográficos;
- o industria del perfume, de jabones y detergentes;
- o materiales plásticos y gomas;
- o producción de explosivos y pólvora;
- o producción de biocidas.

G Industria de Repuestos, Vehículos e Ingeniería

- o ingeniería mecánica;
- o manufactura de maquinas de oficina y de equipos de procesamiento de datos;
- o ingeniería eléctrica y electrónica;
- o manufactura de motores y partes de vehículos;
- o manufactura de equipos de transporte;
- o ingeniería de instrumentos;
- o otras industrias de manufacturas metálicas(n.e.).

H Industrias Textiles, del Cuero, de Madera y Troncos

- o industria textil, de calzado, de ropas;
- o industria del cuero y calzado;
- o aserraderos, maderas y muebles;
- o otras n.e.

- I Manufactura de Papel y Productos, Impresión y Publicación
 - o papel y cartones;
 - o impresión, publicación y laboratorios fotográficos.

- J Servicios Médicos, Sanitarios y de Salud
 - o salud; hospitales, centros médicos y laboratorios;
 - o servicios veterinarios.

- K Servicios Comerciales y Personales
 - o lavanderías, secado y secado en seco;
 - o servicios domésticos;
 - o instituciones de cosméticos (i.e., peluquerías);
 - o otros servicios personales n.e.

A continuación se dará una descripción breve de cada tipo de residuo incluyendo su fuente de generación.

I. Residuos Inorgánicos

Acidos y Alcalis están entre los mayores componentes de la totalidad de los residuos peligrosos generados. Aparecen en muchos sectores de la Industria, aunque en término de cantidad, los residuos ácidos provienen fundamentalmente de la industria de preparación y terminado de metales.

El mayor peligro con los ácidos y los álcalis es su acción corrosiva, complicada a veces por la presencia de componentes tóxicos.

Los residuos de Cianuros son generados principalmente en la industria de terminado de metales y en el tratamiento térmico de ciertos aceros. El principal riesgo asociado con los cianuros es su aguda toxicidad.

Las borras y soluciones de metales pesados de mayor preocupación son aquellas que contienen metales tóxicos, arsénico, cadmio, cromo hexavalente, plomo, mercurio, níquel, zinc, y cobre. Estos residuos son generados por un amplio rango de procesos de manufactura que incluyen la producción de Cloro, Textiles, Plateado de Metales y Curtiembres.

Los Residuos de Asbestos normalmente se encuentran en edificios antiguos, centrales eléctricas, plantas industriales, hospitales, establecimientos educacionales, muelles, etc. Materiales que contienen asbestos aparecen como residuos de locomotoras y carros de ferrocarril, y en demoliciones de edificios.

Los riesgos a la salud asociados con la inhalación de fibras y polvo de asbesto se acrecientan por el potencial cancerígeno de este material. Los problemas producidos por las cañerías de cemento-asbesto y las planchas de asbesto son menores comparados con los relacionados con fibras o polvos.

Otros residuos sólidos son generados de una variedad de fuentes de las cuales las más importantes son la fundición y refinado de metales. Los polvos y borras producidos por estos procesos contienen típicamente metales tóxicos que incluyen níquel, arsénico, zinc, mercurio, cadmio y plomo.

II. Residuos Aceitosos

Los Residuos Aceitosos se generan principalmente a partir del procesamiento, uso y almacenamiento de aceites minerales. Como ejemplos podemos citar los residuos de aceites lubricantes y de líquidos de frenos o hidráulicos, borras de los tanques de almacenamiento. En algunos casos, estos materiales pueden estar contaminados con metales tóxicos (p.e. borras con plomo procedentes de estaciones de gasolina).

III. Residuos Orgánicos

Los Solventes Halogenados son generados principalmente por operaciones de secado en seco, limpieza de metales y en menor extensión por desengrasado y eliminación de aceites en la industria textil y del cuero. Los peligros de estos residuos consisten en su gran toxicidad, movilidad y relativamente alta persistencia en el ambiente.

Los residuos de Solventes no-halogenados incluyen un gran número de hidrocarburos (algunos oxigenados), de los cuales los más comunes son el tolueno, metanol,

isopropanol y etanol. Estos solventes se utilizan amplia aplicación en la producción de pinturas, tintas, adhesivos, resinas, preservantes de madera en base a solventes, artículos de tocador, saborizantes de alimentos, cosméticos y también para la limpieza de equipos. También son utilizados como desgrasantes en la industria de ingeniería y de vehículos, así como se usan como extractantes de productos naturales de fuentes animales y vegetales. La toxicidad de estos productos varía grandemente, y en muchos casos el mayor peligro es la inflamabilidad.

Los Residuos de Bifenilos Policlorinados PCB's, son generados en la producción de PCB's y en el desarme de equipos en los cuales se utilizan, tales como fluidos dieléctricos en transformadores y capacitores, y también como fluidos hidráulicos y fluidos de transferencia de calor. La mayor preocupación con los PCB's esta asociada con su alta persistencia y su potencial bioacumulación.

Los Residuos de Pinturas y Resinas son generados de una gran variedad de procesos químicos terciarios, y también en la aplicación de pinturas y resinas a productos terminados. En general son una combinación típica de solventes y compuestos poliméricos y en algunos casos metales tóxicos.

Los Residuos de Biocidas son generados tanto en la manufactura como en la formulación de biocidas y en el uso de estos compuestos en agricultura, horticultura y una variedad de otras industrias.

Además de los residuos orgánicos concentrados descritos, otros residuos químicos orgánicos son también generados a partir de la gasificación de carbón y de la manufactura de productos químicos primarios, secundarios y terciarios. Los residuos de la destilación y de material filtrado son típicos residuos. Estos residuos incluyen tanto productos químicos halogenados como no-halogenados, y son generados por un amplio rango de industrias tales como la refinación de petróleo, la industria química, de tinturas, farmacéutica, plásticos, gomas, y resinas.

Los Residuos de Pesticidas se pueden encontrar en contenedores ya utilizados, o en materiales contaminados, sustancias químicas deterioradas o fuera de uso, pesticidas sobrantes, etc.

IV. Residuos Orgánicos Putrefactos

Los Residuos Orgánicos Putrefactos incluyen los residuos de la producción de aceites comestibles, así como también los residuos de mataderos, curtiembres y otras industrias basadas en animales. El manejo apropiado de residuos putrescibles es de particular importancia en países en desarrollo donde las condiciones climáticas extremas pueden exacerbar los peligros a la salud asociados con estos residuos.

V. Residuos de Alto Volumen/Baja Peligrosidad

Los residuos de alto volumen/baja peligrosidad incluyen aquellos residuos que basados en sus propiedades intrínsecas, presentan peligros relativamente bajos, pero pueden presentar problemas debido a su alto volumen. Como ejemplos se incluyen: lodos de perforaciones de la extracción de petróleo y gas natural, cenizas de plantas de fuerza a petróleo, relaves de faenas mineras, o residuos metalíferos.

VI Residuos Misceláneos

Además de los residuos nombrados existen un gran número de otros residuos que incluyen, residuos infecciosos asociados con tejidos humanos o animales; productos químicos redundantes que se han deteriorado o excedido su período de vida y provienen de tiendas comerciales, almacenes fiscales, etc.; residuos de laboratorios de investigación o de empresas; residuos de explosivos y de la manufactura de municiones. Aunque estos residuos no representan una gran proporción de la generación de residuos peligrosos, se deben tomar en cuenta para asegurar su seguridad y su adecuada disposición.

3. ALTERNATIVAS DISPONIBLES DE PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS

Es importante diferenciar el pretratamiento del tratamiento. Este último tiene como fin la transformación de los residuos y frecuentemente se lleva a cabo utilizando

tecnologías complejas. Por otro lado, el pretratamiento se realiza con el fin de estabilizar los residuos, minimizando así el posible impacto ambiental. Los sistemas de pretratamiento se aplican principalmente a los lodos, los que generalmente contienen hasta un 95% de agua y pueden generar un alto riesgo ambiental si son dispuestos sin ningún procedimiento adicional. Se han seleccionado el desecado, la solidificación, el encapsulamiento de residuos y la biorremediación como pretratamientos a aplicar.

El pretratamiento de los residuos se realiza en sitio antes de su disposición. El sistema de cubierta evita la infiltración de aguas lluvias a las celdas de seguridad y por tanto el contenido de humedad de los residuos dispuestos en ella tiene una tendencia decreciente.

- Desecado: “ Tal como su nombre lo indica, el desecado tiene como propósito reducir la fracción líquida de los residuos. Los procesos de desecado requieren que se lleve a cabo un acondicionamiento, el cual implica generalmente la adición de sustancias químicas tales como cloruro férrico (utilizado en lodos biológicos), cal (utilizada en lodos primarios), o poli electrolitos orgánicos. Los poli electrolitos son coagulantes orgánicos y pueden tener características aniónicas, catiónicas o no iónicas. Los dos primeros pueden ser utilizados con coagulantes inorgánicos (WB/UNEP/WHO, 1989). Se utilizan cada vez más los coagulantes orgánicos porque requieren de poco espacio para su almacenamiento y por su alta efectividad y facilidad de manejo. Por otro lado, los inorgánicos, aunque son más baratos y accesibles, requieren de mayor espacio y por sus características corrosivas son difíciles de manipular y además aumentan el peso del lodo”.³

El método de estabilización y secado se lleva a cabo en contenedores metálicos que permiten que la operación de adición y volteo se realice en condiciones favorables. Si se trata de residuos orgánicos, deben ser adicionados con cal para controlar el pH y evitar malos olores.

³ GUIA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD EN AMERICA LATINA - CEPIS

- Fijación química y solidificación (FQS): La fijación química es un proceso a través del cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo (Conner, 1986). Se logra este efecto generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Se utiliza este proceso para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos reduciendo humedad con el fin de producir un sólido apto para su disposición en el suelo. Los sistemas más comunes de FQS involucran el uso de cemento solo, cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles, y cemento con silicato de sodio.

Para el caso de los residuos semi-sólidos, se puede realizar un proceso de estabilización fisicoquímica (cuando se requiera), que consta fundamentalmente de:

- **Secado**: es la deshidratación por evaporación natural (no inducida) del residuo para reducir la humedad del mismo a valores cercanos al 60%, en los cuales se favorece la reacción de estabilización.
- **Reacción de estabilización**: se adiciona cal en dosificaciones preestablecidas a la mezcla de residuo, con el objeto de promover una reacción química fijando los metales a una estructura cristalina compleja que limita la lixiviación de los mismos.
- **Curado**: consiste en la definición de la estructura cristalina del residuo estabilizado para la consistencia final del material dispuesto.

- Encapsulamiento: Es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del medio ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el concreto y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y por razones operativas y de seguridad no se contempla la utilización de este material ya que durante la disposición puede causarse el punzonamiento de la geomembrana. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico; el plástico, también es utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado resultados positivos y mínimo incremento de volumen de los residuos a disponer.

El diseño de las celdas implica un aislamiento total de los residuos, lo cual sugiere que éstas como tal, sean un tipo de macroencapsulamiento que se realiza con la geomembrana de HDPE utilizada para impermeabilización de las celdas. El proceso inicia con la apertura de la celda, disposición de residuos y coberturas al interior de ésta y culmina una vez las celdas han ocupado su capacidad máxima de almacenamiento y se clausuran con doble capa del mismo material.

- Biorremediación: Es una técnica de descontaminación de suelos que emplea procesos naturales para eliminar las sustancias químicas perjudiciales para el medio ambiente, mejorados en su caso por la acción humana.

Es sabido que los microorganismos que viven en el suelo y las aguas subterráneas son capaces de metabolizar gran parte de los productos químicos presentes en los derrames de diferentes compuestos orgánicos, y entre ellos de los hidrocarburos, de hecho su composición química elemental es muy similar a los compuestos orgánicos habituales en la naturaleza, por ello, cuando los microorganismos implicados en la descontaminación digieren en su totalidad las sustancias químicas presentes en el subsuelo, las transforman en los productos habituales del metabolismo: agua y dióxido de carbono.

La biodegradación puede darse, en las condiciones ambientales, a unas velocidades que son insuficientes para conseguir la rápida degradación de los compuestos orgánicos peligrosos para la salud, por ello es preciso suministrar el oxígeno y los nutrientes, normalmente nitrógeno y fósforo, necesarios para promover una metabolización rápida de los compuestos de interés, incrementando si es necesario, *la temperatura* a la que se encuentran los microorganismos, lo que acelerará el metabolismo.

**4. RESIDUOS APROBADOS PARA CONFINAMIENTO EN RELLENOS DE COLOMBIA S.A.
E.S.P.**

CUADRO 14 : CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS Y SU POSIBLE PRETRATAMIENTO

NÚM	DESCRIPCION	OBSERVACIONES	PRETRATAMIENTOS
1.	Residuos de la producción de aceites vegetales	Fábricas de aceites, mercados. Aunque este residuo no se considera peligroso, es putrescible y requiere manejo especial	Estabilización
2.	Residuos de ácidos grasos	Producción de grasas y jabones. Aunque este residuo no se considera peligroso, es putrescible y requiere un manejo especial	Estabilización
3.	Emulsiones de aceites y grasas	Fábrica de aceites, producción de jabones. Aunque este residuo no se considera peligroso, es putrescible y requiere un manejo especial	Desecado
4.	Lodos del proceso de producción del cuero	Curtiembres	Desecado
5.	Aserines empapados de aceite u otros residuos nocivos	Industria y comercio del aceite; industria en general	N/A
6.	Filtros de papel empapados con residuos nocivos	Industria en general	N/A
7.	Material de embalaje contaminado con restos de contenido nocivo	Industria en general	N/A
8.	Gasas empapadas con residuos nocivos	Industria en general	N/A
9.	Residuos con sustancias peligrosas provenientes de hornos	Industria metalúrgica	N/A
10.	Escorias de fundición de metales no ferrosos	Industria metalúrgica	N/A
11.	Escorias salinas de la	Fundiciones	N/A

⁴ SEGÚN LA GUIA PARA LA DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

	producción de metales no ferrosos		
12.	Cenizas de metales no ferrosos	Industria metalúrgica. Puede contener metales pesados como plomo, estaño, etc.	Solidificación
13.	Polvo de filtro de metales no ferrosos	Industria metalúrgica. Puede contener metales como plomo, zinc, etc.	Solidificación
14.	Cenizas volátiles de filtros de incineradores	Incineradores	Solidificación
15.	Residuos de lavadores de gas de incineradores (v.g. yeso)	Incineradores	N/A
16.	Suelos contaminados	Accidentes, industria en general	N/A
17.	Escombros contaminados	Industria en general	N/A
18.	Arenas de fundición	Fundiciones	N/A
19.	Materiales de filtros usados con contenido nocivo (v.g. carbono activado)	Industria química, tintorerías y tratamiento de efluentes	N/A
20.	Polvos de asbesto	Industria del asbesto y asbesto-cemento	Residuo debe estar empacado
21.	Lodos minerales con residuos peligrosos	Industria metalúrgica y química, talleres de temple. Residuos que pueden contener nitrato, nitrito, sulfito, etc.	Desecado o solidificación
22.	Lodos con cianuros de la metalurgia	Acabado de acero, talleres de temple. Contiene cianuro	Si no hay tratamiento F/Q, solidificación
23.	Filtros de aceite	Industria, vehículos y maquinaria en general	N/A
24.	Residuos con metales pesados no ferrosos	Minas e industria metalúrgica. Puede contener Pb, Be, Al y otros metales pesados	N/A
25.	Acumuladores (baterías) de níquel-cadmio	Comercio, acumuladores gastados	Solidificación o encapsulamiento
26.	Baterías con mercurio	Baterías gastadas	Solidificación o encapsulamiento
27.	Residuos con mercurio	Industria en general	Si no hay tratamiento F/Q, solidificación o encapsulamiento

28.	Lodos de zinc, plomo, estaño	Minas e industria metalúrgica	Solidificación o encapsulamiento
30.	Lodos galvánicos con cianuro, cromo VI	Industria galvanoplástica. Residuos altamente tóxicos	Cianuro: oxidación, cromo: reducción
31.	Lodos galvánicos con cromo III, cobre, zinc, cadmio, níquel, cobalto, plomo, estaño	Industria galvanoplástica	Solidificación o desecado
32.	Otros lodos de hidróxidos metálicos	Industria química y tratamiento de efluentes industriales	Si no hay tratamiento F/Q, desecado o solidificación
33.	Óxidos e hidróxidos de zinc, manganeso, cromo III, cobre y otros metales pesados	Industria química y metalúrgica	Desecado o solidificación
34.	Sales y sustancias químicas del proceso de curtido de pieles	Preparación de pieles y curtiembres	Solidificación o encapsulamiento
35.	Sales de impregnado de la madera	Industria de la madera, contiene creosota o pentaclorofenol	Solidificación o encapsulamiento
36.	Sales para endurecimiento del acero	Acabado del acero. Puede contener Pb, Ba, y otros metales pesados	Solidificación o encapsulamiento
37.	Cloruros y sulfuros con metales pesados	Acabado de acero e industria química	Solidificación o encapsulamiento
38.	Sales con contenido nocivo como cianuro nitrito	Industria química	Oxidación, solidificación previo a disposición
39.	Cal con contenido de arsénico	Industria química, de la cerámica y del vidrio	Solidificación o encapsulamiento
40.	Hidrofluoruro de amonio	Tratamiento de superficies metálicas	Solidificación o encapsulamiento
41.	Residuos de plaguicidas	Producción, comercio y uso de plaguicidas. Plaguicidas	Solidificación o encapsulamiento
42.	Residuos de desinfectantes	Industria química, farmacéutica e instalaciones de salud	Solidificación o encapsulamiento
43.	Residuos de la industria farmacéutica	Industria farmacéutica	Solidificación o encapsulamiento
44.	Productos farmacéuticos caducos	Instalaciones de salud	Solidificación o encapsulamiento
45.	Detergentes	Industria, comercio y utilización de detergentes	N/A

46.	Tensoactivos	Industria química, producción de detergentes	N/A
47.	Residuos químicos de laboratorios	Industria e instituciones académicas	Tratamiento depende del residuo
48.	Grasas y ceras	Industria petroquímica y general	N/A
49.	Residuos sólidos empapados de aceite y grasa	Industria petroquímica y general	N/A
50.	Emulsiones bituminosas	Industria química y de la construcción. Contiene sustancias alifáticas y aromáticas	N/A
51.	Lodos con combustible	Industria en general	N/A
52.	Lodos con lubricantes	Industria en general	N/A
53.	Residuos de la refinación de aceites usados	Industria de re-refinación (reciclado). Puede contener ácidos, lejías, azufre, etc.	N/A
50.	Residuos del alquitrán	Industria química	N/A
54.	Lodos con solventes orgánicos halogenados	Industria química y general	Encapsulamiento
55.	Lodos con solventes orgánicos no halogenados	Industria química y general	Encapsulamiento
56.	Pinturas y barnices residuales	Industria y utilización de pinturas, imprentas	N/A
57.	Lodos de pinturas y barnices	Industria de pinturas y procesos de pintado	Encapsulamiento
58.	Residuos plásticos no endurecidos	Industria química y plástica	Encapsulamiento
59.	Ablandadores halogenados	Industria química y plástica	Encapsulamiento
60.	Ablandadores no halogenados	Industria química y plástica	Encapsulamiento
61.	Lodos del plástico o caucho con solvente	Industria química y plástica	Encapsulamiento
62.	Lodos y emulsiones de látex	Industria textil, de alfombras y de pinturas	Encapsulamiento
63.	Lodos y emulsiones de caucho	Producción de materiales de caucho	N/A
64.	Lodos de teñido de textiles	Industria textil	Encapsulamiento
65.	Lodos de lavandería	Industria textil, lavanderías y tintorerías	Encapsulamiento

66.	Filtros textiles con sustancias peligrosas	Industria textil y en general	N/A
67.	Paños textiles con sustancias peligrosas	Industria en general	N/A
68.	Catalizadores	Industria química y petroquímica	Solidificación o encapsulamiento
69.	Lodos de tratamiento de efluentes industriales no especificados anteriormente	Industria en general	Desecado
70.	Residuos no peligrosos	Industria en general	N/A

N/A: Disposición final

4.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

De acuerdo con la problemática generada en el sector industrial con respecto a la disposición de sus residuos peligrosos, Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. ofrece una solución garantizando al cliente una disposición adecuada de sus residuos desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Actualmente ofrece un sistema de disposición de residuos industriales en un Relleno Sanitario de Seguridad. Para esto se cuenta con un proyecto técnicamente y ambientalmente completo, a través de celdas de seguridad, las cuales operan bajo el concepto de macroencapsulamiento. Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. cuenta con una licencia ambiental expedida por la Corporación Autónoma Regional para disponer residuos peligrosos y especiales (cepis – 69 Residuos peligrosos),

De acuerdo con la magnitud del proyecto y con la experiencia que se ha venido adquiriendo con esta alternativa técnica líder en Colombia, se aplica un diseño de celdas de seguridad de acuerdo con las especificaciones requeridas para un proyecto que maneja residuos peligrosos, basado en las directrices establecidas en el RAS (Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico) y en los lineamientos para la construcción y operación de Rellenos de seguridad para Latinoamérica del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Técnicamente las celdas de seguridad están dotadas con tuberías de recolección de lixiviados, se instalan por celda dos pozos para la recolección de éstos y dos pozos de monitoreo y control, geomembranas en HDPE para garantizar que no existe infiltración de contaminantes al suelo, se colocan coberturas diarias de material agregado (suelo) sobre los residuos depositados, y se realiza compactación. Una vez la celda ha copado su capacidad máxima de almacenamiento, se instalan las tuberías de recolección de gas con sus respectivas chimeneas de evacuación, sobre esta capa se extiende otra capa de geomembrana con la que se sella toda la celda garantizando que no hay penetración de aguas lluvias y por lo tanto no existe contacto de agua con los residuos depositados. Finalmente sobre la geomembrana se coloca la capa vegetal.

Para la recirculación se cuenta con un sistema de bombeo, el cual se instala en cada pozo de recolección de lixiviados, en donde se bombea a la celda a través de una tubería con perforaciones embebida en la capa de residuos, por medio de la cual ingresará el líquido producto de la descomposición de los residuos, con el fin de que el residuo sirva como medio filtrante y de esta forma reducir gradualmente la concentración del mismo.

Adicionalmente para el manejo requerido del Relleno Sanitario de Seguridad se efectuaron otras obras como casetas de almacenamiento; las cuales se diseñaron y construyeron de acuerdo con los requisitos establecidos en la guía del Ministerio del Medio Ambiente, desagües superficiales; este sistema está compuesto por todas las conducciones a través de zanjas y canales de recolección requeridas a lo largo de todo el proyecto y los respectivos tanques de almacenamiento, Área Administrativa; para el resguardo de trabajadores y oficinas para la operación del relleno, y vías de acceso, estas obras adicionalmente cumplen los requisitos en materia estructural.

A nivel operativo, se tienen en cuenta las compatibilidades de los residuos para evitar reacciones químicas adversas y las características de peligrosidad de un residuo a saber: Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad e Inflamabilidad.

Una vez se han estudiado estas características se determina la celda en la cual serán confinados y en caso de requerirse un pretratamiento específico se efectúa previamente a la disposición en la celda asignada.

Con la información de caracterización de los residuos exigida a los generadores, con el material de consulta externo, la Resolución 2309 del 24 de Febrero de 1986 y el RAS (Reglamento de Agua potable y Saneamiento Básico), en donde se determina la compatibilidad de diferentes residuos, y la identificación de los riesgos potenciales al medio ambiente por el inadecuado almacenamiento, se relaciona con seguridad un tipo de residuo específico con una celda en operación.

Se cuentan con todos los procedimientos para la recepción, descargue y disposición de residuos en el Relleno Sanitario de Seguridad, ya que Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. se encuentra en proceso de certificación ISO 9001 Y 14001.

4.2. UBICACIÓN RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD - MOSQUERA

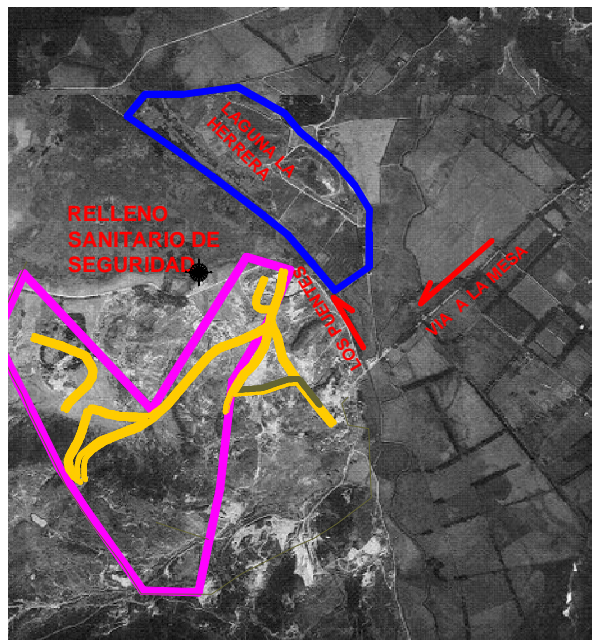


FIGURA 1. Ortofoto de ubicación del proyecto en operación

El acceso al predio se realiza a través de la vía que de Mosquera conduce a La Mesa, en el punto denominado Los Puentes en jurisdicción del municipio de Mosquera (pasando el Río Balsillas), se dobla a la derecha y bordeando la Laguna La Herrera, antes de llegar al sector de las asfalteras, hay un letrero de Rellenos de Colombia, localizado al lado izquierdo de la vía, por donde se accede al sitio. Del sitio de Los Puentes al predio hay aproximadamente 2 kms.

Ambientalmente el predio se localiza en un área cuyo relieve es ondulado y escarpado, caracterizado por la presencia de colinas y cárcavas, estas últimas generadas por acción eólica y el bajo régimen pluviométrico.

El suelo presenta condiciones de baja fertilidad, siendo predominante la vegetación xerofítica, característica de las zonas secas.

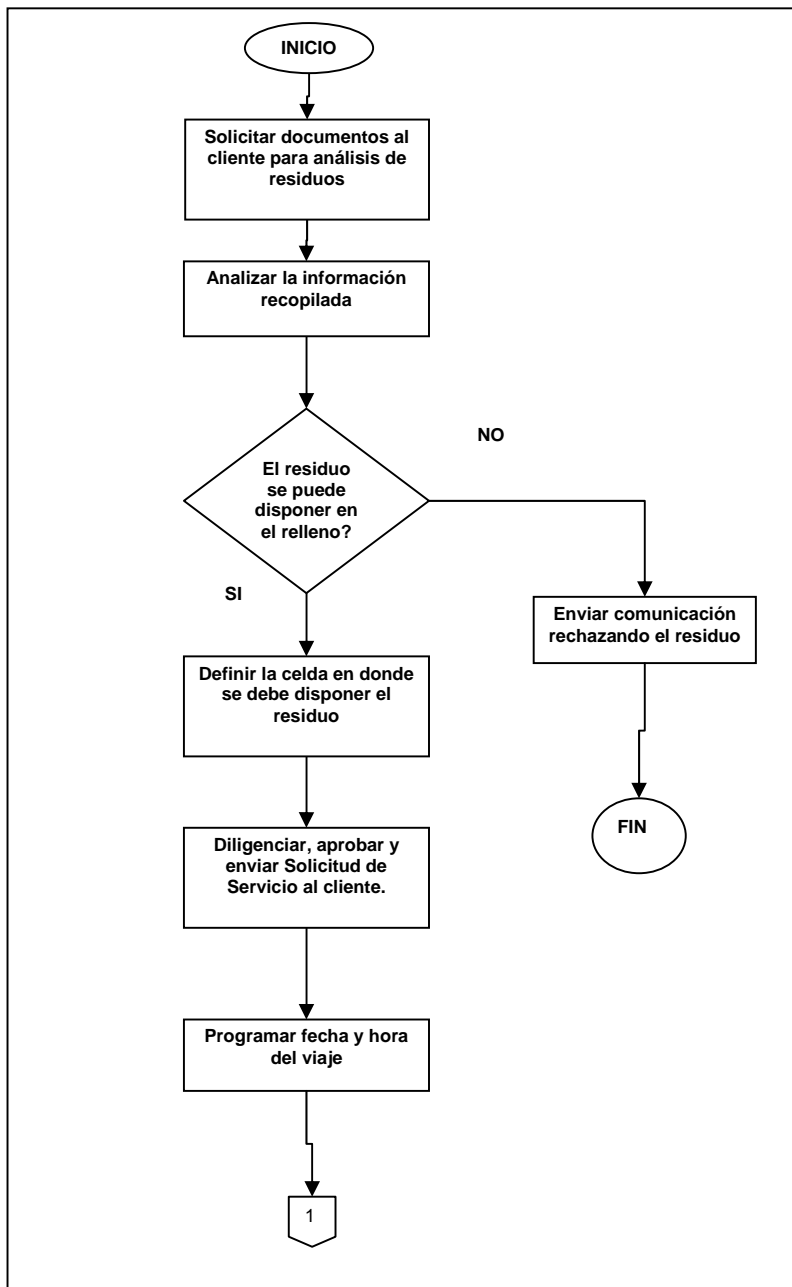
Actualmente el predio esta diferenciado por dos áreas: una intervenida por la disposición de una escombrera aprobada por la CAR, y otra que aún se conserva en su estado natural la cual correspondería a la que potencialmente se va a adecuar para la implementación y operación del proyecto.

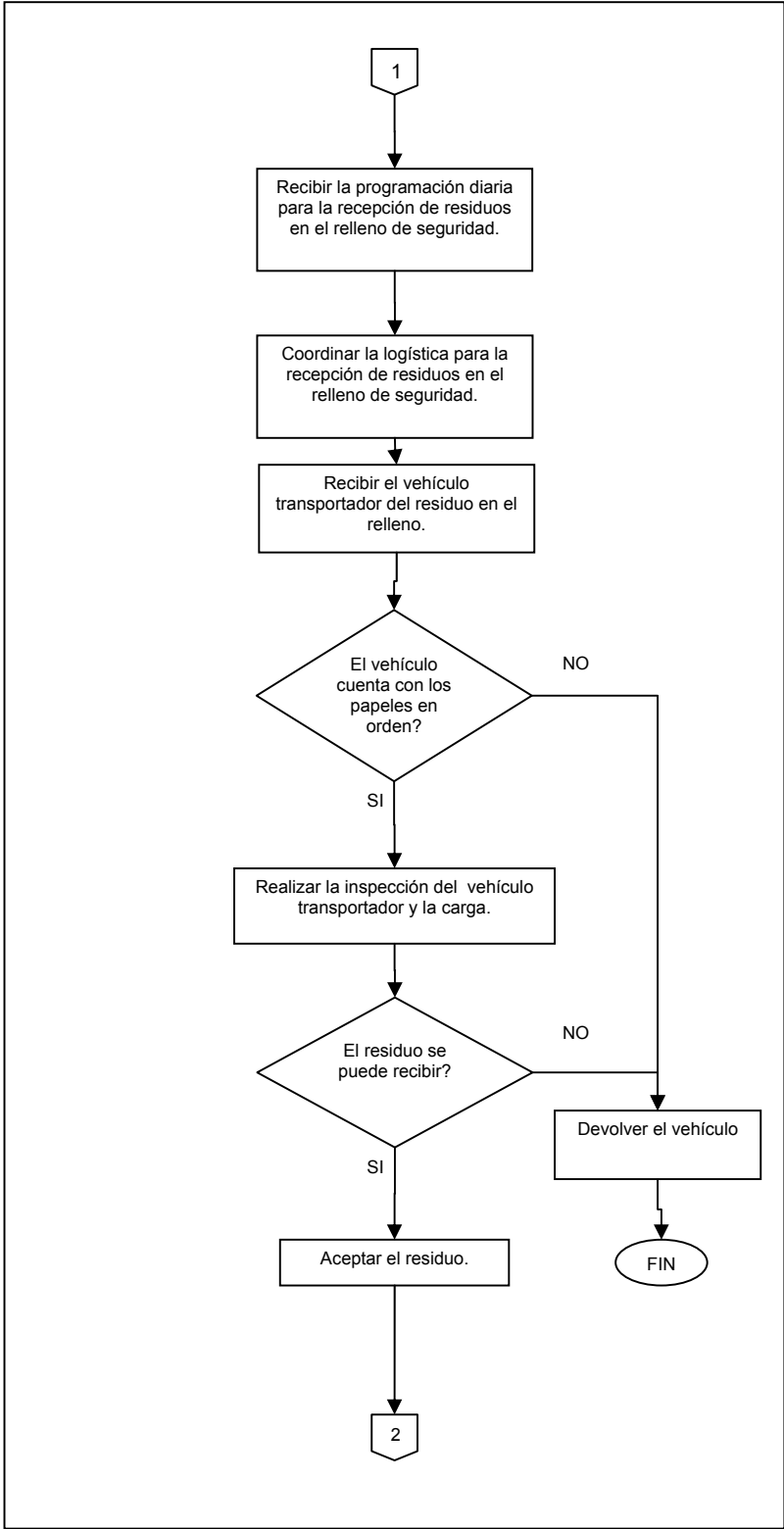


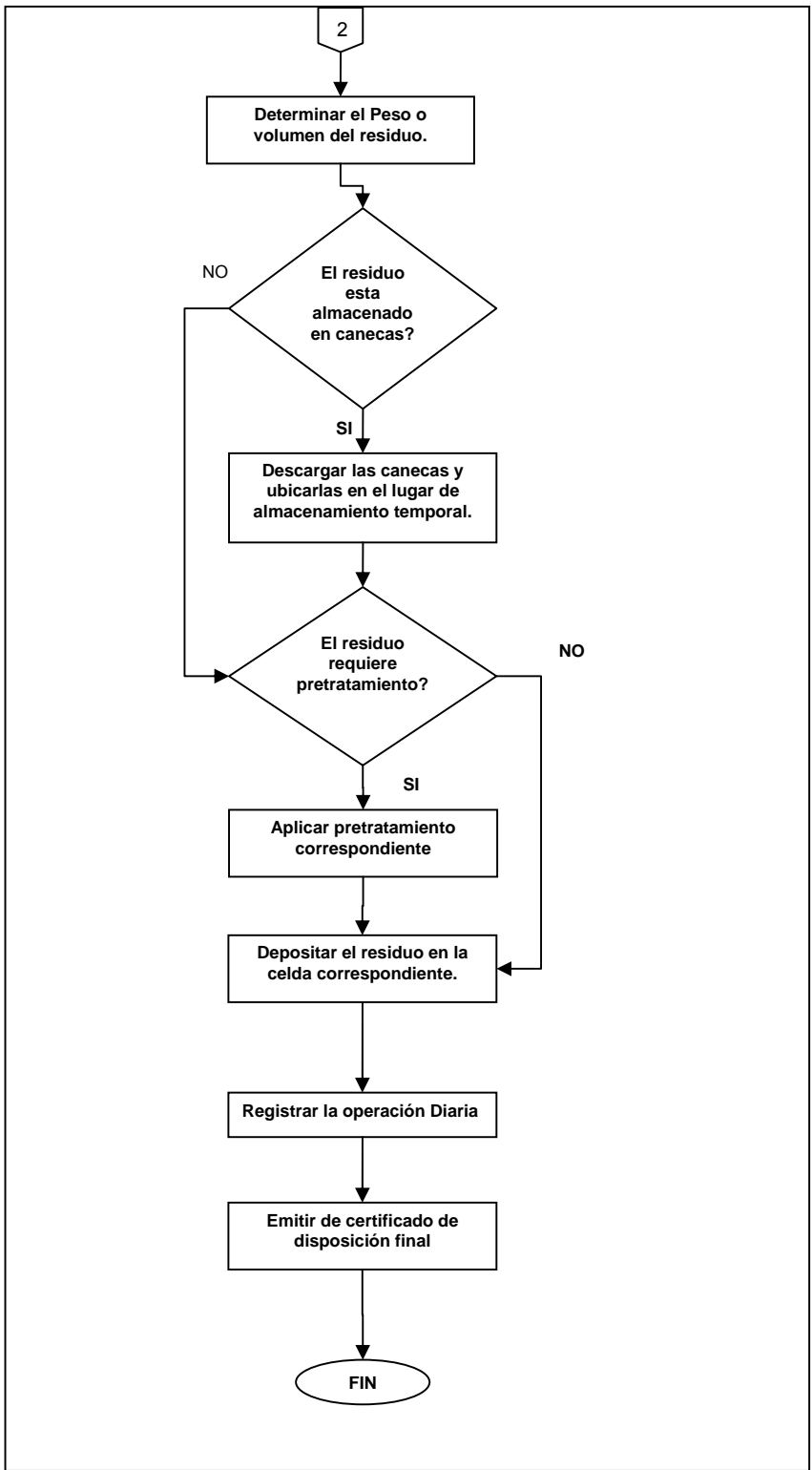
Figura 2. Mapa de acceso al Relleno de Seguridad

4.2. OPERACIÓN RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD

Para entender la operación del Relleno de Seguridad, se ha diseñado el siguiente flujograma operativo:







5. DEFINICION DE PRETRATAMIENTOS POR GRUPOS DE RESIDUOS:

Teniendo en cuenta las obligaciones planteadas en la licencia ambiental para la aplicación de pretratamientos a los residuos que se desean disponer en celdas de seguridad, y atendiendo al mejoramiento de las condiciones de operación, se han clasificado los grupos de residuos según el procedimiento que se deba aplicar para su mejor acondicionamiento como sigue:

ENCAPSULAMIENTO:

- 25, 26, 27, 38, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65,

SOLIDIFICACIÓN :

- 12, 13, 14, 22, 28, 33, 34, 35, 36, 39, 41, 42, 43, 68

ESTABILIZACIÓN:

- 1, 2, 29, 37

DESECADO:

- 3, 4, 21, 30, 31, 32, 69

BIORREMEDIACIÓN:

- 50, 51, 40

NO APLICA (SUGIERE COBERTURA ÚNICAMENTE)

- 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 44, 45, 47, 48, 49, 52, 53, 56, 63, 66, 67, 70

6. DESARROLLO DE LAS METODOLOGÍAS INDIVIDUALES DE PRETRATAMIENTO:

Para el caso de cada grupo seleccionado, se establecieron unos manuales o procedimientos que sustentan cada tipo de pretratamiento a aplicar. Cada uno de ellos desarrolla desde la base conceptual, hasta la ejecución de la técnica y sistemas de control y de seguridad industrial para todas las actividades implicadas en cada documento. De la misma manera, se plantearon los flujogramas para aplicar a nivel operativo las técnicas descritas inicialmente. Los cinco manuales o procedimientos que se desarrollaron son los siguientes:

- P-ER-01 DESECADO
- P-ER-02 MACROENCAPSULAMIENTO
- P-ER-03 BIORREMEDIACIÓN
- P-ER-04 SOLIDIFICACIÓN
- P-ER-05 ESTABILIZACIÓN

Estos documentos se adicionan a esta monografía como anexos por cuanto pertenecen al sistema de gestión y poseen una organización conceptual definida para cada uno de los procesos.

7. CONCLUSIONES

- La operación de un Relleno de Seguridad debe realizarse en condiciones de seguridad que garanticen una óptima labor técnica y un aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento de las celdas con el fin de que la solución planteada como alternativa de disposición final de residuos tenga una vida útil aceptable y en la misma dirección, los generadores de residuos peligrosos logren realizar una gestión que además de confianza, les brinde ventajas a nivel económico.
- Los residuos peligrosos generados en nuestro país, no contaban con alternativas diferentes a la incineración y el coprocesamiento como métodos de disposición final adecuada. Las celdas de seguridad son una excelente alternativa que debe prevalecer en el tiempo y ello depende de una adecuada operación de las celdas de seguridad a partir de la minimización de peligrosidad de los desechos industriales que se dispongan en ellas.
- Con la elaboración de estos documentos, se logra un avance importante para el óptimo desarrollo del proyecto que ha construido Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. Ellos permiten utilizar técnicas de acondicionamiento precisas y con metodologías simples que se adaptan al contexto actual de la empresa. Además facilitan el avance en cuanto a documentación se refiere, para la obtención de la certificación ISO 9001 y 14001.
- El desecado mediante eras o lechos de secado es la tecnología más viable, económica y práctica para realizar un control directo sobre la humedad de los residuos que se planean disponer en las celdas. Anteriormente se solidificaba únicamente con material de cobertura para disminuir la humedad procedente de ellos. Esta alternativa le va a permitir a la compañía ganar capacidad de almacenamiento en las celdas y va a evitar pérdidas por el inadecuado manejo con el material solidificante ya que la relación residuo – agregado promedio era de 1:4, lo cual económicamente se convertía en saldo rojo.

- Optimizar el macroencapsulamiento, garantiza que los residuos retenidos en la matriz plástica y de concreto quedan completamente aislados y que su manejo al interior de las celdas tenga un excelente desempeño.
- La solidificación sin embargo, continúa siendo una alternativa que puede seguir aplicándose para aquellos residuos que por su alta humedad no pueden pasar a las eras de secado. Además mediante esta técnica se reduce la movilidad de los compuestos tóxicos y por lo tanto, su peligrosidad y permite también aplicarla como complemento al proceso de macroencapsulamiento.
- Es factible transformar químicamente al cromo, al plomo y/o al cadmio y al mercurio presentes en un residuo para lograr un compuesto insoluble. La estabilización de residuos brinda la seguridad de trabajar con matrices de residuos que no generarán problemas al ser confinados en una celda de seguridad.
- La biorremediación es un sistema que va a permitir mejorar las condiciones del material contaminado con plaguicidas e hidrocarburos y por lo tanto, dependiendo del grado de descontaminación de los mismos, el material tratado mediante esta técnica podrá utilizarse para otras actividades dentro del mismo proyecto.
- Los procedimientos planteados no son excluyentes uno del otro. Por el contrario, pueden llegar a complementarse con el fin de manejar el menor riesgo posible dentro del concepto de confinamiento definitivo de residuos peligrosos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Davis M., Cornwell D., "Introduction to Environmental Engineering". 2ªed. McGraw Hill International Editions, Singapore (1991)

Kelly G., "Environmental Engineering". McGraw Hill International Editions., Singapore (1998)

LaGrega M.D., Buckingham P.L., Evans J.C., "Gestión de Residuos tóxicos", Vol. I y II., McGraw-Hill International Editions, España (1996).

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., "Gestión Integral de Residuos Sólidos", Vol. I y II., McGraw Hill, Madrid (1994).

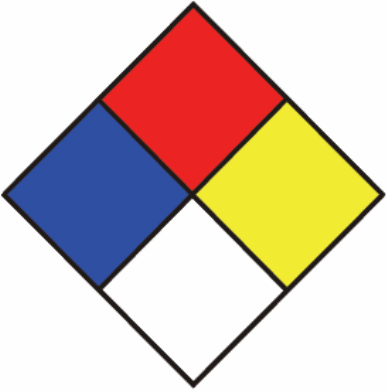



Martinez Javier., I.Q. M. Sc., "Guía para la gestión Integral de Residuos Peligrosos", Tomo II., Montevideo, Uruguay (Sep.2005)

Freeman, Harry M., "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal". 2ªed. McGraw Hill International Editions, (1998)

Varios., "Los residuos peligrosos: caracterización tratamiento y gestión"., J.J. Rodríguez Jiménez y A. Irabien Gulías Editores, Editorial Síntesis, Madrid (1999)

ANEXOS

ANEXO 1. ETIQUETA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EMBALAJE CON RESIDUOS PELIGROSOS Y ESPECIALES

<p>GENERADOR: _____</p> <p>NOMBRE DEL RESIDUO: _____</p> <p>_____</p> <p>ESTADO FISICO : _____</p> <p>Fecha de envío: _____</p>					
<p><i>Marque con una X la característica de peligrosidad que posee el residuo</i></p>					
					

ANEXO 2. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE DESECADO

 Rellenos de Colombia S.A. - E.S.P.	DESECADO	CODIGO	P-ER-01
		VERSIÓN	0
		FECHA	01/04/07

1. OBJETO

El objeto de este documento es describir los fundamentos técnicos y establecer la metodología operativa para el desarrollo de la tecnología de tratamiento in-situ mediante el desecado de residuos especiales e identificar los parámetros de estabilización de control primario una vez realizadas dichas actividades.

2. ALCANCE

Este documento aplica para el siguiente grupo de residuos a disponer en las celdas de seguridad del relleno sanitario de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. que requieren desecado como pretratamiento:

LODOS MINERALES CON RESIDUOS PELIGROSOS (21)
RESIDUOS CON METALES PESADOS NO FERROSOS (24)
LODOS DE ZINC, ESTAÑO Y PLOMO (28)
LODOS GALVÁNICOS CON METALES PESADOS (30)
LODOS GALVÁNICOS CON CROMO Y OTROS METALES PESADOS (31)
OTROS LODOS DE HIDRÓXIDOS METÁLICOS (32)
ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS DE METALES PESADOS (33)
LODOS DE TRATAMIENTO DE OTROS EFLUENTES INDUSTRIALES N.E. (69)

3. RESPONSABILIDAD Y AUTORIDAD

Director Técnico:

- Asignar el pretratamiento requerido para cada tipo de residuo que se recibe en el relleno.

Coordinador de Laboratorio:

- Efectuar los análisis requeridos para el ingreso de los residuos así como para verificar efectividad del pretratamiento asignado.

Director Operativo:

- Verificar que el pretratamiento establecido se aplique a cada residuo que ingrese al relleno para disposición final.

Personal del Relleno

- Aplicar el pretratamiento al residuo de acuerdo con lo establecido en F-CO-01 Solicitud de Servicio y las instrucciones del presente documento.

4. DESARROLLO

4.1. BASE CONCEPTUAL

Los lodos de metales pesados constituidos por óxidos, hidróxidos, sulfuros y organosulfuros, son sales metálicas insolubles, para la gran mayoría de metales pesados (Tabla 1). Sin embargo estas sales son susceptibles de liberar los metales de los cuales se encuentran constituidos bajo condiciones de pH bajo, a través de lo que se denomina lixiviación ácida. El nivel de lixiviación de cada metal depende del tipo de sal formada, la presencia de otras sales, las condiciones medioambientales a la cual es sometido, la presencia de sustancias orgánicas y otro gran número de factores.

Tabla 1. Solubilidad de hidróxidos y sulfuros de metales pesados. Fuente: Hartinger, 1994

Metal	Hidróxido	Sulfuro
Aluminio	2×10^{-32}	
Plomo	1×10^{-7}	3×10^{-28}
Cadmio	1×10^{-14}	5×10^{-29}
Cromo	3×10^{-28}	
Hierro II	2×10^{-15}	3×10^{-19}
Hierro III	8×10^{-38}	
Cobre	2×10^{-19}	8×10^{-45}
Níquel	5×10^{-15}	1×10^{-26}
Plata	1×10^{-8}	1×10^{-49}
Zinc	4×10^{-17}	7×10^{-26}
Estaño II	6×10^{-25}	1×10^{-20}
Estaño IV	1×10^{-56}	

4.1.1. Origen. Usualmente este tipo de residuos son el resultado de procesos asociados a tratamientos de superficie, tales como desengrasado, decapado, fosfatizado, galvanoplastia, galvanostegia, anodizado, etc. Pueden ser generados a partir de la limpieza de los tanques de procesos asociados a dichas actividades productivas o al tratamiento de las aguas residuales [enjuagues] y baños concentrados exhaustos o dañados, a través de procesos de neutralización y precipitación, generando sales insolubles [hidróxidos, sulfuros] de dichos metales.

4.1.2. Características. Típicamente estos materiales corresponden a lodos, pastas o barros, con alto contenido de metales pesados (p.e. hierro, cinc, estaño, níquel, cobre, cromo, aluminio, etc.) en forma de sales insolubles; pueden tener valores extremos de pH [muy ácidos o muy alcalinos], contenidos de humedad elevados (superiores al 70%); son netamente inorgánicos, pues pueden estar constituidos por hidróxidos, sulfuros u órganosulfuros de metales pesados.

4.1.3. Análisis de laboratorio. Para este tipo de residuos antes de su tratamiento es importante realizar por lo menos los siguientes análisis de laboratorio:

- pH [para suspensiones]
- Humedad
- Aluminio
- Cadmio
- Cinc
- Cobalto
- Cobre
- Cromo Hexavalente
- Cromo Total
- Estaño
- Manganeso
- Níquel
- Plomo
- Otro tipo de metales se conozca son utilizados dentro del proceso productivo
- Cianuros
- Análisis de lixiviación tipo TCLP y/o SPLP
- Ensayos de reactividad

4.1.4. Proceso

- Deshidratación

Esta operación podría ser llevada a cabo por la empresa generadora del residuo y no necesariamente por la empresa que se encargará de su disposición. Esta actividad consiste en una operación física y en algunos casos térmica, que permite disminuir el porcentaje de humedad de los lodos constituidos de metales pesados.

Al estar el origen de estos lodos íntimamente ligado a un tratamiento de aguas, y aún cuando el sistema de tratamiento de aguas residuales, posea etapas de sedimentación [separación de los lodos de la fase líquida] y de espesamiento [concentración de los lodos], es muy probable que a la salida de un sistema de espesamiento no se pueda hablar ni siquiera de la humedad de los lodos, debido a que la concentración de sólidos suspendidos en dichos efluentes, rara vez supera el 10%.

Como el objetivo es la gestión de los lodos, la humedad remanente no es importante, razón por la cual debería ser removida con objeto de disminuir los costos en transporte y manejo y del potencial de lixiviación de metales. El objetivo fundamental de la deshidratación es la reducción del volumen del material a gestionar.

Diferentes tipos de sistemas pueden ser utilizados para la deshidratación de materiales. Desde simples y económicas eras de secado, pasando por lagunas, hasta sofisticados sistemas de filtro de vacío [Figura 1], filtro prensa [Figura 2] y filtro de bandas [Figura 3].

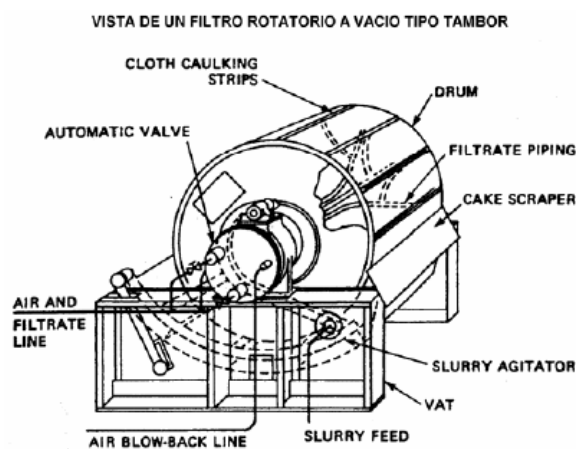


Figura 1. Filtro de vacío. Fuente: EPA, 1979

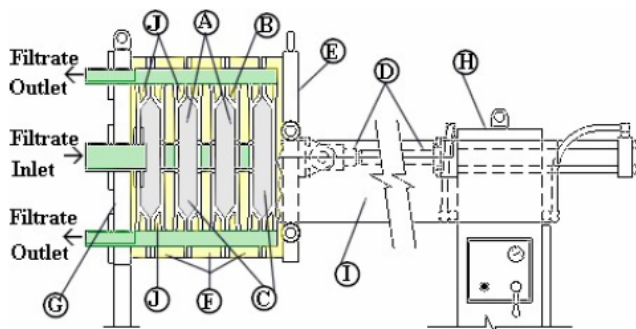


Figura 2. Filtro prensa. Fuente: EPA, 1979

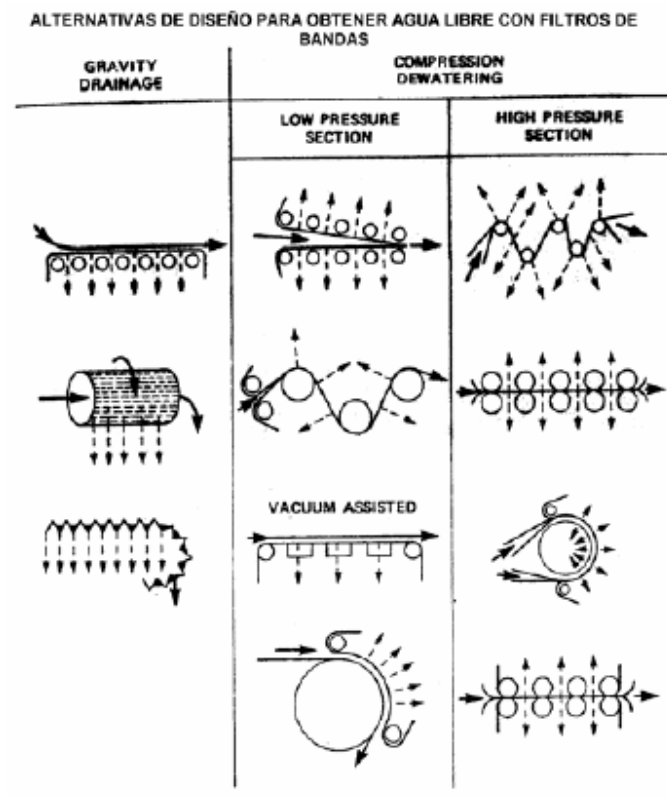


Figura 3. Filtro de bandas. Fuente: EPA, 1979

En el caso de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. se ha decidido implementar preliminarmente un proceso de deshidratación-secado por eras de secado. Este tipo de alternativa tecnológica realiza la remoción de humedad desde los lodos a través de procesos de evaporación y drenado, utilizando como fuerza motriz del proceso la

diferencia de humedad entre el lodo y el aire circundante, y la gravedad. Se utiliza un medio poroso y se requieren entre 10 a 15 días para deshidratar-secar el material, bajo condiciones medioambientales apropiadas.

El diseño clásico de una era de secado siempre es muy similar (Figura 4), independientemente del tipo de material que se utilice como soporte y del método de extracción de la humedad (arena, grava, pavimentadas, soportes sintéticos, al vacío, etc.). Este diseño dependerá directamente de la cantidad y calidad de material a secar, sin embargo se estiman cargas de diseño entre 150 - 250 kg lodo B.S./m².año, con alturas de lodo de diseño entre 25 a 35 cm, y valores finales de humedad entre 15 y 25%. Se realizarán curvas gravimétricas de secado para los diferentes tipos de lodos a tratar.

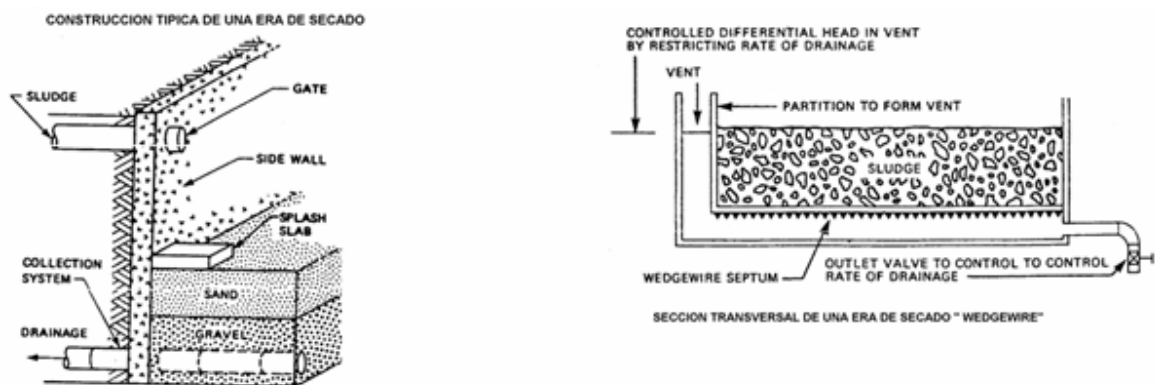


Figura 4. Diseño conceptual de eras de secado. Fuente: EPA, 1979

El llamado filtro de arena, está compuesto de:

- 1) Una capa uniforme de grava de 30 cm. De espesor ubicada en el fondo.
- 2) Sobre esta se coloca otra camada de arena gruesa limpia de unos 15 a 20 cms.
- 3) Por debajo de estas dos capas se colocan a modo de drenaje, caños a juntas abiertas de manera que se produzca un filtrado efectivo.
- 4) Da muy buen resultado si existen condiciones para ello de colocar por encima de la arena un piso de ladrillos fuertes, con una separación de 2,5 cms. Los cuales se

cubren con la misma arena. El ladrillo evita que periódicamente se deba completar la capa de arena para mantener su espesor original, al ir pegada gran cantidad de ella en las tortas de lodo retirado.

Además con buen tiempo se desprende más rápido el barro del ladrillo que de la arena. Se deben buscar medidas como esta para facilitar el trabajo en las áreas a utilizar, además de equilibrar el período de tiempo entre secado y descarga de lodos.

Después de extraído el lodo de la era se deben lavar las tuberías, no solamente para evitar obstrucciones, sino también para prevenir el desarrollo de altas presiones internas causadas por los gases que genera el lodo dispuesto.

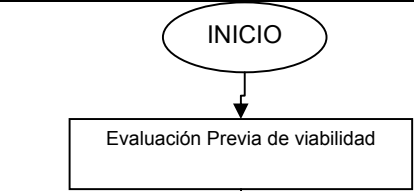
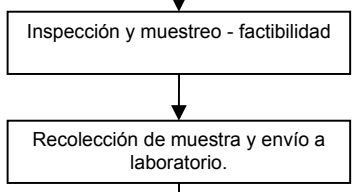
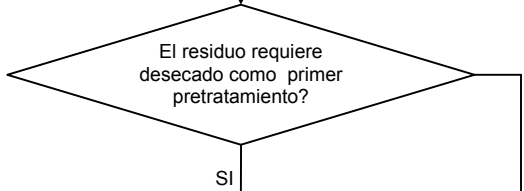
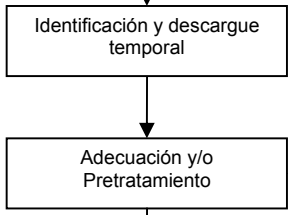
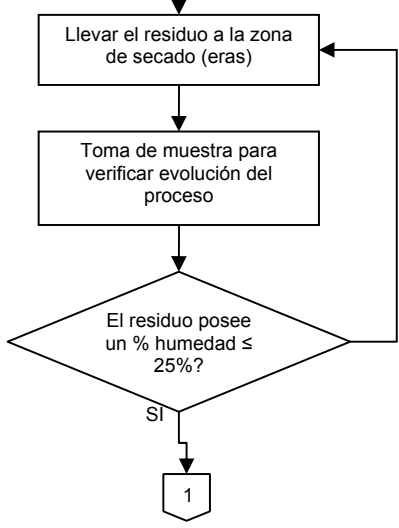
El espesor del lodo nunca debe sobrepasar los 35 cms., ya que con buen tiempo y bien digerido, éste se seca en 3 o 4 semanas, teniendo una apariencia agrietada y esponjosa cuando se lo oprime y de fácil manipuleo.

- Secado Térmico

Las celdas de seguridad con las que cuenta Rellenos e Colombia S.A. E.S.P. están diseñadas con impermeabilización inferior, lateral y superior, por lo tanto no es necesario realizar un proceso de secado térmico de los lodos. Es suficiente un proceso de deshidratación y secado mediante eras de secado.

4.2. EJECUCIÓN DE LA TÉCNICA - ETAPAS DE DESARROLLO

Ver diagrama de flujo a continuación:

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.1		Director Técnico	
4.2.2		Director Operativo Coordinador de laboratorio	F-CO-01 Solicitud de Servicio
4.2.3		Director Operativo- Controladores	
4.2.4		Director Operativo- Controladores	
4.2.5		Coordinador de laboratorio	

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.6	<pre> graph TD 1{{1}} --> A[Disposición final en la celda de seguridad asignada] A --> B[Trazabilidad] B --> C[Controles y Logística sobre los materiales] C --> D[P-DR-01 Recepción y Disposición de Residuos] </pre>	Director Operativo	F-DR-06 Programación de Recepción de Residuos
4.2.7		Director Operativo Director Técnico	
4.2.8		Coordinador de Laboratorio	

4.2.1. Evaluación Previa. Con anterioridad a la selección del método más adecuado, se inicia el proceso de evaluación de la factibilidad de tratamiento con base en las tecnologías disponibles.

Para dar cumplimiento a este proceso se requiere del generador la recopilación de toda la información disponible acerca del residuo: estado físico, datos de embalajes, condiciones de almacenamiento, descripción del proceso del cual se generan, volúmenes a tratar, datos adicionales que puedan ser aportados, caracterización y/o ficha de seguridad disponible, etc; en el documento F-ER-07.

En caso que se considere relevante, Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. cuenta con una base de datos de los residuos aprobados con las denominadas Hojas de Seguridad para Compuestos Químicos (Material Safety Data Sheet), donde se dispone de amplia información sobre las características de cada producto registrado.

También es necesario, debido a la naturaleza de su aplicación, realizar una revisión

de las características del sitio de operación: disponibilidad de servicios, infraestructura, accesos, posible influencia del clima en las operaciones, distancias a sitios poblados, etc. con el fin de realizar la operación en condiciones de estricta seguridad.

4.2.2. Inspección y Muestreo – Factibilidad. Se determinan las técnicas adecuadas de muestreo en función de las características de acopio del material de interés. Se toma una muestra representativa del residuo y se la envía al laboratorio de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P., se determinan sus características fisicoquímicas.

Teniendo en cuenta la confirmación analítica de las características del residuo se puede establecer, en función de las tecnologías autorizadas y la experiencia previa, el método más apropiado de pretratamiento y disposición final.

4.2.3. Identificación y Descargue temporal. Para los residuos que se encuentren en contenedores como cuñetes, bidones, tambores, bolsas plásticas del tipo big bags, etc, se utiliza para su identificación un autoadhesivo con la figura universal del diamante NFPA indicando su riesgo de inflamabilidad, reactividad, toxicidad y demás riesgos especiales. La etiqueta utilizada se presenta en el Anexo I.

Además se agrega la información correspondiente a:

- Nombre del Generador
- Nombre del Residuo
- Estado Físico
- Fecha de envío
- Característica de peligrosidad

El lugar de descargue temporal In Situ cuenta con características de impermeabilidad y ventilación requeridas.

4.2.4. Adecuación y/o pretratamiento. Dependiendo de las características del residuo y de la situación en particular, el mismo puede necesitar de una adecuación

previa como estabilización o tamizado (Ver procedimiento de estabilización P-ER-02). Por ejemplo, para suelos contaminados es generalmente necesaria la segregación por tamaño de partículas, remoción de elementos extraños, etc.

4.2.5. Disposición en eras de secado. Los residuos son depositados en las eras de secado a una altura no superior a 30 cm, se realizan inspecciones diarias desde el momento de la evacuación para verificar las condiciones de secado a fin de retener el material hasta que alcance un porcentaje de humedad del 25% aproximado. Para cumplir con este objetivo, cuando la inspección física reporte una configuración física sólida, se toma una muestra del residuo seco y se realizan los ensayos de laboratorio para evaluar el porcentaje de humedad contenido en el residuo según Método SM 2540 G APHA-AWWA-WPCF. Si el porcentaje de humedad es inferior al 25%, puede procederse a extraerlo manualmente del lecho para llevarlo a la celda de seguridad destino.

4.2.6. Disposición final en celdas de seguridad. La disposición final de estos materiales estabilizados se realiza en celdas de seguridad previamente asignadas, únicamente cuando los ensayos de laboratorio de verificación hayan sido protocolizados y debidamente registrados. Si después del desecado existe otro pretratamiento asignado como el encapsulamiento, se procederá a aplicar este último antes de la disposición final en celdas de seguridad. Siempre se aplicará material de cobertura y se realizará compactación sobre los residuos dispuestos y cubiertos.

4.2.7. Trazabilidad. La empresa entrega un Certificado de Disposición Final indicando el nombre del generador, el tipo de material dispuesto, la fecha de recibo y la celda de destino del material confinado.

Durante este pretratamiento de residuos se generan los siguientes documentos:

- Registro de control del material recepcionado.
- Protocolo Analítico del Residuo pretratado.
- Certificado de Disposición Final en Celda de Seguridad.

Mediante la documentación arriba mencionada más datos complementarios del proceso, cada residuo tratado In Situ es registrado en el formato denominado "Información contenido de celdas F-ER-02" generando de esta manera un documento que permite el seguimiento de cada residuo desde la salida en las instalaciones del generador hasta su disposición final en la celda destino.

4.2.8. Controles y Logística sobre los materiales. Para garantizar la calidad de todo el proceso se adquieren para los análisis de laboratorio y como agentes estabilizantes, materiales de calidad certificada.

Se lleva a cabo una logística de ingresos para los materiales a incorporar al residuo o aquellos que hacen parte de la dotación de laboratorio con el fin de minimizar los tiempos de almacenamiento, evitando de esta manera la posibilidad de degradación del material y la subsiguiente alteración de los parámetros analizados.

4.3. PARÁMETROS DE CONTROL

Para este caso, el parámetro de control principal es la humedad expresada en porcentaje siguiendo la metodología del Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water.

4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

4.4.1. Ventajas de esta alternativa. Bajos costos, poca sensibilidad del proceso frente a variaciones fisicoquímicas de los lodos, nulo consumo de productos químicos, gran eficiencia en deshidratación y secado, bajo o nulo consumo energético y mano de obra no muy calificada.

4.4.2. Desventajas de esta alternativa. Necesidad importante de área y gran dependencia de las condiciones climáticas. Sin embargo en el caso de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. se cuenta con áreas importantes para este manejo y además el nivel de precipitación medio y la humedad relativa de la zona en donde se

encuentra ubicado el relleno de seguridad, son muy favorables.

4.5. MONITOREO DEL AMBIENTE LABORAL - EQUIPOS DE SEGURIDAD

Monitoreos Ocupacionales y de Ambiente Laboral: se realizan en el área de operación del Relleno Sanitario de Seguridad y consisten en:

- *Estudio de Calidad del Aire y Ruido:* busca identificar las condiciones ambientales relacionadas con la cantidad de partículas suspendidas totales y ruido, generados y presentes en el área de influencia directa del proyecto que puedan llegar a afectar la salud respiratoria y auditiva de los trabajadores.
- *Espirometría:* busca identificar la presencia de material particulado que pueda afectar las vías respiratorias de los trabajadores.
- *Audiometría:* determina posibles afectaciones auditivas en los trabajadores del relleno debido al funcionamiento de maquinaria y equipos menores utilizados en actividades operativas cercanas a los puestos de trabajo.

Las espirometrías y audiometrias hacen parte del Subprograma de Medicina Preventiva y del Trabajo del Programa de Salud Ocupacional de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. y son realizadas dentro de los exámenes de ingreso, periódicos y egreso, efectuados a los trabajadores expuestos a riesgos por material particulado y ruido en el área operativa del relleno sanitario.

Controles Ocupacionales y de Ambiente Laboral: con el fin de controlar las afectaciones hacia la salud y el ambiente generadas por factores de riesgos de ruido y material particulado, en el área operativa se llevan a cabo de acuerdo al panorama de riesgos, los siguientes controles:

RIESGO	FACTOR DE RIESGO	SISTEMAS DE CONTROL		
		FUENTE	MEDIO	TRABAJADOR (ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL)
Físico	Ruido	Mantenimiento de maquinaria y equipos menores. Uso pausado		Protectores auditivos de inserción y tipo copa
Químico	Material particulado, gases y vapores	Humectación de vías y áreas de trabajo. Mantenimiento y Sincronización Maquinaria y equipos menores	No aplican puesto que las actividades se realizan al aire libre, minimizando la concentración y niveles de estos factores de riesgo	Durante el descargue de lodos: Respiradores Media Cara Survivair NIOSH B220000 con cartuchos multi-propósito 100844 y prefiltros contra polvos 106044. Durante el retiro de los lodos secos, respirador de libre mantenimiento M2700N95 PASS MOLDEX

5. FORMATOS RELACIONADOS

F-ER-02 Información contenido de celdas.

6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

ANEXO 1 Etiqueta de identificación de residuos

7. CAMBIOS RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR

No aplica.

ANEXO 3. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE MACROENCAPSULAMIENTO

 Rellenos de Colombia S.A. - E.S.P.	MACROENCAPSULAMIENTO	CODIGO	P-ER-02
		VERSIÓN	0
		FECHA	01/04/07

1. OBJETO

El objetivo del presente documento es describir los fundamentos técnicos y establecer la metodología operativa para el desarrollo de la tecnología de Tratamiento In Situ mediante Macroencapsulado de residuos especiales e identificar los parámetros de estabilización de control primario una vez realizadas dichas actividades.

2. ALCANCE

Este documento aplica para el siguiente grupo de residuos a disponer en las celdas de seguridad del relleno sanitario de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. que requieren macroencapsulamiento como pretratamiento:

ACUMULADORES (BATERÍAS) DE NÍQUEL-CADMIO (25)
BATERÍAS CON MERCURIO (26)
RESIDUOS CON MERCURIO (27)
CAL CON CONTENIDO DE ARSÉNICO (38)
LODOS CON SOLVENTES ORGÁNICOS HALOGENADOS (54)
LODOS CON SOLVENTES ORGÁNICOS NO HALOGENADOS (55)
LODOS DE PINTURAS Y BARNICES (57)
RESIDUOS PLÁSTICOS NO ENDURECIDOS (58)
ABLANDADORES HALOGENADOS (59)
ABLANDADORES NO HALOGENADOS (60)
LODOS DEL PLÁSTICO O CAUCHO CON SOLVENTE (61)
LODOS Y EMULSIONES DE LÁTEX (62)
LODOS DE TEÑIDO DE TEXTILES (64)
LODOS DE LAVANDERÍA (65)

3. RESPONSABILIDAD Y AUTORIDAD

Director Técnico:

- Asignar el pretratamiento requerido para cada tipo de residuo que se recibe en el relleno.

Director Operativo:

- Verificar que el pretratamiento establecido se aplique a cada residuo que ingrese al relleno para disposición final.

Coordinador de Laboratorio:

- Efectuar los análisis requeridos para el ingreso de los residuos así como para verificar efectividad del pretratamiento asignado.

Personal del Relleno

- Aplicar el pretratamiento al residuo de acuerdo con lo establecido en F-CO-01 Solicitud de Servicio y las instrucciones del presente documento.

4. DESARROLLO

4.1. BASE CONCEPTUAL (GENERALIDADES)

Los pretratamientos descritos en los manuales, para la adecuación de los residuos para su disposición final, no son excluyentes uno del otro. En el caso práctico, se pretende evaluar las condiciones específicas de cada residuo para evaluar si es preciso aplicar uno o más pretratamientos. Los residuos determinados por licencia ambiental para encapsulamientos, representan la mayor proporción de los que se han avalado por licencia ambiental. Son aquellos residuos que por lixiviabilidad pueden representar un problema complejo en la operación del relleno por presentar niveles de metales pesados u otros contaminantes en una mayor concentración.

a) Macroencapsulación: es el mecanismo por el cual los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados físicamente en una matriz estructural de mayor tamaño, es decir, los constituyentes del residuo peligroso se retienen en los poros discontinuos del material estabilizante.

Los contaminantes así estabilizados pueden aparecer en el medio ambiente si no se conserva la integridad de la masa, pues ésta puede descomponerse con el tiempo

debido a las tensiones medioambientales: ciclos repetitivos de humectación y desecación o congelación y deshielo, penetración de fluidos de percolación y tensiones físicas de carga, quedando los compuestos atrapados libres para migrar.

b) Microencapsulación: en éste caso los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados en el interior de la estructura cristalina de la matriz solidificada a nivel microscópico, así si los materiales estabilizados se degradan a partículas de tamaño relativamente pequeño, la mayor parte del residuo peligroso permanece atrapado. Sin embargo al no estar el residuo alterado o ligado químicamente, la velocidad de liberación del contaminante de la masa estabilizada puede aumentar al disminuir el tamaño de partícula y quedar expuesta una superficie mayor.

4.1.1. Origen. Usualmente este tipo de residuos son el resultado de diferentes procesos industriales. Las actividades de comercio e industria en general producen baterías gastadas o acumuladores que se convierten en residuos condicionados a una adecuada disposición final. Otros residuos como los lodos con solventes orgánicos no halogenados (como destilados del petróleo: hidrocarburos alifáticos p.e. hexano, cicloalcanos y octano; aromáticos p.e. tolueno, xileno, benceno, y alquilbencenos) y lodos con solventes orgánicos halogenados (como tricloroetileno, el cloroformo, percloroetileno y diclorometano) pueden ser generados a partir de la limpieza de los tanques de procesos asociados a dichas actividades productivas.

4.1.2. Características. Típicamente estos materiales corresponden a lodos, pastas o barros, que pueden además contener metales pesados (p.e. hierro, cinc, estaño, níquel, cobre, cromo, aluminio, etc.). Los residuos sólidos como las baterías son ampliamente utilizados en diferentes industrias y pueden contener Níquel, Cadmio y Mercurio como constituyentes. En los lodos el pH varía según el residuo a manejar, puede ser muy ácido o muy alcalino, pueden tener contenidos de humedad elevados (superiores al 70%). Todos los residuos aquí clasificados son netamente inorgánicos.

4.1.3. Análisis de laboratorio. Para este tipo de residuos antes de su tratamiento es

importante realizar por lo menos los siguientes análisis de laboratorio:

- pH [para suspensiones]
- Humedad
- Aluminio
- Cadmio
- Cinc
- Cobalto
- Cobre
- Cromo Hexavalente
- Cromo Total
- Estaño
- Manganeso
- Níquel
- Plomo
- Otro tipo de metales se conozca son utilizados dentro del proceso productivo
- Cianuros
- Análisis de lixiviación tipo TCLP y/o SPLP
- Ensayos de reactividad
- Ensayos de Inflamabilidad

4.1.4. Proceso. El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el concreto y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico; sin embargo, se corroe fácilmente. El concreto armado ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos con PCBs y otras sustancias orgánicas altamente tóxicas en casos donde no ha sido posible incinerarlos (WB/UNEP/WHO, 1989).

El plástico, también utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado resultados positivos y mínimo incremento de volumen de los residuos a disponerse. Por ejemplo, Unger y Lubowitz (1990) han desarrollado un proceso en el cual se solidifican los lodos mezclándolos con Cal, posteriormente se aglomeran con Polibutadieno y finalmente se les encapsula con Polietileno.

Este tipo de pretratamiento se adapta mejor a los residuos que contienen metales

pesados o cianuros ya que el pH del cemento hace que estos componentes queden retenidos en la estructura endurecida.

En general el Cemento Pórtland Normal, la cal hidráulica hidratada y el suelo seleccionado, son adecuados materiales para desarrollar los procesos de encapsulamiento.

En rellenos de Colombia S.A. E.S.P. se ha utilizado el cemento Pórtland como agente aglomerante, ya que es un material conocido en el campo de la ingeniería, existe un conocimiento muy profundo de su comportamiento, es de fácil utilización, tiene un bajo costo, se pueden tratar con él efectivamente residuos con características ácidas dado su carácter alcalino y adicionalmente porque ofrece además de una encapsulación física, una fijación química (Bhatty, M.,1987) mediante la inmovilización de iones metálicos de los residuos.

Para realizar el encapsulamiento se utiliza el material cementante mencionado anteriormente, el cual se mezcla con el residuo. En caso de que el residuo no tenga agua suficiente se añade agua para su hidratación. Esta hidratación origina una estructura cristalina formando una masa dura de aspecto rocoso.

Para aquellos residuos que tengan un porcentaje de humedad superior al 50%, es necesario efectuar previamente una deshidratación del residuo mediante eras de secado. Una vez dicho residuo se encuentre entre el 25% al 50% se procederá a realizar el siguiente procedimiento:

- Molienda

Una vez seco el material es indispensable realizar una homogenización del tamaño de partícula del material. Para tal fin existen alternativas como molinos de bolas, molinos dentados, etc. De forma preliminar en el caso de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. esta actividad será llevada a cabo en un molino dentado que permitirá manejar tamaños de partícula hasta de 5 cm. Este tamaño es muy importante teniendo en cuenta que el proceso de macroencapsulación posterior utilizará cemento Pórtland, motivo por el

cual es indispensable que los tamaños del material a encapsular sean de este orden de magnitud, pues se requiere un contacto íntimo entre los residuos y el cemento durante el proceso, en forma tal que se puede asegurar una retención importante de los contaminantes presentes en los residuos y especialmente de los metales presentes en los lodos.



Figura 1. Lodos con metales pesados después del proceso de secado y molienda. Fuente: Pardo, 2005

- **Macroencapsulación**

Un proceso de macroencapsulación tiene como objetivos fundamentales:

- Reducir el grado de movilidad de un contaminante
- Mejorar el manejo de un residuo
- Disminución del área a través la cual un residuo puede migrar
- Limitar el grado de toxicidad de un residuo
- Limitar el grado de solubilidad de un residuo

La macroencapsulación como se dijo anteriormente, consiste en el entrapamiento físico de un residuo dentro de una matriz sólida, dentro de los poros discontinuos de la matriz. La retención del residuo depende de la integridad física y estructural de la matriz.

Previo a la realización de procesos a gran escala, siempre es importante realizar ensayos de tratabilidad, los cuales incorporarán las mismas etapas asociadas al

proceso a gran escala, pero permitirán establecer condiciones operativas adecuadas para cada uno de los diferentes tipos de residuo.

La primera etapa del proceso de macroencapsulación con cemento es la mezcla, entre el lodo seco y el cemento. [Figura 6]. La cantidad de cemento requerida para el proceso oscila entre 10 y 25%, dependiendo de las características propias de cada residuo. Usualmente se utiliza cemento Pórtland Tipo IV. La mezcla deberá garantizar un buen nivel de homogeneidad en el material.



Figura 2. Mezcla de lodo con el cemento. Fuente: Pardo, 2005

Después se debe adicionar agua en proporciones agua:cemento que oscilan entre 0.55:1.0 y 0.65:1.0. y deberá dejarse fraguar dentro de las canecas plásticas acorde con los procesos clásicos del cemento. Una vez el cemento haya fraguado, la cápsula podrá disponerse en la celda de seguridad diseñada para tal fin.

Para aquellos residuos que su consistencia es netamente sólida, se procederá a elaborar la matriz como sigue:

Dosificación de las mezclas: el fin es garantizar una resistencia equivalente a 3000 PSI es como corresponde:

- 2 partes de arena
- 1 parte de cemento
- 2 partes de triturado – Grava

A esta mezcla procederá a incorporarse el material hidratante (agua) y se mezclará hasta obtener un material homogéneo y consistente. Se irá depositando en la caneca plástica en porciones iguales de manera tal que se atrape la totalidad del residuo en la mezcla dejando una altura desde la boca superior de la caneca únicamente de mezcla equivalente a 15 centímetros.



Figura 3. Vista de operación de llenado de tambores

4.2. EJECUCIÓN DE LA TÉCNICA – ETAPAS DE DESARROLLO

Ver diagrama de flujo a continuación:

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.1		Director Técnico	
4.2.2		Director Operativo Coordinador de laboratorio	F-CO-01 Solicitud de Servicio
4.2.3		Director Operativo- Controladores	
4.2.4		Director Operativo- Controladores	
4.2.5		Director Operativo- Controladores	
4.2.6		Director Operativo- Controladores	
4.2.7		Director Operativo- Controladores Coordinador de Laboratorio	

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.8	<pre> graph TD A[1] --> B[Macroencapsulado en tambores de polietileno] B --> C[Disposición final en la celda de seguridad asignada] C --> D[Trazabilidad] D --> E[Controles y Logística sobre los materiales] E --> F[P-DR-01 Recepción y Disposición de Residuos] </pre>	Director Operativo- Controladores	F-DR-06 Programación de Recepción de Residuos
4.2.9		Director Operativo- Controladores	
4.2.10		Director Operativo- Controladores	
4.2.11		Director Operativo- Controladores	F-DR-06 Programación de Recepción de Residuos

4.2.1. Evaluación previa. Con anterioridad a la selección del método más adecuado, se inicia el proceso de evaluación de la factibilidad de tratamiento con base en las tecnologías disponibles.

Para dar cumplimiento a este proceso se requiere del generador la recopilación de toda la información disponible acerca del residuo: estado físico, datos de embalajes, condiciones de almacenamiento, descripción del proceso del cual se generan, volúmenes a tratar, datos adicionales que puedan ser aportados, caracterización y/o ficha de seguridad disponible, etc; en el documento F-ER-07.

En caso que se considere relevante, Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. cuenta con una base de datos de los residuos aprobados con las denominadas Hojas de Seguridad para Compuestos Químicos (Material Safety Data Sheet), donde se dispone de amplia información sobre las características de cada producto registrado.

También es necesario, debido a la naturaleza de su aplicación, realizar una revisión de las características del sitio de operación: disponibilidad de servicios, infraestructura, accesos, posible influencia del clima en las operaciones, distancias a sitios poblados, etc. con el fin de realizar la operación en condiciones de estricta seguridad.

4.2.2. Inspección y Muestreo – Factibilidad. Se determinan las técnicas adecuadas de muestreo en función de las características de acopio del material de interés. Se toma una muestra representativa del residuo y se la envía al laboratorio de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P., se determinan sus características fisicoquímicas.

Teniendo en cuenta la confirmación analítica de las características del residuo se puede establecer, en función de las tecnologías autorizadas y la experiencia previa, el método más apropiado de pretratamiento y disposición final.

4.2.3. Identificación y Descargue temporal. Para los residuos que se encuentren en contenedores como cuñetes, bidones, tambores, bolsas plásticas del tipo big bags, etc, se utiliza para su identificación un autoadhesivo con la figura universal del diamante NFPA indicando su riesgo de inflamabilidad, reactividad, toxicidad y demás riesgos especiales. La etiqueta utilizada se presenta en el Anexo I.

Además se agrega la información correspondiente a:

- Nombre del Generador
- Nombre del Residuo
- Estado Físico
- Fecha de envío
- Característica de peligrosidad

El lugar de descargue temporal cuenta con características de impermeabilidad y ventilación requeridas.

4.2.4. Adecuación y/o pretratamiento. Dependiendo de las características del

residuo y de la situación en particular, el mismo puede necesitar de una adecuación previa como desecado, solidificación, estabilización (Ver procedimientos P-ER-01, P-ER-05, P-ER-04).

4.2.5. Zona de encapsulamiento. Se procede a trasladar el residuo a la zona de descargue temporal área de encapsulamiento, en donde se llevará a cabo el tratamiento de los residuos.

4.2.6. Preparación de la mezcla. Teniendo en cuenta las características del residuo, ya sea para residuos provenientes de las eras de secado, para aquellos que poseen una consistencia sólida o aquellos que tengan un muy bajo porcentaje de humedad, se procede a añadir porciones acotadas del residuo a la cantidad adecuada de cemento y agua, mezclando mecánicamente hasta lograr una consistencia de sólido granular homogéneo. Para casos particulares, el ascenso del pH genera la precipitación del Pb(II) Cd(II) y Cr (III) en forma de hidróxidos, los que se incorporan a la estructura cristalina del cemento fraguado. La operación de mezcla es relevante para lograr una adecuada homogeneidad en la mezcla con el fin de evitar partes del residuo con demasiada agua o dejando cemento sin posibilidades de reaccionar.

4.2.7. Estabilización química y mecánica. Se procede a mezclar mecánicamente buscando remover todo el volumen del material para lograr un contacto íntimo entre el residuo y la facilidad para lograr la homogeneidad en la mezcla. La estabilización química es un procedimiento alternativo que involucra casos específicos según el tipo de residuo a tratar (ver P-ER-04). Una vez concluida la operación, se procede a retirar una muestra representativa del material homogéneo por batch para analizar la evolución del procedimiento.

4.2.8. Macroencapsulado en tambores de polietileno. Con el resultado satisfactorio de laboratorio, documentado mediante el correspondiente protocolo y una vez obtenido un mortero homogéneo se procede a su distribución en tambores. Esta operación es completamente manual. Un detalle importante de la operación es el vibrado de los tambores durante el llenado, ya que de esta manera se logra el

acomodamiento del mortero dentro del tambor sin dejar intersticios de aire que puedan ocasionar una pérdida de continuidad en la resistencia mecánica. La terminación del tambor también es manual para asegurar que son llenados al ras del borde.

Finalmente, y tras 24 a 72 horas de curado, el material está totalmente solidificado y con la resistencia adecuada para su disposición final. Se procede a tapar los tambores ya curados y fraguados y se pasan nuevamente por la báscula para confirmar el peso final que va a confinamiento. Luego se alistan las cápsulas para su movimiento hacia las celdas destino.

4.2.9. Disposición final en celdas de seguridad. La disposición final de estos materiales estabilizados se realiza en celdas de seguridad previamente asignadas. Siempre se aplicará material de cobertura y se realizará compactación sobre los residuos dispuestos y cubiertos.

4.2.10. Trazabilidad. La empresa entrega un Certificado de Disposición Final indicando el nombre del generador, el tipo de material dispuesto, la fecha de recibo, el peso en kilogramos dispuestos y la celda de destino del material confinado.

Durante este pretratamiento de residuos se generan los siguientes documentos:

- Registro de control del material recepcionado.
- Protocolo Analítico del Residuo pretratado.
- Certificado de Disposición Final en Celda de Seguridad.

Mediante la documentación mencionada más datos complementarios del proceso, cada residuo tratado In Situ es registrado en el formato denominado "Información contenido de celdas F-ER-02" generando de esta manera un documento que permite el seguimiento de cada residuo desde la salida en las instalaciones del generador hasta su disposición final en la celda destino.

4.2.11. Controles y Logística sobre los materiales. Para garantizar la calidad de todo el proceso se adquieren para los análisis de laboratorio y como agentes estabilizantes, materiales de calidad certificada.

Se lleva a cabo una logística de ingresos para los materiales a incorporar al residuo o aquellos que hacen parte de la dotación de laboratorio con el fin de minimizar los tiempos de almacenamiento, evitando de esta manera la posibilidad de degradación de los materiales y la subsiguiente alteración de los parámetros analizados.

4.3. PARÁMETROS DE CONTROL

Para este procedimiento, el parámetro de control más importante es la homogeneidad de la mezcla la cual a su vez permite ir controlando el pH en caso de requerirse. Al tener una mezcla homogénea se garantiza que la matriz de la cápsula brinde la seguridad requerida y una adecuada disposición final de residuos en las celdas de seguridad.

4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

4.2.1. Ventajas de esta alternativa. Seguridad en el manejo de los residuos encapsulados, poca sensibilidad del proceso frente a variaciones fisicoquímicas de los residuos, bajo o nulo consumo energético, mano de obra no muy calificada, garantía de inmovilización de contaminantes, mayor seguridad para las empresas generadoras, permite adoptar una logística para el mejor aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento de la celda de seguridad.

4.2.2. Desventajas de esta alternativa. Posible incremento en el volumen de residuo a disponer (para el caso de los sólidos), Necesidad importante de área y gran dependencia de las condiciones climáticas. Sin embargo en el caso de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. se cuenta con áreas importantes para este manejo y además el nivel de precipitación medio y la humedad relativa de la zona en donde se encuentra ubicado el relleno de seguridad, son muy favorables.

4.5. MONITOREO DEL AMBIENTE LABORAL - EQUIPOS DE SEGURIDAD

Monitoreos Ocupacionales y de Ambiente Laboral: se realizan en el área de operación del Relleno Sanitario de Seguridad y consisten en:

- *Estudio de Calidad del Aire y Ruido:* busca identificar las condiciones ambientales relacionadas con la cantidad de partículas suspendidas totales y ruido, generados y presentes en el área de influencia directa del proyecto que puedan llegar a afectar la salud respiratoria y auditiva de los trabajadores.
- *Espirometría:* busca identificar la presencia de material particulado que pueda afectar las vías respiratorias de los trabajadores.
- *Audiometría:* determina posibles afectaciones auditivas en los trabajadores del relleno debido al funcionamiento de maquinaria y equipos menores utilizados en actividades operativas cercanas a los puestos de trabajo.

Las espirometrías y audiometría hacen parte del Subprograma de Medicina Preventiva y del Trabajo del Programa de Salud Ocupacional de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. y son realizadas dentro de los exámenes de ingreso, periódicos y egreso, efectuados a los trabajadores expuestos a riesgos por material particulado y ruido en el área operativa del relleno sanitario de seguridad.

Controles Ocupacionales y de Ambiente Laboral: con el fin de controlar las afectaciones hacia la salud y el ambiente generadas por factores de riesgos de ruido y material particulado, en el área operativa se llevan a cabo de acuerdo al panorama de riesgos, los siguientes controles:

RIESGO	FACTOR DE RIESGO	SISTEMAS DE CONTROL		
		FUENTE	MEDIO	TRABAJADOR (ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL)
Físico	Ruido	Mantenimiento de maquinaria y equipos menores. Uso pausado		Protectores auditivos de inserción y tipo copa
Químico	Material particulado, gases y vapores	Humectación de vías y áreas de trabajo. Mantenimiento y Sincronización Maquinaria y equipos menores	No aplican puesto que las actividades se realizan al aire libre, minimizando la concentración y niveles de estos factores de riesgo	Durante el descargue de residuos y durante la conformación de la cápsula: Respiradores Media Cara Survivair NIOSH B220000 con cartuchos multi-propósito 100844 y prefiltros contra polvos 106044. Durante la movilización de las cápsulas, respirador de libre mantenimiento M2700 N95 PASS MOLDEX

5. FORMATOS RELACIONADOS

F-ER-02 Información contenido de celdas.

6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

ANEXO 1 Etiqueta de identificación de residuos

7. CAMBIOS RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR

No aplica.

ANEXO 4. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE BIORREMEDIACIÓN

 Rellenos de Colombia S.A. - E.S.P.	BIORREMEDIACIÓN	CODIGO	P-ER-03
		VERSIÓN	0
		FECHA	01/04/07

1. OBJETO

El objetivo del presente documento es describir los fundamentos técnicos y establecer la metodología operativa para el desarrollo de la tecnología de Tratamiento In Situ mediante biorremediación de residuos especiales como alternativa viable e identificar los parámetros de estabilización de control primario una vez realizadas dichas actividades.

2. ALCANCE

Este documento aplica para el siguiente grupo de residuos a disponer en las celdas de seguridad del relleno sanitario de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. que pueden ser acondicionados para una mejor disposición final mediante biorremediación como pretratamiento:

LODOS CON COMBUSTIBLE (50)

LODOS CON LUBRICANTES (51)

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS (40)

3. RESPONSABILIDAD Y AUTORIDAD

Director Técnico:

- Asignar el pretratamiento requerido para cada tipo de residuo que se recibe en el relleno.

Director Operativo:

- Verificar que el pretratamiento establecido se aplique a cada residuo que ingrese al relleno para disposición final.

Coordinador de Laboratorio:

- Efectuar los análisis requeridos para el ingreso de los residuos así como para verificar efectividad del pretratamiento asignado.

Personal del Relleno

- Aplicar el pretratamiento al residuo de acuerdo con lo establecido en F-CO-01 Solicitud de Servicio y las instrucciones del presente documento.

4. DESARROLLO

4.1. BASE CONCEPTUAL (GENERALIDADES)

La biorremediación es el proceso en el que se emplean organismos biológicos para resolver problemas específicos medioambientales, como la contaminación. Se puede emplear para atacar algunos contaminantes específicos, como los pesticidas clorados que son degradados por bacterias, o bien, de forma más general como en el caso de los derrames de petróleo, que se tratan empleando varias técnicas, incluyendo la adición de fertilizantes para facilitar la descomposición del crudo por las bacterias.

Generalmente, consiste en proveer una combinación de una cierta concentración de oxígeno y nutrientes, un determinado contenido de humedad y el control del pH y la temperatura. En ocasiones, se agregan microorganismos adaptados para la degradación de un compuesto específico, para mejorar el proceso.

La principal ventaja de los tratamientos ex situ es que generalmente requieren períodos de tiempo más cortos que sus pares in situ, y además, existe mayor certeza acerca de la uniformidad del tratamiento debido a la posibilidad de homogeneizar, tamizar y mezclar continuamente el suelo. Todas estas operaciones favorecen la disponibilidad del contaminante para los microorganismos encargados de degradarlo.

Por su parte, los tratamientos in situ presentan como principal ventaja el permitir que el suelo sea tratado sin necesidad de excavación y transporte, con el potencial ahorro

económico que eso implica.

Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles de biodegradación, los tratamientos biológicos se han aplicado exitosamente en la remediación de suelos, sedimentos y barros contaminados con hidrocarburos de petróleo, solventes, pesticidas, preservantes de madera y otros compuestos químicos orgánicos.

La velocidad a la cual los microorganismos degradan los contaminantes está influenciada por el contaminante específico (en particular su estructura), el suministro de oxígeno, la humedad, el suministro de nutrientes, el pH, la temperatura, la disponibilidad del contaminante (dependiente fundamentalmente de la solubilidad) para los microorganismos y la concentración del contaminante.

El nivel de oxígeno se mantiene mediante laboreo mecánico, ventilación, inyección o extracción de aire.

El agua es el mayor componente del protoplasma bacteriano y su suministro es esencial para el crecimiento y mantenimiento de los microorganismos. Además, sirve como medio de transporte para que los nutrientes y los compuestos orgánicos lleguen a la célula microbiana, ya que los microorganismos los toman de una solución. Un exceso, limitará la cantidad de aire disponible y su carencia detendrá la actividad bacteriana.

Los nutrientes requeridos para el crecimiento celular son nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, calcio, manganeso, hierro, cinc y cobre. Si los nutrientes no están disponibles en la cantidad suficiente la actividad microbiana disminuirá y se detendrá. El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes que más frecuentemente están en cantidades deficientes y suelen agregarse a los sistemas de tratamiento en formas disponibles para los microorganismos (como amonio el nitrógeno y el fósforo como fosfato).

El pH afecta la solubilidad y, consecuentemente, la disponibilidad de muchos constituyentes del suelo que pueden afectar la actividad microbiológica. Para la mayoría de los microorganismos el pH óptimo para su desarrollo está entre 6 y 8.

La temperatura afecta la actividad de los microorganismos en la unidad de tratamiento. La velocidad de biodegradación decrecerá con el descenso de la temperatura. Los microorganismos pueden soportar temperaturas muy bajas inhibiendo su actividad para después retomarla al aumentar nuevamente la temperatura. El calentamiento del sitio de biorremediación mediante el uso de inyección de aire caliente puede acelerar el tratamiento, aunque una temperatura muy alta también puede afectar la actividad provocando una suerte de esterilización del suelo.

El uso de microorganismos especialmente cultivados para la degradación de una cierta variedad de contaminantes recibe el nombre de Bioaumentación. En algunas ocasiones los organismos que viven en el sitio que debe remediarse son colectados, cultivados y luego colocados nuevamente en el sitio de manera de incrementar velozmente la población de los microorganismos naturales que tienen preferencia por el contaminante del lugar.

En otras situaciones se prefiere incorporar distintos microorganismos en diferentes etapas del proceso de tratamiento dado que el contaminante más abundante cambia a medida que la degradación avanza.

Ante compuestos recalcitrantes, el cometabolismo es una alternativa útil. En el cometabolismo los microorganismos que crecen gracias a un compuesto producen una enzima que transforma a otro compuesto sobre el cual no pueden crecer.

4.1.1. Origen. Usualmente este tipo de residuos son el resultado de diferentes procesos industriales. Los lodos con combustibles o lubricantes se generan particularmente en los terminales de distribución de combustible, estaciones de

servicio y algunos en algunos tecnicentros encargados del mantenimiento de los vehículos. Otra industria aportante de este tipo de residuos es la de los hidrocarburos, específicamente campos petroleros. Las actividades de comercio y las actividades agrícolas son las principales generadoras de residuos de plaguicidas.

4.1.2. Características. Típicamente estos materiales corresponden a lodos, pastas o barros, con alto contenido de hidrocarburos o lubricantes. Algunos accidentes industriales implican que los volúmenes de este tipo de residuos sean considerables. Generalmente los hidrocarburos varían en su habilidad de ser degradados, los derrames de estos en el agua tienden a formar láminas en la superficie en donde se crean microscópicas emulsiones. Esto permite que los microorganismos predominantemente bacterias (pseudomonas, corinebacterias y micobacterias), algunas levaduras y hasta algas verdes tengan una mayor superficie de contacto con la partícula, facilitando el acceso a la misma y permitiendo su degradación. Pero la biorremediación en el agua se ve afectada por la disponibilidad de nutrientes, por lo que generalmente tras un derrame se adiciona fósforo y nitrógeno como forma de estimular el crecimiento de los microorganismos que potencialmente degradarán el hidrocarburo. En el caso de que el derrame sea en el suelo el proceso es diferente, la oxidación es llevada a cabo por hongos y bacterias y el movimiento del hidrocarburo es más vertical, además el proceso de humificación tiende a atrapar el residuo haciéndolo más persistente. En este caso el factor limitante no está en la disponibilidad de nutrientes sino que la disponibilidad de oxígeno es baja, por lo que se debe airear el suelo o agregar peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para mejorar el proceso.

En los derrames, la fracción de hidrocarburo más volátil es evaporada con facilidad dejando a los componentes alifáticos y aromáticos para ser oxidado por diversos grupos de microorganismos. Algunas fracciones, como los hidrocarburos de cadena ramificada y los policíclicos, permanecen mucho más tiempo en el ambiente principalmente si llegan a zonas anaerobias ocasionando perjuicios a largo plazo.

Los plaguicidas más comunes incluyen herbicidas, insecticidas, nematicidas, funguicidas, etc. Dentro de los plaguicidas se encuentran los ácidos clorofenoxialquil carboxílicos, ureas sustituidas, nitrofenoles, triacinas, fenilcarbamatos, organoclorados, organofosforados. Algunas de estas sustancias pueden actuar como donadores de electrones o como fuente de carbono para ciertos microorganismos. Estos compuestos tienen diferencias en la persistencia en el ambiente (ver tabla 2) pero esa persistencia es aproximada dado que depende de varios factores ambientales como la temperatura, el pH, la aireación y el contenido de sustancias orgánicas del suelo. Algunos de los insecticidas clorados pueden persistir por más de 10 años.

Hay que remarcar que en la degradación de un plaguicida no solo intervienen los microorganismos, sino que también pueden sufrir volatilización, filtración o degradación química.

Tabla 1. Persistencia de herbicidas e insecticidas en los suelos

Sustancia	Tiempo para la desaparición del 75 al 100%
<i>Insecticidas clorados</i>	
DDT	4 años
Aldrin	3 años
Clordano	5 años
Heptacloro	2 años
Lindano	3 años
<i>Insecticidas organofosforados</i>	
Diazinón	12 semanas
Malatión	1 semana
Paratión	1 semana
Herbicidas	
2,4-D(ácido 2,4-diclorofenoxiacético)	4 semanas
2,4,5T(ácido 2,4,5, triclofenoxiacético)	20 semanas
Dalapín	8 semanas
Atrazina	40 semanas
Simazina	48 semanas
Propazina	1.5 años

4.1.3. Análisis de laboratorio. Para este tipo de residuos antes de su tratamiento es importante realizar por lo menos los siguientes análisis de laboratorio:

- pH [para suspensiones]
- Humedad
- Aluminio
- Cadmio
- Cinc
- Cobalto
- Cobre
- Cromo Hexavalente
- Cromo Total
- Estaño
- Manganeso
- Níquel
- Plomo
- Otro tipo de metales se conozca son utilizados dentro del proceso productivo
- Cianuros
- Análisis de lixiviación tipo TCLP y/o SPLP
- Ensayos de reactividad

Para determinar si el tratamiento biológico será efectivo en una situación dada se realizan previamente ensayos de tratabilidad. La extensión del estudio puede variar dependiendo de la naturaleza de los contaminantes y las características del sitio. Si se trata de un contaminante no tóxico usualmente es suficiente analizar la presencia de una población de microorganismos, las concentraciones de nutrientes, la presencia de inhibidores o tóxicos, y las características del suelo tales como pH, porosidad y humedad.

Antes de iniciar el tratamiento generalmente se realizan ensayos de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de biodegradación y la forma de corregirlas y mantenerlas en el área. Entre las determinaciones más habituales están: pH, relación C:N:P y biodegradabilidad de los compuestos a tratar.

4.1.4. Proceso. Con el fin de hacer un planteamiento para su posterior puesta en marcha, se han analizado las dos tecnologías en tratamientos biológicos disponibles y aplicables en rellenos de seguridad.

- LANDFARMING. El Landfarming es una tecnología de remediación que utiliza microorganismos, en general indígenas, para degradar contaminantes

orgánicos absorbidos en el suelo o sedimento. Durante el tratamiento la actividad de las bacterias se ve incrementada por el laboreo del terreno, que aumenta la disponibilidad de oxígeno.

El Landfarming, también conocido como Landtreatment o land application, es una tecnología de remediación que reduce las concentraciones de los contaminantes orgánicos a través de la biodegradación. Esta tecnología implica la excavación y la colocación del suelo, sedimento o barro contaminado formando capas de poco espesor sobre un área o lecho en donde son periódicamente laboreadas o mezcladas para lograr su aireación y consecuentemente la estimulación de la actividad microbiana. Esto último también puede promoverse mediante la adición de minerales, nutrientes y humedad.

El Landfarming puede incluir el uso de membranas u otros métodos de control de lixiviación de los contaminantes.

Cuando se aplica un suelo contaminado a una unidad de tratamiento (lecho) el volumen se incrementa debido al esponjamiento. En general llega a ser 1,25 a 1,4 veces el volumen a excavar. El medio contaminado se trata en capas de entre 15 y 60 cm preferentemente de no más de 30 cm de espesor. Cuando se alcanza el nivel de remoción deseado se aplica una nueva capa agregando nuevo medio contaminado encima y mezclando. Esto sirve para inocular en el nuevo material, cultivos microbianos activos, reduciendo los tiempos de tratamiento. De todas formas, el Landfarming se considera un tratamiento de tiempos medios a largos.

Esta tecnología admite el tratamiento de residuos líquidos. En este caso, el suelo del lecho actúa como un biorreactor. El líquido puede aplicarse por medio de aspersores, pulverización o escorrentía. La intensidad de aplicación no debe superar nunca a la velocidad de infiltración.

Aplicación. El tratamiento de Landfarming es considerado muy efectivo en el

tratamiento de hidrocarburos de petróleo. Dado que las fracciones más livianas se tratan efectivamente con procesos que aprovechan su volatilidad (por ejemplo: extracción de vapor de suelo) el uso del Landfarming se limita a las fracciones más pesadas. Además, en el Landfarming, los compuestos más volátiles tienden a volatilizarse más que a degradarse, en particular durante las tareas de laboreo del terreno. Los contaminantes a los que se ha aplicado exitosamente esta tecnología son diesel, jet fuel, lodos de fondo de tanques, preservantes de madera, residuos de coque y ciertos pesticidas.

Diseño del sistema. La construcción del Landfarming incluye: instalación de geomembranas, instalación de sistema de colección y tratamiento de lixiviados, instalaciones para pretratamiento de suelos (triturado, mezclado, agregado de enmiendas, control de pH), preparación del sitio (desmalezado y nivelación), construcción de bermas y terraplenes, y, de ser necesario, coberturas o cerramientos apropiados para el tratamiento de los vapores liberados. También deben considerarse las instalaciones de monitoreo de gases y pozos de control de infiltraciones.

La capa impermeable es necesaria para prevenir la infiltración de líquidos contaminados y/o lixiviados al suelo no contaminado y consecuentemente a las aguas subterráneas. Al excavar el área para la construcción del lecho se compacta el suelo natural para reducir su permeabilidad. La capa impermeable suele ser arcilla compactada y capa de geomembrana de polietileno de alta densidad de 1,5 a 2 mm. Por sobre esta capa se sitúa en primer término suelo no contaminado para proporcionar un medio de tratamiento y la dilución por mezclado.

El sistema de colección y tratamiento de los lixiviados es muy importante tanto para coleccionar los lixiviados generados por el riego y por la aplicación del residuo pero aún más importante para recolectar los lixiviados generados por las precipitaciones. El sistema consiste en tubería perforada colocada en un lecho de arena o grava por sobre la capa impermeable. El sistema colecta los líquidos y los conduce hacia un

pondaje. El agua colectada puede almacenarse temporalmente y utilizarse para riego en los períodos secos.

El pretratamiento del suelo contaminado es habitualmente necesario. Las rocas y residuos de gran tamaño que interfieren con los equipos de laboreo pueden eliminarse por tamizado. Una vez tamizado, el suelo contaminado se aplica sobre suelo no contaminado en el área de tratamiento o lecho. Ésta debe tener una pendiente tal que evite el encharcamiento y conduzca la escorrentía a la laguna de almacenamiento. Esta pendiente no debe ser muy pronunciada para evitar la erosión superficial.

La construcción de bermas y terraplenes es necesaria para evitar la contaminación cruzada entre lechos o áreas de tratamiento o la producida por derrames o pérdidas de contaminantes. Como el Landfarming está expuesto a las precipitaciones, los contaminantes pueden movilizarse con las escorrentías, las bermas previenen los vertidos incontrolados conduciendo las aguas al pondaje de lixiviados. Las bermas pueden construirse con suelo limpio pero en ese caso deben cubrirse con material impermeable. Tendrán una altura de 30 cm por sobre la superficie del área de tratamiento. Las bermas y terraplenes servirán para controlar la cantidad de agua que ingresa y egresa del Landfarming y de esa manera, evitar la saturación o el lavado de los suelos se requieren sistemas de manejo de aguas.

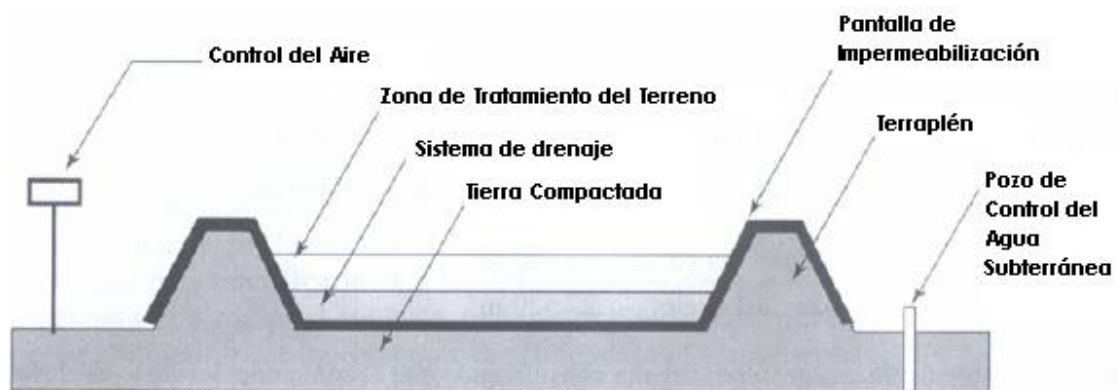


Figura 1: Principales elementos del Landfarming.

Principios de operación. Normalmente, los suelos contienen una gran cantidad y

diversidad de microorganismos incluyendo bacterias, algas, hongos, protozoos y actinomicetos. En suelos bien drenados, que son los más apropiados para el Landfarming, estos organismos son generalmente aeróbicos. De estos organismos, las bacterias son el grupo más numeroso y bioquímicamente activo.

Los microorganismos responsables de la degradación de los contaminantes requieren de una fuente de carbono para el crecimiento celular, los contaminantes orgánicos, y de una fuente de energía para sostener las funciones metabólicas. También requieren nutrientes tales como nitrógeno y fósforo. A pesar de que habitualmente existen suficientes tipos y cantidades de microorganismos en el suelo, en ocasiones se mezcla el suelo con microorganismos cultivados o con abono animal con el fin de aumentar la población microbiana y proveer nutrientes adicionales.

El Landfarming busca brindar a las bacterias aerobias las condiciones óptimas para la degradación los contaminantes orgánicos. La efectividad del tratamiento depende de varios parámetros que se pueden agrupar en tres categorías:

- a. Características del suelo
- b. Características de los contaminantes
- c. Condiciones climáticas

La textura del suelo afecta la permeabilidad, el contenido de humedad y la densidad del suelo. Por lo que debe tenerse en cuenta para asegurar que la oxigenación (por volteo o laboreo), la distribución de nutrientes y el contenido de humedad permanezcan dentro de rangos efectivos. Por ejemplo, los suelos que tienden a aglutinarse son difíciles de airear a la vez que presentan dificultades para distribuir uniformemente los nutrientes y pueden retener humedad en exceso luego de la época de precipitaciones.

Para sostener el crecimiento bacteriano, el pH del suelo debe estar en un rango entre 6 y 8, siendo 7 el valor óptimo. Los suelos contaminados con valores de pH fuera de este rango requerirán un ajuste antes y durante el tratamiento.

Los microorganismos también requieren nutrientes inorgánicos para el crecimiento celular, estos nutrientes pueden estar disponibles en cantidades suficientes en el suelo o puede requerirse que se agreguen al Landfarming. Sin embargo, una cantidad excesiva de ciertos nutrientes (por ejemplo, fosfato y sulfato) puede reprimir el metabolismo microbiano.

Los métodos para el ajuste de pH y el agregado de nutrientes usualmente incluyen la aplicación periódica de fertilizantes sólidos, cal y/o azufre durante el laboreo para mezclarlos con el suelo o de fertilizantes líquidos mediante aspersores. La composición de los sólidos o las soluciones de nutrientes y de ácidos o álcalis se determinan en los ensayos de tratabilidad y la frecuencia de aplicación se modifica con el avance del tratamiento según se requiera.

La volatilidad de los contaminantes propuestos para el Landfarming es otro punto a considerar debido a su tendencia a evaporarse del lecho más que a ser degradados, en especial durante las tareas de laboreo. En general los compuestos más livianos son más fáciles de degradar.

El Landfarming que se aplicaría en Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. estaría descubierto para aprovechar las condiciones naturales climáticas del sitio. En época de lluvias, el sistema deberá ser cubierto mediante el uso de membranas impermeables de polietileno de baja densidad. Durante los períodos de sequía el contenido de humedad puede caer por debajo del rango efectivo y puede ser necesario agregar agua, para esto pueden utilizarse los lixiviados colectados en el pondaje antes mencionado.

En general, los suelos deben estar húmedos pero no empapados. El rango ideal de humedad está entre 40 y 85% de la capacidad de retención de agua del suelo o entre el 12 y el 30% en peso. Periódicamente se debe agregar agua debido a que el suelo se seca como resultado de la evaporación incrementada por las operaciones

de aireación.

Los períodos ventosos pueden generar erosión eólica en el área de tratamiento, particularmente durante las operaciones de laboreo. La erosión eólica puede limitarse mediante el armado de pequeñas pilas de material y regando periódicamente.

Control del proceso. El laboreo es necesario para airear el suelo y para incorporar el residuo en la matriz del suelo. Mediante el laboreo se incrementa el contacto entre microorganismos, nutrientes y contaminantes, a la vez que redistribuye los últimos produciendo una mayor uniformidad en los niveles de contaminantes en el área.

La profundidad a la que el oxígeno puede penetrar en el suelo debido sólo a su difusión y en condiciones estacionarias se estima mediante un balance de masa. Asumiendo que el suelo está seco (poros con aire), que la porosidad es uniforme y que la tasa de consumo de oxígeno es de orden cero. Aplicando el balance de masas:

Velocidad de acumulación (nula) = velocidad de ingreso - velocidad de salida + velocidad de consumo.

Sustituyendo y resolviendo se llega a que la profundidad de penetración del oxígeno depende del coeficiente de difusión (D) de la porosidad (ϕ) de la concentración de oxígeno en la superficie y de la tasa de consumo de oxígeno (r_0). Para calcularla se puede usar la siguiente ecuación:

$$L = \sqrt{\frac{-2\phi DC_0}{r_0}}$$

El laboreo se realiza regularmente para facilitar la incorporación de oxígeno al suelo. Generalmente se hace semanal o quincenalmente. Es conveniente realizar el laboreo cuando el suelo está seco, se deben dejar pasar al menos 24 horas tras riego. También es recomendable variar la dirección del mismo para obtener una

buena distribución del contaminante.

Para compensar carencias de nitrógeno o fósforo en el suelo, suele ser necesaria la adición de nutrientes. La relación C:N:P que se usa es de 300:10:1. Los nutrientes más comunes son fosfato diácido de amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), nitrato amónico (NH_4NO_3), fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) y fosfato diácido de potasio (KH_2PO_4). Además de éstos se pueden usar nutrientes orgánicos complejos, como estiércol animal.

Es fundamental conservar la humedad óptima, planificando el riego. El contenido óptimo de humedad se mide con relación a la capacidad de campo del suelo. Se define como capacidad de campo la humedad de un suelo que se ha saturado y que se ha dejado drenar libremente durante 24 horas. Los suelos gruesos, que drenan fácilmente, tienen una capacidad de campo superior a los suelos finos. El contenido óptimo de humedad suelo estar entre 60 y 80 % de la capacidad de campo.

El riego que se debe realizar, puede ejecutarse por aspersión o goteo. El sistema usado debe permitir una fácil remoción, o trabajar alrededor del mismo, al momento de aplicar una nueva capa de residuos o al realizar el laboreo. La velocidad de aplicación de agua no debe exceder la velocidad de infiltración.

Otro de los posibles objetivos del riego puede ser la regulación de la temperatura del suelo. Al añadir agua, la conductividad térmica del suelo se incrementa, reduciendo las variaciones diarias de temperatura.

Dado que la mayoría de los suelos son ácidos, el ajuste de pH suele ser necesario para optimizar la biodegradación. Para incrementar el pH se utiliza cal, hidróxido de calcio o carbonato de calcio o magnesio. La reducción de pH se logra con azufre o compuestos azufrados.

El área de tratamiento se divide en celdas. En cada una se tomarán distintas submuestras para componer la muestra a analizar. En cada muestreo se analizan

algunas de las celdas rotando la vez siguiente.

- *BIOPILAS*. El uso de Biopilas es una tecnología de remediación ex situ que utiliza microorganismos, en general indígenas, para degradar contaminantes orgánicos absorbidos en el suelo o sedimento.

Las Biopilas, también conocidas como bioceldas o pilas de compostaje, son usadas para reducir la concentración de contaminantes orgánicos en suelos excavados a través del uso de la biodegradación. En este tipo de tratamiento biológico, los suelos excavados se mezclan con enmiendas de suelo y se apilan en un área de tratamiento que incluye sistemas de recolección de lixiviados y alguna forma de aireación. Para optimizar el tratamiento se controlan el contenido de humedad, la temperatura, la concentración de nutrientes y oxígeno y el pH.

Para estimular el crecimiento y la reproducción de bacterias aeróbicas el método de aireación más utilizado es el forzado por vacío ya que minimiza las emisiones de VOC's y los gases extraídos pueden tratarse separadamente.

Generalmente, el área de tratamiento se cubre o se contiene con un recubrimiento impermeable para minimizar el riesgo de lixiviación de los contaminantes hacia el suelo.

Las Biopilas pueden cubrirse con láminas plásticas para controlar el escurrimiento, la evaporación y la volatilización al tiempo que promueve el calentamiento por la radiación solar. Si el suelo a tratar presenta compuestos orgánicos volátiles (VOC's), se volatilizarán pasando a la corriente de aire por lo que ésta debe tratarse para remover o destruir los VOC's antes de su emisión a la atmósfera.

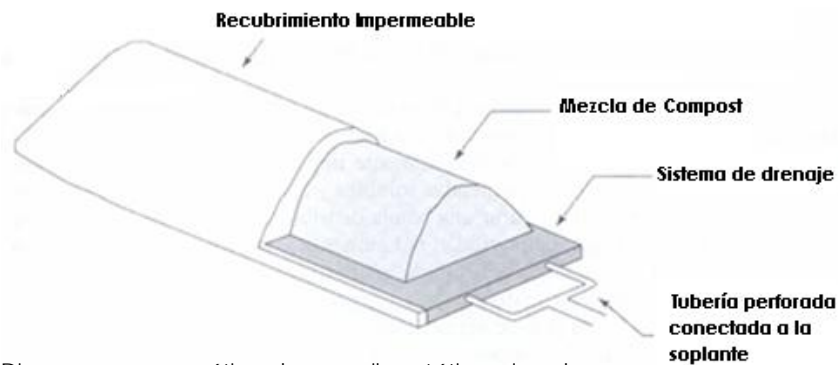


Figura 2. Diagrama esquemático de una pila estática aireada

Para suplementar las carencias de nutrientes y para acelerar el tratamiento, existen formulaciones comerciales de nutrientes y aditivos y métodos de aplicación de los mismos para estimular la biodegradación.

Principios de operación. Las Biopilas se diseñan para optimizar las condiciones para que las bacterias aeróbicas degraden los contaminantes orgánicos.

La textura del suelo afecta la permeabilidad, el contenido de humedad y la densidad del suelo. Los suelos de granulometría fina son menos permeables que los de granulometría gruesa. Los suelos con menos permeabilidad son más difíciles de airear pero tienden a retener mejor la humedad que los de alta permeabilidad. Sin embargo, la menor permeabilidad está normalmente asociada con suelos que se aglutinan haciendo difícil la distribución de humedad, aire y nutrientes. En ciertas ocasiones, durante la operación de la Biopila puede ser necesario remover o laborear el suelo para promover una biodegradación continua.

El suelo contiene gran cantidad de microorganismos como bacterias, algas, hongos, protozoos y actinomicetos. De estos microorganismos, las bacterias son el grupo más numeroso y bioquímicamente activo, particularmente con bajos niveles de oxígeno. Para desarrollarse, requieren condiciones de humedad. Sin embargo, condiciones de excesiva humedad restringen la movilidad del aire, reduciendo la disponibilidad de oxígeno. Por lo general el suelo debe estar húmedo pero no mojado o saturado con agua.

El crecimiento bacteriano es función de la temperatura. Se ha demostrado que la actividad microbiana en el suelo decrece significativamente por debajo de los 10 °C. La actividad de la mayoría de las bacterias importantes para la degradación de contaminantes orgánicos también disminuye por sobre los 45 °C. En el rango entre 10 y 45 °C la actividad suele duplicarse con cada aumento de 10 °C. Debido a que la temperatura varía con la temperatura ambiente, habrá ciertos períodos durante el año en que el crecimiento bacteriano y, en consecuencia, la degradación de contaminantes, disminuirá. Cuando la temperatura ambiente vuelva al rango de actividad, el crecimiento y la degradación se restaurarán paulatinamente. En zonas de clima frío se evita el uso de aireación por vacío ya que el aire frío aspirado dentro de la pila podría hacer descender demasiado la temperatura. En cambio, en el sistema de inyección, el aire se calienta al recibir la compresión por lo que calienta la pila.

El flujo de aire se usa para controlar tanto la temperatura como la cantidad de oxígeno en el interior de la pila. El trazado de las tuberías y la tasa de aireación empleados son parámetros de diseño esenciales en el tratamiento con pilas estáticas. Los tubos de la base están cubiertos de un manto de arena, grava u otro material muy permeable.

La tasa de aireación usada debe corresponderse con la actividad microbiológica que tenga lugar en la Biopila. Cuando comienza el tratamiento y se acelera la actividad hay una gran necesidad de oxígeno, la temperatura aumenta relativamente rápido y se requiere un gran caudal de aire. A medida que se produce la biodegradación, las concentraciones de materia orgánica se reducen, disminuye la actividad bacteriana y la necesidad de oxígeno. También baja la temperatura y se necesita menor caudal de aire. Dependiendo del caudal, son posibles tres formas de aireación:

- Caudal fijo: el caudal se fija y el control se consigue abriendo y cerrando la aireación. Este sistema puede airear en exceso al inicio y hacia el fin del tratamiento y por defecto, cuando el sistema está en su momento de mayor actividad.

- Caudal variable: esta es la forma más difundida. El caudal se modifica en función del avance del tratamiento. Requiere un seguimiento diario del sistema.
- Aireación automática: se emplea un programa que calcula la aireación en función de los registros de temperatura.

Si se recubre la Biopila con polietileno de alta densidad se deben tomar las medidas necesarias para permitir que el aire ingrese en la pila para compensar el que se está expulsando. El método más simple es abrir ranuras en la cobertura. Otras alternativas son: la construcción de una estructura soporte de la cobertura, permitir la aireación pasiva por colocación de tubos que conecten el fondo de la pila con la atmósfera o recircular la salida de aire de la pila junto con aire fresco.

Sin embargo en el caso de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. se cuenta con áreas importantes para implementar este manejo y además el nivel de precipitación medio y la humedad relativa de la zona en donde se encuentra ubicado el relleno de seguridad, son muy favorables. Por lo tanto, para la descripción de la tecnología a utilizar, se seleccionó el **LANDFARMING** como sistema de biodegradación de los residuos relacionados en el alcance de la metodología.

4.2. EJECUCIÓN DE LA TÉCNICA - ETAPAS DE DESARROLLO

Ver diagrama de flujo a continuación:

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.1		Director Técnico	
4.2.2		Director Operativo Coordinador de laboratorio	F-CO-01 Solicitud de Servicio
4.2.3		Director Operativo- Controladores	
4.2.4		Director Operativo- Controladores	
4.2.5		Director Operativo- Controladores Coordinador de laboratorio	

	Actividad	Responsable	Observaciones
	<pre> graph TD 1[1] --> A[Adición de Microorganismos y Nutrientes necesarios] 2[2] --> B[Ajustar pH] B --> A A --> C[Laboreo semanal] C --> D[Disposición final en la celda de seguridad asignada] D --> E[Trazabilidad] E --> F[Controles y Logística sobre los materiales] F --> G[P-DR-01 Recepción y Disposición de Residuos] </pre>		
4.2.6		Director Operativo - Controladores	Formato de control de operaciones en Landfarming
4.2.7		Director Operativo - Controladores	
4.2.8			
4.2.9		Director Operativo	

4.2.1. Evaluación Previa. Con anterioridad a la selección del método más adecuado, se inicia el proceso de evaluación de la factibilidad de tratamiento con base en las tecnologías disponibles.

Para dar cumplimiento a este proceso se requiere del generador la recopilación de toda la información disponible acerca del residuo: estado físico, datos de embalajes, condiciones de almacenamiento, descripción del proceso del cual se generan, volúmenes a tratar, datos adicionales que puedan ser aportados, caracterización y/o ficha de seguridad disponible, etc; en el documento F-ER-07.

En caso que se considere relevante, Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. cuenta con una base de datos de los residuos aprobados con las denominadas Hojas de Seguridad

para Compuestos Químicos (Material Safety Data Sheet), donde se dispone de amplia información sobre las características de cada producto registrado.

También es necesario, debido a la naturaleza de su aplicación, realizar una revisión de las características del sitio de operación: disponibilidad de servicios, infraestructura, accesos, posible influencia del clima en las operaciones, distancias a sitios poblados, etc. con el fin de realizar la operación en condiciones de estricta seguridad.

4.2.2. Inspección y Muestreo – Factibilidad. Se determinan las técnicas adecuadas de muestreo en función de las características de acopio del material de interés. Se toma una muestra representativa del residuo y se la envía al laboratorio de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P., se determinan sus características fisicoquímicas.

Teniendo en cuenta la confirmación analítica de las características del residuo se puede establecer, en función de las tecnologías autorizadas y la experiencia previa, el método más apropiado de pretratamiento y disposición final.

Las condiciones del suelo se suelen controlar y monitorear para optimizar la velocidad de degradación del contaminante. Las condiciones normalmente controladas incluyen:

- Contenido de humedad
- Aireación (mediante laboreo programado)
- pH (cercano a neutral por agregado de compuestos químicos)
- Otras enmiendas (agentes esponjantes para modificar el volumen y nutrientes)

4.2.3. Identificación y Descargue temporal. Para los residuos que se encuentren en contenedores como cuñetes, bidones, tambores, bolsas plásticas del tipo big bags, etc, se utiliza para su identificación un autoadhesivo con la figura universal del diamante NFPA indicando su riesgo de inflamabilidad, reactividad, toxicidad y demás riesgos especiales. La etiqueta utilizada se presenta en el Anexo I.

Además se agrega la información correspondiente a:

- Nombre del Generador
- Nombre del Residuo
- Estado Físico
- Fecha de envío
- Característica de peligrosidad

El lugar de descargue temporal In Situ cuenta con características de impermeabilidad y ventilación requeridas.

4.2.4. Adecuación y/o pretratamiento. Dependiendo de las características del residuo y de la situación en particular, el mismo puede necesitar de una adecuación previa como estabilización o tamizado (Ver procedimiento de estabilización P-ER-05). Por ejemplo, para suelos contaminados es generalmente necesaria la segregación por tamaño de partículas, remoción de elementos extraños, etc.

4.2.5. Disposición en zona de Landfarming. Los residuos son depositados en la zona de landfarming, previamente diseñada, extendiendo capas de 60 centímetros de material contaminado. Cada vez que el residuo alcance condiciones de tratamiento adecuadas, se aplicarán en adelante capas de 30 centímetros sobre el material ya tratado y se procederá a mezclarlo en su totalidad con el fin de conservar las condiciones biológicas del tratamiento y que la actividad microbiana de las cepas en funcionamiento sea igualada.

A nivel de laboratorio, se estimarán las condiciones de inicio de la operación y la evolución del mismo periódicamente teniendo en cuenta la actividad microbiológica, la relación C:N:P y vigilando especialmente los contenidos de humedad y valores de pH.

La humedad debe encontrarse entre el 60 y el 85% preferiblemente. En caso de que la humedad se encuentre por debajo del 65% se procederá a la humectación del

material a tratar por aspersión sobre el surco correspondiente. Esta aspersión puede realizarse con agua o con los lixiviados recolectados en los pondajes.

Posteriormente se procede a vigilar el pH del residuo, el cual debe encontrarse en un rango de 6 a 8. Si el pH se encuentra por debajo de 6 se procede a adicional cal. Si el pH se encuentra por encima de 8 se procede a adicionar azufre elemental. El valor ideal de pH es 7. Cada vez que se adicionan sustancias al residuo, se debe verificar que el valor de pH llegue al rango deseado.

Una vez que el valor de humedad y pH han sido controlados, se realiza la adición de microorganismos cultivados o procedentes de abono animal como estiércol y se mezcla completamente el material a tratar con el fin de aumentar la población microbiana naturalmente y homogeneizar. Adicionalmente se provee la mezcla de nutrientes para lograr una relación de C:N:P de 300:10:1. Estos nutrientes pueden proceder de las fuentes descritas en la descripción de la metodología desarrollada numeral 5.1.4.

4.2.6. Laboreo semanal. Esta actividad consiste en la mezcla mecánica semanal, del material que se está manejando con este tipo de tratamiento con el fin de facilitar la labor de los microorganismos aerobios. Debe realizarse sobre el suelo seco. No se debe efectuar laboreo luego de haber aplicado riego al material. El volteo mecánico únicamente debe realizarse tras 24 horas de riego. Es necesario tener en cuenta que se debe variar la dirección del mismo con el fin de manejar un material homogéneo en su totalidad.

4.2.7. Disposición final en celdas de seguridad. La disposición final de estos materiales estabilizados se realiza dentro de las celdas de seguridad, únicamente cuando los ensayos de verificación de tratamiento hayan reportado el avance esperado. Este material ya mejorado en sus condiciones puede ser utilizado como cobertura para otro tipo de residuos dispuestos e incluso puede ser utilizados como la última capa de material de compactación antes de la clausura de las celdas de seguridad que hayan copado su capacidad de almacenamiento.

4.2.8. Trazabilidad. La empresa entrega un Certificado de Disposición Final indicando el nombre del generador, el tipo de material dispuesto, la fecha de recibo y la celda de destino del material confinado.

Durante este pretratamiento de residuos se generan los siguientes documentos:

- Registro de control del material recepcionado.
- Protocolo Analítico del Residuo pretratado.
- Certificado de Disposición Final en Celda de Seguridad.

Mediante la documentación arriba mencionada más datos complementarios del proceso, cada residuo tratado In Situ es registrado en el formato denominado "Información contenido de celdas F-ER-02" generando de esta manera un documento que permite el seguimiento de cada residuo desde la salida en las instalaciones del generador hasta su disposición final en la celda destino.

4.2.9. Controles y Logística sobre los materiales. Para garantizar la calidad de todo el proceso se adquieren para los análisis de laboratorio y como agentes estabilizantes, materiales de calidad certificada.

Se lleva a cabo una logística de ingresos para los materiales a incorporar al residuo o aquellos que hacen parte de la dotación de laboratorio con el fin de minimizar los tiempos de almacenamiento, evitando de esta manera la posibilidad de degradación del material y la subsiguiente alteración de los parámetros analizados.

4.2. PARÁMETROS DE CONTROL

Para este caso, antes de iniciar el tratamiento y durante el mismo, generalmente se realizan ensayos de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de biodegradación y la forma de corregirlas y mantenerlas en el área. Entre las determinaciones más habituales están: humedad, pH, relación C:N:P y biodegradabilidad de los compuestos a tratar.

4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

4.4.1. Ventajas de esta alternativa. Diseño e implementación relativamente simples, bajo costo de inversión y operación, tiempos de tratamiento entre semanas y meses, costos competitivos, efectivo para contaminantes con velocidades de degradación bajas y mano de obra no muy calificada.

4.4.2. Desventajas de esta alternativa. Dudosa eficiencia para concentraciones superiores a las 50000 ppm, la presencia de metales pesados en altas concentraciones (>2500 ppm) puede inhibir la actividad microbiana, generación de polvo y emisión de vapores durante operaciones de laboreo, alto requerimiento de área.

4.2. MONITOREO DEL AMBIENTE LABORAL - EQUIPOS DE SEGURIDAD

Monitoreos Ocupacionales y de Ambiente Laboral: se realizan en el área de operación del Relleno Sanitario de Seguridad y consisten en:

- *Estudio de Calidad del Aire y Ruido:* busca identificar las condiciones ambientales relacionadas con la cantidad de partículas suspendidas totales y ruido, generados y presentes en el área de influencia directa del proyecto que puedan llegar a afectar la salud respiratoria y auditiva de los trabajadores.
- *Espirometría:* busca identificar la presencia de material particulado que pueda afectar las vías respiratorias de los trabajadores.
- *Audiometría:* determina posibles afectaciones auditivas en los trabajadores del relleno debido al funcionamiento de maquinaria y equipos menores utilizados en actividades operativas cercanas a los puestos de trabajo.

Las espirometrías y audiometrías hacen parte del Subprograma de Medicina Preventiva y del Trabajo del Programa de Salud Ocupacional de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. y son realizadas dentro de los exámenes de ingreso, periódicos y egreso, efectuados a los

trabajadores expuestos a riesgos por material particulado y ruido en el área operativa del relleno sanitario.

Controles Ocupacionales y de Ambiente Laboral: con el fin de controlar las afectaciones hacia la salud y el ambiente generadas por factores de riesgos de ruido y material particulado, en el área operativa se llevan a cabo de acuerdo al panorama de riesgos, los siguientes controles:

RIESGO	FACTOR DE RIESGO	SISTEMAS DE CONTROL		
		FUENTE	MEDIO	TRABAJADOR (ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL)
Físico	Ruido	Mantenimiento de maquinaria y equipos menores. Uso pausado		Protectores auditivos de inserción y tipo copa
Químico	Material particulado, gases y vapores	Humectación de vías y áreas de trabajo. Mantenimiento y Sincronización Maquinaria y equipos menores	No aplican puesto que las actividades se realizan al aire libre, minimizando la concentración y niveles de estos factores de riesgo	Durante el descargue de lodos: Respiradores Media Cara Survivair NIOSH B220000 con cartuchos multi-propósito 100844 y prefiltros contra polvos 106044. Durante el retiro de material tratado, respirador de libre mantenimiento M2700 N95 PASS MOLDEX

5. FORMATOS RELACIONADOS

F-ER-02 Información contenido de celdas.

6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

ANEXO 1 Etiqueta de identificación de residuos

7. CAMBIOS RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR

No aplica.

ANEXO 5. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE SOLIDIFICACIÓN

 Rellenos de Colombia S.A. - E.S.P.	SOLIDIFICACIÓN	CODIGO	P-ER-04
		VERSIÓN	0
		FECHA	01/04/07

1. OBJETO

El objetivo del presente documento es describir los fundamentos técnicos y establecer la metodología operativa para el desarrollo de la tecnología de Tratamiento In Situ mediante Solidificación de residuos líquidos o cuyo porcentaje de humedad supere el 70% y no puedan ser manejados mediante eras de secado.

2. ALCANCE

Este documento aplica para el siguiente grupo de residuos a disponer en las celdas de seguridad del relleno sanitario de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. que requieren solidificación como pretratamiento:

RESIDUOS CON METALES PESADOS NO FERROSOS (24)
LODOS DE ZINC, ESTAÑO Y PLOMO (28)
LODOS GALVÁNICOS CON METALES PESADOS (30)
LODOS GALVÁNICOS CON CROMO Y OTROS METALES PESADOS (31)
OTROS LODOS DE HIDRÓXIDOS METÁLICOS (32)
ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS DE METALES PESADOS (33)
LODOS DE TRATAMIENTO DE OTROS EFLUENTES INDUSTRIALES N.E. (69)

3. RESPONSABILIDAD Y AUTORIDAD

Director Técnico:

- Asignar el pretratamiento requerido para cada tipo de residuo que se recibe en el relleno.

Coordinador de Laboratorio:

- Efectuar los análisis requeridos para el ingreso de los residuos así como para verificar efectividad del pretratamiento asignado.

Director Operativo:

- Verificar que el pretratamiento establecido se aplique a cada residuo que ingrese al relleno para disposición final.

Personal del Relleno

- Aplicar el pretratamiento al residuo de acuerdo con lo establecido en F-CO-01 Solicitud de Servicio y las instrucciones del presente documento.

4. DESARROLLO

4.1. BASE CONCEPTUAL

La solidificación es el proceso en el que se añade cantidad suficiente de material solidificante, incluidos sólidos, a los materiales peligrosos para originar una masa solidificada.

Para la solidificación de residuos industriales, se agrega una cantidad suficiente del material para obtener una masa de material solidificado, por lo que se logra incrementar la resistencia, disminuir la compresibilidad y disminuir la permeabilidad del desecho.

Asimismo por medio de absorción se logra que los contaminantes se unan físicamente a agentes estabilizadores dentro de una matriz. Este es el proceso por el cual los contaminantes son tomados por el sorbente de manera similar a como una esponja toma el agua. La absorción precisa de un material sólido (absorbente) que empape o absorba los líquidos libres del residuo. Este proceso se emplea principalmente para eliminar los líquidos libres de manera que se mejoren las características de manejo del residuo, es decir para solidificar el residuo.

Como los líquidos pueden escurrir del material al someter a la masa a tensiones de consolidación se utiliza la absorción como una medida temporal, para mejorar las características de manejo. Los absorbentes más comunes son suelo y cal.

Este proceso actúa para:

- a) minimizar la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente.
- b) mejorar el manejo y las características físicas del residuo.
- c) disminuir la superficie a través de la cual puede tener lugar la transferencia o pérdida de contaminantes.
- d) limitar la solubilidad de cualquier contaminante presente en el residuo.
- e) reducir la toxicidad de los contaminantes.
- f) aumentar la resistencia.
- g) disminuir la compresibilidad.
- h) disminuir la permeabilidad del residuo.

4.1.1. Origen. Usualmente este tipo de residuos son el resultado de diversos procesos industriales. Generalmente se trata de líquidos o residuos semisólidos con un alto porcentaje de humedad (superior al 70%). La humedad debe ser controlada para efectos de la operación de las celdas de seguridad como tal, es decir, una de las condiciones de un óptimo desempeño del confinamiento es la ausencia de líquidos libres al interior de las celdas.

4.1.2. Características. Tipicamente estos materiales corresponden a lodos muy húmedos y líquidos que además de poseer condiciones de peligrosidad, requieren tener un control directo sobre su característica física como un primer tratamiento.

4.1.3. Análisis de laboratorio. Para este tipo de residuos antes de su tratamiento es importante realizar por lo menos los siguientes análisis de laboratorio:

- pH [para suspensiones]
- Humedad
- Aluminio
- Cadmio
- Cinc
- Cobalto
- Cobre
- Cromo Hexavalente
- Cromo Total
- Estaño
- Manganeso
- Níquel

- Plomo
- Otro tipo de metales se conozca son utilizados dentro del proceso productivo
- Cianuros
- Análisis de lixiviación tipo TCLP y/o SPLP
- Ensayos de reactividad

4.2.1. Proceso

- Mezclado

Esta operación puede ser llevada a cabo por la empresa generadora del residuo y no necesariamente por la empresa que se encargará de su disposición. Esta actividad consiste en una operación física, que permite disminuir el porcentaje de humedad de los residuos a manejar facilitando su manipulación para confinamiento o posterior aplicación de otros tratamientos previa disposición final.

Como el objetivo es lograr un mejor acondicionamiento de los residuos líquidos y semisólidos con altos porcentajes de humedad, puede derivarse de este manejo un incremento importante en el peso y volumen final del material a confinar.

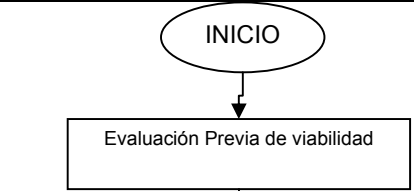
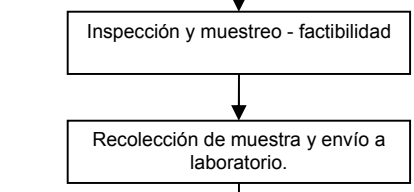
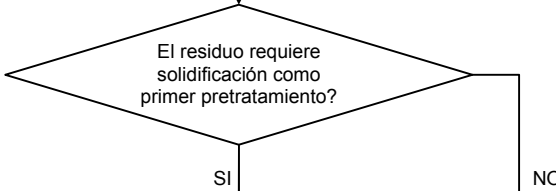
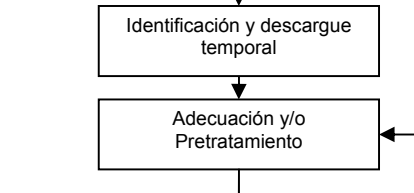
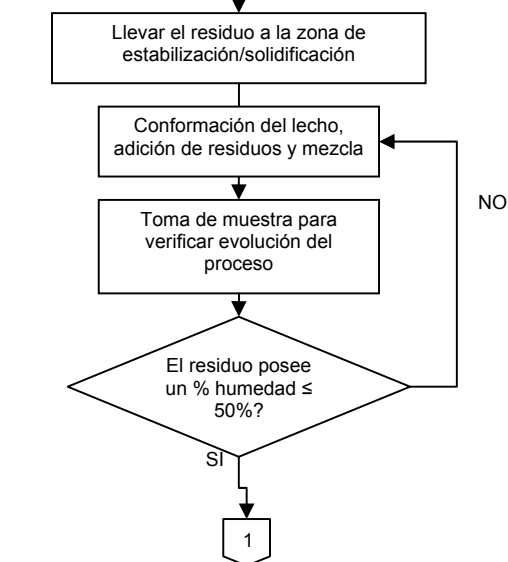
En el caso de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. se ha adecuado un área para realizar la solidificación de los residuos antes mencionados dentro de un sistema mecánico controlado. La compañía cuenta con una tolva ubicada a ras de suelo con una capacidad de tratamiento aproximada de 6 metros cúbicos, que se halla completamente impermeabilizada en su base utilizando geomembrana de 30 mils (0,75 mm de espesor) y que cuenta con acceso desde el sitio de descargue. Esta infraestructura se encuentra a cielo abierto y solo se opera en condiciones climáticas favorables, es decir en tiempo seco.

El material utilizado para la solidificación corresponde a una mezcla de material excavado de la zona, preferiblemente de baja granulometría que facilita una absorción completa, y cal viva. El proceso es muy sencillo y requiere de operación mecánica únicamente.

El procedimiento consiste en la extensión de la mezcla del material solidificante, encargado de realizar el entrapamiento y acondicionamiento de los residuos que requieren un control directo de su condición física, en lechos con alturas de 20 centímetros dentro de la tolva metálica. Posteriormente, se realiza la evacuación del material a tratar directamente sobre el lecho conformado para proceder a su mezcla con maquinaria pesada. En la medida que este material vaya adoptando una configuración pastosa, se va controlando a nivel de laboratorio el contenido de humedad de la masa para verificar el punto final de la operación.

4.2. EJECUCIÓN DE LA TÉCNICA - ETAPAS DE DESARROLLO

Ver diagrama de flujo a continuación:

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.1		Director Técnico	
4.2.2		Director Operativo Coordinador de laboratorio	F-CO-01 Solicitud de Servicio
4.2.3		Director Operativo- Controladores	
4.2.4		Director Operativo- Controladores	
4.2.5		Director Operativo- Controladores Coordinador de laboratorio	

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.6	<pre> graph TD 1[1] --> A[Disposición final en la celda de seguridad asignada] A --> B[Trazabilidad] B --> C[Controles y Logística sobre los materiales] C --> D[P-DR-01 Recepción y Disposición de Residuos] </pre>	Director Operativo	F-DR-06 Programación de Recepción de Residuos
4.2.7		Director Operativo, Director Técnico	
4.2.8		Coordinador de laboratorio	

4.2.1. Evaluación Previa. Con anterioridad a la selección del método más adecuado, se inicia el proceso de evaluación de la factibilidad de tratamiento con base en las tecnologías disponibles.

Para dar cumplimiento a este proceso se requiere del generador la recopilación de toda la información disponible acerca del residuo: estado físico, datos de embalajes, condiciones de almacenamiento, descripción del proceso del cual se generan, volúmenes a tratar, datos adicionales que puedan ser aportados, caracterización y/o ficha de seguridad disponible, etc; en el documento F-ER-07.

En caso que se considere relevante, Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. cuenta con una base de datos de los residuos aprobados con las denominadas Hojas de Seguridad para Compuestos Químicos (Material Safety Data Sheet), donde se dispone de amplia información sobre las características de cada producto registrado.

También es necesario, debido a la naturaleza "In Situ" de su aplicación, realizar una

revisión de las características del sitio de operación: disponibilidad de servicios, infraestructura, accesos, posible influencia del clima en las operaciones, distancias a sitios poblados, etc. con el fin de realizar la operación en condiciones de estricta seguridad.

4.2.2. Inspección y Muestreo – Factibilidad. Se determinan las técnicas adecuadas de muestreo en función de las características de acopio del material de interés. Se toma una muestra representativa del residuo y se la envía al laboratorio de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P., se determinan sus características fisicoquímicas.

Teniendo en cuenta la confirmación analítica de las características del residuo se puede establecer, en función de las tecnologías autorizadas y la experiencia previa, el método más apropiado de pretratamiento y disposición final.

4.2.3. Identificación y Descargue temporal. Para los residuos que se encuentren en contenedores como cuñetes, bidones, tambores, bolsas plásticas del tipo big bags, etc, se utiliza para su identificación un autoadhesivo con la figura universal del diamante NFPA indicando su riesgo de inflamabilidad, reactividad, toxicidad y demás riesgos especiales. La etiqueta utilizada se presenta en el Anexo I.

Además se agrega la información correspondiente a:

- Nombre del Generador
- Nombre del Residuo
- Estado Físico
- Fecha de envío
- Característica de peligrosidad

El lugar de descargue temporal In Situ cuenta con características de impermeabilidad y ventilación requeridas.

4.2.4. Adecuación y/o pretratamiento. Dependiendo de las características del

residuo y de la situación en particular, el mismo puede necesitar de una adecuación previa como estabilización (Ver procedimiento de estabilización P-ER-05).

4.2.5. Zona de estabilización/solidificación. Los residuos son trasladados a la zona de solidificación/estabilización. El material que conforma el lecho sobre el cual se realizará la mezcla debe ser distribuido y conformado en alturas de 20 centímetros en la tolva metálica. Posteriormente se procederá a desocupar el residuo en la tolva metálica sobre el lecho y se realizará la operación mecánica para la homogeneización de la pasta que se desea conformar. Si es necesario debe añadirse paulatinamente cantidades adicionales de material agregado hasta lograr una consistencia semisólida definida.

A nivel de laboratorio se irán tomando muestras para verificar si la pasta conformada posee un porcentaje de humedad hasta del 50%. Para cumplir con este objetivo, cuando la inspección física reporte una configuración física sólida, se toma una muestra del residuo solidificado y se realizan los ensayos de laboratorio para evaluar el porcentaje de humedad contenido en el residuo según Método SM 2540 G APHA-AWWA-WPCF. Las lecturas se registrarán como parte del control del tratamiento. Una vez se logre la consistencia física deseada, se procederá al retiro mecánico del material solidificado para su disposición final o consecuente tratamiento. No deben quedar residuos sin solidificar, ni líquidos libres dentro de la mezcla.

4.2.6. Disposición final en celdas de seguridad. La disposición final de estos materiales solidificados se realiza en celdas de seguridad previamente asignadas, únicamente cuando los ensayos de laboratorio de verificación del tratamiento hayan sido protocolizados y debidamente registrados. Si después de la solidificación existe otro tratamiento asignado como el encapsulamiento, se procederá a aplicar este último antes de la disposición final en celdas de seguridad. Siempre se aplicará material de cobertura y se realizará compactación sobre los residuos dispuestos y cubiertos.

4.2.7. Trazabilidad. La empresa entrega un Certificado de Disposición Final indicando el nombre del generador, el tipo de material dispuesto, la fecha de

recibo y la celda de destino del material confinado.

Durante este pretratamiento de residuos se generan los siguientes documentos:

- Registro de control del material recepcionado.
- Protocolo Analítico del Residuo pretratado.
- Certificado de Disposición Final en Celda de Seguridad.

Mediante la documentación arriba mencionada más datos complementarios del proceso, cada residuo tratado In Situ es registrado en el formato denominado "Información contenido de celdas F-ER-02" generando de esta manera un documento que permite el seguimiento de cada residuo desde la salida en las instalaciones del generador hasta su disposición final en la celda destino.

4.2.8. Controles y Logística sobre los materiales. Para garantizar la calidad de todo el proceso se adquieren para los análisis de laboratorio y como agentes estabilizantes, materiales de calidad certificada.

Se lleva a cabo una logística de ingresos para los materiales a incorporar al residuo o aquellos que hacen parte de la dotación de laboratorio con el fin de minimizar los tiempos de almacenamiento, evitando de esta manera la posibilidad de degradación del material y la subsiguiente alteración de los parámetros analizados.

4.3. PARÁMETROS DE CONTROL

Para este caso, el parámetro de control principal es la humedad expresada en porcentaje siguiendo la metodología del Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water.

4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

4.4.1. Ventajas de esta alternativa. Poca sensibilidad del proceso frente a variaciones fisicoquímicas de los lodos, escaso o nulo consumo de productos químicos, bajo o nulo consumo energético y mano de obra no muy calificada.

4.4.2. Desventajas de esta alternativa. Necesidad importante de material disponible, dependencia de las condiciones climáticas, incremento en el peso y volumen final del residuo a disponer, disminución de la capacidad de almacenamiento de la celda destino.

4.5. MONITOREO DEL AMBIENTE LABORAL - EQUIPOS DE SEGURIDAD

Monitoreos Ocupacionales y de Ambiente Laboral: se realizan en el área de operación del Relleno Sanitario de Seguridad y consisten en:

- *Estudio de Calidad del Aire y Ruido:* busca identificar las condiciones ambientales relacionadas con la cantidad de partículas suspendidas totales y ruido, generados y presentes en el área de influencia directa del proyecto que puedan llegar a afectar la salud respiratoria y auditiva de los trabajadores.
- *Espirometría:* busca identificar la presencia de material particulado que pueda afectar las vías respiratorias de los trabajadores.
- *Audiometría:* determina posibles afectaciones auditivas en los trabajadores del relleno debido al funcionamiento de maquinaria y equipos menores utilizados en actividades operativas cercanas a los puestos de trabajo.

Las espirometrías y audiometría hacen parte del Subprograma de Medicina Preventiva y del Trabajo del Programa de Salud Ocupacional de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. y son realizadas dentro de los exámenes de ingreso, periódicos y egreso, efectuados a los trabajadores expuestos a riesgos por material particulado y ruido en el área operativa del relleno sanitario.

Controles Ocupacionales y de Ambiente Laboral: con el fin de controlar las afectaciones hacia la salud y el ambiente generadas por factores de riesgos de ruido

y material particulado, en el área operativa se llevan a cabo de acuerdo al panorama de riesgos, los siguientes controles:

RIESGO	FACTOR DE RIESGO	SISTEMAS DE CONTROL		
		FUENTE	MEDIO	TRABAJADOR (ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL)
Físico	Ruido	Mantenimiento de maquinaria y equipos menores. Uso pausado		Protectores auditivos de inserción y tipo copa
Químico	Material particulado, gases y vapores	Humectación de vías y áreas de trabajo. Mantenimiento y Sincronización Maquinaria y equipos menores	No aplican puesto que las actividades se realizan al aire libre, minimizando la concentración y niveles de estos factores de riesgo	Durante el descargue de lodos: Respiradores Media Cara Survivair NIOSH B220000 con cartuchos multi-propósito 100844 y prefiltros contra polvos 106044. Durante el retiro de los lodos secos, respirador de libre mantenimiento M2700N95 PASS MOLDEX

5. FORMATOS RELACIONADOS

F-ER-02 Información contenido de celdas.

6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

ANEXO 1 Etiqueta de identificación de residuos

7. CAMBIOS RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR

No aplica.

ANEXO 6. MANUAL PARA PRETRATAMIENTO DE ESTABILIZACIÓN

 Rellenos de Colombia S.A. - E.S.P.	ESTABILIZACIÓN	CODIGO	P-ER-05
		VERSIÓN	0
		FECHA	01/04/07

1. OBJETO

El objeto del presente documento es describir los fundamentos técnicos y establecer la metodología operativa para el desarrollo de la tecnología de Tratamiento In Situ mediante Estabilización de residuos especiales que en su composición contengan Cromo, Cadmio, Plomo, Mercurio o alguno de sus compuestos.

2. ALCANCE

Este documento aplica para el siguiente grupo de residuos a disponer en las celdas de seguridad del relleno sanitario de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. que requieren estabilización como pretratamiento:

LODOS MINERALES CON RESIDUOS PELIGROSOS (21)
RESIDUOS CON METALES PESADOS NO FERROSOS (24)
LODOS DE ZINC, ESTAÑO Y PLOMO (28)
LODOS GALVÁNICOS CON METALES PESADOS (30)
LODOS GALVÁNICOS CON CROMO Y OTROS METALES PESADOS (31)
OTROS LODOS DE HIDRÓXIDOS METÁLICOS (32)
ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS DE METALES PESADOS (33)
LODOS DE TRATAMIENTO DE OTROS EFLUENTES INDUSTRIALES N.E. (69)

3. RESPONSABILIDAD Y AUTORIDAD

Director Técnico:

- Asignar el pretratamiento requerido para cada tipo de residuo que se recibe en el relleno.

Coordinador de Laboratorio:

- Efectuar los análisis requeridos para el ingreso de los residuos así como para verificar efectividad del pretratamiento asignado.

Director Operativo:

- Verificar que el pretratamiento establecido se aplique a cada residuo que ingrese al relleno para disposición final.

Personal del Relleno

- Aplicar el pretratamiento al residuo de acuerdo con lo establecido en F-CO-01 Solicitud de Servicio y las instrucciones del presente documento.

4. DESARROLLO

4.1. BASE CONCEPTUAL (GENERALIDADES)

Si bien la estabilización química de residuos representa por sí misma una alternativa confiable de tratamiento, nuestra experiencia ha señalado que otorgando grados extra de seguridad a través de la estabilización mecánica y el macroencapsulado se conforma un producto seguro para la disposición final o confinamiento a perpetuidad.

Este documento describe una combinación de las técnicas de estabilización química para diferentes compuestos; para la parte de estabilización física (solidificación), y macroencapsulado, se deberán consultar los respectivos manuales.

El objetivo fundamental de la estabilización es minimizar o limitar la capacidad de un determinado contaminante de migrar y/o interactuar con el medio ambiente, ya sea a través del aire, del agua, del suelo, o de organismos vivos. Para conseguir este objetivo, se modifican algunas de las propiedades fisicoquímicas de dichos contaminantes y/o de sus matrices. En particular se busca minimizar o limitar: Permeabilidad, Solubilidad, Toxicidad y Volatilidad.

Los procesos tendientes a lograr estos objetivos conforman la base de los procesos de estabilización.

Química del Cromo. El cromo se puede presentar en variedades alotrópicas habitualmente presentes en los residuos de las siguientes formas:

- **Cromo trivalente (Cr³⁺)**: En este estado el cromo puede formar complejos

orgánicos e inorgánicos. En el agua, el mecanismo natural de remoción es la formación de $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ insoluble. En el suelo suele presentarse en esta última forma por lo que no es muy lixivable, aunque la formación de complejos solubles puede aumentar su lixiviación. La forma trivalente puede precipitarse de una solución mediante ajuste de pH para formar hidróxidos.

- **Cromo hexavalente (Cr^{6+}):** en el estado hexavalente el cromo existe en la forma de oxoespecies (tales como CrO_3 y CrO_4^{2-}) que son fuertemente oxidantes. En solución, existe como hidrocromato (HCrO_4^-), cromato (CrO_4^{2-}) y dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). La proporción entre estas especies depende del pH. A pH ácido predomina el dicromato. Puede reaccionar con la materia orgánica o agentes reductores para pasar a la forma trivalente.

La movilidad de los metales en un sistema de suelos o residuos está determinada por el tipo y cantidad de superficies presentes, la concentración del metal de interés, la concentración y tipo de iones competidores y complejantes (orgánicos e inorgánicos), pH y estado de óxido-reducción. A medida que los constituyentes orgánicos se degradan en la matriz, o a medida que las condiciones de pH y de óxido-reducción varían la potencial movilidad cambia.

El cromo hexavalente suele presentarse en formas aniónicas (cromato o dicromato) dependiendo del pH y de la concentración. Estas formas aniónicas tienen menor tendencia a ser adsorbidas por las superficies sólidas que el Cr(III) .

Química del Plomo y el Cadmio. Si bien el plomo se puede presentar en otras formas, los compuestos más comunes en los residuos son los óxidos, los hidróxidos y los complejos oxi-aniónicos. Las variedades alotrópicas más comunes son las siguientes:

- **Plomo metálico (Pb^0):** En este estado el plomo es un metal azulado, plateado o gris, lustroso cuando está recién cortado aunque se oscurece con la exposición al aire. Es blando y maleable, tiene alta densidad y bajo punto de fusión.
- **Plomo bivalente (Pb^{2+}):** en el estado de oxidación $2+$ el plomo forma óxidos mononucleares y polinucleares y los correspondientes hidróxidos e hidratos y complejos oxi-aniónicos plomo-metal.

En los residuos o suelos contaminados, el cadmio suele presentarse en las siguientes formas:

- **Cadmio bivalente (Cd^{2+}):** En este estado, puede estar como ion o como hidróxido. A pH menores a 8 se encuentra como ion. Si el pH se incrementa el cadmio precipita como hidróxido $\text{Cd}(\text{OH})_2$, carbonato CdCO_3 . Este último es mucho menos soluble que el hidróxido. En condiciones reductoras y en presencia de sulfuro se forma el sulfuro de cadmio CdS , que es estable.

- **Complejos con Cianuro:** El plomo puede formar complejos estables tanto con sustancias orgánicas (ácidos húmicos y fúlvicos) como con iones inorgánicos (cloruros, carbonatos). El cadmio por su parte puede precipitar con fosfatos, selenitos, selenatos, arsenatos y cromatos, cuyas solubilidades varían según el pH y las condiciones.

El plomo solubilizado reacciona con carbonatos, sulfuros, sulfatos y fosfatos formando compuestos de baja solubilidad. A pH por encima de 6 se forma el carbonato de plomo (PbCO_3). En soluciones con alto contenido de sulfuro precipita como sulfuro de plomo (PbS). Este compuesto es el sólido más estable en condiciones reductoras. En presencia de fosfatos puede formar fosfato de plomo estable.

En el agua el cadmio puede existir como ion hidratado o complejo con sustancias húmicas u otros componentes orgánicos. Puede precipitar por porción con minerales o materiales orgánicos, aunque puede redisolverse en condiciones ácidas. La presencia de cloruros y sulfatos puede generar la formación de complejos solubles. En ambientes reductores puede precipitar por reacción con sulfuros para formar CdS . La precipitación de CdS es un control efectivo de la movilidad siempre que se mantengan las condiciones reductoras.

En el caso de suelos contaminados, la mayoría del plomo suele estar muy retenida por el suelo (mediante intercambio iónico, precipitación, porción o complejación con materia orgánica). Esto reduce su movilidad hacia aguas superficiales o subterráneas. En suelos con alto contenido de materia orgánica y pH entre 6 y 8 el

plomo puede formar complejos orgánicos insolubles. Si tiene menor contenido orgánico al mismo pH, se pueden formar precipitados de carbonato, fosfato o complejos de óxidos hidratados. A pH entre 4 y 6 los complejos orgánicos se vuelven más solubles y pueden lixiviar.

La solubilidad del plomo en agua varía con el pH y con el contenido de sales disueltas. Al mismo pH se reduce con mayor contenido de sales.

Química del Mercurio. A los efectos de una correcta interpretación de los mecanismos de estabilización, es importante identificar el comportamiento ambiental de las especies más comunes en que se puede encontrar el mercurio en el universo de los residuos especiales. Las corrientes de residuos con mercurio asociado provienen de procesos en los que la utilización de agua o soluciones acuosas ricas en cloruros es frecuente (fabricación de soda cáustica y cloro, explotación de petróleo, etc).

Las variedades alotrópicas habitualmente presentes son las siguientes:

- **Mercurio Metálico (Hg^0):** no lixivia, se encuentra en partículas macroscópicas formando pequeñas inclusiones en los espacios intersticiales de las partículas de barro.
- **Mercurio Mercurioso (Hg_2^{2+}):** no lixivia, generalmente se encuentra en forma de sal insoluble en agua de cloruro mercurioso, Hg_2Cl_2 , calomel. En este estado puede coexistir en un equilibrio dinámico con el mercurio metálico.
- **Mercurio Mercúrico (Hg^{2+}):** es la única variedad que puede lixiviar. Se lo encuentra generalmente disuelto como cloruro, $HgCl_2$, formando parte de la humedad del barro.

Es también importante también interpretar las formas en que la humedad interactúa entre las partículas sólidas y el mercurio, originando uniones débiles factibles de interactuar si las condiciones lo favorecen. La humedad se encuentra asociada al residuo mediante uniones físicas o químicas, y su comportamiento termodinámico está influenciado por el sólido. Se divide en:

1. *Humedad intersticial:* el agua está ligada a la estructura de la partícula

por tensión superficial.

2. *Humedad superficial*: el agua está ligada a la superficie de las partículas por fuerzas de adsorción.
3. *Humedad químicamente ligada*: el agua está ligada a los sólidos mediante uniones químicas.

La capacidad de migración del mercurio desde la matriz que lo contiene está estrechamente ligada a la humedad.

4.1.1. Origen. A los efectos de una correcta interpretación de los mecanismos de estabilización, es importante identificar el comportamiento ambiental de las especies más comunes en que se pueden encontrar cromo, plomo, cadmio, mercurio en el universo de los residuos especiales.

Las corrientes de residuos con cromo asociado provienen generalmente de procesos de aleaciones, cromados en los que se utilizan soluciones ácidas aunque existen otros múltiples usos desde el curtido de cueros hasta en laboratorios analíticos.

Las corrientes de residuos con plomo asociado generalmente provienen de actividades relacionadas con las baterías (fabricación o reciclaje) con el fundido de distintos metales y con la fabricación de productos químicos y pigmentos. Aunque también existen otros usos menores. Las de cadmio por su parte, suelen estar asociadas a las gangas de sulfuro provenientes de la extracción minera de Pb/Cu y Zn, en particular de este último.

4.1.2. Características.

4.1.3. Análisis de laboratorio. Para este tipo de residuos antes de su tratamiento es importante realizar por lo menos los siguientes análisis de laboratorio:

- pH [para suspensiones]
- Humedad
- Aluminio
- Cadmio

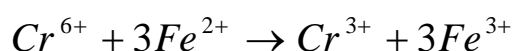
- Cinc
- Cobalto
- Cobre
- Cromo Hexavalente
- Cromo Total
- Estaño
- Manganeso
- Níquel
- Plomo
- Otro tipo de metales se conozca son utilizados dentro del proceso productivo
- Cianuros
- Análisis de lixiviación tipo TCLP y/o SPLP
- Ensayos de reactividad

4.1.4. Proceso

Reducción Química de cromo con Sulfato Ferroso . Las características químicas del cromo en su estado de valencia VI hacen que sea conveniente y más seguro realizar un paso de estabilización basado en la reducción del cromo VI a Cromo trivalente. Esta reducción puede llevarse a cabo con distintas sustancias entre las que se destacan: los iones ferroso, sulfuro y sulfhidrilos.

En nuestro caso la reducción se lleva a cabo utilizando sulfato ferroso. El agente reductor es el Fe(II), que se aplica en forma de solución acuosa de sulfato ferroso, Fe₂SO₄.

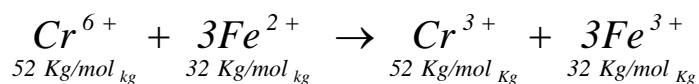
La reacción que tiene lugar entre el cromo (VI) y el ión ferroso, o sea la reacción de óxido reducción, es la siguiente:



El producto de la reacción es una forma de cromo trivalente. Como ya se mencionó, esta forma es menos tóxica y móvil que la hexavalente y puede volverse insoluble mediante la formación de hidróxidos durante la estabilización.

Un factor importante a tener en cuenta es el pH del medio en que se lleva a cabo la reacción. Ya que los valores ácidos de pH aceleran la velocidad de reacción.

Cálculo del requerimiento de agente reductor. Teniendo en cuenta la ecuación de reducción, se requiere de tres iones ferroso por cada ión de cromo a reducir:



Esto da una relación estequiométrica de 1,85Kg_{Fe³⁺}/Kg_{Cr⁶⁺}. Utilizando sulfato ferroso como dador de iones ferroso, FeSO₄, tendremos un requerimiento de 7,4 Kg_{FeSO₄}/Kg_{Cr⁶⁺}.

Dado que el sulfhidrato de sodio comercial no es anhidro, sino monohidratado, el requerimiento será de 8,41 Kg_{FeSO₄}/ Kg_{Cr⁶⁺}.

Asumiremos, para un cálculo conservador, que todo el cromo presente en los residuos está en su forma hexavalente y puede reducirse a Cr³⁺. Si un residuo posee una concentración "C" de cromo, expresada en mg_{Cr}/kg_{RESIDUO} (ppm), entonces los requerimientos de agente reductor serán de 8,41 X10⁻³ x C Kg_{FeSO₄}/ Tn_{RESIDUO}

Este valor representa la cantidad estequiométrica de sulfato ferroso comercial necesario para reducir todo el cromo presente en el residuo a tratar, asumiendo que la totalidad está en la forma hexavalente. Como factor de seguridad se considera un 25% de exceso para compensar las deficiencias inevitables de los métodos de mezclado a gran escala.

Finalmente los requerimientos serán de:

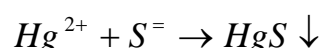
$$10,51 \times 10^{-3} \times C \times \text{Kg}_{\text{FeSO}_4} / \text{Tn}_{\text{RESIDUO}}$$

Por ejemplo, para estabilizar un lodo que contenga 1000 mg/kg (ppm) de cromo (lo que le confiere carácter de residuo especial) se requerirán:

$$\begin{aligned} 10,51 \times 10^{-3} \times 1000 \times \text{Kg}_{\text{FeSO}_4} / \text{Tn}_{\text{RESIDUO}} &= \\ &= 10,51 \text{ Kg}_{\text{FeSO}_4} / \text{Tn}_{\text{RESIDUO}} \end{aligned}$$

Estabilización Química de Mercurio con Sulfuro. El agente estabilizante utilizado es el ión sulfuro, $S^{=}$, el que se aplica en forma de solución acuosa de sulfhidrato de sodio, NaSH.

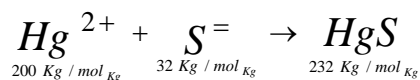
La reacción que tiene lugar entre el ión mercuríco y el ión sulfuro, o sea la reacción de estabilización, es la siguiente:



El producto de la reacción es el sulfuro mercuríco. Es un precipitado extremadamente insoluble ($K_{ps} \approx 10^{-56}$). No es disuelto por los ácidos, ni siquiera por el ácido nítrico concentrado caliente, que disuelve a la mayoría de los sulfuros. Por lo tanto, una vez formado el sulfuro, el mercurio no vuelve a liberarse. Este es el principio de la estabilización química con sulfuro.

Un factor importante a tener en cuenta es el pH del medio en que se lleva a cabo la estabilización. El medio debe ajustarse a un valor de alcalinidad de entre 8 y 10, para lo cual es óptima, económica, y práctica, la utilización de cal. La importancia del pH radica en que la lixiviación del mercurio se potencia con la acidez, por lo tanto mantener el pH alcalino minimiza este proceso.

Cálculo del requerimiento de agente estabilizante. Teniendo en cuenta la ecuación de estabilización, se requiere de un ión sulfuro por cada ión mercuríco a estabilizar:



Esto da una relación estequiométrica de $0,16 \text{ Kg } S^{=} / \text{Kg } Hg^{2+}$

Utilizando sulfhidrato de sodio como dador de iones sulfuro, NaSH, tendremos un requerimiento de $0,28 \text{ Kg } NaSH / \text{Kg } Hg^{2+}$.

Dado que el sulfhidrato de sodio comercial no es anhidro, sino al 70% en peso, el

requerimiento será de $0,40 \text{ Kg NaSH Comercial / Kg Hg}^{2+}$.

Asumiremos, para un cálculo conservador, que todo el mercurio presente en los residuos puede oxidarse a Hg^{2+} y lixiviar. Si un residuo posee una concentración "C" de mercurio, expresada en $\text{mg}_{\text{Hg}}/\text{kg}_{\text{RESIDUO}}$ (ppm), entonces los requerimientos de agente estabilizante serán de $4 \times 10^{-4} \times C \text{ Kg NaSH Comercial / Tn RESIDUO}$.

Este valor representa la cantidad estequiométrica de sulfhidrato de sodio comercial necesario para estabilizar todo el mercurio presente en el residuo (lodo particularmente), si este lixiviera. Como factor de seguridad se considera un 25% de exceso para compensar las deficiencias inevitables de los métodos de mezclado a gran escala.

Finalmente los requerimientos serán de:

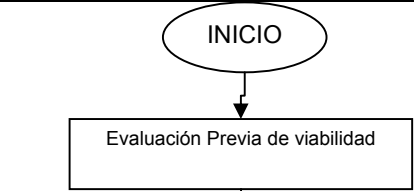
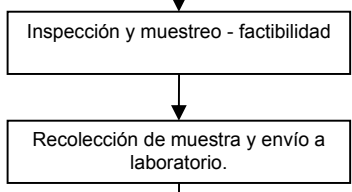
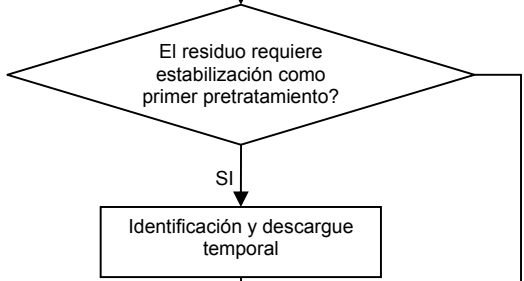
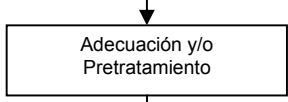
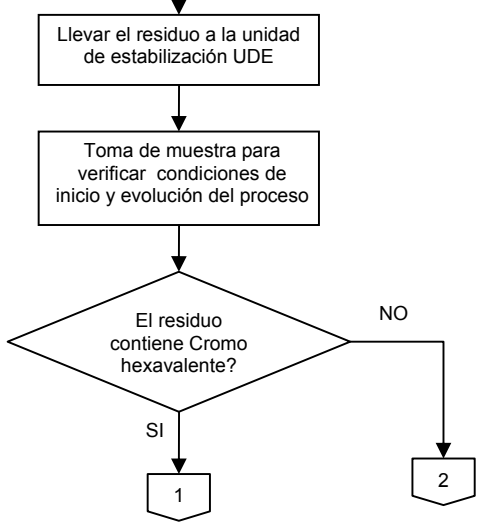
$$5 \times 10^{-4} \times C \times \text{Kg NaSH Comercial / Tn RESIDUO}$$

Por ejemplo, para estabilizar un lodo que contenga 1000 mg/kg (ppm) de mercurio (lo que le confiere carácter de residuo especial) se requerirán:

$$\begin{aligned} &5 \times 10^{-4} \times 1000 \times \text{Kg NaSH Comercial / Tn RESIDUO} = \\ &= 5 \times 10^{-1} \text{Kg NaSH Comercial / Tn RESIDUO} = \\ &= 0,5 \text{ Kg NaSH Comercial / Tn RESIDUO} \end{aligned}$$

4.2. EJECUCIÓN DE LA TÉCNICA - ETAPAS DE DESARROLLO

Ver diagrama de flujo a continuación:

	Actividad	Responsable	Observaciones
4.2.1		Director Técnico	
4.2.2		Director Operativo Coordinador de laboratorio	F-CO-01 Solicitud de Servicio
4.2.3		Director Operativo- Controladores	
4.2.4		Director Operativo- Controladores	
4.2.5		Coordinador de laboratorio	

	Actividad	Responsable	Observaciones
	<pre> graph TD 1[1] --> A[Mezclar con FeSO4] A --> B[Adicionar cal (30% en peso mín) y agua] B --> C[Control de pH] C --> D[Incorporar la mezcla en tambores plásticos] 2[2] --> E{El residuo contiene Mercurio?} E -- SI --> F[Mezclar con NaSH] F --> B E -- NO --> G{El residuo contiene Cadmio y/o Plomo?} G -- SI --> H[Adicionar cemento y agua] H --> I[P-ER-02 Macroencapsulamiento] G -- NO --> J[Disposición final en la celda de seguridad] D --> J J --> K[Trazabilidad] K --> L[Controles y Logística sobre los materiales] L --> M[P-DR-01 Recepción y Disposición de Residuos] </pre>	Director Operativo	F-DR-06 Programación de Recepción de Residuos
4.2.6	Disposición final en la celda de seguridad	Director Operativo	F-DR-06 Programación de Recepción de Residuos
4.2.7	Trazabilidad	Director Operativo, Director Técnico	
4.2.8	Controles y Logística sobre los materiales	Coordinador de laboratorio	
	P-DR-01 Recepción y Disposición de Residuos		

4.2.1. Evaluación Previa. Con anterioridad a la selección del método más adecuado, se inicia el proceso de evaluación de la factibilidad de tratamiento con base en las tecnologías disponibles.

Para dar cumplimiento a este proceso se requiere del generador la recopilación de toda la información disponible acerca del residuo: estado físico, datos de embalajes, condiciones de almacenamiento, descripción del proceso del cual se generan, volúmenes a tratar, datos adicionales que puedan ser aportados, caracterización y/o

ficha de seguridad disponible, etc; en el documento F-ER-07.

En caso que se considere relevante, Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. cuenta con una base de datos de los residuos aprobados con las denominadas Hojas de Seguridad para Compuestos Químicos (Material Safety Data Sheet), donde se dispone de amplia información sobre las características de cada producto registrado.

También es necesario, debido a la naturaleza de su aplicación, realizar una revisión de las características del sitio de operación: disponibilidad de servicios, infraestructura, accesos, posible influencia del clima en las operaciones, distancias a sitios poblados, etc. con el fin de realizar la operación en condiciones de estricta seguridad.

4.2.2. Inspección y Muestreo – Factibilidad. Se determinan las técnicas adecuadas de muestreo en función de las características de acopio del material de interés. Se toma una muestra representativa del residuo y se la envía al laboratorio de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P., se determinan sus características fisicoquímicas.

Teniendo en cuenta la confirmación analítica de las características del residuo se puede establecer, en función de las tecnologías autorizadas y la experiencia previa, el método más apropiado de pretratamiento y disposición final.

4.2.3. Identificación y Descargue temporal. Para los residuos que se encuentren en contenedores como cuñetes, bidones, tambores, bolsas plásticas del tipo big bags, etc, se utiliza para su identificación un autoadhesivo con la figura universal del diamante NFPA indicando su riesgo de inflamabilidad, reactividad, toxicidad y demás riesgos especiales. La etiqueta utilizada se presenta en el Anexo I.

Además se agrega la información correspondiente a:

- Nombre del Generador
- Nombre del Residuo
- Estado Físico

- Fecha de envío
- Característica de peligrosidad

El lugar de descargue temporal In Situ cuenta con características de impermeabilidad y ventilación requeridas.

4.2.4. Adecuación y/o pretratamiento. Dependiendo de las características del residuo y de la situación en particular, el mismo puede necesitar de una adecuación previa como solidificación o tamizado (Ver procedimiento de solidificación P-ER-04). Por ejemplo, para suelos contaminados es generalmente necesaria la segregación por tamaño de partículas, remoción de elementos extraños, etc.

4.2.5. Unidad de estabilización. Preliminar al tratamiento del residuo en la unidad de estabilización, se realiza un muestreo para determinar la principal condición de control en el residuo que se va a disponer. Si el residuo contiene Cadmio, Plomo, Cromo o Mercurio, se deberá establecer cuál de estos metales debe controlarse por prioridad.

* Si el residuo contiene principalmente cromo hexavalente, dentro de la unidad de estabilización se procederá a multiplicar la concentración de cromo por 10.51×10^{-3} Kg de sulfato ferroso comercial (FeSO_4) para obtener la cantidad de sulfato a aplicar por cada tonelada de residuo a tratar. De esta manera se reduce el cromo presente en forma hexavalente a cromo trivalente.

Se agregan porciones acotadas del residuo a tratar dentro de la tolva y se agrega la solución de sulfhidrato de sodio. Se comienza a mezclar con la retroexcavadora buscando remover todo el volumen de material para lograr un contacto íntimo entre el residuo y el sulfato ferroso. El tiempo de mezclado dependerá de las características del residuo y la facilidad para lograr homogeneidad en la mezcla.

Se procede a añadir al residuo estabilizado químicamente la cantidad adecuada de cal cálcica magnesiana y agua, y a mezclar con retroexcavadora hasta lograr una

consistencia similar a la de un mortero de hormigón. Mediante este procedimiento, se logra la reacción de precipitación del Cromo (III) obtenido en el pretratamiento debido al incremento del pH, coprecipitando también con el hierro presente y, posteriormente, se produce la hidratación y consecuente solidificación del mortero, mecanismo por el cual se logra la fijación del contaminante al quedar retenido dentro de la estructura cristalina del sólido. De esta forma se logra casi simultáneamente la estabilización química y mecánica del residuo.

Esta doble acción se ve favorecida por la utilización como agente estabilizante de cal cálcica magnesiana rica en hidróxidos.

La mezcla, una vez curada, obtiene valores de resistencia mecánica superior a 6 Kg/cm², que triplican los requeridos para disposición final en un relleno de seguridad correctamente operado.

La cantidad de cal a utilizar dependerá de las características del residuo a tratar. La experiencia acumulada indica que el porcentaje en peso mínimo a agregar es de alrededor del 30%.

Una vez obtenido el mortero (barro, agua, residuo con cromo (III) y cal), se procede a extraer una muestra representativa del Batch para analizar mercurio lixiviable de acuerdo a normas EPA SW846.

Previo al curado, se vuelca la mezcla dentro de tambores de polietileno de alta densidad, a los que se les aplica vibración para garantizar la continuidad del material dentro del tambor evitando las burbujas de aire que ocasionarían puntos débiles. Una vez completo, cada tambor se deja abierto para permitir el curado de la mezcla. Este proceso puede demorar entre 24 y 72 horas. Por último, una vez curado, el tambor se cierra mediante tapa de polietileno a rosca, evitando de esta manera sunchos o partes metálicas que pudieran corroerse con el tiempo.

En este tipo de macrocápsula se conjugan dos factores: la resistencia mecánica provocada por la mezcla ubicada en el interior del tambor que lo protege del

colapso, y la característica impermeable e inalterable del polietileno al cromo, a sus compuestos, y al medio en que esté dispuesto o a las inclemencias climáticas.

- Si el residuo contiene principalmente mercurio, dentro de la unidad de estabilización se procederá a multiplicar la concentración de mercurio por $5e-4$ Kg de sulfhidrato de sodio comercial (NaHS) para obtener la cantidad de sulfhidrato a aplicar por cada tonelada de residuo a tratar. El pH deberá controlarse para manejar un rango entre 8 y 10 para evitar la lixiviación del mercurio debido a la acidez.

Se agregan porciones acotadas del residuo a tratar dentro del roll-off y se agrega la solución de sulfhidrato de sodio. Se comienza a mezclar con la retroexcavadora buscando remover todo el volumen de material para lograr un contacto íntimo entre el residuo y el sulfhidrato de sodio. El tiempo de mezclado dependerá de las características del residuo y la facilidad para lograr homogeneidad en la mezcla.



Se procede a añadir al residuo estabilizado químicamente la cantidad adecuada de cal cálcica magnesiana y agua, y a mezclar con retroexcavadora hasta lograr una consistencia similar a la de un mortero de hormigón. La operación es similar al caso anterior, siendo relevante lograr una adecuada homogeneidad en la mezcla a los fines de evitar porciones de mortero con demasiada agua o dejando cal sin posibilidades de reaccionar.

Complementariamente, al utilizar como agente estabilizante cal cálcica magnesiana rica en hidróxidos, se favorece la captación de iones metálicos que

eventualmente pudieran liberarse.

Una vez mezclado se procede a extraer una muestra representativa del Batch para analizar mercurio lixiviable de acuerdo a normas EPA SW846.

- Si el residuo contiene principalmente plomo y/o cadmio es decir, mayoritariamente uno o ambos metales, el mecanismo predominante para la inmovilización es la formación de hidróxidos insolubles (Pb) o carbonatos (Cd). Sin embargo, si el pH no se controla correctamente, el plomo puede lixiviarse y solubilizarse en condiciones suavemente ácidas. Al mismo tiempo a pH por encima de 10 el Pb tiende a redisolverse como $Pb(OH)_3^-$.

Se procede a añadir al residuo la cantidad adecuada de cemento y agua y a mezclar con retroexcavadora hasta lograr una consistencia de sólido granular homogéneo. El ascenso del pH genera la precipitación del Pb (II) y del Cd(II) en forma de hidróxidos, los que se incorporarán a la estructura cristalina de la cemento fraguado. La operación de mezcla, es relevante lograr una adecuada homogeneidad en la mezcla a los fines de evitar partes del residuo con demasiada agua o dejando cemento sin posibilidades de reaccionar.

Una vez concluida la operación, se procede a extraer una muestra representativa del batch para analizar plomo y cadmio lixiviables de acuerdo a Normas EPA SW846. La actividad a seguir consiste en aplicar el procedimiento P-ER-02 Macroencapsulamiento.

4.2.6. Disposición final en celdas de seguridad. La disposición final de estos materiales estabilizados se realiza en celdas de seguridad previamente asignadas, únicamente cuando los ensayos de laboratorio de verificación hayan sido protocolizados y debidamente registrados. Si después de la estabilización existe otro pretratamiento asignado como el encapsulamiento, se procederá a aplicar este último antes de la disposición final en celdas de seguridad. Siempre se aplicará material de cobertura y se realizará compactación sobre los residuos dispuestos y cubiertos.

4.2.7. Trazabilidad. La empresa entrega un Certificado de Disposición Final indicando el nombre del generador, el tipo de material dispuesto, la fecha de

recibo y la celda de destino del material confinado.

Durante este pretratamiento de residuos se generan los siguientes documentos:

- Registro de control del material recepcionado.
- Protocolo Analítico del Residuo pretratado.
- Certificado de Disposición Final en Celda de Seguridad.

Mediante la documentación arriba mencionada más datos complementarios del proceso, cada residuo tratado In Situ es registrado en el formato denominado "Información contenido de celdas F-ER-02" generando de esta manera un documento que permite el seguimiento de cada residuo desde la salida en las instalaciones del generador hasta su disposición final en la celda destino.

4.2.8. Controles y Logística sobre los materiales. Para garantizar la calidad de todo el proceso se adquieren para los análisis de laboratorio y como agentes estabilizantes, materiales de calidad certificada.

Se lleva a cabo una logística de ingresos para los materiales a incorporar al residuo o aquellos que hacen parte de la dotación de laboratorio con el fin de minimizar los tiempos de almacenamiento, evitando de esta manera la posibilidad de degradación del material y la subsiguiente alteración de los parámetros analizados.

4.3. PARÁMETROS DE CONTROL

Para este procedimiento, el parámetro de control más importante es la homogeneidad de la mezcla la cual a su vez permite ir controlando el pH en caso de requerirse. Al tener una mezcla homogénea se garantiza que la matriz funcione en su objeto de estabilizar el residuo en su totalidad y así se brinde la seguridad requerida y una adecuada disposición final de residuos en las celdas de seguridad.

4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

4.4.1. Ventajas de esta alternativa. Bajos costos, poca sensibilidad del proceso

frente a variaciones fisicoquímicas de los lodos, gran eficiencia en insolubilización de los metales de interés, bajo consumo energético y mano de obra no muy calificada.

4.4.2. Desventajas de esta alternativa. Necesidad de insumos químicos, dependencia de equipo mecánico.

4.5. MONITOREO DEL AMBIENTE LABORAL - EQUIPOS DE SEGURIDAD

Monitoreos Ocupacionales y de Ambiente Laboral: se realizan en el área de operación del Relleno Sanitario de Seguridad y consisten en:

- *Estudio de Calidad del Aire y Ruido:* busca identificar las condiciones ambientales relacionadas con la cantidad de partículas suspendidas totales y ruido, generados y presentes en el área de influencia directa del proyecto que puedan llegar a afectar la salud respiratoria y auditiva de los trabajadores.
- *Espirometría:* busca identificar la presencia de material particulado que pueda afectar las vías respiratorias de los trabajadores.
- *Audiometría:* determina posibles afectaciones auditivas en los trabajadores del relleno debido al funcionamiento de maquinaria y equipos menores utilizados en actividades operativas cercanas a los puestos de trabajo.

Las espirometrías y audiometría hacen parte del Subprograma de Medicina Preventiva y del Trabajo del Programa de Salud Ocupacional de Rellenos de Colombia S.A. E.S.P. y son realizadas dentro de los exámenes de ingreso, periódicos y egreso, efectuados a los trabajadores expuestos a riesgos por material particulado y ruido en el área operativa del relleno sanitario.

Controles Ocupacionales y de Ambiente Laboral: con el fin de controlar las afectaciones hacia la salud y el ambiente generadas por factores de riesgos de ruido

y material particulado, en el área operativa se llevan a cabo de acuerdo al panorama de riesgos, los siguientes controles:

RIESGO	FACTOR DE RIESGO	SISTEMAS DE CONTROL		
		FUENTE	MEDIO	TRABAJADOR (ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL)
Físico	Ruido	Mantenimiento de maquinaria y equipos menores. Uso pausado		Protectores auditivos de inserción y tipo copa
Químico	Material particulado, gases y vapores	Humectación de vías y áreas de trabajo. Mantenimiento y Sincronización Maquinaria y equipos menores	No aplican puesto que las actividades se realizan al aire libre, minimizando la concentración y niveles de estos factores de riesgo	Durante el descargue de lodos: Respiradores Media Cara Survivair NIOSH B220000 con cartuchos multi-propósito 100844 y prefiltros contra polvos 106044. Durante el retiro de los lodos secos, respirador de libre mantenimiento M2700N95 PASS MOLDEX

5. FORMATOS RELACIONADOS

F-ER-02 Información contenido de celdas.

6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

ANEXO 1 Etiqueta de identificación de residuos

7. CAMBIOS RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR

No aplica.