

ESTRATEGIAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE CELDAS DE SEGURIDAD  
AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES

JULIO CESAR GUTIÉRREZ GAVIRIA

LINA MARÍA LONDOÑO BENÍTEZ

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA LASALLISTA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y  
PELIGROSOS  
CALDAS (ANTIOQUIA)  
2012

ESTRATEGIAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE CELDAS DE SEGURIDAD  
AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES

JULIO CESAR GUTIÉRREZ GAVIRIA

LINA MARÍA LONDOÑO BENÍTEZ

Monografía para acceder al grado de especialista  
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

Asesor

CARLOS ARTURO ÁLVAREZ MONSALVE

Ingeniero químico con posgrado en gestión de residuos industriales peligrosos

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA LASALLSITA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y  
PELIGROSOS  
CALDAS (ANTIOQUIA)  
2012

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	10
JUSTIFICACIÓN.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. MARCO TEÓRICO .....	13
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1 ANÁLISIS DE LAS NORMAS INTERNACIONALES.....	19
4.2 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO .....	19
4.3 ANÁLISIS DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN.....	19
5. NORMATIVA APLICABLE .....	20
6. DESCRIPCIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD.....	23
6.1 ESTUDIOS PREVIOS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA CELDA O RELLENO DE SEGURIDAD .....	23
6.2 REVISIÓN DEL DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS DAA. RESOLUCIÓN 1291 DE 2006 .....	23
6.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EIA. RESOLUCIÓN 1274 DE 2006.....	25
6.4 DISEÑOS TÉCNICOS DETALLADOS RAS 2000 .....	26
6.4.1 Solicitud de licencia ambiental. Decreto 2820 DE 2010.....	27
6.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	28
6.5.1 Criterios a considerar en la de selección del sitio .....	28
6.5.2 Poblaciones aledañas.....	28
6.5.3 Geología del terreno y zonas de riesgo .....	29
6.5.4 Aguas subterráneas y superficiales .....	30
6.5.5 Condiciones climáticas.....	32
6.5.6 Ecosistemas sensibles.....	33
6.5.7 Usos del suelo .....	33
6.5.8 Metodología para la selección del sitio .....	34
6.5.9 Metodología de Lista de chequeo .....	35
6.5.10 Metodología de superposición de escenarios.....	37
6.5.11 Componentes del sistema de gestión.....	37
6.5.12 Referencias de selección de sitio y criterios de diseño internacionales .....	39

7.	BASES DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO.....	40
7.1	CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD DE LOS RESIDUOS.....	40
7.1.1	Residuo corrosivo .....	40
7.1.2	Residuo reactivo .....	41
7.1.3	Residuo explosivo.....	41
7.1.4	Residuo inflamable .....	42
7.1.5	Residuo infeccioso:.....	43
7.1.6	Residuo tóxico .....	44
7.2	COMPATIBILIDAD DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	45
7.3	RESIDUOS A DISPONER EN LA CELDA DE SEGURIDAD.....	50
7.4	TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS .....	53
7.4.1	Tratamientos físico-químicos .....	53
7.4.2	Estabilización – solidificación.....	54
7.4.3	Tratamientos biológicos .....	55
7.4.4	Tratamientos térmicos .....	56
8.	CRITERIOS Y CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y OPERACIÓN ....	58
8.1	MÉTODO DE DISPOSICIÓN.....	58
8.2	RESIDUOS PELIGROSOS QUE SE PUEDEN DISPONER EN UNA CELDA O RELLENO DE SEGURIDAD .....	60
8.2.1	Admisiones en la celda o relleno de seguridad.....	60
8.3	CRITERIOS DE ADMISIÓN PARA RESIDUOS PELIGROSOS.....	61
8.3.1	Residuos no admisibles en la celda o relleno de seguridad.....	61
8.3.2	Residuos admisibles en la celda o relleno de seguridad .....	61
8.3.3	Restricciones de aceptación .....	61
8.4	MÉTODOS DE DESACTIVACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS .....	63
8.5	IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD.....	63
8.6	COBERTURAS .....	64
8.7	MANEJO TÉCNICO DE AGUAS .....	66
8.8	MANEJO TÉCNICO DE LIXIVIADOS .....	67
8.8.1	Prueba de compatibilidad de los componentes.....	67
8.8.2	Tuberías.....	67
8.8.3	Compatibilidad de los residuos .....	68
8.8.4	Materiales de drenaje natural.....	68
8.9	MANEJO TÉCNICO DE GASES.....	68
8.10	INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.....	69
8.11	OPERACIÓN TÉCNICA DE LA CELDA O RELLENO DE SEGURIDAD .....	69
8.11.1	Operación técnica de la celda o relleno de seguridad .....	69
8.12	DISPOSICIÓN FINAL .....	73
8.13	TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS .....	75
8.14	TRATAMIENTO DE BIOGÁS.....	77
8.15	MONITOREOS Y REGISTROS .....	77
8.16	ÁREAS DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL.....	78

8.17	INFRAESTRUCTURA DE APOYO PARA LA OPERACIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD.....	79
8.18	INFORMES TÉCNICOS AMBIENTALES.....	81
8.18.1	Etapa de cierre, clausura y posclausura .....	82
9.	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL .....	84
9.1	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD.....	84
9.2	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO EN LA OPERACIÓN TÉCNICA CELDA DE SEGURIDAD.....	84
9.3	PROGRAMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES ....	84
9.3.1	Emisiones gaseosas .....	85
9.3.2	Vertimientos .....	85
9.3.3	Aguas superficiales y subterráneas .....	85
9.3.4	Suelos .....	85
9.4	PROGRAMA DE MANEJO DE CONTINGENCIAS Y EMERGENCIAS .....	86
9.5	PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	87
9.6	PROGRAMA DE CIERRE, CLAUSURA Y POSCLAUSURA.....	87
9.6.1	Primer período (desde la clausura hasta cinco años después).....	87
9.6.2	Segundo período del sexto año al quinceavo .....	88
9.6.3	Tercer período del año dieciseisavo al treintavo.....	88
9.7	PROGRAMA DE CONTROL DE VECTORES.....	89
9.8	PROGRAMA DE ESTABILIDAD GEOTÉCNICA .....	89
9.9	PROGRAMA DE CAPACITACIÓN .....	90
9.10	PROGRAMA SOCIO AMBIENTAL .....	90
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	93

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. RECOPIACIÓN NORMATIVA APLICABLE .....	20
Tabla 2. NIVELES DE VULNERABILIDAD ASOCIADOS A LA METODOLOGÍA GOD .....	32
Tabla 3. RESUMEN DE LOS CRITERIOS MÍNIMOS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO .....	35
Tabla 4. MODELO LISTA DE CHEQUEO PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO	36
Tabla 5. MATRIZ DE INCOMPATIBILIDADES, RAS 200, TITULO F, ANEXO (F.5).....	46
Tabla 6. CÓDIGOS DE REACCIONES DE INCOMPATIBILIDAD, RAS 200, TITULO F, ANEXO (F.5).....	48
Tabla 7. LISTADO DE RESIDUOS PELIGROSOS A DISPONER EN LA CELDA, GUÍA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD PARA AMÉRICA LATINA. ....	50
Tabla 8. VALORES LIMITES PRUEBA DE LIXIVIACIÓN, DIRECTIVA UNIÓN EUROPEA.....	62
Tabla 9. PARÁMETROS DE ESTABILIDAD Y RESITENCIA.....	63
Tabla 10. PARÁMETROS A MONITOREAR Y FRECUENCIA DE LOS MISMOS PRIMER PERIODO .....	87
Tabla 11. PARÁMETROS A MONITOREAR Y FRECUENCIA DE LOS MISMOS SEGUNDO PERIODO.....	88
Tabla 12. PARÁMETROS A MONITOREAR Y FRECUENCIA DE LOS MISMOS TERCER PERIODO .....	88

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. PICTOGRAMA DE SUSTANCIA CORROSIVA .....	40
Figura 2. PICTOGRAMA, SUSTANCIA COMBURENTE .....	41
Figura 3. PICTOGRAMA, MATERIAL EXPLOSIVO.....	42
Figura 4. PICTOGRAMA, SUSTANCIAS INFLAMABLES .....	43
Figura 5. PICTOGRAMA, SUSTANCIAS NOCIVA E INFECCIOSA .....	44
Figura 6. PICTOGRAMA, SUSTANCIA TOXICA .....	45
Figura 7. METODO DE DISPOSICIÓN DE ZANJA O TRINCHER, GUÍA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD EN AMÉRICA LATINA. LIVIA BENAVIDES, CEPIS - GTZ, 1997 .....	59
Figura 8. ESQUEMA RESUMEN DE PRUEBAS DE CONFORMIDAD .....	71
Figura 9. PROCEDIMIENTO DE ADMISIÓN PROPUESTO PARA LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN CELDA O RELLENOS DE SEGURIDAD .....	76

## RESUMEN

Este trabajo busca por medio de una revisión monográfica, identificar estrategias para el diseño, la construcción, la operación, el cierre, clausura y posclausura de celdas de seguridad ambientalmente sostenibles, buscando tener en cuenta la mayor cantidad de aspectos para evitar pasivos ambientales, y que sirva como herramienta para un posible desarrollo normativo para este tipo de infraestructura en Colombia. Adicionalmente puede ser un buen material de consulta para este tipo de emplazamiento para residuos con características de peligrosidad.

En el desarrollo del mismo pudimos concluir que la normativa en Colombia para el tema de residuos peligrosos está parcialmente desarrollada, si bien es cierto que tenemos políticas y decretos que reglamentan los residuos peligrosos, carecemos de normativas que regulen específicamente el tema de diseño, construcción, operación, cierre, clausura y posclausura para celdas de seguridad, ya que en la actualidad no existen herramientas claras que permitan identificar sitios para el emplazamiento de este tipo de estructuras, ni criterios técnicos homologados para el diseño y construcción de estos. Adicionalmente dentro de los documentos indagados elaborados recientemente en este tema, puntualmente el documento de los andes, se identificó que como propuesta metodológica aún tiene vacíos en temas específicos claves para el desarrollo ambientalmente sostenible de una celda de seguridad, específicamente en el tema de diseño, construcción y especialmente en la operación, la que abarcaría el tratamiento y la disposición final. Observamos que a nivel internacional existe literatura muy antigua para este tema, entendemos que este tipo de tecnologías serían la última opción dentro de la cadena de disposición final para residuos peligrosos, pero también analizamos que en algún momento es necesaria para países en vía de desarrollo como el nuestro. En este tipo de proyectos es importante incluir actividades de gestión socio-ambiental que permitan transparencia desde que se concibe la idea hasta su cierre, clausura y posclausura. Con el objetivo de evitar malas experiencias como las que se han tenido en Colombia con el tema de rellenos sanitarios. Consideramos entonces que este tipo de proyectos por su complejidad deben ser operados por empresas privadas, o en su defecto una empresa de economía mixta con el estado, para garantizar el éxito en la operación. Dado que este tipo de proyectos requieren de personal altamente capacitado y el cambio de administraciones no garantizan continuidad. Las experiencias evaluadas en Colombia como lo es RELLENOS DE COLOMBIA, el relleno de barraquilla y el guacal, observamos diferencias muy significativas, desde su ubicación hasta su operación, lo cual evidencia una vez más la carencia de criterios unificados para la toma de decisiones en este tipo de proyectos. Con esto queda claro la necesidad de desarrollar una normativa específica para este tipo de proyectos, en la que se contemplen los parámetros necesarios evitando impactos ambientales negativos significativos y así disminuir pasivos ambientales junto con actividades de remediación o compensación ambiental

## ABSTRACT

This work looks through a monographic review, for identify strategies the design, construction, operation, closure, closure and post-closure security cells are environmentally sound, consider looking for as many ways to avoid environmental liabilities, and serve as a possible tool for policy development for this type of infrastructure in Colombia. This work can be a good reference material for this type of site for waste with hazardous characteristics.

In its development we concluded that the legislation in Colombia to the issue of hazardous waste is partially developed, although we have policies and decrees regulating hazardous waste, lack of regulations specifically governing the issue of design, construction, operation, closure, closure and post-closure for security cells, since at present there are no clear tools for identifying sites for the location of such structures or approved technical criteria for design and construction of these. Additionally within documents produced recently investigated this topic, the document of the Andes, which was identified as a methodological proposal still has gaps in key specific issues for environmentally sustainable development of a safety cell, specifically in the design theme, especially in construction and operation, which would cover the treatment and disposal. We note that internationally there is very old literature on this subject, we understand that these technologies would be the last option in the chain of disposal for hazardous waste, but also analyze that at some time is needed for developing countries as ours. In this type of project is important to include activities of socio-environmental management enabling transparency since the idea is conceived until its closure, closure and post-closure. In order to avoid bad experiences such as those in Colombia have been the subject of landfills. We believe then that this type of project because of its complexity must be operated by private companies, or else a mixed economy company with the state to ensure successful operation. Since these projects require highly trained personnel and the change in administrations does not guarantee continuity. The experiences evaluated in Colombia, for example RELLENOS COLOMBIA, Barranquilla and the Guacal, we observed very significant differences from its location to its operation, which is further evidence of the lack of unified criteria for decision-making in this type of project. It is clear from the need to develop specific rules for such projects, which provide for the necessary parameters to avoid significant negative environmental impacts and thus reduce environmental liabilities in conjunction with remediation activities or environmental compensation

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo realiza un estudio que ha permitido identificar estrategias para el emplazamiento de residuos peligrosos, teniendo en cuenta el diseño la construcción, la operación, el cierre, la clausura y la posclausura que permita contar con celdas de seguridad que sean ambientalmente sostenibles ya que actualmente se tienen diferentes experiencias en Colombia con celdas de seguridad, pero estas no tienen en cuenta varios de los factores que puedan generar pasivos ambientales.

Adicionalmente representa una herramienta de gestión que permitirá a las autoridades ambientales y a la comunidad en general, realizar la evaluación de este tipo de proyectos de infraestructura en sus diferentes fases de desarrollo, siendo enfáticos en el componente ambiental. De esta manera, es posible minimizar a futuro la posible generación de pasivos ambientales y con ello la necesidad de implementar procesos de remediación o el desarrollo de actividades de mitigación y compensación en la comunidad.

Con el manejo de la información compilada, se analiza la disponibilidad o ausencia de la misma y los requerimientos de tipo general y particular que son necesarios para realizar la evaluación y análisis ambiental para este tipo de emplazamiento.

Con esta herramienta se puede realizar una adecuada gestión de riesgos y una minimización de impactos al tener en cuenta diferentes factores a los de un relleno sanitario ya que las condiciones de amenaza son mayores cuando se habla de un emplazamiento para residuos peligrosos.

## JUSTIFICACIÓN

El marco normativo específico aplicable para la infraestructura de las celdas de seguridad se encuentra parcialmente desarrollado en el país, lo cual conlleva a no tener una unidad de materia en lo que es la evaluación de los proyectos que se presentan ante las autoridades ambientales en el marco del licenciamiento ambiental recurrido, teniendo en cuenta la importante generación de residuos peligrosos a nivel industrial que se genera anualmente en el país. A esto se suma la ausencia de una metodología estandarizada y válida para el desarrollo de las diferentes etapas conceptuales de estos proyectos, teniendo como consecuencia la aplicación de criterios subjetivos por parte del equipo evaluador y teniendo diferencias entre jurisdicciones territoriales, tanto por los criterios de diseño aplicados como los alcances de gestión definidos para el sistema (tipo y cantidad de residuos a disponerse).

Esta herramienta ofrece los de criterios técnicos, ambientales, económicos y antropológicos de evaluación así como de seguimiento y control, lo cual debe conllevar a la minimización de los impactos ambientales

Por lo tanto se busca identificar cuáles son los elementos significativos que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la celda y así identificar estrategias adecuadas luego de realizar una revisión global de algunas normas que regulan el tema, para el diseño, construcción, operación, cierre, clausura y posclausura de una celda de seguridad que no presente impactos ambientales negativos significativos y así presentar una propuesta para Colombia, que sirva como material de consulta y como herramienta para ejecutar un proyecto de rellenos de seguridad

Todo lo anterior debe permitir un posible ajuste o desarrollo normativo para la implementación de este tipo de infraestructura, la cual guarde homogeneidad y sea consistente con el marco normativo asociado al tema.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestro entorno actual faltan normas que direccionen el diseño, la construcción, la operación, el cierre, la clausura y la posclausura de celdas de seguridad para residuos con características de peligrosidad, de ahora en adelante denominados residuos peligrosos, en condiciones ambientalmente sostenibles. Entendiéndose por desarrollo sostenible el satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.<sup>1</sup>,

La industrialización obliga a tener una disposición final adecuada de residuos peligrosos, entendiéndose por residuo peligroso aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente

Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso: los envases, los empaques y los embalajes que hayan estado en contacto con ellos. Por lo anterior se busca garantizar que en el proceso de tratamiento y disposición final no se generen mayores impactos al ambiente y se busca plantear estrategias desde el punto de vista técnico y ambientalmente sostenible, por lo anterior se realizará una revisión de varias normas internacionales que existen en este tema en países como Alemania, Estados Unidos de América, México, Brasil, Uruguay, Chile, Argentina y España.

---

<sup>1</sup> (Comisión del Desarrollo y Medio Ambiente citado en Ramírez et al, 2004: 55). (Comisión Brundtland): Nuestro Futuro Común

## 2. MARCO TEÓRICO

Actualmente, los residuos peligrosos son considerados como fuente de riesgo para el ambiente y la salud. Estos residuos generados a partir de actividades industriales, agrícolas, de servicios y aún de las actividades domésticas, constituyen un tema ambiental de especial importancia en razón de su volumen y de su cantidad cada vez creciente como consecuencia del proceso de desarrollo económico. Su problemática se asocia a diversas causas como por ejemplo, la presencia de impurezas de los materiales, la baja tecnología de proceso, las deficiencias de las prácticas operacionales o las características de los productos y sustancias al final de su vida útil, entre otras. Los casos que generan la mayor preocupación social se derivan de los efectos evidenciados sobre la salud y el ambiente, resultantes de una disposición inadecuada de este tipo de residuos.

El problema tiende a ser especialmente grave en los países en desarrollo; la tendencia normal en estos casos ha sido el aplazamiento de las decisiones sobre el establecimiento de políticas y normas sobre el tema así como la dificultad de contar con instalaciones adecuadas para el manejo de este tipo de residuos, produciendo aumentos inmediatos en los niveles de contaminación del recurso agua, suelo, aire y los alimentos. Otro problema importante, es la presencia de abandonos o enterramientos de residuos o desechos peligrosos, algunos no identificables, que constituyen una preocupación para el sector ambiental y para las comunidades ubicadas en el área de influencia de tales depósitos, en razón a que varios de ellos ya han generado, ciertas manifestaciones de amenaza a la población y a los recursos naturales.

Aunque se proponen numerosas soluciones para mejorar la gestión de los residuos<sup>2</sup>, y residuos peligrosos<sup>3</sup> actualmente se estima que la mejor opción de gestión es producir menos residuos adoptando métodos de producción más limpia de tal forma que se prevenga y minimicen la generación de los residuos en la medida que sea posible. No obstante, entendiéndose que pese a la adopción de medidas de prevención y minimización, no será posible evitar totalmente la generación residuos o desechos peligrosos, se privilegia la gestión de los mismos orientada en lo posible al reciclaje, recuperación o aprovechamiento. Solo cuando las posibilidades anteriores hayan sido agotadas, se procede a considerar el tratamiento y disposición de los residuos peligrosos, mediante opciones que comprendan métodos seguros.

Colombia por su parte, no es ajena a la problemática de los residuos peligrosos, la cual se ve enfatizada por ser un país con una economía en crecimiento, un sector

---

<sup>2</sup> TCHOBANOGLOUS, George et al. Gestión Integral de Residuos Volúmenes 1 y 2. Mac Graw-Hill, 1996.

<sup>3</sup> LAGREGA D. Michael, BUCKINGHAM L. Philip, EVANS C. Jeffrey. Gestión de Residuos Tóxicos tratamiento, eliminación y recuperación de suelos Volúmenes 1 y 2. Mac Graw-Hill, 1996.

manufacturero conformado en su mayoría por Mi pymes, una tradicional vocación agrícola y la existencia de un alto índice de informalidad en el área comercial, con escasas capacidades técnicas y recurso humano para el manejo de estos residuos. El conocimiento de la problemática se encuentra en construcción, sin embargo, se considera que los propósitos para solucionar la problemática ocasionada por los residuos o desechos peligrosos<sup>4</sup> no pueden aplazarse, so pretexto de la realización de estudios y obtención de mejores cifras. Por lo tanto, el planteamiento de la política de residuos peligrosos con la que contamos en Colombia, obedece a una estrategia que pretende la búsqueda de espacios de trabajo alrededor de los diferentes enfoques con responsables e instrumentos que permitan ir construyendo el contexto de la problemática pero simultáneamente ir avanzando en su solución”.

La experiencia ha demostrado que para lograr un manejo adecuado de los residuos peligrosos, es necesaria una infraestructura que facilite tomar las acciones necesarias. Se entiende que una adecuada gestión es aquella que contempla procesos como: generación, manipulación, acondicionamiento, almacenamiento, transporte, acopio, tratamiento y/o disposición final, todo ello sin causar impactos negativos ni al ambiente ni a la salud humana.

Los casos que generan la mayor preocupación social se derivan de los efectos evidenciados sobre la salud y el ambiente, resultantes de una disposición inadecuada de este tipo de residuos, entendiéndose por disposición final de residuos sólidos peligrosos el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.<sup>5</sup>

En nuestro país, no existe un marco normativo que regule a los residuos peligrosos en su conjunto, existiendo una serie de normativas y convenios internacionales de distinto tipo que regulan algunos de tipos de residuos peligrosos.

La gestión integral de los residuos peligrosos no contaba con respaldo normativo en Colombia hasta la aprobación de la Decreto 4741 de Diciembre 30 de 2005<sup>6</sup>, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

Todos los actores involucrados en la gestión de residuos peligrosos deben propender una gestión orientada hacia la prevención de la contaminación a través

---

<sup>4</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Decreto 4741, 30 de Diciembre, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá D.C., 2005. Pág. 7

<sup>5</sup> Ibid. p. 2

<sup>6</sup> Ibid

de la reducción en la fuente. De ser evitable la generación de residuos peligrosos, dichos actores deben propender un aprovechamiento de los residuos (bien sea por medio de la reutilización o el reciclaje), teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos. Si el aprovechamiento no es viable teniendo en cuenta dichos criterios, se debe optar por el tratamiento. Como última opción debe considerarse la disposición final de los residuos peligrosos en un relleno de seguridad<sup>7</sup>.

Para el emplazamiento de un relleno o celda de seguridad sanitario en nuestro país se debe cumplir con un Estudio de Impacto ambiental (EIA) que tiene en cuenta aspectos ambientales, sociales, políticos, técnicos entre otros para la obtención de la licencia ambiental, que se entiende como la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de una obra o actividad, sujeta al cumplimiento por el beneficiario de la licencia de los requisitos que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales de la obra o actividad autorizada, las cuales serán otorgadas por el hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo sostenible<sup>8</sup>, las Corporaciones Autónomas Regionales y algunos municipios y distritos, de conformidad con lo previsto en el Decreto 2820 de 2010<sup>9</sup>.

Sin embargo, se debe tener presente que el hecho de que un proyecto o actividad altere, significativamente el ambiente, no significa que no sea viable, ya que la viabilidad no se mide por la generación de impactos positivos o negativos sino por la capacidad del ambiente de recuperarse ya sea por medios naturales o artificiales y de los promotores de los proyectos de hacer un manejo adecuado de los impactos; de tal forma, que se pueda garantizar un nuevo equilibrio proyecto - ambiente que refleje en términos absolutos una igual o mejor calidad en las condiciones del ambiente afectado<sup>10</sup>.

Por lo tanto uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en las medidas de prevención y protección ambiental planteadas en el Plan de Manejo Ambiental (PMA) documento que de manera detallada, establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en desarrollo de un proyecto, obra o actividad; identificados en el EIA, son los diseños técnicos y constructivos de las celdas de seguridad<sup>11</sup> y en este aspecto tenemos en nuestro país un gran

---

<sup>7</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE ECONOMÍA, Resolución 1096 de 2000., 31 de Julio "Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS, Bogotá D.C, 2000. Pág F.12

<sup>8</sup> Colombia. Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C, Diciembre 22 de 1993.

<sup>9</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO Territorial. Decreto 2820 de 2010. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá D.C, agosto 5 de 2010.

<sup>10</sup> ARBOLEDA. Jorge. Manual para la Evaluación de Impacto ambiental de proyectos, Obras o Actividades. Septiembre de 2005.

<sup>11</sup> Guía para el diseño de rellenos de seguridad en América Latina. Livia Benavides, CEPIS - GTZ, 1997

vacío, ya que no tenemos normativa clara respecto a la localización y restricción de sitios<sup>12</sup> para el emplazamiento de este tipo de proyectos, porque este tema resulta determinante, no sólo desde el punto de vista técnico y ambiental, sino por la gran resistencia social que normalmente se genera, actualmente estos proyectos en Colombia se apoyan en la metodología para la selección de sitios de disposición final de residuos sólidos<sup>13</sup>, lo que no es viable actualmente la aplicación de esta metodología debido a las características tan específicas que requiere un relleno o celda de seguridad.

Tampoco se cuenta con fundamentos técnicos acordes y específicos para el diseño<sup>14</sup>, la construcción<sup>15</sup>, impermeabilización, operación técnica<sup>16</sup>, manejo de biogás, manejo de lixiviados<sup>17</sup>, monitoreo ambiental de las variables ambientales, geotecnia, cierre, clausura y posclausura de este tipo de rellenos o celdas de seguridad<sup>18</sup>.

Por lo anterior se realizará un estudio exploratorio, con este se busca identificar las posibles variables que intervienen y sus relaciones analizando las fuentes de información de varias normas y especificaciones técnicas internacionales de países como: EUA<sup>19</sup>, México<sup>20</sup>, Brasil, Chile<sup>21</sup>, Uruguay<sup>22</sup>, Argentina<sup>23</sup>, España<sup>24</sup> y

---

<sup>12</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA Ley 388 de 1997. Ordenamiento territorial. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3 de 1991 y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C, Julio 18 de 1997.

<sup>13</sup> Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 838 de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C, 28 de marzo de 2005.

<sup>14</sup> Requirements for hazardous waste landfill - Design, construction and closure. US EPA, 1989.

<sup>15</sup> Landfill covers, Engineering Bulletin, US EPA, 1993.

<sup>16</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE TRANSPORTE, Decreto 1609., Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera, Bogotá D.C, 31 de Julio de 2002.

<sup>17</sup> METCALF & EDDY. INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. Tratamiento, vertido y reutilización, Volúmenes 1, 2 y 3. Mac Graw-Hill, 1998.

<sup>18</sup> Vertedero de residuos industriales peligrosos. Manual de formación. Informe técnicos N°17, PNUMA IE/PAC, PNUMA EETU, ISWA, 1998.

<sup>19</sup> U.S. Environmental Protection Agency. Waste Minimization opportunity assessment manual. En: EPA/625/7-88/003. New York, 1988.

<sup>20</sup> MEXICO. LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. Diario Oficial de la Federación, 8 de octubre de 2003

<sup>21</sup> CHILE. Ministerio de Salud Pública. DTO 148 Reglamento Sanitario Sobre Manejo de Residuos Peligrosos, Junio de 2004

<sup>22</sup> URUGUAY. La Ley 17.283 de 2000. El Senado y la Cámara de Representantes de la República Oriental del Uruguay, reunidos en Asamblea General. Disposiciones para regular la generación, recolección, transporte, almacenamiento, comercialización, tratamiento y disposición final de los residuos. Noviembre 28 de 2000.

MARTINEZ. JAVIER. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos I y II. Centro Coordinador para el Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Septiembre 15 de 2005.

<sup>23</sup> Argentina. El Senado y Cámara de Diputados, Ley 26184, Pilas y baterías primarias, prohibición de su fabricación, ensamblado e importación, Diciembre 26 de 2006.

Argentina. Ley 25670. Transformadores con PCBs (Bifenilos Policlorados), 2002

Argentina. El Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina reunidos en Congreso Ley 25612, Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios, 2002.

Argentina. El Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina reunidos en Congreso, Ley 25279, Buenos Aires, 2000.

Alemania, que permitan encontrar técnicas para el emplazamiento de un relleno o celda de seguridad ambientalmente sostenible, y que se constituya porque no, en una guía de utilidad práctica y contribuya desde los ámbitos locales y nacionales a mejorar la disposición final ambientalmente adecuada de los residuos peligrosos en nuestro país.

---

ARGENTINA. EL SENADO Y CÁMARA DE DIPUTADOS DE LA NACIÓN ARGENTINA, Régimen aplicable a la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. Ley 24051, Buenos Aires, 1991.

<sup>24</sup> ESPAÑA. Ley 10 de 1998, Esta Ley tiene por objeto prevenir la producción de residuos, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar, por este orden, su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, así como regular los suelos contaminados, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas, Madrid 22 de 1998.

ESPAÑA. Real decreto 833 de 1988., por el que se aprueba, el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.30 de julio de 1988.

ESPAÑA. Real decreto 952 de 1997, por el que se modifica el Reglamento para la Ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio de 20,

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar estrategias para el diseño, construcción y puesta en marcha de celdas de seguridad ambientalmente sostenibles.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar especificaciones técnicas exigidas en las normas internacionales y ubicar la normativa Colombiana ambiental en el manejo de residuos.
- Identificar los parámetros de selección y de restricción del sitio teniendo en cuenta lo establecido en experiencias nacionales e internacionales.
- Incluir mecanismos de gestión ambiental para celdas de seguridad.
- Describir los planes de manejo de contingencias y emergencias.
- Explicar el programa de cierre, clausura y posclausura.
- Referir programa de control de vectores.
- Detallar programa de estabilidad geotécnica.
- Puntualizar programa de capacitación
- Especificar programa socio ambiental.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se busca realizar un análisis de las normas internacionales para poder realizar un comparativo con las de Colombia en el tema, o por lo menos las que se relacionan con los residuos peligrosos, se realizará un estudio exploratorio, con este se busca identificar las posibles variables que intervienen y sus relaciones analizando las fuentes de información de situaciones similares y sus soluciones.

### **4.1 ANÁLISIS DE LAS NORMAS INTERNACIONALES**

- Recopilación de la información internacional
- Recopilación de la información nacional
- Revisión bibliográfica
- Análisis de la información
- Elaboración de informe comparativo

### **4.2 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO**

- Recopilación de información internacional
- Recopilación de información nacional basada en la establecida para residuos ordinarios.
- Análisis de la información
- Salida de campo
- Redacción de informes
- Elaboración de tablas con los criterios de selección

### **4.3 ANÁLISIS DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN**

- Consulta de métodos de tratamiento
- Análisis de los diferentes métodos
- Salida de campo
- Elaboración de tablas descriptivas con los diferentes métodos de tratamiento y disposición

## 5. NORMATIVA APLICABLE

Aunque en Colombia se cuente con una política para la gestión integral de residuos peligrosos, carecemos de normativas propias cuando hablamos de diseños de rellenos o celdas de seguridad.

Es por eso que en este caso se enfoca en la normativa colombiana para los rellenos sanitarios analizando normativas internacionales como la de países que tienen experiencia en este campo tales como Argentina, Uruguay, Alemania, Canadá, entre otros y así buscaremos dar estructura a los lineamientos básicos que debe tener un relleno sanitario o una celda de seguridad.

Para el caso de nuestro país la normativa aplicable sería la siguiente.

**Tabla 1. RECOPIACIÓN NORMATIVA APLICABLE**

NORMA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN.
Ley 2811 de 1974	Código de los recursos naturales y de protección del medio ambiente	
Ley 09 de 1979	Por la cual se dicta el Código sanitario nacional.	El artículo 31 establece la responsabilidad del manejo de residuos especiales.
Resolución 2309 de 1986	En la cual se definen los residuos especiales, concibiéndose como “los objetos, elementos o sustancias, que se abandonen, boten, desechen, descarten o rechacen, y que sean patógenos, tóxicos, combustibles, inflamables, explosivos, radioactivos o volátiles y los empaques o envases que los hayan contenido como también los lodos, cenizas y similares. Incluyendo en esta denominación, los residuos en forma líquida o gaseosa empaque o envase”	
Constitución Política de 1991	Referente de un antes y un después de la normativa ambiental de la nación	
Ley 253 de 1996	Por medio del cual se ratifica el convenio de Basilea	
Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos 1997	Su objetivo fundamental es impedir o minimizar de la manera más eficiente, los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente que ocasionan los residuos sólidos y peligrosos	

Ley 430 De 1998	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.	
Resolución 1096 de 2000.	Su título F, hace algunas recomendaciones para la gestión de residuos peligrosos	
Decreto 1713 de 2002	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.	Modificado por el Decreto Nacional 838 de 2005, el Decreto 1140 de 2003 y Decreto 1505 de 2003
Decreto 1609 de 2002	Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.	
Decreto 1669 de 2002	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 2676 de 2000.	
Decreto 1505 de 2003	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones	
Decreto 1140 de 2003	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones	
Resolución 1045 de 2003	Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones	Modificada por resolución 477 DE 2004
Decreto 1443 de 2004	Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos, y se toman otras determinaciones.	
Resolución 477 de 2004	Por la cual se modifica la Resolución 1045 de 2003, en cuanto a los plazos para iniciar la ejecución de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.	
Decreto 838 de 2005	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones	
Resolución 1390 de 2005	por la cual se establecen directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003 que no cumplan las obligaciones indicadas en el término establecido en la misma	
Resolución 1291 de 2006	Acoge los Términos de Referencia para la elaboración del Diagnóstico Ambiental de Alternativas para construcción y operación de rellenos sanitarios.	

Resolución 1274 de 2006	Acoge los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de rellenos sanitarios	
Resolución 1402 de 2006	Por la cual se desarrolla parcialmente el decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos	
Decreto 2436 de 2008	Reglamenta el art. 101 de la Ley 1151 de 2007, en cuanto el acceso a los rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencias	
Concepto 2902 de 2011	Conforme a la Resolución 1822 de 2009 “ las actividades de cierre, clausura y restauración ambiental de las celdas transitorias, no podrán superar el término de un año contado a partir del 30 de Septiembre de 2009, es decir hasta el 30 de Septiembre de 2010, término que no fue prorrogado	
Ley 1450 de 2011	Expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, “Prosperidad para Todos”. Establece que podrán implementarse áreas estratégicas para la construcción y operación de rellenos sanitarios de carácter regional, incluidas las estaciones de transferencia, y establece incentivos para los municipios donde se ubiquen los rellenos y las zonas de transferencia (art. 251).	

## **6. DESCRIPCIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD**

Este capítulo se presenta varias características y/o aspectos técnicos a considerar en el emplazamiento de una celda de seguridad para residuos peligrosos.

### **6.1 ESTUDIOS PREVIOS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA CELDA O RELLENO DE SEGURIDAD**

Las celdas o rellenos de seguridad constituyen una alternativa basada en criterios ambientales de ingeniería y normas operacionales específicas que procura el confinamiento de residuos peligrosos- bajo capas cubiertas con materia inerte, generalmente tierra, el cual posee diversos subsistemas que comprenden desde el manejo de los residuos y los lixiviados hasta el tratamiento de los gases.

Previo a la construcción de una celda o relleno de seguridad deben realizarse una serie de estudios y diseños que involucran diferentes ramas de la ingeniería, las ciencias económicas y sociales, que dan certeza y confianza a las corporaciones ambientales, enlaces locales y a la comunidad de un trabajo elaborado confiable, ya que este se realiza teniendo en cuenta todas las variables que se ven involucradas en un proyecto de disposición final de residuos peligrosos.

Como ya se mencionó el proyecto se divide en diferentes etapas que involucran el trabajo de un grupo interdisciplinario de profesionales, cada una de las cuales tiene unos alcances específicos dados por el MAVDT.

Los alcances para cada uno e ellas pueden verse de forma detallada las normas que se relacionan a cada etapa como se muestra a continuación:

### **6.2 REVISIÓN DEL DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS DAA. RESOLUCIÓN 1291 DE 2006**

Se realizara una revisión al diagnóstico ambiental de alternativas y la autorización por parte de la autoridad ambiental para intervenir el lote seleccionado para tal estudio, con el objeto de conocer todos los parámetros técnicos evaluados mediante la metodología propuesta por el decreto 838 de 2005. Los DAA incluyen una síntesis del proyecto propuesto, su localización, la descripción técnica de las diferentes alternativas (áreas potenciales de disposición final de residuos sólidos incorporadas en el POT, EOT, PBOT según sea el caso), las características relevantes del área de influencia, las obras y acciones básicas de la construcción y operación, diseños tipo, el método de evaluación ambiental seleccionado, la

jerarquización y cuantificación de los impactos ambientales significativos, la zonificación ambiental y de manejo, los riesgos posibles, las medidas de manejo típicas, síntesis y justificación de los criterios tenidos en cuenta para el análisis de alternativas y de tecnologías para los componentes del proyecto; selección y justificación de la mejor alternativa.

El DAA es un instrumento que tiene como objeto suministrar insumo informativo a nivel de pre factibilidad a la autoridad ambiental, para evaluar y comparar las diferentes áreas potenciales de disposición final de los residuos peligrosos donde es posible emplazar la celda o relleno de seguridad, con el fin de aportar los elementos requeridos para la autoridad ambiental seleccione la alternativa o alternativas que permitan optimizar y racionalizar el uso del territorio, los recursos naturales, evitar y/o minimizar los riesgos, efectos e impactos negativos y potenciar y/o maximizar los impactos positivos que puedan generarse.

En tal sentido, al seleccionar el lote se debe involucrar la revisión de los siguientes aspectos:

- De las diferentes áreas de disposición final de residuos peligrosos, teniendo en cuenta el entorno geográfico y sus características ambientales y sociales, análisis comparativo de los efectos y riesgos inherentes a la construcción y operación de la celda o relleno de seguridad, y de las posibles soluciones y medidas de control y mitigación para cada una de las áreas del lote (áreas potenciales de disposición final de residuos peligrosos). Se deberá identificar además los impactos sobre los cuales aún existe un nivel de incertidumbre, dado el caso.
- La racionalización y optimización desde una fase temprana del uso de los recursos naturales y culturales, evitando, controlando y/o minimizando los riesgos o impactos ambientales negativos, que pueda ocasionar en el futuro la celda o relleno de seguridad y potenciando los impactos positivos.
- Los alcances propios de estudios de pre factibilidad, en los cuales se deben definir e indicar las diferentes obras o actividades de la celda de relleno de seguridad.
- El levantamiento de información primaria, se complementará con juicios de expertos, muestreos de campo puntuales, consultas con entidades regionales y el uso de los diferentes métodos y técnicas propias de cada una de las disciplinas que intervienen en el estudio, y su complementación con amplia y reciente información secundaria requerida según sea el caso.
- La propuesta de soluciones para todos y cada uno de los impactos identificados en cada una de las alternativas (áreas de disposición final de

residuos peligrosos), estableciendo las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación, haciendo énfasis en las diferencias significativas entre alternativas.

- La participación de las comunidades afectadas en cada área potencial de disposición final de residuos sólidos, desarrollando procesos de información sobre los impactos generados por cada una de las alternativas del proyecto y las medidas propuestas. Los resultados se deberán consignar en actas con las comunidades.
- Los temas que demanden y/o ameriten investigaciones exhaustivas, que impliquen esfuerzos significativos en recursos y demanden tiempo considerable, se formularán a nivel de perfil de investigación dentro del DAA, el cual será desarrollado en detalle posteriormente dentro del EIA, para la respectiva alternativa seleccionada.
- El análisis costo-beneficio ambiental de las alternativas (áreas potenciales de disposición final de residuos peligrosos).
- La selección de la justificación de la mejor alternativa (área potencial de disposición final de residuos peligrosos).
- De la metodología utilizada en el DAA, con base en la información primaria, obtenida a partir de los diferentes métodos y técnicas propias de cada una de las disciplinas que intervinieron en el estudio. Para ello, se evaluará las ayudas o insumos que se utilizaron como: fotografías, aerofotografías, imágenes de satélite, inventarios, muestreos físicos, químicos y biológicos, entrevistas abiertas o dirigidas, guías de observación, encuestas y técnicas de prospección y muestreo arqueológico.
- Los procedimientos y métodos de recolección, procesamiento y análisis de la información, así como las fechas durante las cuales se llevaron a cabo los estudios de cada uno de los componentes. Lo mejor será complementado con amplia y reciente información secundaria que sea requerida.

### **6.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EIA. RESOLUCIÓN 1274 DE 2006**

El objetivo fundamental de la EIA es hacer que los proyectos o actividades propuestas sean ambientalmente satisfactorios y que las consecuencias ambientales sean manifestadas en las etapas tempranas del desarrollo del proyecto o sea antes de que se materialicen.

Por lo tanto la EIA debe ser un instrumento de planificación, que permite la incorporación de la variable ambiental en los procesos de planeación, ejecución y funcionamiento de los proyectos.

Pero igualmente importante, la EIA debe ser un medio de apoyo para la toma de decisiones, no solo de los propietarios o promotores de los proyectos, sino de otras instancias que de cierta manera participan en el proceso de definiciones de los proyectos (autoridades ambientales, la comunidad, etc.). Es claro que la EIA no en sí misma no un instrumento de decisión, sino que es un instrumento que genera un conjunto ordenado, coherente, reproducible y sistemático de información que permite al promotor del proyecto, a la autoridad ambiental, a la comunidad, a las entidades de préstamo, etc., tomar decisiones que le corresponde en cada caso.

Así mismo, el EIA debe ser la principal fuente de información para la planificación y ejecución de la gestión ambiental que requieren los proyectos a lo largo de su vida útil. Por ejemplo, debe identificar los permisos o autorizaciones de tipo ambiental, la estructura organizacional que se debe implantar para el manejo adecuado de los impactos ambientales, los equipos e instrumentos de control o monitoreo que se requieren, etc.

Por último, el EIA debe facilitar la gestión que tiene que adelantar los proyectos con diferentes instancias, especialmente con la comunidad, para dar cumplimiento a todas las disposiciones sobre participación ciudadana y comunitaria que estableció la nueva Constitución Colombiana de 1991, para el desarrollo de proyectos que puedan afectar el ambiente y la salud de las personas, en colusión, la EIA es mucho más que un estudio que se presenta a la autoridad ambiental para obtener la licencia (llamado estudio de Impacto Ambiental- EIA), debe ser instrumento de planificación y gestión integral de los proyectos, tal como se explicó en los apartes anteriores.

La metodóloga adoptada será la definida en el Manual de Evaluación de Estudios Ambientales de Proyectos expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

#### **6.4 DISEÑOS TÉCNICOS DETALLADOS RAS 2000**

Para el diseño de la celda o relleno de seguridad se adoptarán todas las especificaciones técnicas exigidas en el RAS 2000, el propósito de este es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de celdas o rellenos de seguridad que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de

garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

#### **6.4.1 Solicitud de licencia ambiental. Decreto 2820 DE 2010.**

Los estudios técnicos de campo se realizan basados en los términos de referencia y los requerimientos del RAS 2000. A continuación se plantean cada uno de los estudios y su alcance:

- Determinación del nivel de complejidad del sistema, de acuerdo con lo establecido en la normativa vigente (RAS-2000).
- Levantamiento Topográfico del lote donde se proyecta la celda o relleno de seguridad. (Planimetría, altimetría y secciones)
- Estudio de suelos, que incluyan a nivel de detalle tipo de suelo, estratigrafía, nivel freático, densidad, contenido de humedad, propiedades de resistencia al corte, capacidad del terreno, permeabilidad, deformación compresibilidad, entre otros. Todos estos estudios deben ajustarse a la legislación vigente.
- Estudio climatológicos, que incluyan recopilación y análisis de registro históricos de temperatura, precipitación, vientos, humedad, radiación entre otros.
- Estudios hidrogeológicos donde se establezca y se identifique la ubicación y distribución de todos los cuerpos de agua subterránea y superficial. De igual forma, se determinarán los valores de la conductividad hidráulica, carga hidráulica, porosidad efectiva en partículas del sistema de flujo y posición del nivel freático.
- Con estos parámetros, se definirá la dirección y velocidad del agua subterránea y se analizará la composición fisicoquímica del agua subterránea con el fin de calcular los niveles de fondo de calidad del agua.
- Caracterización de los residuos peligrosos a disponer (composición, resistencia a cortante del residuo, poder calorífico, contenido humedad). Las propiedades físicas, químicas y biológicas que deben analizarse según el nivel de complejidad del servicio y el tipo de sistema diseñar. Los métodos de ensayos deben realizarse de acuerdo con las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas o cualquier otro método normatizado internacionalmente.

- La normativa actual RAS 2000 conceptúa la NO generación de lixiviados en una la celda o relleno de seguridad, tanto en la operación como en el cerramiento a 30 años.

## **6.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN**

A continuación se describen los elementos que se deben tener en cuenta al momento de de seleccionar el lugar para el emplazamiento de residuos peligrosos.

### **6.5.1 Criterios a considerar en la de selección del sitio**

La determinación de la localización de una celda o relleno de seguridad para residuos peligrosos, es una de las actividades más complejas y una de las etapas que demanda más tiempo dentro del estudio de pre factibilidad por la cantidad de variables que deben ser consideradas. Para la selección del sitio más adecuado para este tipo de instalaciones se deben evaluar una serie de criterios técnicos y ambientales, adoptando para cada uno de ellos un valor óptimo y buscando un punto de equilibrio entre éstos. Por lo anterior se plantean a continuación los criterios mínimos que deben ser tenidos en cuenta para la localización del sitio, así como su evaluación general y las posibles metodologías que hay que emplear para la tomar la decisión más apropiada. Estos criterios de localización aplican específicamente para nuevas instalaciones de celdas o rellenos de seguridad para residuos peligrosos. Para celdas o rellenos sanitarios ya existentes, la autoridad ambiental competente debe analizar cada caso específico, por supuesto con previa inspección que dicho sitio cumple con las normas mínimas requeridas para que pueda ser considerado como una celda o relleno de seguridad.

### **6.5.2 Poblaciones aledañas**

La distancia a poblaciones aledañas es uno de los aspectos más complejos a considerar debido a que, por lo general están infraestructuras presentan una alta resistencia o rechazo de las personas para su emplazamiento, en las inmediaciones de las zonas donde se encuentran asentadas las comunidades. Entonces, al momento de realizar la selección del sitio se debe evaluar la distancia mínima a zonas habitadas, especialmente si se trata de zonas altamente pobladas (centros de salud, centros educativos, viviendas, cárceles, etc.) o de poblaciones sensibles (adultos mayores y niños), y se debe procurar que la instalación se localice fuera del perímetro urbano, pero teniendo encienta que el lugar seleccionado sea de fácil acceso (vías de comunicación, costos de transporte de los residuos, etc.). Estas consideraciones son necesarias debido al carácter peligroso de los residuos que se van a tratar y el riesgo inherente que representan;

se debe buscar disminuir la probabilidad de que se presenten situaciones de riesgo para las personas, entre otras herramientas, un distanciamiento prudente de zonas habitadas.

Como parte de la evaluación de este criterio deben entonces entrar en juego aspectos como el diálogo y la concertación con la comunidad, con el objeto de lograr aceptación del proyecto por parte de ésta. La distancia entonces óptima propuesta entre cualquier tipo de asentamiento humano y la celda o relleno de seguridad es de cuatro kilómetros (4 Km), medidos en línea recta desde el límite perimetral de la celda o relleno de seguridad y el punto más cercano de dicho asentamiento. La distancia mínima requerida para la ubicación de una celda o relleno de seguridad cerca de un asentamiento humano debe ser de un kilómetro (1 km), también medida desde el límite perimetral del relleno de seguridad. Distancias inferiores a un kilómetro entre la celda o relleno de seguridad y cualquier tipo de asentamiento humano no son aceptables.

En cuanto al caso específico de instalaciones existentes, deberá tenerse en cuenta que dichas instalaciones se encuentren ubicadas en las zonas establecidas por los respectivos planes de ordenamiento territorial, como zonas aptas para el desarrollo de actividades industriales de alto impacto.

### **6.5.3 Geología del terreno y zonas de riesgo**

La geología del terreno es uno de los aspectos más importantes para la localización de una celda o relleno de seguridad. El terreno debe presentar características de firmeza geológica, de tal forma que se minimicen los factores de riesgo geológico sobre esta, tales como zonas propensas de deslizamientos, derrumbes, erosiones, avalanchas y demás factores que puedan incidir considerablemente en la estabilidad geotécnica del sitio.

Otros factores de riesgo que deben considerarse y evitarse son aquellos sitios propensos a incendios e inundaciones. Como criterios mínimos de selección de zonas potenciales para la ubicación de celdas o rellenos de seguridad en términos de zonas de riesgo se debe tener en cuenta:

- No se deben ubicar sobre fallas geológicas activas.
- No se deben ubicar sobre zonas de alto riesgo sísmico o de actividad volcánica
- No se deben instalar sobre suelos inestables
- No deben ubicarse sobre planicies aluviales o riesgo de inundación
- También es importante evaluar otros aspectos como:

- **Amenaza sísmica**

Para la evaluar la amenaza sísmica en la zona donde se proyecta el emplazamiento de una instalación de celda o relleno de seguridad para residuos peligrosos, es necesario remitirse a estudios de microzonificación sísmica de la región y no se podrán ubicare en zonas con valores de aceleración máxima en  $\text{cm/s}^2$  mayor a 250.

- **Amenaza por remoción de masa**

Para la evaluar la amenaza por remoción en masa en la zona donde se proyecta el emplazamiento de una instalación de celda o relleno de seguridad para residuos peligrosos, es necesario remitirse a estudios de microzonificación por remoción en masa de la región, y a partir de estos estudios no se podrán ubicare en zonas con amenaza alta. Se recomienda la ubicación de estas en zonas de amenaza por remoción de masa baja.

#### **6.5.4 Aguas subterráneas y superficiales**

Otro aspecto importante a considerar para la localización de las celdas o rellenos de seguridad para residuos peligrosos es la distancia a los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas. Esta distancia corresponde a una medida de precaución y especialmente aquellas que se utilizan para potabilización y consumo humano. No se deben instalar estas estructuras dentro de la ronda hidráulica de ningún cuerpo de agua, independientemente de su uso. Se debe restringir especialmente la localización sobre acuíferos y cerca de cuerpos de agua superficiales que sirva para abastecimiento de agua potable o recreación por contacto directo. Ninguna celda o relleno de seguridad podrá ubicarse en una zona donde el nivel freático sea inferior a cinco metros de profundidad.

Referente a las aguas subterráneas, se debe emplear el grado de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, específicamente el grado de vulnerabilidad intrínseca, que será una herramienta técnica mediante la cual se puede tomar decisiones respecto a la localización de rellenos de seguridad, en función de la protección de la calidad de los cuerpos de agua. El grado de vulnerabilidad intrínseca se puede expresar mediante un índice, y para determinarlo existen diversas metodologías como el índice de vulnerabilidad de acuíferos (AVI), la metodología DRASTIC y la metodología GOD.

El método GOD considera importantes los siguientes parámetros (Belmonte et ál., 1998:79):

- Ocurrencia del agua, la cual evalúa el tipo de acuífero (libre, confinado, etc.)
- Sustrato litológico. En este se agrupan los materiales consolidados y los no consolidados que forman parte del acuífero.
- Profundidad al nivel freático. Asigna mayores índices a profundidades menores.
- EL método AVI toma en cuenta la conductividad hidráulica (K) y el espesor de la zona no saturada (NE), y relaciona ambos parámetros en un término definido como resistencia hidráulica (C).
- El método DRASTIC utiliza siete parámetros hidrogeológicos para ser empleados en la determinación de la vulnerabilidad, estos son: nivel estativo, recarga neta, litología del acuífero, tipo de suelo, topografía, impacto en la zona vadosa y conductividad hidráulica. Se recomienda que este método sea aplicado en zonas de estudio que superan las 42,7 Hectáreas, lo que permite una evaluación del sistema de flujo regional, más que local.
- En Colombia, el Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear (Ingeominas) ha generado mapas que permiten ubicar espacialmente la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación empleando la metodología GOD, estableciendo cinco niveles de vulnerabilidad (extrema, alta, moderada, baja y despreciable) de acuerdo con el índice obtenido en la evaluación del acuífero.
- Toda celda o relleno de seguridad en el territorio Colombiano deberá situarse en zonas donde la vulnerabilidad de contaminación de acuíferos, de acuerdo con la metodología GOD, sea entre moderada y despreciable, es decir, zonas cuyos resultados de la aplicación de la metodología arrojen índices de vulnerabilidad menores a 0,5. Ver tabla 2

**Tabla 2. NIVELES DE VULNERABILIDAD ASOCIADOS A LA METODOLOGÍA GOD**

<b>NIVEL DE VULNERABILIDAD</b>	<b>VALOR DEL ÍNDICE GOD ASOCIADO</b>	<b>DEFINICIÓN CORRESPONDIENTE</b>
Vulnerabilidad extrema	0.7 - 1.0	Vulnerable a la mayoría de contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación
Vulnerabilidad alta	0.5 - 0.7	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los absorbibles o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación
Vulnerabilidad moderada	0.3 - 0.5	Vulnerables a mediano plazo a algunos contaminantes sólo cuando son continuamente descargados o lixiviados
Vulnerabilidad baja	0.1 - 0.3	Vulnerables a largo plazo a contaminantes persistentes o conservativos
Vulnerabilidad despreciable	< 0.1	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificantes

### **6.5.5 Condiciones climáticas**

Las condiciones climáticas en cada zona son variables y difíciles de cuantificar y aun más de controlar, por lo tanto resulta un factor de gran importancia para el emplazamiento de una celda o relleno de seguridad, tener en cuenta especialmente el régimen de pluviosidad de la zona. Por lo tanto se debe realizar un estudio de los factores climáticos de las zonas que se van a seleccionar, tales como patrones de vientos y nivel promedio de pluviosidad. Este último parámetro tiene especial importancia porque influye directamente sobre la construcción, operación y generación de lixiviados en la celda o relleno de seguridad.

De acuerdo con la distribución de precipitación media anual en Colombia en milímetros de agua, sería óptimo establecer una celda o relleno de seguridad para residuos peligrosos en zonas con pluviosidad media multianual menores a 1500 mm. Es responsabilidad directa del operador establecer estrategias técnicas para evitar la generación de lixiviados, y es indispensable su posterior tratamiento.

El parámetro de los vientos en las zonas potenciales para el emplazamiento de las celdas o rellenos de seguridad se debe contar con rosas de viento que permitan asegurar que durante la mayor parte del año (60% del tiempo) el viento no se dirija desde la celda o relleno de seguridad hacia la población asentada en el área de influencia.

#### **6.5.6 Ecosistemas sensibles**

Se debe tener en cuenta a la hora de la selección del sitio para el emplazamiento de la celda o relleno de seguridad la no afectación de zonas o ecosistemas sensibles por la presencia de flora y fauna, que resultan de gran importancia ecológica. Por lo tanto, en este tipo de lugares no debe considerarse la ubicación de celdas o rellenos de seguridad para residuos peligrosos. Estos ecosistemas sensibles, por lo general, son áreas destinadas a la conservación y protección de recursos naturales, así como de bienes y servicios ambientales y comprenden, entre otros, humedales, áreas protegidas, nacimientos de aguas, páramos, zonas de amortiguamiento, parques y reservas naturales.

El uso del suelo de estas zonas se encuentra restringido, sin embargo cuando no lo estuviera, estas zonas no son aptas para el emplazamiento de este tipo de infraestructuras para residuos peligrosos.

#### **6.5.7 Usos del suelo**

En Colombia existen herramientas jurídicas muy claras en cuanto planeación del ordenamiento territorial como son POT, EOT, PBOT según sea el caso, en los cuales se presentan, entre otros tipos de información, los posibles usos que se puede dar al suelo en función de sus características y ubicación. Este tipo de herramientas deben ser consideradas al momento de realizar la planeación de cualquier tipo de instalación, y especialmente deben ser consideradas para decidir cuál es el lugar más apropiado para ubicar una futura celda o relleno de seguridad para residuos peligrosos, dado que estas deben localizarse en un suelo que permita su uso.

Además este tipo de infraestructuras de disposición final de residuos peligroso se debe ubicar fuera del perímetro de restricción fijado a aeropuertos, puertos y bases militares, así como en áreas de zonas de manejo de productos explosivos o inflamables, u otros que puedan potencializar los efectos negativos en caso de una eventualidad.

Otro aspecto de especial consideración dentro de este criterio corresponde a suelos protegidos, los cuales no podrán ser utilizados para el emplazamiento de

caldas o rellenos de seguridad, tal es el caso de zonas donde se encuentren hallazgos arqueológicos, cementerios indígenas o zonas de valor histórico.

En la tabla 2 se puede apreciar el resumen de los criterios mínimos que se deben considerar dentro del procesos de toma de decisiones, es importante tener en cuenta que los valores deseables corresponden a los óptimos, sin embargo estos pueden estar sujetos a cambios en función de lograr la mejor combinación de parámetros. Es decir, no es requisito indispensable que todos los criterios presenten valores óptimos, siempre y cuando se encuentren un punto de equilibrio en el que todos los criterios, por lo menos, se hallen dentro de rangos aceptables.

#### **6.5.8 Metodología para la selección del sitio**

La metodología a implementar en la selección del sitio debe buscar un equilibrio donde todos y cada uno de los criterios se encuentren dentro de los rangos deseados. Se plantean tres metodologías de selección, pero se sugiere dejar como requisito indispensable la utilización de la metodología de superposición de escenarios mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), pues brinda mayor soporte técnico para la toma de decisiones. El análisis consiste en determinar que sitios deben ser descartados, de modo que se puedan identificar los lugares, más adecuados para la localización de la celda o relleno de seguridad de acuerdo con los criterios de selección.

**Tabla 3. RESUMEN DE LOS CRITERIOS MÍNIMOS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO**

CRITERIOS DE EVALUACION	OPTIMO	ACEPTABLE	INADECUADO
Poblaciones aledañas	> 4 km	1 - 4 km	< 1 km
Geología y zonas de riesgo	Aceleración máxima < 225 cm/s <sup>2</sup> . Amenaza por remoción de masa	225 cm/s <sup>2</sup> < Aceleración máxima < 250 cm/s <sup>2</sup> . Amenaza por remoción en masa media	Aceleración máxima > 250 cm/s <sup>2</sup> . Amenaza por remoción en masa alta
Aguas superficiales y subterráneas	> 5 km de cuerpos de agua superficiales para potabilización. > 1 km desde el centro del cauce para corrientes y desde la orilla para lagos y lagunas donde el uso del agua sea otro diferente a potabilización. Índice de vulnerabilidad de acuíferos < 0.3	1 km - 5 km de cuerpos de agua superficiales para potabilización. 500 m - 1 km desde el centro del cauce para corrientes y desde la orilla para lagos y lagunas donde el uso del agua sea otro diferente a potabilización. 0.5 ≥ índice de vulnerabilidad de acuíferos > 0.3	Dentro del área considerada como ronda hidráulica. Sobre acuíferos para potabilización. Índice de vulnerabilidad de acuíferos > 0.5
Condiciones climáticas	Precipitación media anual predominante < 1500 mm	Precipitación media anual predominante 1500 - 3000 mm	Precipitación media anual predominante > 3000 mm
Ecosistemas sensibles	> 1 km de los límites de ecosistemas sensibles	Fuera de los límites de áreas sensibles	En áreas protegidas
Usos del suelo	Suelos destinados para uso industrial de alto impacto	Suelos destinados para uso industrial	Suelos destinados para otros usos

A continuación se presentan tres metodologías propuestas para identificar las ventajas y desventajas que ofrece cada una de ellas para cada sitio a evaluar para el posible emplazamiento de una celda o relleno de seguridad:

### 6.5.9 Metodología de Lista de chequeo

La metodología de lista de chequeo permite comparar diferentes alternativas mediante la evaluación de cumplimiento o incumplimiento de una serie de parámetros. Por lo tanto se propone entonces la elaboración de una lista de criterios técnicos en la que cada uno de estos se subdivide en los parámetros que

se deben evaluar e identificar. Esta metodología es bastante sencilla, pero a la vez permite un análisis de las alternativas sin brindar mayores detalles que sirvan como fundamento para la toma de decisiones. Ver tabla 4

**Tabla 4. MODELO LISTA DE CHEQUEO PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO**

PARÁMETRO	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
	SI	NO	SI	NO
<b>Poblaciones aledañas</b>				
Cumplimiento de distancia mínima				
Población sensible en el área de influencia				
Zonas densamente pobladas en el área de influencia				
...				
<b>Geología del terreno y zona de riesgo</b>				
Zona de riesgo sísmico				
Zona de riesgo por inundaciones				
Suelo arcillosos				
...				
<b>Aguas superficiales y subterráneas</b>				
ubicación fuera de la ronda hídrica				
Cercanía a cuerpos de agua superficiales para potabilización				
Cercanía a cuerpos de agua subterráneas para potabilización				
...				
<b>Condiciones climáticas</b>				
Nivel de precipitación apropiado				
...				
<b>Ecosistemas sensibles</b>				
Área protegida				
...				
Usos del suelo				
Uso del suelo autorizado en el POT, EOT, PBOT				
...				

Esta tabla es un modelo propuesto, cada proyecto es específico y debe involucrar más detalles de análisis que den directrices claras para la toma de decisiones.

Las matrices de evaluación pueden ser de tipo cualitativo y cuantitativo, la metodología que se propone consiste en la elaboración de una matriz del segundo tipo, es decir, una matriz numérica que permita asignar un valor dentro de una

escala a cada uno de los parámetros que se vayan a evaluar. Entonces, se deben establecer en la columnas de la matriz los diferentes criterios y parámetros, mientras que en las filas se asignan las diferentes alternativas disponibles.

Se debe definir la escala que se va a utilizar y la forma de asignación de los valores, en una escala de 1 a 5, donde 5 corresponde al valor máximo que se asignara a los parámetros de cada alternativa que presenten la mejor opción.

La suma vertical de los valores dará como resultado el puntaje total asignado a una alternativa, y la mejor será entonces la que obtenga el mayor puntaje.

#### **6.5.10 Metodología de superposición de escenarios**

La metodología de superposición de escenarios es la más completa de las tres metodologías propuestas. Esta se basa en la utilización de sistemas de información geográfica para generar coberturas o escenarios en cada uno de los cuales se identifican y se ubican geográficamente los aspectos que se evaluarán, mediante el empleo de mapas digitales.

Cada criterio y cada parámetro pueden emplearse como tema de una cobertura, como mínimo, para seleccionar la mejor localización de una celda o relleno de seguridad se deben emplear las coberturas correspondientes a los seis criterios que se van a considerar, establecidos en el presente documento. Los mapas obtenidos para cada una de las coberturas son entonces superpuestos, de tal forma que permiten cruzar la información específica disponible en cada uno de ellos. Así, se obtienen como resultado las áreas disponibles que cumplen con las características deseadas.

Posteriormente, para la selección de una de las áreas identificadas como disponibles, se pueden utilizar las metodologías comparativas expuestas anteriormente, evaluando además aspectos adicionales tales como los costos de adquisición de predios y sus facilidades de acceso entre otros que no hayan sido considerados directamente en la superposición de escenarios. Una ventaja importante de esta metodología se presenta al momento de considerar la existencia, calidad y disponibilidad de la información geográfica requerida.

#### **6.5.11 Componentes del sistema de gestión**

Para que un relleno pueda considerarse de seguridad debe cumplir ciertas condiciones que garanticen que los impactos ambientales sean mínimos al igual que los riesgos a la salud, a continuación se enuncian algunos de componentes que estos deben tener.

Por una parte un conjunto de características que permitan un manejo sistemático y organizado que se enfoque en el control y el orden apuntando a la minimización de impactos negativos a la salud y al medio ambiente.<sup>25</sup>

- Celda.
- Sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera.
- Sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados.
- Sistema de detección de pérdidas y fugas
- Sistema de captación y conducción de gases.
- Sistema de red de drenaje.

Otro conjunto de características adicionales que permitan tener una correcta operación y un programa de monitoreo ambiental.

- Recepción y báscula.
- Suministro de agua y energía
- Rutas de acceso y movilización internas
- Pozos de monitoreo
- cubierta
- Laboratorios de monitoreo y control
- Área de oficinas

Para llevar a cabo la disposición final en rellenos de seguridad o también llamados celdas de seguridad este debe cumplir con las características antes mencionadas pero adicionalmente los residuos que en él se dispongan también deben cumplir con unos requisitos para que sean aceptados, si estos residuos no cumplen con los requisitos requeridos entonces se deberá evaluar la posibilidad de adecuar esas características mediante un pre-tratamiento

Debe determinarse la naturaleza y cantidad de los residuos, la operación y diseño propuestos, el asentamiento hidrogeológico de la instalación, la capacidad atenuante y el espesor de las barreras impermeabilizantes y los suelos presentes entre el relleno y el agua subterránea o superficial, así como otros factores que pueden influenciar la calidad y movilidad del lixiviado producido y el potencial de este de migrar al agua superficial o subterránea.

Debe garantizarse un sistema de evacuación de aguas lluvias que permita el normal funcionamiento del relleno durante los periodos de lluvias.

Si el relleno posee material particulado que debe disponerse, este debe ser cubierto o manejado con el fin de evitar dispersión por el viento.

---

<sup>25</sup> Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. M.Sc. Ing. Qco. Javier Martínez, 2005, 163 pág.

### **6.5.12 Referencias de selección de sitio y criterios de diseño internacionales**

Como referencia internacional se adopta los lineamientos de la EPA en el documento REQUIREMENTS FOR HAZARDOUS WASTE LANDFILL DESIGN, CONSTRUCTION, AND CLOSURE EPA/625/4-89/022.

EPA SW-846 Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, (Métodos de ensayo para evaluar residuos sólidos), Tercera Edición y sus modificaciones.

EPA SW-846 Métodos 1010, 1020A, 1110, 9040B, 9010, 9030A y 1311 para determinar características de peligrosidad (inflamabilidad, corrosividad y reactividad)

Appendix II 40 CFR 261 Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP (prueba de lixiviación para determinar la característica de toxicidad). Apéndice II de la Parte 261 del Título 40 del Código Federal de Regulaciones de los EUA (Title 40, Environmental Protection, United States Code of Federal Regulations)

## 7. BASES DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO

### 7.1 CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD DE LOS RESIDUOS

La calidad de peligroso es conferida a un residuo o desecho que exhiba Características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas y radiactivas; definidas en el Anexo III del Decreto 4741 de 2005.

#### 7.1.1 Residuo corrosivo

Característica que hace que un residuo o desecho por acción química, pueda causar daños graves en los tejidos vivos que estén en contacto o en caso de fuga puede dañar gravemente otros materiales, y posee cualquiera de las siguientes propiedades:

- Ser acuoso y presentar un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5 unidades.
- Ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor de 6.35 mm por año a una temperatura de ensayo de 55 °C.

Figura 1. PICTOGRAMA DE SUSTANCIA CORROSIVA



Fuente: Guía de respuesta en caso de emergencia 2008

### 7.1.2 Residuo reactivo

Es aquella característica que presenta un residuo o desecho cuando al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos tiene cualquiera de las siguientes propiedades:

- Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente cuando se mezcla con agua.
- Poseer, entre sus componentes, sustancias tales como cianuros, sulfuros, peróxidos orgánicos que, por reacción, liberen gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo la salud humana o el ambiente.
- Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes, confinados.
- Aquel que produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, el agua o cualquier otro elemento o sustancia.
- Provocar o favorecer la combustión

**Figura 2. PICTOGRAMA, SUSTANCIA COMBURENTE**



Fuente: Guía de respuesta en caso de emergencia 2008

### 7.1.3 Residuo explosivo

Se considera que un residuo (o mezcla de residuos) es explosivo cuando en estado sólido o líquido de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan

ocasionar daño a la salud humana y/o al ambiente, y además presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua.
- Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a temperatura de 25 °C y presión de 1.0 atmósfera.
- Ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico.

**Figura 3. PICTOGRAMA, MATERIAL EXPLOSIVO**



Fuente: Guía de respuesta en caso de emergencia 2008

De acuerdo a su clase los residuos explosivos se denominan de la siguiente manera.

- **1.2** Sustancias con riesgo de proyección
- **1.3** Sustancias con riesgo de incendio
- **1.4** Sustancias que no presentan riesgos notables
- **1.5** Sustancias muy poco sensibles
- **1.6** Sustancias extremadamente insensibles

#### **7.1.4 Residuo inflamable**

Característica que presenta un residuo o desecho cuando en presencia de una fuente de ignición, puede arder bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, o presentar cualquiera de las siguientes propiedades:

Ser un gas que a una temperatura de 20 °C y 1.0 atmósfera de presión arde en una mezcla igual o menor al 13% del volumen de aire.

Ser un líquido cuyo punto de inflamación es inferior a 60 °C de temperatura, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen.  
c) r un sólido con la capacidad bajo condiciones de temperatura de 25 °C y presión de 1.0 atmósfera, de producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y quema vigorosa y persistentemente dificultando la extinción del fuego.

Ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.

**Figura 4. PICTOGRAMA, SUSTANCIAS INFLAMABLES**



Fuente: Guía de respuesta en caso de emergencia 2008

#### **7.1.5 Residuo infeccioso:**

Un residuo o desecho con características infecciosas se considera peligroso cuando contiene agentes patógenos; los agentes patógenos son microorganismos (tales como bacterias, parásitos, virus, rickettsias<sup>26</sup> y hongos) y otros agentes tales como priones<sup>27</sup>, con suficiente virulencia y concentración como para causar enfermedades en los seres humanos o en los animales.

<sup>26</sup> Las rickettsias son parásitos intracelulares obligados, muy pequeñas, Gram-negativas y no forman esporas. Son altamente pleomórficas pues se pueden presentar como cocos (0,1 µm de diámetro), bacilos (1-4 µm de longitud) o hilos (10 µm de largo). son causantes de enfermedades infecciosas transmitidas por aerosoles, mordeduras, picaduras, rasguños, aguas y alimentos contaminados.

<sup>27</sup> Es una proteína patógena que tiene alterada su estructura terciaria, teniendo un incorrecto plegamiento, A diferencia del resto de los agentes infecciosos (virus, bacterias, hongos etc...), que contienen ácidos nucleídos (ya sea ADN, el ARN, o ambos), un prion sólo está compuesto por aminoácidos

**Figura 5. PICTOGRAMA, SUSTANCIAS NOCIVA E INFECCIOSA**



Fuente: Guía de respuesta en caso de emergencia 2008

### **7.1.6 Residuo tóxico**

Se considera residuo o desecho tóxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos o desechos que se clasifican de acuerdo con los criterios de toxicidad (efectos agudos, retardados o crónicos y ecotóxicos) definidos a continuación y para los cuales, según sea necesario, las autoridades competentes establecerán los límites de control correspondiente:

- Dosis letal media oral (DL50) para ratas menor o igual a 200 mg/kg para sólidos menor o igual a 500 mg/kg para líquidos, de peso corporal.
- Dosis letal media dérmica (DL50) para ratas menor o igual de 1000 g/kg de peso corporal.
- Concentración letal media inhalatoria (CL50) para ratas menor o igual a 10 mg/l.
- Alto potencial de irritación ocular, respiratoria y cutánea, capacidad corrosiva sobre tejidos vivos. e) Susceptibilidad de bioacumulación y biomagnificación en los seres vivos y en las cadenas tróficas.
- Carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad.
- Neurotoxicidad, inmunotoxicidad u otros efectos retardados.
- Toxicidad para organismos superiores y microorganismos terrestres y acuáticos.
- Otros que las autoridades competentes definan como criterios de riesgo de toxicidad humana o para el ambiente.

**Figura 6. PICTOGRAMA, SUSTANCIA TOXICA**



Fuente: Guía de respuesta en caso de emergencia 2008

## **7.2 COMPATIBILIDAD DE RESIDUOS PELIGROSOS**

Es de suma importancia conocer las características de los residuos para evitar problemas de compatibilidad en la celda al momento de realizar la disposición final, no todas las sustancias son compatibles, por lo tanto se debe tener en cuenta la información que se presenta en la siguiente figura para evitar reacciones no deseadas que podrían generar problemas en la celda.

**Tabla 5. MATRIZ DE INCOMPATIBILIDADES, RAS 200, TITULO F, ANEXO (F.5)**

	REACTIVIDAD NOMBRE DEL GRUPO																		
1	Ácidos minerales no oxidantes	1																	
2	Ácidos minerales oxidantes		2																
3	Ácidos orgánicos			GH	3														
4	Alcoholes y glicoles	H	HF	HP	4														
5	Aldehídos	HP	HP	HP		5													
6	Amidas	H	Hgt				6												
7	Amidas, alifáticas y aromáticas	H	Hgt	HP		H		7											
8	Azo compuestos, diazo compuestos hidracinas	HG	Hgt	HG	HG	H			8										
9	Carbomatos	HG	Hgt							9									
10	Cáusticos	HF	HF	H	HG						10								
11	Cianuros	gtgf	gtgf	gtgf					G			11							
12	Ditiocarbamatos	HgfF	HgfF	HgfF		gf gt		D	HG				12						
13	Ésteres	H	HF						HG		H			13					
14	Éteres	H	HF												14				
15	Fluoruros inorgánicos	GT	GT	GT												15			
16	Hidrocarburos aromáticos		HF														16		
17	Organohalogenados	Hgt	HFgt					H gt	HG		H gt	H						17	
18	Isocianatos	HG	LFgt	HG	HP			HP	HG		HPG	HG	D						18
19	Cetonas	H	HF						HG		H	H							19
20	Mercaptanos	gtgf	HFgt			46			HG								H	H	H

21	Metales Alcalinos, alcalinotérreos. Elementos o mezclas.	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf HF	gf	gf gt				H E	gt H	gt H
22	Otros metales elementales o mezclados en forma de polvos, vapores o partículas	gf HF	gf HF	gt					HF gt	D	Ggt H							H E	gt H	
23	Otros metales elementales y aleaciones tales como laminas, varillas y moldes.	gf HF	gf HF						HG F									H F		
24	Metales y compuestos de metales tóxicos.	S	S	S			S	S			S									
25	Nitritos	gfHF	HFE	H gf	gt HF	gf H			D	HG	D	gf H	gf H	gf H				gf H	d	gf H
26	Nitrilos	Hgt gt	HF gt	H					D											
27	Compuestos nitrados		HF gt			H			HE											
28	Hidrocarburos alifáticos no saturados	H	HF			H														
29	Hidrocarburos alifáticos saturados		HF																	
30	Peróxidos e hidroperóxidos orgánicos	HG	HE		HF	HG		H gt	HFE	HF gt		HFgt						HE	H	E
31	Fenoles y cresoles	H	HF						HG										HP	
32	Organofosforados, fosfotioatos y fosfodiotioatos	Hgt	Hgt						D		HE									
33	Sulfuros inorgánicos	gtgf	HF gt		H			E											H	
34	Epóxidos	HP	HP	HP	HP	D		HP	HP		HP	HP	D							

101	Materiales inflamables y combustibles	HG	HF gt																	
102	explosivos	HE	HE	HE					HE		HE			HE						
103	Compuestos polimerizables	PH	PH	PH					PH		PH	PH	D							
104	Agentes oxidantes fuertes	Hgt		H gt	HF	HF	HF gt	HF gt	HE	HF gt		HE gt	HF gt	HF	HF		HF	H gt	HF	HF
105	Agentes reductores fuertes	Hgt	HFgt	H gt	gf HF	Hg Ff	H gf	H gf	GH				H gt	HF				HE	Hg	Hg
106	Agua y mezclas que contiene agua	H	H						G									HG		
107	Sustancias reactivas al agua	"ESTREMADAMENTE REACTIVO NO SE MEZCEL CON NINGUN RESIDUO O MATERIAL QUÍMICO"																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Tabla 6. CÓDIGOS DE REACCIONES DE INCOMPATIBILIDAD, RAS 200, TITULO F, ANEXO (F.5)

CÓDIGO DE REACTIVIDAD	CONSECUENCIAS DE LA REACCIÓN
H	Genera calor por reacción química.

F	Produce fuego por reacción exotérmica violentas y por ignición de mezclas p de productos de la reacción.
G	Genera gases en grandes cantidades y puede producir presión y ruptura de los recipientes cerrados
Gt	Genera gases tóxicos
Gf	Genera gases inflamables
E	Produce explosión debido a reacciones extremadamente vigorosas o suficientemente exotérmicas para detonar compuestos inestables o productos de reacción.
P	Produce polimeración violenta, generando calor extremo y gases tóxicos inflamables.
S	solubilización de metales y compuestos metales tóxicos
D	Produce reacción desconocida, sin embargo, debe considerarse como incompatible la mezcla de los residuos correspondientes a esta actividad, hasta que determine la reacción específica.

### 7.3 RESIDUOS A DISPONER EN LA CELDA DE SEGURIDAD

De acuerdo a cada relleno se podrá definir qué tipos de residuos serán aceptados o no en la celda de seguridad, dependiendo de las características y el concepto de diseño que se haya empleado.

Pero podemos tomar con herramienta la tala que se presenta a continuación tomada de la guía para el diseño de rellenos de Seguridad en América Latina En ella aparece el nombre de los residuos y el pretratamiento en caso de que se requiera.

**Tabla 7. LISTADO DE RESIDUOS PELIGROSOS A DISPONER EN LA CELDA, GUÍA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD PARA AMÉRICA LATINA.**

RESIDUOS PELIGROSOS QUE PUEDEN SER DISPUESTOS EN RELLENOS DE SEGURIDAD	TRATAMIENTOS PREVIOS
1.01 Residuos de la producción de aceites vegetales	
1.02 Residuos ácidos grasos	
1.03 Emulsiones de aceites	Desecado previo a la disposición
1.04 Lodos del proceso de producción del cuero	Desecado previo a la disposición
1.05 Aserines empapados de aceites u otros líquidos nocivos	
1.06 Filtros de papel empapados con residuos nocivos	
1.07 Gasas empapadas con residuos nocivos	
1.08 Material de embalaje contaminado o con restos de contenido nocivo	
2.04 Cenizas metales	Solidificación previa a la disposición
2.05 Polvos de filtros de metales no ferrosos	Solidificación previa a la disposición
2.06 Cenizas volátiles de filtros de incineradores	Solidificación previa a la disposición
2.07 Residuos de lavadores de gas de incineradores	
2.09 Suelos contaminados	
2.10 Escombros contaminados	
2.11 Arenas de fundición	
2.12 Material de filtros usados con contenidos nocivos	

2.13 Polvos de asbesto Residuos debe estar envasado	
2.14 Lodos minerales con residuos peligrosos	Desecado o solidificación
2.15 Lodos con cianuro de la metalurgia	Solidificación
2.16 Filtros de aceite	
2.17 Residuos con metales pesados no ferrosos	
2.18 Acumuladores (baterías) de níquel-cadmio	Solidificación o encapsulamiento
2.19 Baterías con mercurio	Solidificación o encapsulamiento
2.20 Residuos con mercurio	Solidificación o encapsulamiento
2.21 Lodos de zinc, plomo, estaño	Solidificación o encapsulamiento
3.01 Lodos galvánicos con cianuro, cromo VI, Cianuro	oxidación, Cromo - reducción
3.02 Lodos galvánicos con cromo III, cobre, zinc, cadmio, níquel, cobalto, plomo, estaño	Solidificación
3.03 Otros lodos de hidróxidos metálicos	Desecado o solidificación
3.04 Óxidos e hidróxidos de zinc, manganeso, cobre y otros metales pesados	Desecado o solidificación
3.05 Sales y sustancias químicas del proceso del curtido de pieles	Solidificación o encapsulamiento
3.06 Sales de impregnado de la madera	Solidificación o encapsulamiento
3.07 Sales para endurecimiento del acero	Solidificación o encapsulamiento
3.08 Cloruros y sulfuros con metales pesados	Solidificación o encapsulamiento
3.09 Sales con contenido nocivo de cianuro	Oxidación, solidificación previa a la disposición
3.10 Cal con contenido de arsénico	Solidificación o encapsulamiento
3.11 Hidrofluoruro de amonio	Solidificación o encapsulamiento
5.01 Residuos de plaguicidas	Solidificación o encapsulamiento
5.02 Residuos de desinfectantes	Solidificación o encapsulamiento
5.03 Residuos de la industria farmacéutica	Solidificación o encapsulamiento
5.04 Productos farmacéuticos caducos	Solidificación o encapsulamiento

5.05 Detergentes	
5.06 Tensoactivos	
5.07 Residuos químicos de laboratorios Dependiente del residuo	
6.07 Grasas y ceras	
6.08 Residuos sólidos empapados de aceite y grasa	
6.10 Emulsiones bituminosas	
6.12 Lodos con combustible	
6.13 Lodos con lubricantes	
6.14 Residuos de la refinación de aceites usados	
6.16 Residuos del alquitrán	
7.05 Lodos con solventes orgánicos halogenados	Encapsulamiento
7.06 Lodos con solventes orgánicos no halogenados	Encapsulamiento
7.08 Pinturas y barnices residuales	
7.09 Lodos de pinturas y barnices	Encapsulamiento
8.01 Residuos plásticos no endurecidos	
8.02 Ablandadores halogenados	Encapsulamiento
8.03 Ablandadores no halogenados	Encapsulamiento
8.05 Lodos del plástico o caucho con solventes	Encapsulamiento
8.06 Lodos y emulsiones de látex	Encapsulamiento
8.07 Lodos y emulsiones de caucho	
8.08 Lodos de teñido de textiles	Solidificación
8.09 Lodos de lavandería	Solidificación
8.10 Filtros textiles con sustancias peligrosas	
8.11 Paños textiles con sustancias peligrosas	
9.03 Catalizadores	Solidificación o encapsulamiento
9.11 Lodos de tratamiento de efluentes industriales no especificados anteriormente	Desecado
9.13 Residuos hospitalarios patógenos	

FUENTE: Figura 2. Tomada de la guía para el diseño de rellenos de seguridad en América Latina

## **7.4 TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS**

Según la guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos – Fundamentos los tratamientos que se le realizan a los residuos tiene como objetivo disminuir el volumen y la característica de peligrosidad que estos posean.

Dentro de los tratamientos que se encuentran están los:

- Fisicoquímicos
- Estabilización y solidificación.
- Biológicos
- Térmicos

Luego de realizar alguno de estos tratamientos los residuos resultantes pueden ser dispuestos en la celda de seguridad.

### **7.4.1 Tratamientos físico-químicos**

Como su nombre lo indica estos tratamientos involucran os dos procesos modificando el residuos tanto física como químicamente.

Por medio de estos procesos se pueden obtener materias primas para que sean reincorporadas a procesos productivos, se puede separar la característica de peligrosidad de la masa total del residuo, minimiza la peligrosidad del residuo transformando sus componentes o disminuyendo la movilidad del mismo en el ambiente, con los tratamientos fisicoquímicos el residuo puede quedar optimo para otro tratamiento o simplemente queda en condiciones para que sea dispuesto en la celda de seguridad.

Los tratamientos físicos son el inicio o son una parte de un tratamiento integral, estos tratamientos físicos están comprendidos por:

- Filtración
- Separación por gravedad (sedimentación, centrifugación, floculación y flotación)
- Evaporación
- Destilación
- Arrastre con aire o vapor
- Adsorción en carbón
- Intercambio iónico

Dentro de los tratamientos físicos se cuenta con el tratamiento por autoclave usado en Colombia y la irradiación con microondas, ambos utilizados para la desactivación de organismos infecciosos.

El tratamiento químico que también tiene asociado el tratamiento físico, consta en la adición de diversas sustancias químicas de acuerdo a la característica a tratar para lograr el objetivo deseado. Dentro de los tratamientos químicos más utilizados son:

- **Neutralización:** Ajuste del pH utilizando ácidos o álcalis.  
Precipitación: por ajuste de pH o agregado de determinados aniones o cationes con el objetivo de formar compuestos insolubles. Requiere un proceso de separación física posterior generando lodos. Los productos de la precipitación son compuestos insolubles en agua, por lo que presentan menor movilidad una vez que son dispuestos.
- **Oxido reducción:** se utilizan para cambiar el estado de oxidación del contaminante, modificando su toxicidad u otra propiedad como la solubilidad.
- **Descomposición por oxidación:** consiste en la reacción del contaminante con un oxidante como oxígeno, peróxido, ozono o hipoclorito. El contaminante se descompone en otras sustancias de menor toxicidad.
- **Declorinación con metales alcalinos:** el objetivo es remover cloro de compuestos orgánicos clorados. Se basa en la alta afinidad de los metales alcalinos por el cloro, formándose una sal de cloro que se separa por centrifugación. Este es uno de los procedimientos utilizado para el tratamiento de PCBs.

#### 7.4.2 Estabilización – solidificación

En el caso de lodos y sólidos de carácter inorgánico es posible la utilización de técnicas de estabilización solidificación.

La estabilización es un proceso por medio del cual se disminuye los contaminantes del residuo ya que son transformados en formas menos tóxicas o menos móviles o solubles.

Las transformaciones se dan por medio de reacciones químicas que fijan los compuestos tóxicos en polímeros impermeables o en cristales estables.

Por medio de este proceso se pueden mejorar las características físicas del residuo disminuir el área superficial a través de la cual se transfieren los contaminantes, adicionalmente se puede reducir la solubilidad de los contaminantes y reducir la toxicidad de los contaminantes.

La solidificación consiste en un tratamiento que genera una masa sólida monolítica de residuos tratados. De esta manera se mejora su integridad estructural, sus características físicas y se facilita su manejo, transporte y disposición final.

Por medio de este proceso se incrementa la dureza, se disminuye la compresibilidad, se disminuye la permeabilidad, lo que incide que estos dos procesos tienen por objetivo mejorar las características físicas y disminuir el área superficial del residuo.

De esta forma se reduce la transferencia de masa y la solubilidad de los contaminantes presentes.

Algunos de los mecanismos que intervienen en los procesos de estabilización - solidificación son:

- Macro encapsulamiento
- Micro encapsulamiento
- Absorción
- Adsorción
- Intercambio iónico
- Precipitación
- Transformaciones químicas

### **7.4.3 Tratamientos biológicos**

Los tratamientos biológicos consisten en la descomposición de contaminantes por acción de un conjunto de microorganismos.

La aplicación de estos tratamientos a los residuos peligrosos es limitada ya que los microorganismos son muy sensibles a estas características de peligrosidad., por lo que restringe el uso de este tratamiento. Sin embargo existen cepas que pueden cultivarse y aclimatarse para que se pueda tratar por medio de procesos biológicos ciertos residuos.

Los ejemplos más comunes son el tratamiento en suelo, tratamiento in situ de suelos contaminados o biorremediación.

#### 7.4.4 Tratamientos térmicos

La incineración es un tratamiento de uso frecuente en nuestro país, este puede ser empleado cuando lo permitan las características técnicas de la instalación, así como también la composición de los residuos.

Otras alternativas de tratamientos térmicos incluyen: pirolisis, plasma y oxidación en sal fundida. Una de las mayores ventajas en este tipo de tratamientos es la disminución del volumen a disponer y permiten la recuperación de energía, cuando esto es viable económicamente

- **Pirolisis:** La pirolisis se produce a altas temperaturas pero en ausencia de oxígeno obteniéndose la ruptura térmica de las moléculas presentes en el residuo. El sistema consiste en dos cámaras, en la primera el residuo es calentado separándose los compuestos volátiles de las cenizas, mientras que en la segunda se realiza la combustión de los componentes volátiles en condiciones de oxígeno, temperatura, tiempo y turbulencia que garantizan la destrucción de los contaminantes.  
Por medio de la pirolisis se pueden tratar líquidos viscosos, lodos, materiales con alto contenido de cenizas, residuos contenidos en carcasas, entre otros. Se requiere de combustibles auxiliares y generalmente tienen poca capacidad de tratamiento.
- **Tecnologías de arco de plasma:** El proceso consiste en poner en contacto el residuo con un gas energizado en su estado de plasma mediante una descarga eléctrica.  
Los residuos son introducidos en el plasma pudiendo alcanzar temperaturas de 3000 a 15000 °C, produciéndose la descomposición de residuos orgánicos mediante su volatilización y posterior combustión. La tecnología es aplicable a residuos orgánicos líquidos finamente divididos y puede ser utilizada para residuos con alto contenido de cloro, pesticidas, PCBs, dioxinas y furanos.
- **Oxidación en sal fundida:** Consiste en un proceso de oxidación sin llama, desarrollado a temperaturas entre 1500 y 2000 °C, donde las sustancias orgánicas son oxidadas por el oxígeno en una cámara de reacción donde se encuentra una sal alcalina fundida (carbonato de sodio). La materia orgánica es oxidada a dióxido de carbono y agua, mientras que otros elementos como fósforo, sulfuros, arsénico y halógenos reaccionan con el carbonato de sodio, siendo retenidos como sales inorgánicas.  
Puede ser utilizado para tratar residuos con bajo contenido de cenizas o alto contenido de cloro.

- **Incineración a altas temperaturas:** Se entiende por incineración al procesamiento de residuos en cualquier unidad técnica, equipo fijo o móvil que involucre un proceso de combustión a altas temperaturas, esta es una de las tecnologías más aceptadas y practicadas aunque requiere de una alta inversión inicial.  
Existen diferentes tipos de incineradores y para cada uno de ellos existen especificaciones para diferentes características tales como tipo y cantidad de residuos a procesar. Los más comunes son los de inyección líquida y los hornos rotatorios, lo primeros empleados para residuos líquidos y los segundos para todo tipo de residuos.  
Las variables operativas más importantes para un incinerador son: la temperatura, el tiempo de residencia y la turbulencia. Estas variables definirán la eficiencia de la destrucción del residuo y la calidad de las emisiones atmosféricas producto de la combustión.
- **Co-procesamiento en hornos de cemento:** La incineración de residuos en hornos de cemento entra en la categoría de co-procesamiento de residuos. Esta denominación deriva del hecho de utilizar la misma unidad de producción de clinker (producto intermedio en la producción de cemento) para la combustión de residuos.  
La industria de cemento está ampliamente distribuida en todo el mundo. Es una industria de alto consumo energético, en la que se utilizan varios tipos de combustibles tradicionales, siendo común el uso de ciertas fracciones de residuos como combustibles alternativos.

## 8. CRITERIOS Y CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y OPERACIÓN

### 8.1 MÉTODO DE DISPOSICIÓN

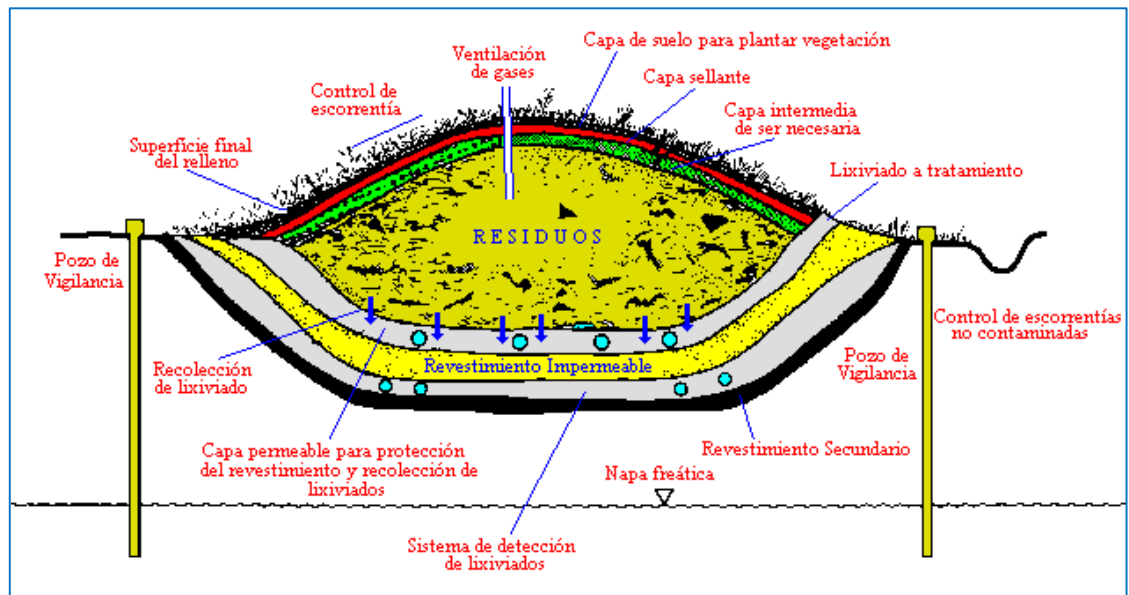
La disposición final de los residuos peligrosos dentro de la celda o relleno de seguridad requiere previamente la adecuación de las celdas de disposición, las cuales deben seguir ciertos criterios técnicos básicos que aseguren la disposición segura de los residuos, la protección del medio ambiente y la comunidad asentada en el área de influencia del proyecto; en estas celdas se deben realizar excavaciones y movimientos de tierra y material removido, en la medida de lo posible, debe ser aprovechado, ya sea como cobertura final o en otras áreas del relleno. En caso de no ser posible su aprovechamiento dentro de la instalación, el material debe ser transportado y dispuesto de la manera más apropiada.

Los métodos principales de construcción de un relleno son:

- Zanja o trinchera: Este método de disposición se realiza mediante excavaciones profundas para remover las diferentes capas del suelo, se adecua y se rellena técnicamente con residuos peligrosos de acuerdo al tipo de residuo se diseña el manual operativo de cada celda de seguridad, en la figura 7 se puede apreciar un esquema de este método.

Este diseño es factible cuando el nivel freático es relativamente profundo y tiene como beneficio que las paredes del relleno serán muy estables, se recomienda profundidades no mayores a 10 m. El inconveniente principal de este método es el manejo técnico de los lixiviados debido a que se debe construir al interior de esta infraestructura un sistema de filtros de fondo para el transporte y evacuación de los lixiviados por medio de tuberías de HDPE no menores a 8" pulg de diámetro, estos deben ser conducidos y almacenados inicialmente en un Man Hole de inspección el cual debe tener dos cámaras internas de almacenamiento de lixiviados, (estas cámaras son la primera para el sistema principal de lixiviados y la segunda es para el sistema de respaldo construido para fugas potenciales en la celda), de igual forma este Man Hole debe estar dentro de la celda y su altura es igual a la altura total de cierre de la celda de seguridad, posteriormente los lixiviados deben ser bombeados y evacuados por medio de bombas peristálticas hacia el sitio de almacenamiento o tratamiento final.

**Figura 7. METODO DE DISPOSICIÓN DE ZANJA O TRINCHER, GUÍA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD EN AMÉRICA LATINA. LIVIA BENAVIDES, CEPIS - GTZ, 1997**



- Talud o área: Este método de disposición se realiza mediante la adecuación y disposición técnica de los residuos peligrosos sobre algún terreno que presente características favorables, incluyendo una ligera pendiente, se recomienda pendientes menores al 15% en el área principal del lote. Este tipo de relleno es recomendable cuando el nivel freático se encuentra relativamente alto. El manejo de lixiviados en este método se facilita ya que evacuación se realiza por medio de gravedad hacia los sistemas propuestos para el tratamiento final de estos líquidos.

La disposición dentro del relleno de seguridad indiferente el método de disposición se debe llevar a cabo dentro de celdas cuyas dimensiones varían dependiendo de las condiciones del terreno, cantidad, tipo y estado físico de los residuos.

El área de la celda debe ser lo más pequeña posible, para minimizar la generación de lixiviados. La altura de cada celda es potestad y decisión del operador del relleno, quien debe considerar una altura adecuada que minimice el riesgo en la operación y que permita una satisfactoria disposición de los residuos peligrosos.

El área de disposición debe ser dividida en celdas hidráulicamente independientes, y cada una de estas a su vez estará dividida en subceldas, en donde los residuos peligrosos serán dispuestos de acuerdo a su compatibilidad. Las subceldas deben estar separadas por diques intermedios impermeabilizados, y la altura de estos debe ser superior a la de los residuos dispuestos (como mínimo 20 cm).

Se recomienda adecuar las celdas de seguridad con un ancho no mayor a 20 m, con una vida útil para 5 años por etapa y un frente de trabajo para seis meses.

## **8.2 RESIDUOS PELIGROSOS QUE SE PUEDEN DISPONER EN UNA CELDA O RELLENO DE SEGURIDAD**

### **8.2.1 Admisiones en la celda o relleno de seguridad**

Dentro del marco de la gestión integral de los residuos y concretamente en el campo de los residuos peligrosos, se busca, siempre y cuando sea posible que exista todo un proceso de prevención en cuanto a la generación de tales residuos (cambio de materias primas, mejora de tecnologías, tecnologías limpias, tratamientos durante el proceso productivo, etc), reutilización y reciclaje, de tal manera que a los sitios de disposición en tierra lleguen únicamente residuos últimos.

Siguiendo este principio, hasta el momento en Colombia se presentan dos alternativas posibles para la disposición de residuos peligrosos últimos: tratamiento térmico (incineración y coprocesamiento) y disposición en tierra (subterránea o superficial). Así pues, para todo residuo que se encamina hacia una de estas dos opciones se debe tener en cuenta tanto sus características físicoquímicas como las de peligrosidad.

Para que un residuo sea aceptado en un relleno de seguridad deberá cumplir con una serie de requisitos indispensables. En este caso contrario, o bien el residuo necesita ser pretratado antes de la disposición, o bien la forma de manejo más apropiada para este será el tratamiento térmico.

## **8.3 CRITERIOS DE ADMISIÓN PARA RESIDUOS PELIGROSOS**

### **8.3.1 Residuos no admisibles en la celda o relleno de seguridad**

Dados los riesgos asociados a la disposición en tierra de residuos peligrosos y especialmente debido a la prevención que se debe tener en cuenta a la generación de lixiviados con altos contenidos de contaminantes, resulta muy importante restringir la admisión de residuos a rellenos de seguridad, de acuerdo con las características de éstos.

Por lo tanto se establece que no serán admitidos aquellos residuos que presenten una o más de las siguientes propiedades:

- Líquidos
- Orgánicos
- Infecciosos
- Inflamables
- Explosivos

La alternativa para los residuos peligrosos últimos que resulten no ser aptos para admisión en celdas o rellenos de seguridad será entonces la remisión a procesos de tratamiento térmicos. (incineración o coprocesamiento).

### **8.3.2 Residuos admisibles en la celda o relleno de seguridad**

Los residuos peligrosos que pueden ser admitidos en una celda o relleno de seguridad deben presentar las siguientes características de peligrosidad, sin incumplir ninguna de las categorías de no admisibles:

- Corrosivos
- Tóxicos
- Reactivos

### **8.3.3 Restricciones de aceptación**

De acuerdo a las características físico químicas de los residuos peligrosos se presentan algunas restricciones de aceptación, las cuales se detallan a continuación:

- Perdida por ignición (LOI): < 10% base seca
- Contenido de humedad: < 30%
- Carbono Organico total (COT): < 6%
- Pruebas de lixiviación: esta prueba se realiza como parte del proceso de caracterización de los residuos, con el fin de evaluar el potencial de migración de contaminantes al lixiviar. Por lo tanto, se deben establecer unos valores máximos aceptables en los resultados, con el fin de minimizar los posibles impactos negativos sobre el medio ambiente al disponer los residuos en el relleno de seguridad.

La prueba de lixiviación se debe escoger en función de las características de los residuos peligrosos. Para residuos monolíticos se debe emplear la prueba de tanque (EA NEN 7375:2004) y para residuos granulares el ensayo SPLP (Metodo EPA 1312) y los resultados se deben comparar con los valores mostrados en la siguiente tabla

**Tabla 8. VALORES LIMITES PRUEBA DE LIXIVIACIÓN, DIRECTIVA UNIÓN EUROPEA.**

<b>Componentes</b>	<b>L/S -10 L/Kg (mg/Kg base seca )</b>
As	25
Ba	300
Cd	5
Cr	70
Cu	100
Hg	2
Mo	30
Ni	40
Pb	50
Sb	5
Se	7
Zn	200
Cloruro	25000
Fluoruro	500
Sulfato	50000
COD	1000 <sup>3</sup>
SDT	100000
mg/l	

- Prueba de estanqueidad y resistencia: De acuerdo a las pruebas de estabilidad y resistencia se debe cumplir con los siguientes parámetros mostrados en la tabla 5. Los residuos que no cumplan con las restricciones dadas deberán ser pretratados de manera que se alcancen los parámetros establecidos para su admisión o dispuestos mediante procesos de tratamiento térmico (incineración o coprocesamiento).

**Tabla 9. PARÁMETROS DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA**

<b>Parámetro</b>	<b>valor</b>
Resistencia transversal (Norma DIN 4096)	$\geq 25 \text{ KN/m}^3$
Deformación Axial (Norma DIN 18127)	$\leq 20 \%$
Resistencia Axial. Fuerza incofinada de compresión (Norma DIN 18136)	$\geq 50 \text{ kN/m}^3$

#### **8.4 MÉTODOS DE DESACTIVACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS**

La celda de seguridad como proyecto integral debe contar dentro de sus instalaciones con un área adecuada para realizar el tratamiento de los residuos peligrosos de acuerdo a sus características, ya que algunos generadores no cuentan con la capacidad instalada para realizar este tipo de procedimientos en sus instalaciones. Además se debe contar con un área contigua para el almacenamiento de las materias primas para realizar los procedimientos de tratamiento y adecuación de los residuos.

#### **8.5 IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD**

Como medio de protección de las aguas subterráneas y con el fin de evitar cualquier tipo de migración de los contaminantes presentes en los lixiviados que se generen en el relleno, es requisito indispensable que en el área de disposición final el subsuelo presente una muy baja permeabilidad, es decir, valores de  $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ , a lo largo de un espesor de por lo menos 3 m. Cuando el suelo no logre satisfacer estos requerimientos, se podrá realizar un reacomodamiento (suelo

modificado), a condición de que se mantenga por lo menos 90 cm de suelo natural con las especificaciones dadas. Dichas características del subsuelo deben ser comprobadas mediante ensayos de laboratorio de tipo triaxial y los resultados deben ser corroborados mediante la elaboración análisis in situ, se recomienda el uso de calicatas, sondeos y pozos. También es necesario tener en consideración que el nivel freático se debe encontrar a una distancia mínima de 1 m por debajo del fondo del relleno (nivel de soporte).

Una vez adecuado el suelo la impermeabilización de las celdas de abajo hacia arriba deberán tener las siguientes características, tenemos 90 cm de un suelo limo arcilloso adecuado o reemplazado y compactado con conductividad hidráulica igual o menor a un  $10^{-7}$  cm/s, geomembrana para el sistema de respaldo de HDPE de 1.5 mm, geodren con una capa de drenaje de mínimo 30 cm con arena de conductividad hidráulica de  $10^{-3}$  cm/s y una red de tuberías que conduzcan el líquido hacia la segunda cámara del Man Hole de inspección, una segunda geomembrana de HDPE de 2.5 mm, material drenante, con variaciones según su localización en la base de la celda o en taludes laterales. En taludes se colocará un geodren análogo al anterior, y en el caso de la base se dispondrá de un manto drenante de 30 cm de arena o material silíceo de conductividad mayor o igual a  $10^{-3}$  cm/s y una red de tubería de HDPE para el sistema que conduzca el lixiviado hacia la primera cámara del Man Hole. Por encima de este material filtrante se colocará un geotextil NT 2200 y 10 cm de material del lugar como soporte inicial para los residuos peligrosos.

## **8.6 COBERTURAS**

Durante las actividades de operación y por el tiempo de vida útil de cada celda o relleno de seguridad se puede prever el uso de sistemas de techado. Se recomienda el uso de techos móviles que eviten el ingreso de aguas lluvias, esta estructura puede estar conformada por un techo liviano soportado sobre una base metálica reticulada. Igualmente se recomienda utilizar una cubierta temporal de polietileno de alta densidad de alrededor de 0.9 mm, lastrada o anclada temporalmente en el frente de vertido. No se debe utilizar coberturas intermedias, de suelo, lo que se recomienda para diferenciar los niveles superiores de avance de disposición en la celda es la instalación de una membrana de alta densidad de 2.5 mm de espesor. Las membranas de HDPE deberán ser ensayadas bajo las directivas de la norma EPA 9090 (Environmental Protection Agency-USA).

La cobertura final de las celdas de seguridad en su etapa de cierre, se debe instalar una capa de cobertura final que tiene por objetivo evitar el ingreso de

aguas lluvias hacia el interior de la masa de residuos, permitir la recuperación paisajística de la instalación y aislar permanentemente los residuos del entorno superficial, evitando futuros contactos con el material dispuesto en el sitio, es decir, con los residuos peligrosos. La cobertura final debe estar en su lugar a más tardar ocho meses después de haber alcanzado la cota máxima; mientras tanto deberá instalarse una cobertura provisional.

La cobertura final debe presentar una pendiente de al menos 5%, de modo que se favorezca el drenaje superficial por gravedad de las aguas de escorrentía, y debe estar concebida de manera que se prevengan los riesgos de erosión. Así pues, tendrá que estar conformada como mínimo por las siguientes barreras naturales y artificiales:

- En primera instancia se debe instalar, sobre los residuos, una capa de compensación que permita un potencial asentamiento progresivo del terreno; esta capa debe tener un espesor mínimo de 50 cm.
- Sobre la capa de compensación es necesario disponer de una barrera natural impermeable que ayude a evitar la percolación de aguas lluvias; esta barrera de mínimo 70 cm constará de arcilla u otro material de permeabilidad  $k \leq 5 \times 10^{-10}$  m/s.
- Adicionalmente se requiere de una barrera artificial impermeable, es decir, un geosintético de HDPE de espesor mínimo de 2,5 mm que refuerce la acción de la pantalla impermeable natural.
- Sobre la capa de impermeabilización artificial se debe ubicar un material de drenaje (mínimo 40 cm) con un coeficiente de permeabilidad superior a  $1 \times 10^{-4}$  m/s que permita la conducción de las aguas lluvias hacia los canales de colección periféricos.
- Para terminar, la capa más superficial de la cobertura final corresponde a una capa de suelo natural fértil (mínimo 30 cm) que sirve como soporte para el material vegetal, favoreciendo una alta evapotranspiración y permitiendo la reincorporación paisajística del área intervenida a lo largo del período de actividad del relleno de seguridad.

## **8.7 MANEJO TÉCNICO DE AGUAS**

Con el fin de evitar la contaminación tanto de las aguas superficiales como de las aguas subterráneas en el área de la instalación del proyecto y en su área de influencia, se hace necesario diferenciar los siguientes tipos de efluentes que se pueden generar y el modo de colección y descarga de cada uno de ellos:

**Aguas residuales de carácter doméstico:** deben ser colectadas de forma independiente, tratadas si es el caso y dispuestas de conformidad con la ley vigente.

**Aguas no susceptibles de ser contaminadas:** corresponden a las aguas lluvias de los techos, de las vías de entrada al sitio, aguas de escorrentía de las zonas periféricas y de las áreas de almacenamiento no explotadas o ya clausuradas, las cuales no corren el riesgo de contaminarse por entrar en contacto con residuos peligrosos. Estas aguas deben ser colectadas y dirigidas a un estanque impermeabilizado donde se realicen los tratamientos que se requiera para que, al momento del vertimiento, se cumplan los parámetros dispuestos en la respectiva normativa vigente. El sistema de descarga de estas aguas debe contar con una válvula o una compuerta que permita detener el vertimiento en caso de contaminación accidental.

**Efluentes industriales y lixiviados:** deben ser colectados y conducidos de manera independiente a otro estanque de almacenamiento impermeabilizado, cuyas dimensiones estarán dadas en función del volumen de efluentes industriales y de lixiviados pronosticado. El tratamiento que se debe realizar a estos efluentes será aquel que permita garantizar el cumplimiento de la normativa vigente, que se aplique en función de los usos a los que se encuentre destinado el cuerpo de agua donde se realice la descarga.

Para la colección de aguas lluvias y de escorrentía, tanto en las celdas que se encuentran en operación como en las celdas clausuradas, se deben disponer de bermas perimetrales impermeabilizadas que garanticen el aislamiento de estas aguas y su conducción segura hasta el aislamiento de estas aguas y su conducción segura hasta el respectivo estanque. En estas áreas el terreno se acondicionara para que el escurrimiento pluvial siga la pendiente natural.

## **8.8 MANEJO TÉCNICO DE LIXIVIADOS**

La operación de disposición final de residuos peligrosos dentro de la celda o relleno de seguridad debe ser de tal forma que estos residuos deben tener características tales que no existe la posibilidad generar lixiviados en el interior de la masa de residuos dispuestos, existen otras circunstancias tales como la precipitación sobre el relleno (específicamente la precipitación directa sobre la celda operativa), y el contenido de humedad que se puedan presentar los residuos, que obligan a la necesidad de diseñar y operar una red de drenaje para lixiviados en los rellenos de seguridad.

Una vez evacuado el lixiviado de la celda de seguridad ya sea por medio de bombeo o gravedad, este debe ser conducido a la planta de tratamiento de estos líquidos, el cual debe estar conformado por sistemas de almacenamiento temporal procesos físicos químicos, entre otros. Se recomienda realizar la caracterización de estos y sus volúmenes para dimensionar y diseñar el sistema más óptimo de tratamiento.

### **8.8.1 Prueba de compatibilidad de los componentes**

La prueba para evaluar este tipo de compatibilidades es EPA METHOD 9090 TEST. Dicho procedimiento consiste en sumergir un material sintético en un ambiente químico por ciento veinte días a dos diferentes temperaturas. Cada treinta días las muestras son removidas y evaluadas en busca de cambios en las propiedades físicas.

### **8.8.2 Tuberías**

En una celda o relleno de seguridad es necesario realizarles pruebas a las tuberías que se utilizan para la recolección de los lixiviados, es decir, debe ser aprobada la fuerza de rompimiento de estas, a que puedan colapsar tanto en la vida útil del relleno, como en el periodo de posclausura. La primera prueba se debe utilizar en estos casos es la ASTM D2412, la cual es usada para medir la fuerza de los materiales de las tuberías.

Las tuberías deben ser de HDPE de mínimo 8" pulgadas de diámetro para su posterior revisión y mantenimiento. Los filtros de fondo y de talud de la celda de seguridad deben tener una pendiente del 2%.

### **8.8.3 Compatibilidad de los residuos**

Los materiales de cobertura, de drenaje y de impermeabilización para el diseño de celdas o rellenos de seguridad es necesario tener en cuenta la compatibilidad de los materiales de revestimiento tanto naturales como artificiales (geosintéticos o membranas), con los residuos y los lixiviados; por tal razón en la instalación se debe evaluar la resistencia de los materiales de revestimiento de membrana flexible, geosintéticos, geotéxtiles y tuberías. Las muestras de compatibilidad química se realizan para asegurar que los materiales de revestimiento permanezcan intactos, no solamente durante la operación de la celda o relleno de seguridad, sino también en el periodo de posclausura.

### **8.8.4 Materiales de drenaje natural**

Los materiales de drenaje natural deben ser probados para asegurar que no se desintegren al estar en contacto con el lixiviado o que formen un precipitado que colapse el sistema. La prueba que se debe utilizar para estos casos es la ASTM D2434, la cual evalúa la capacidad de los materiales para mantener las características de permeabilidad, y las ASTM D1883, que valora la capacidad de los materiales para soportar la carga.

## **8.9 MANEJO TÉCNICO DE GASES**

Si bien es conocido que la emisión de gases de residuos peligrosos es generalmente baja, una evaluación del potencial de generación de gas de una celda o relleno de seguridad y la liberación al subsuelo debe ser evaluada. El gas puede ser generado dentro de los residuos peligrosos dispuestos en la celda o relleno de seguridad por la reacción química de incompatibilidad materiales de desecho o por la descomposición de materia orgánica, que en algún momento se puedan dar por una mala operación de disposición final a lo largo de la vida útil de cada celda. Estos gases también pueden resultar por la incompatibilidad con el lixiviado generado al interior de la celda de seguridad pueden ser otras fuentes de generación de gas. Mucho más difícil de pronosticar son los gases generados por la maduración y alteración química del lixiviado. Además, el gas se puede producir en algunos áreas de la celda o relleno de seguridad y en otros no. La naturaleza y la variabilidad de los residuos peligrosos hacen que la predicción de la generación de gas en general sea incierta.

El potencial para la producción de gas en la ingeniería de diseño de la celda o relleno de seguridad debe ser determinada. Se debe evaluar la posible migración de gas a las capas del subsuelo. La migración de los gases al subsuelo se debe

monitorear de forma rutinaria, especialmente si los volúmenes de gas son significativos. Se debe tomar muestras de los gases detectados con el objeto de determinar la fuente de emisión principal. Esta información debe ser utilizada para diseñar estrategias de mitigación. Un sistema de contingencia con el gas producido debe ser la recolección, transporte, tratamiento y liberación, si es del caso.

## **8.10 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA**

Por otra parte la topografía de la zona es un factor importante en el control que se realiza a la estabilidad geotécnica de la celda o relleno de seguridad en el momento de su operación, por lo que podrá utilizar deformímetros e inclinómetros. Por lo tanto, se debe evaluar la estructura y composición del lugar donde están depositando los residuos peligrosos y su nivel de asentamiento. Este procedimiento se deberá realizar anualmente.

## **8.11 OPERACIÓN TÉCNICA DE LA CELDA O RELLENO DE SEGURIDAD**

### **8.11.1 Operación técnica de la celda o relleno de seguridad**

Se empieza por realizar in procedimientos de admisión para residuos peligrosos.

- **Caracterización básica**

El generador de un residuos peligriso, como parte de su responsabilidad sobre la apropiada disposicion en tierra de este, debera realizar una caracterización que incluya como minimo la siguiente información:

- Fuente y origen del residuo (descripción del proceso en el cual se generó, materia prima empleada y productos finales del proceso)
- Características físicas y químicas. Composición química del residuos lo más completa posible
- Pre tratamientos realizados
- Aspectos del residuos (olor, color, forma)
- Masa y volumen de los residuos
- Forma de embalaje
- Parámetros críticos (LOI, COT, Contenido de humedad, pruebas de lixiviación, estabilidad y resistencia)
- Características de peligrosidad

- Sustancias con las que no se puede mezclarse

Es importante que el gestor solicite esta información con el objeto de determinar, por una parte, si dispone de capacidad suficiente para el almacenamiento temporal de los residuos, y por otra, para establecer si sus tecnologías de disposición en tierra son apropiadas, y ajustar así la admisión a las tecnologías disponibles.

También es importante esta información para determinar la compatibilidad de los residuos entre sí y evitar la generación de situaciones de riesgo en las zonas de almacenamiento temporal. Debido a la heterogeneidad de los residuos peligrosos, es de suma importancia que el generador suministre toda la información posible, al mayor detalle sobre el origen de los residuos (procesos de generación).

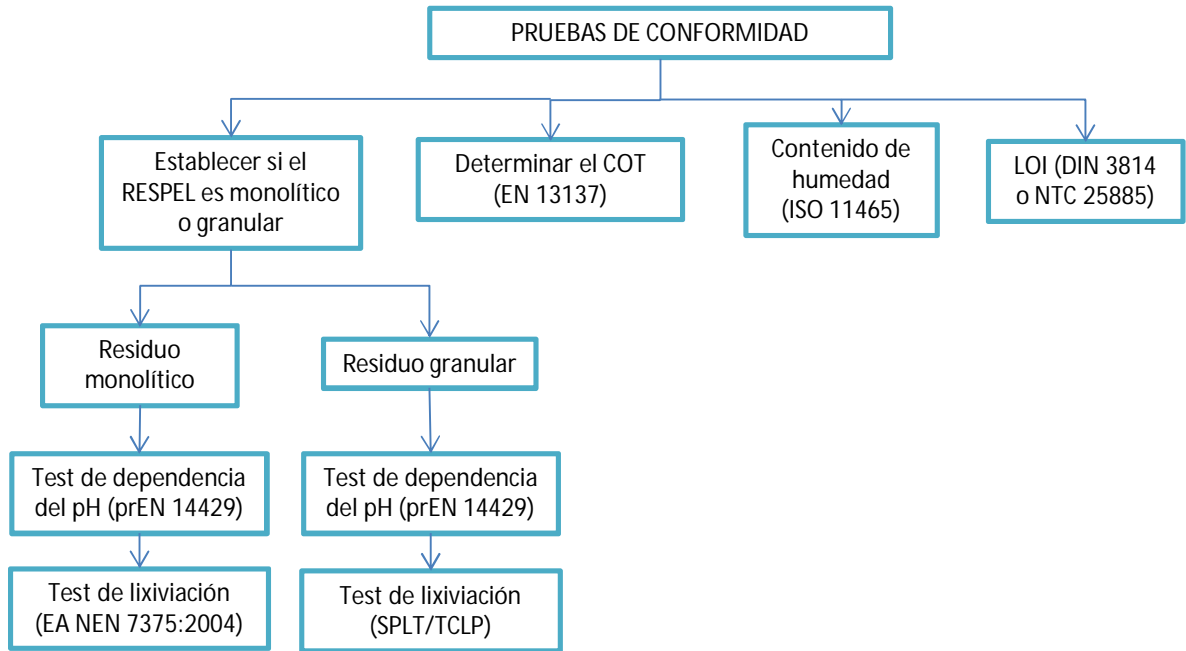
El generador debe actualizar esta caracterización de los residuos peligrosos cada vez que se presenten cambios en su proceso de generación, estos cambios pueden incluir variaciones en los insumos del proceso y variaciones en las condiciones de operación.

Las pruebas de conformidad se debe tener en cuenta con el objeto de comprobar la información suministrada en la caracterización básica de los residuos peligrosos. Estas pruebas permiten verificar que los valores medidos para los criterios de admisión permanezcan en el tiempo, es decir, estas pruebas permiten comprobar después de haber realizado la caracterización básica, que efectivamente el residuo es apto para ser dispuesto en la celda o relleno de seguridad, puesto que sus características siguen siendo aquellas determinadas inicialmente por el generador.

Estas pruebas de conformidad deben ser llevadas a cabo por el gestor de los residuos peligrosos, y se deben realizar cada seis meses durante los primeros dos años de recepción de residuos provenientes de un mismo generador. A partir del tercer año, las pruebas de conformidad se realizarán anualmente o cada vez que el proceso de generación del residuo sea modificado.

Debe llevarse un registro de los resultados obtenidos de acuerdo a la prueba de conformidad efectuada. A continuación en la figura 8 se presenta un esquema que resume las pruebas de conformidad que se debe realizar por parte del gestor del residuo.

**Figura 8. ESQUEMA RESUMEN DE PRUEBAS DE CONFORMIDAD**



- **Certificado previo**

Ningun residuo peligroso debería ser transportado por el territorio nacional sin contar con un certificado de aceptación previa. A partir de la información suministrada en la caracterización, el gestor emitira y comunicara un certificado de aceptación previa en el cual autorice el envío de los residuos peligrosos a su instalación. El certificado de aceptación previa podra ser emitido solamente cuando se considere que las características fisico quimicas de los residuos, tal como las presenta el generador, se encuentren dentro de los parametros admisibles para disposición en tierra y cumplen con las restricciones de aceptación planteadas en el presente documento. De no ser asi, deberra emitirse entonces un comunicado donde se informe el motivo del rechazo de los residuos en la instalación.

El gestor deberra formular este certificado cada vez que se tenga una nueva información sobre los residuos que se van a disponer, es decir, cada vez que un antiguo generador modifique su proceso de producción y siempre que se trate de un nuevo generador. En el certificado de aceptación previa el operador del relleno deberra incluir ademas la fecha para la cual sus instalaciones se encontraran en capacidad de recibir los residuos en cuestión.

- **Verificación a la llegada de los residuos**

El operador de un relleno de seguridad deberá seguir un determinado procedimiento para aceptar los residuos dentro de las instalaciones y concluir el proceso técnico de admisión. Una vez emitido el certificado de aceptación y haber autorizado de esta forma el desplazamiento de los residuos peligrosos hasta las instalaciones de la celda o relleno de seguridad, el operador deberá garantizar la realización de una inspección visual en donde se identifique el tipo de residuos y si este corresponde a la descripción que el generador hizo previamente. Todo lo anterior con el fin de evitar que se acepten residuos no aptos o que contengan otra clase de elementos no permitidos.

La segunda tarea del operador consistirá en revisar los documentos exigidos por el relleno de seguridad, confirmando su legitimidad y cumplimiento.

Una vez que los residuos peligrosos lleguen a las instalaciones de la celda o relleno de seguridad, y antes de su descarga, el operador del proyecto deberá realizar las siguientes actividades:

- Determinar la masa total de los residuos entrantes, mediante el pesaje de estos.
- Verificar la existencia del certificado de aceptación previa
- Verificar la no radioactividad de los residuos
- Realizar un muestreo representativo de los residuos (mínimo dos muestras- volumen mínimo cinco litros) basado en la normativa nacional vigente para caracterización de residuos peligrosos, con el fin de verificar las características físico químicas suministradas en la información previa. Para nuevos generadores esta verificación deberá realizarse cada tres meses durante el primer año de recepción y semestralmente a partir del tercer año de recepción. Adicionalmente, cada vez que se modifiquen las materias primas o el proceso de producción de los residuos peligrosos, deberá realizarse el respectivo muestreo a la llegada de los residuos para la confirmación de las características fisicoquímicas suministradas. Para todos los casos, una de las muestras deberá ser conservada adecuadamente por el gestor durante por lo menos dos años.

Una vez ha sido realizada la verificación de los residuos es obligación del gestor realizar un registro de la información obtenida (identificando fecha y hora de recepción de los residuos peligrosos) y conservarlo a disposición de las autoridades competentes, durante un periodo mínimo de cinco años.

- **Manifiesto final**

El operador de un relleno de seguridad deberá emitir un manifiesto de aceptación o de rechazo de los residuos peligrosos, el cual deberá incluir la justificación de la decisión. Además, este certificado deberá ser conservado por el gestor y puesto a disposición de las autoridades competentes, junto con el registro de la verificación, a la llegada. En caso de que la verificación de las características físico químicas suministradas en la información previa se haya exitosamente, se emitirá un manifiesto final y los residuos podrán ser tratados en la instalación, pasando esto a ser responsabilidad exclusiva del gestor.

En caso contrario se deberá emitir un manifiesto de rechazo definitivo de los residuos, y estos serán remitidos de vuelta al generador, quien seguirá siendo responsable de su adecuado manejo.

Al ser recibido en las instalaciones de la celda o relleno de seguridad, la responsabilidad sobre un residuo peligroso y sus riesgos e impactos asociados es conjunta entre el generador y el gestor de la instalación, y solo en el momento en que se emite el manifiesto final el manejo de los residuos peligrosos y sus impactos sobre el medio ambiente pasa a ser completamente responsabilidad del gestor.

- **Certificado final**

El operador de un relleno de seguridad deberá emitir un certificado final y debe incluir una constancia en donde se informe que se ha concluido exitosamente la actividad de disposición en tierra para la cual ha sido contratado, de conformidad con lo acordado entre las partes. Una copia de este certificado debe ser remitida directamente por el gestor a la autoridad competente. En la figura 2 se detalla el procedimiento de admisión propuesto para la disposición final de los residuos peligrosos en celda o rellenos de seguridad.

## **8.12 DISPOSICIÓN FINAL**

En el momento de operar una celda o relleno de seguridad es necesario asegurar la disposición de los residuos peligrosos desde el comienzo de la operación, con el fin de garantizar la estabilidad del conjunto de residuos y de las estructuras asociadas para evitar posibles deslizamientos. Por tal razón se recomienda la explotación de máximo dos celdas simultáneamente. La altura o cota máxima de residuos por celda se determina para que no se alteren las características

mecánicas ni el sistema de drenaje, siempre buscando la seguridad y estabilidad del relleno.

El inicio de operaciones en la celda N+ 1 dependerá del ordenamiento de la celda No – 1, que puede ser final o temporal, es decir, que en esta última se haya alcanzado la cota máxima. Los residuos deben ser situados por grupos de compatibilidad en cada subcelda, y en caso de no presentar compatibilidad deben ser dispuestos en celdas diferentes. La conformación de estos grupos de compatibilidad es responsabilidad de quien opere la celda o relleno de seguridad.

Si los residuos son dispuestos en bolsas, la altura de las capas debe corresponder a la altura de dos bolsas, las cuales deben ir herméticamente selladas con el fin de evitar la exposición al medio ambiente y daños posteriormente a éste. En la figura 2. Se detalla el procedimiento de admisión de residuos peligrosos para su disposición final en la celda o relleno de seguridad.

Se recomienda la georeferenciación de los residuos dispuestos en las celdas de seguridad para evitar residuos peligrosos no declarados, además se recomienda que la operación de recepción de los residuos peligrosos en el proyecto sea nocturna y su operación si es del caso sea diaria, así se minimiza los posibles accidentes o contingencias que se puedan presentar en las vías transportando los residuos peligrosos desde el generador hacia el relleno de seguridad.

- **MAQUINARIA PESADA Y EQUIPOS**

El relleno de seguridad debe ser mecanizado por sus exigencias y las características de los residuos a disponer, este tipo de infraestructura debe tener maquinaria suficiente y en perfectas condiciones que permitan la operación durante las 24 horas del día durante los 365 días al año.

- **PERSONAL TECNICO Y OPERATIVO**

El relleno de seguridad debe ser operado por personal altamente calificado, este tipo de infraestructura debe tener como mínimo el siguiente personal:

Ing. Director, Ing. Operación, Ing. Ambiental, Ing. Civil, Financiero, tecnólogo auxiliar, Auxiliar de administración, geotécnista, operarios de maquinaria, vigilancia y operador de báscula. En el laboratorio de se debe contar como mínimo con un Químico, tecnólogo químico y auxiliar, los cuales deben garantizar la operación durante las 24 horas del día durante los 365 días al año.

### **8.13 TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

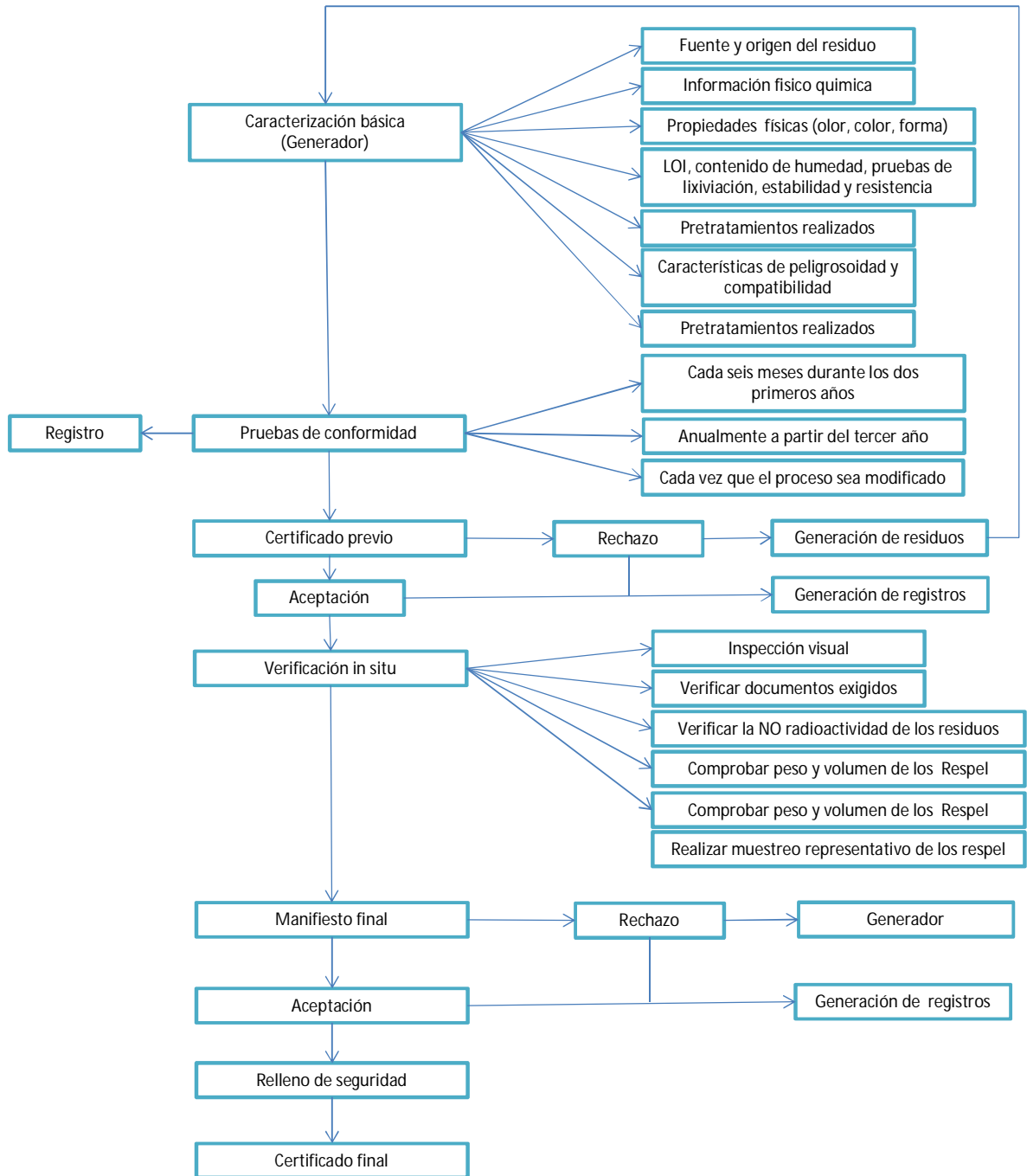
El operador de la celda o relleno de seguridad debe tratar de minimizar el área de operación expuesta a la lluvia, con el propósito de disminuir la infiltración de esta agua en el cuerpo del relleno de seguridad, especialmente en las celdas y subceldas en operación.

Los lixiviados generados en la operación de la celda o relleno de seguridad deben ser recolectados por medio de un sistema simple pero seguro, como fue mencionado en la etapa de diseño. Los lixiviados son recolectados desde el inicio de la operación del relleno y dirigidos a una estructura de almacenamiento donde se les debe realizar un tratamiento posterior, estos lixiviados contenidos en la estructura de almacenamiento no pueden ser descargados a menos que cumplan con los requisitos mínimos exigidos por la normativa de vertimientos vigente.

Las dimensiones de dicha estructura de almacenamiento son decisión del operador del relleno, que debe tener en cuenta y guiarse por criterios técnicos que permitan dar un adecuado tratamiento a este tipo de efluentes generados en la operación de la celda o relleno de seguridad. Es importante mencionar que la aspersión de lixiviados en celdas o rellenos de seguridad sobre las celdas de disposición no debe ser permitida.

Si la descarga de lixiviados se realiza de manera continua, también debe realizarse con frecuencia una toma de muestras proporcional al caudal en la que se tomen medidas como mínimo del pH, la conductividad, temperatura y el caudal.

**Figura 9. PROCEDIMIENTO DE ADMISIÓN PROPUESTO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN CELDA O RELLENOS DE SEGURIDAD**



Además, también deberá realizarse un análisis semanal de COT y de SST sobre una muestra representativa.

La toma de muestras y los análisis realizados deberán efectuarse separadamente en cada punto de descarga. Si la descarga se realiza por baches, debe llevarse a cabo una toma de muestra y un análisis de la calidad de los lixiviados almacenados, evaluando los parámetros establecidos antes de descargarlos.

#### **8.14 TRATAMIENTO DE BIOGÁS**

Para un correcto manejo del biogás que se genera en la celda de seguridad, se debe construir un sistema de recolección pasivo.

Este sistema está conformado por chimeneas verticales, cuyo distanciamiento debe obedecer al tipo de residuos que se van a disponer en la celda de seguridad y a las áreas específicas que requieren mayor control, por lo tanto debe ser un criterio técnico del diseñador, la recomendación es instalarse cada 20 metros, con un sistema al final tipo sondas para su posterior monitoreo y control.

Las chimeneas deben estar construidas desde el fondo de la celda de seguridad, interconectadas a los filtros de fondo de evacuación de lixiviados, estas consistirán de una tubería de alta densidad de 100 mm, esta debe ir perforada por sus ejes, cada 20 cm intercalados por cada eje, entre pulgada y pulgada y media. Esta tubería debe ir revestida con espuma de poliuretano de 10 cm de espesor, exenta de CFCs, fijadas por medio de abrazaderas plásticas de seguridad.

#### **8.15 MONITOREOS Y REGISTROS**

El operador del proyecto debe ser el encargado de llevar toda la trazabilidad durante la etapa de operación mediante un procedimiento de registro y control. Se requiere realizar un balance hidrogeológico anual para evaluar la acumulación potencial del lixiviado y las infiltraciones que se pueden presentar en las celdas del relleno de seguridad. Por lo tanto se debe registrar diariamente los siguientes datos:

- Volumen de precipitación
- Temperaturas mínimas y máximas
- Dirección y velocidad del viento predominante

- Evaporación
- Caudal de lixiviados generados

Se deben realizar estimativos del nivel de escorrentía ingresando a las celdas. Además se hace necesario en el momento de operar una celda o relleno de seguridad llevar un control de las aguas superficiales, subterráneas y de los lixiviados, si son generados. Por lo tanto, se debe recoger muestras en puntos representativos, con el fin de llevar el control de las aguas superficiales y subterráneas. En el caso de aguas superficiales es necesario tomar dos muestras representativas; una aguas arriba y otras aguas abajo del proyecto, en el cuerpo de agua superficial donde se realice la descarga de los lixiviados. Estos análisis se deben hacer por lo menos cuatro veces al año, preferiblemente en periodos hidrológicos diferentes. Se deben realizar análisis de caracterización sobre estos cuerpos de agua, acordes con el uso actual y proyectado y con los parámetros listados en la norma de vertimientos a cuerpos de agua superficial según Decreto 3930 de 2010. El número de análisis debe aumentar en caso de que se presente un accidente o infiltración de los lixiviados.

En el caso de aguas subterráneas se debe realizar este control por medio de la construcción de pozos de monitoreo, unos aguas arriba del relleno de seguridad, y aguas abajo se recomienda construir pozos con una separación entre veinte y treinta metros cubriendo toda la longitud de la celda o relleno de seguridad, con el fin de poder controlar la calidad del agua subterránea y evitar impactos negativos a esta. Estos análisis se deben hacer por lo menos cuatro veces al año, preferiblemente en periodos hidrológicos diferentes. Se deben realizar análisis de caracterización sobre estos cuerpos de agua, acordes con el uso actual y proyectado y con los parámetros listados en la norma de vertimientos a cuerpos de agua subterránea (En caso de no existir norma para aguas subterráneas se puede adoptar parámetros de aguas superficiales según Decreto 3930 de 2010).

La medida de nivel y la caracterización de las aguas subterráneas serán los indicadores que se deben tener en cuenta para evaluar la calidad de las aguas subterráneas. En el caso de que se presenten fluctuaciones en el nivel de las aguas subterráneas se deberá aumentar el nivel de frecuencia de estas medidas.

## **8.16 ÁREAS DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL**

En toda celda o relleno de seguridad para los residuos peligrosos que requieran un almacenamiento temporal dentro de las instalaciones previamente a su disposición final, se debe tener en cuenta una serie de consideraciones como, por

ejemplo, la comprobación de compatibilidad de los residuos entre sí, de tal forma que se garantice la seguridad tanto del personal operativo como de la instalación.

Los residuos peligrosos sólidos deben ser almacenados en bodegas especiales. Estas pueden ser divididas en dos secciones, la primera para el almacenamiento de los residuos donde existan subdivisiones que los agrupen dependiendo de los riesgos asociados a estos, y la segunda como área de homogenización y mezcla. Con el fin de evitar la posibilidad de contaminación del suelo, aguas superficiales y subterráneas debido a fugas eventuales de residuos, el suelo de estas áreas de almacenamiento temporal debe ser impermeabilizado. También es importante que sean cubiertas (techadas), con el objetivo de evitar que las aguas lluvias caigan directamente sobre los residuos peligrosos almacenados.

Otras características importantes de estas áreas son: la implementación de una adecuada ventilación, con el fin de prevenir accidentes, y un sistema de extracción que conduzca los vapores emitidos dentro de la instalación a sistemas adecuados de tratamiento. Finalmente es importante el cumplimiento con los requisitos de las respectivas normativas de seguridad industrial. Las emisiones generadas por el sistema de extracción de estas áreas deberán ser monitoreadas anualmente.

Tales áreas de almacenamiento deben ser diseñadas para un tiempo de residencia máximo de diez días. Sin embargo, se deben limitar los tiempos de almacenamiento de acuerdo al tipo de residuo admitido en la instalación y su riesgo asociado. Además, dentro de estas áreas debe existir un sistema contraincendios apropiado para el tipo de residuos que se esté almacenando.

## **8.17 INFRAESTRUCTURA DE APOYO PARA LA OPERACIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD**

El emplazamiento de una celda o relleno de seguridad para residuos peligrosos debe contar con un sistema de pesaje de mínimo 50 toneladas y con un sistema de medida de radioactividad al momento de recepción de los residuos. Con el fin de evitar el acceso de personal no autorizado a la instalación de la celda o relleno de seguridad y garantizar su aislamiento, se debe tener un cercado o cerramiento perimetral con altura mínima de dos metros y un solo acceso principal.

Las zonas de carga y descarga de vehículos con residuos peligrosos, así como las vías internas de la instalación de la celda o relleno de seguridad, las áreas de estacionamiento, las zonas de almacenamiento y las de tratamiento de residuos peligrosos deben ser adecuadas de modo que se pueda controlar fugas eventuales.

Toda instalación de celda o relleno de seguridad para residuos peligrosos deberá contar con un laboratorio propio (que deberá ser acreditado), ante el IDEAM en donde se realicen las pruebas de verificación fisicoquímica de los residuos en el procedimiento de admisión. En dicho laboratorio podrán también ser caracterizados los residuos generados en el proceso, de modo que se identifiquen sus principales características y las posibilidades de aprovechamiento, reutilización, tratamiento o disposición final de estos. Este laboratorio deberá encontrarse ubicado dentro de los predios de la instalación y el plazo máximo para su instauración será de dos años a partir de la puesta en marcha de las instalaciones, lapso de tiempo durante el cual las pruebas físico químicas de verificación se podrán realizar en laboratorios externos acreditados y capacitados para tal fin.

Adicional a esto el relleno de seguridad debe contar con las siguientes unidades, las cuales serán diseñadas y dimensionadas de acuerdo a los residuos a tratar y disponer en el proyecto, las cuales se describen a continuación:

- Portería de seguridad física:
- Valla de señalización del proyecto, donde se describen las características del proyecto.
- Vías internas temporales y definitivas.
- Sistemas de almacenamiento temporal para posibles contingencias en las vías internas del proyecto.
- Iluminación interna.
- Fuente de energía de poder alterna.
- Señalización vertical y horizontal.
- Oficinas administrativas.
- Oficinas técnicas.
- Campamentos.
- Servicios sanitarios.
- Área de primeros auxilios
- Depósito de muestras de residuos peligrosos para el seguimiento y control.
- Estación de servicio para suministro de combustible, que cumpla con la normativa legal vigente.
- Patio de talleres.
- Casino.
- Acueducto
- Alcantarillado
- PTAR
- PTAP
- Red contra incendios. (en el frente de vertido una red móvil).

- Sistema de control de material particulado.
- Sistema de lavado de llantas.
- Medios de telecomunicaciones
- Zona de amortiguamiento.

## **8.18 INFORMES TÉCNICOS AMBIENTALES**

El operador de la celda o relleno de seguridad que en un panorama óptimo debería ser operado por un consorcio público-privado con participación activa de la autoridad ambiental, debe tomar las medidas oportunas para que los procedimientos de control y vigilancia durante la fase de operación cumplan como mínimo con los siguientes resultados:

El operador de la celda o relleno de seguridad debe llevar a cabo en la fase de operación un programa de vigilancia y control.

El operador debe notificar a la autoridad ambiental competente cualquier daño significativo sobre el medio ambiente y debe acatar las medidas correctivas sugeridas a seguir para mitigar dichos impactos. Con una frecuencia como mínimo de una vez al año, el operador, basándose en datos globales, informará a la autoridad ambiental competente los resultados obtenidos en la vigilancia.

Las instalaciones de rellenos de seguridad para residuos peligrosos deberán informar a las autoridades competentes sobre el funcionamiento general del proyecto. A continuación se describen los informes que se debe presentar y su frecuencia o periodicidad:

Mensualmente debe ser enviado un reporte escrito sobre el ingreso de residuos a la instalación. Este reporte deberá estar discriminado por generadores y deberá incluir la siguiente información:

- Identificación de la entidad generadora del residuo peligroso.
- Cantidad (masa y volumen) de residuos peligrosos recibidos en las instalaciones del proyecto, es decir, aquellos sobres los cuales se ha emitido un certificado de aceptación previa.
- Fecha de ingreso de los residuos a las instalaciones
- Resultados de la caracterización fisicoquímica realizadas por el gestor.

Trimestralmente se debe enviar un reporte escrito de los registros obtenidos de los monitoreos de los lixiviados, aguas superficiales y aguas subterráneas:

- El volumen generado y tratado de lixiviados.
- Los análisis realizados a las descargas de lixiviados al medio natural.
- La calidad de las aguas de escorrentía y de la red de drenaje almacenadas en la piscina de recolección.
- El análisis de aguas subterráneas previo a la entrada en operación de la instalación y los análisis periódicos de la calidad de estas.

Anualmente se debe reportar por escrito la siguiente información:

- Balance de masa que permita a la autoridad evaluar el funcionamiento y la operación de la instalación.
- Un plano actualizado de la instalación donde se observen las rampas de acceso, la localización de las celdas y subceldas, los niveles topográficos de los terrenos, el esquema de recolección de aguas, las zonas dispuestas y desechos almacenados celda por celda, subcelda por subcelda y capa por capa (proveniencia, naturaleza y peso).
- Los resultados de verificación de los desechos.
- Una evaluación del asentamiento y la compresión de los residuos y de la capa disponible.
- Los resultados de caracterización de los vertimientos del sistema de lixiviados.
- Los resultados de caracterización de los cuerpos de agua superficial y subterránea.
- Los resultados de la verificación de conformidad deben ser conservados por quien opera la instalación y deben estar a disposición de la autoridad competente hasta cinco años después de finalizar la disposición final de los residuos peligrosos.

### **8.18.1 Etapa de cierre, clausura y posclausura**

Todo relleno de seguridad tendrá una vida útil correspondiente al tiempo en el cual se encontrarán celdas activas; una vez que se haya alcanzado la capacidad de disposición en el sitio, el relleno en su totalidad deberá ser clausurado, respetando unos criterios básicos que permitirán garantizar la seguridad del lugar a partir de su clausura.

A la fecha de clausura del relleno debe elaborarse un plano topográfico a escala 1:500 que presente como mínimo las siguientes características del área:

- El conjunto de disposiciones del sitio (cierre, fosas de colección, trinchera de drenaje, coberturas y sus límites, estanque de almacenamiento, unidades de tratamiento, etc.).
- La posición exacta de los dispositivos de monitoreo (piezómetros, tuberías, etc.).
- La proyección horizontal de las redes de drenaje (sobre planos diferentes en caso de que exista superposición de redes).
- Curvas topográficas de equidistancia 1 m.

Dado que el relleno de seguridad constituye un depósito a largo plazo de residuos de carácter peligroso, es necesario que aun cuando la actividad de disposición en el sitio haya cesado, se realicen controles y monitoreos de las variables que puedan representar riesgo de contaminación de zonas aledañas por migración accidental de los contaminantes dispuestos. Este tipo de actividades tendrán que ser realizadas y son responsabilidad del gestor por el periodo de tiempo que establezca la autoridad ambiental competente. En ningún caso este periodo de tiempo será inferior a treinta años.

## **9. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

En cada una de las etapas del proyecto se den contemplar los programas que a continuación se describen con el objetivo de que el proyecto se desarrolle de manera segura y ambientalmente sostenible.

### **9.1 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA DE SEGURIDAD**

Dentro del plan de manejo ambiental deberán estar contempladas todas las actividades de movimiento de suelos, movimiento de maquinaria pesada, construcción de infraestructura, requerimiento de electricidad y agua, manejo de residuos sólidos y vertimientos, para que a todas estas actividades les sean evaluados todos los impactos que de ellas se deriven.

### **9.2 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO EN LA OPERACIÓN TÉCNICA CELDA DE SEGURIDAD**

El programa de seguimiento en la operación de la celda de seguridad tiene como objetivo realizar un control y seguimiento a todas las actividades realizadas dentro de las instalaciones del proyecto en el tiempo, esta trazabilidad permite la elaboración de indicadores, los cuales permiten en el tiempo la toma de decisiones. Cada operador debe ser autónomo en la elaboración de los formatos de registro y control de cada una de las áreas del proyecto.

### **9.3 PROGRAMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES**

El programa de monitoreo ambiental tiene como objetivo realizar un control y seguimiento a las posibles fuentes de contaminación durante todo el tiempo del proyecto, es decir desde que comienza sus actividades hasta después de su clausura que deberán continuar los análisis para asegurar que de la celda no migren los contaminantes.

Las variables a monitorear son las siguientes.

### **9.3.1 Emisiones gaseosas**

El plan de monitoreo para las emisiones gaseosas debe diseñarse de acuerdo al tipo de residuos que vaya a ser dispuesto en la celda de seguridad. El monitoreo de la posible migración de gases a terreno natural debe realizarse por medio de los pozos construidos para el monitoreo de las aguas subterráneas que se expone en el punto de manejo técnico de gases

### **9.3.2 Vertimientos**

Para garantizar que la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas esté operando de manera adecuada, se deben realizar los monitoreos a los parámetros de emisión permitidos en la normativa aplicable, Decreto 3930 de 2010.

### **9.3.3 Aguas superficiales y subterráneas**

El monitoreo a las aguas superficiales se hace con el objetivo de conocer las características fisicoquímicas de la pluviosidad que de alguna manera llegara a la celda de seguridad.

Se debe contar con pozos de monitoreo de aguas subterráneas con el objetivo de detectar si hay alguna migración de contaminantes por fallas en los sistemas de impermeabilización, los pozos deben disponerse aguas arriba y aguas abajo del emplazamiento, los resultados que se obtengan de estos análisis servirán de indicadores y darán una muestra del control ambiental que se tenga en el emplazamiento.

La frecuencia de monitoreo varía de acuerdo a los años de operación del emplazamiento

### **9.3.4 Suelos**

Se deben realizar análisis de suelos para verificar que este no se ha contaminado por efectos del viento en el momento en que se realizan los tratamientos de los residuos con características de peligrosidad.

La porosidad de los muestreos también varía durante los años de operación haciéndose más frecuente a medida que pasan los años. Luego de la clausura puede hacerse con una frecuencia semestral.

#### **9.4 PROGRAMA DE MANEJO DE CONTINGENCIAS Y EMERGENCIAS**

El programa de contingencias y emergencias siempre debe estar contemplado, ya que es la herramienta fundamental para tener el conocimiento de cómo actuar y cuando actuar en el momento de una emergencia, causada por la naturaleza o por un error humano, con el objetivo de poder continuar con el normal desarrollo de las actividades que en el relleno se realicen.

Este debe estar en constante revisión para analizar posibles emergencias que vayan surgiendo, ya que un plan de contingencias estático es un plan de contingencias que va perdiendo vigencia y se vuelve obsoleto, dando un aire de inseguridad.

Todo plan de contingencia debe trazarse objetivos estratégicos y para cada uno de estos objetivos estratégicos, un plan de acción que permita lograrlos.

El plan de contingencia debe ser claro, debe detallar que hacer, como hacerlo y en qué momento, este debe permitir una fácil actualización. Es importante reconocer todos los posibles escenarios de riesgo y todas las posibles amenazas que en estos escenarios puedan ocurrir con la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos, también debe tenerse en cuenta el grado de vulnerabilidad que se presenta, el grado de pérdida como resultado de la ocurrencia de un fenómeno, este dependerá de la magnitud de la amenaza.

Es importante contar con un equipo capacitado para el control de las emergencias pero esto no significa que solo ellos deben conocer el plan de emergencia ya que esta es información que todo el personal que se encuentre en el relleno de seguridad debe conocer.

El plan de emergencia debe contemplar un listado de los equipos para extinción de incendios, equipos para control de vertido accidental, equipos de comunicaciones y los sistemas de alarmas, el listado debe señalar el lugar donde se encuentran todos y cada uno de estos elementos, adicionalmente se debe contar con una ficha técnica de cada uno de estos para tener una descripción.

Dentro del plan de contingencias y emergencias se debe incluir un plan de evacuación para el personal que se encuentre en las instalaciones este puede ser apoyado por la ARP del operador. Es importante que este plan de contingencias y emergencias este articulado con el del municipio.

## 9.5 PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Antes de iniciar operación o cualquier actividad al interior del proyecto se debe evaluar la posible generación de riesgos ocupacionales a los trabajadores, los cuales pueden afectar su salud si no se toman medidas preventivas que mitiguen sus efectos.

El Programa de Salud Ocupacional y seguridad industrial tiene como objetivo fundamental el lograr un alto nivel de bienestar físico, social y mental en los trabajadores del proyecto, buscando reducir o eliminar la exposición a los riesgos ocupacionales generados en las diferentes áreas del proyecto.

## 9.6 PROGRAMA DE CIERRE, CLAUSURA Y POSCLAUSURA

Este programa debe contemplar la eliminación y mitigación de pasivos ambientales que se generaron en el desarrollo del proyecto de emplazamiento de residuos peligrosos, deberá contar con todas las exigencias que la autoridad ambiental contemple a fecha del cierre.

### 9.6.1 Primer período (desde la clausura hasta cinco años después)

**Tabla 10. PARÁMETROS A MONITOREAR Y FRECUENCIA DE LOS MISMOS PRIMER PERIODO**

<b>PARÁMETRO A MONITOREAR</b>	<b>FRECUENCIA</b>
Volumen y composición de lixiviados	Trimestral
Nivel y calidad del agua subterránea	Trimestral
Aguas de escorrentía superficial no susceptible de ser contaminadas	Trimestral
Manutención de la cobertura vegetal	semestral
Monitoreo de la topografía y características geotécnicas	semestral

Se debe tener en cuenta que las actividades de revegetalización y mantenimiento de zonas verdes, debe ser realizada con especies nativas del área de emplazamiento, lo menos atractivas posible para la fauna, esto con el objetivo de que esta fauna no sean vehículos dispersores de contaminación.

### 9.6.2 Segundo período del sexto año al quinceavo

**Tabla 11. PARÁMETROS A MONITOREAR Y FRECUENCIA DE LOS MISMOS SEGUNDO PERIODO**

PARAMETRO A MONITOREAR	FRECUENCIA
Volumen y composición de lixiviados	Semestral
Nivel y calidad del agua subterránea	Semestral
Aguas de escorrentía superficial no susceptible de ser contaminadas	Semestral
Manutención de la cobertura vegetal	Anual
Monitoreo de la topografía y características geotécnicas	Anual

### 9.6.3 Tercer período del año dieciseisavo al treintavo

**Tabla 12. PARÁMETROS A MONITOREAR Y FRECUENCIA DE LOS MISMOS TERCER PERIODO**

PARÁMETRO A MONITOREAR	FRECUENCIA
Nivel y calidad del agua subterránea	Semestral
Aguas de escorrentía superficial no susceptible de ser contaminadas	Semestral
Manutención de la cobertura vegetal	cada dos años
Monitoreo de la topografía y características geotécnicas	Anual

El cierre de la celda de seguridad será exitoso cuando cumpla con ciertos requisitos legales y técnicos que a continuación se describen.

Que la Autoridad ambiental competente para cada jurisdicción de él aval del cumplimiento normativo ambiental legal vigente.

La autoridad ambiental debe emitir la resolución con la autorización del cierre del relleno de seguridad.

De acuerdo a lo establecido en el comunicado de la Autoridad ambiental el operador deberá cumplir con todos los requisitos de monitoreo antes descritos. Según lo exija cada autoridad ambiental y en el plazo que esta fije.

El operador debe dar aviso a la autoridad ambiental ante cualquier daño o deterioro ambiental y debe realizar las medidas de corrección compensación o remediación necesarias para disminuir o eliminar dichos impactos.

Una vez clausurado el relleno, el lugar debe ser empleado teniendo en cuenta que no debe representar riesgo para la población y debe ser consecuente con el hecho de la existencia de residuos peligrosos, con el objetivo de integrar nuevamente esta área a su entorno.

## **9.7 PROGRAMA DE CONTROL DE VECTORES**

Con el propósito de evitar la proliferación de insectos, vectores y roedores se debe efectuar un riguroso control, asegurando la oportuna y adecuada cobertura a fin, de proteger a la población del entorno del proyecto.

El manejo integrado de plagas o MIP, se debe realizar y garantizar su trazabilidad durante la vida útil del proyecto mediante controles naturales, culturales, biológicos, mecánicos, entre otros.

## **9.8 PROGRAMA DE ESTABILIDAD GEOTÉCNICA**

La estabilidad en una celda de seguridad dependen de la información obtenida relativa a las deformaciones, movimientos del relleno, parámetros resistentes, a la presión que ejerce el agua en los vacíos del suelo, densidad, geometría, tipos de residuos, método de disposición, sistemas de drenaje de biogás y lixiviados, entre otros datos relevantes.

El comportamiento del relleno dependerá de la información que arrojen las mediciones realizadas sobre la geometría y las deformaciones del mismo.

## **9.9 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN**

La capacitación es parte fundamental del proyecto ya que el personal que opere en el relleno de seguridad debe tener todo el conocimiento técnico y debe ser calificado para garantizar que las condiciones de operación sean óptimas y se lleven a cabo tal como fueron determinadas en el proyecto.

Con el programa de capacitación se entregan todos los conceptos necesarios para que al relleno sea operado de manera segura para la salud y para el ambiente, evitando con esto generar impactos negativos.

## **9.10 PROGRAMA SOCIO AMBIENTAL**

El programa socio ambiental es de vital importancia este se diseña con el objetivo de mitigar, prevenir y compensar los impactos identificados, que se generen a la comunidad deberá responder a las características socioeconómicas y culturales de la población afectada, buscando siempre una interacción continua entre los dueños del proyecto, las comunidades del área puntual del proyecto, para que juntos sean gestores permanentes, participen de las actividades que surjan y con esto sea más fácil el cumplimiento de los objetivos propuestos para el proyecto.

## 10.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La revisión monográfica de este tema demuestra que la normativa en Colombia para el tema de residuos peligrosos está parcialmente desarrollada, si bien es cierto que tenemos políticas y decretos que reglamentan los residuos peligrosos, carecemos de normativas que regulen específicamente el tema de diseño, construcción, operación, cierre, clausura y posclausura para celdas de seguridad, ya que en la actualidad hoy existen herramientas claras que permitan identificar sitios para el emplazamiento de este tipo de estructuras, ni criterios técnicos homologados para el diseño y construcción de estos.

Dentro de los documentos indagados elaborados recientemente en este tema, puntualmente el documento de los andes, se identificó que como propuesta metodológica aún tiene vacíos en temas específicos claves para el desarrollo ambientalmente sostenible de una celda de seguridad, específicamente en el tema de diseño, construcción y especialmente en la operación, la que abarcaría el tratamiento y la disposición final.

Observamos que a nivel internacional existe literatura muy antigua para este tema, entendemos que este tipo de tecnologías serían la última opción dentro de la cadena de disposición final para residuos peligrosos, pero también analizamos que en algún momento es necesaria para países en vía de desarrollo como el nuestro.

En este tipo de proyectos es importante incluir actividades de gestión socio-ambiental que permitan transparencia desde que se concibe la idea hasta su cierre, clausura y posclausura. Con el objetivo de evitar malas experiencias como las que se han tenido en Colombia con el tema de rellenos sanitarios.

Consideramos que este tipo de proyectos por su complejidad deben ser operados por empresas privadas, o en su defecto una empresa de economía mixta con el estado, para garantizar el éxito en la operación. Dado que este tipo de proyectos requieren de personal altamente capacitado y el cambio de administraciones no garantizan continuidad.

Las experiencias evaluadas en Colombia como los es RELLENOS DE COLOMBIA, el de barraquilla, el guacal, observamos diferencias muy significativas, desde su ubicación hasta su operación, lo cual evidencia una vez más la carencia de criterios unificados para la toma de decisiones en este tipo de proyectos.

Con esto se evidencia la necesidad de desarrollar una normativa específica para este tipo de proyectos, en la que se contemplen los parámetros necesarios evitando impactos ambientales negativos significativos y así disminuir pasivos ambientales junto con actividades de remediación o compensación ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA. Jorge. Manual para la Evaluación de Impacto ambiental de proyectos, Obras o Actividades. Septiembre de 2005.

ARES AGUA & RESIDUOS S.A.S. Diseño celda de seguridad de residuos peligrosos en el relleno sanitario El Tejar Municipio de Turbo-Antioquia.2009

ARGENTINA. EL SENADO Y CAMARA DE DIPUTADOS, Ley 26184, Pilas y baterías primarias, prohibición de su fabricación, ensamblado e importación, Diciembre 26 de 2006.

\_\_\_\_\_, Ley 25670. Transformadores con PCBs (Bifenilos Policlorados), 2002

\_\_\_\_\_ Ley 25612, Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios, 2002.

\_\_\_\_\_, Ley 25279, Buenos Aires, 2000.

\_\_\_\_\_, Ley 24051 Régimen aplicable a la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos., Buenos Aires, 1991.

BATSTONE, R.; Banco Mundial; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; Organización Mundial de la Salud. The safe disposal of hazardous wastes: special needs of developing countries. En World Bank technical paper, no.93. Washington, D.C., 1989, EPA. Manual de Manejo de Residuos Sólidos Industriales" F Allende, CONAMA, 1996. [En línea] ([www.epa.gov](http://www.epa.gov))

BEFESA. Empresa de servicios ambientales Argentina. [En línea] <<http://www.befesa.com.ar/inertizacion.html>>, [Consulta: 01 de Agosto de 2011]

BENAVIDES, Livia M. Sc., Oficial en Manejo de residuos peligrosos (CEPIS);  
Junio de 1991

CHILE. Ministerio de Salud Pública. DTO 148 Reglamento Sanitario Sobre Manejo  
de Residuos Peligrosos, Junio de 2004

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA, Ley 99 de 1993. Por la cual se  
crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de  
la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables,  
se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.  
Santa Fe de Bogotá, diciembre 22 de 1993.

\_\_\_\_\_. Ley 388 de 1997. Ordenamiento territorial. Por la cual se modifica la  
Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. Santa Fe de  
Bogotá, Julio 18 de 1997.

\_\_\_\_\_. Decreto 1609., Por el cual se reglamenta el manejo y transporte  
terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera, Santa Fe de Bogotá,  
31 de Julio de 2002

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO  
TERRITORIAL. Política para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos. Santa Fe  
de Bogotá, agosto de 1997.

\_\_\_\_\_. Decreto 1713 de 2002. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994,  
la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio  
público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación  
con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Santa Fe de Bogotá, 7 de agosto de  
2002.

\_\_\_\_\_. Decreto 838 de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002  
sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Santa  
Fe de Bogotá, 28 de marzo de 2005.

\_\_\_\_\_. Política Ambiental para la Gestión Integral de los Residuos o Desechos  
Peligrosos. Santa Fe de Bogotá, Diciembre de 2005.

\_\_\_\_\_. Decreto 2820 de 2010. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Santa Fe de Bogotá, agosto 5 de 2010.

\_\_\_\_\_. Decreto 4741, 30 de Diciembre, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Santa Fe de Bogotá, 2005.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Resolución 1096 de 2000., 31 de Julio “Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS, Santa Fe de Bogotá, 2000.Pág F.12

COLOMBIA. SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE. Secretaria del Medio Ambiente. Proceso de educación y sensibilización en el marco de la gestión de aceites usados, baterías y otros residuos peligrosos generados por el sector transporte. Medellín: secretaria del Medio Ambiente.

EMPRESA DE SOLUCIONES AMBIENTALES PARA LATINOAMERICA DE COLOMBIA. [En línea]

[http://www.tecniamsa.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9&Itemid=14](http://www.tecniamsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=14), [Citado: 27 de Julio de 2011]

ESPAÑA. Ley 10 de 1998, Esta Ley tiene por objeto prevenir la producción de residuos, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar, por este orden, su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, así como regular los suelos contaminados, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas, Madrid 22 de 1998.

\_\_\_\_\_. Real decreto 833 de 1988., por el que se aprueba, el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.30 de julio de 1988.

\_\_\_\_\_. Real decreto 952 de 1997, por el que se modifica el Reglamento para la Ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio de 20,

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1987. A compendium of technologies

\_\_\_\_\_. Landfill covers, Engineering Bulletin, 1993.

\_\_\_\_\_. Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction and Closure. Cincinnati: EPA, 1989.

\_\_\_\_\_. Waste Minimization opportunity assessment manual. En: EPA/625/7-88/003. New York, 1988.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Hazardous waste generation in EEA member countries. Comparability of classification systems and quantities., 2002.

EVAS. Empresa de manejo integral de residuos sólidos en Colombia [En línea] <<http://www.evas.gov.co/>>, [Citado: 01 de Agosto de 2011]

GUIA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD EN AMERICA LATINA. Livia Benavides, CEPIS - GTZ, 1997

HERBERT F. Lound, Manual Mc Graw-Hill de Reciclaje Volúmenes 1 y 2. Mac Graw-Hill 1996

INTERASEO. Empresa Colombiana prestadora del servicio público de aseo [En línea] <[www.interaseo.com.co](http://www.interaseo.com.co/)>, [Citado: 02 de Agosto de 2011]

LAGREGA D. Michael, BUCKINGHAM L. Philip, EVANS C. Jeffrey. Gestión de Residuos Tóxicos tratamiento, eliminación y recuperación de suelos Volúmenes 1 y 2. Mac Graw-Hill, 1996.

MARTINEZ. JAVIER. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos I y II. Centro Coordinador para el Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Septiembre 15 de 2005.

METCALF & EDDY. INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. Tratamiento, vertido y reutilización, Volúmenes 1, 2 y 3. Mac Graw-Hill, 1998.

MEXICO. LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. Diario Oficial de la Federación, 8 de octubre de 2003

NACIONES UNIDAS, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Directrices técnicas para la gestión ambientalmente racional de los contaminantes orgánicos persistentes, elaborados en el marco del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. UNEP 2007

RELLENOS DE COLOMBIA. Empresa que ofrece soluciones técnicas, ambientales y sanitarias para la disposición final de residuos con características peligrosas en Colombia <<http://www.rellenosdecolombia.com.co/>>, [Consulta: 29 de Julio de 2011]

TCHOBANOGLIOUS, George et al. Gestión Integral de Residuos Volúmenes 1 y 2. Mac Graw-Hill, 1996.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Manuel Rodríguez, Andrea Torrado y Sara Vera. Fundamentos y criterios para ubicación, diseño, instalación y operación de infraestructura para la disposición de residuos o desechos peligrosos en rellenos de seguridad. Resultados del Contrato de Cooperación y Cofinanciación C-0595-07 Convenio 012/07 -OEI - Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Universidad de los Andes.

Used in the treatment of hazardous wastes. Cincinnati: Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development. EPA/625/8-87/014.

VERTEDERO DE RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS. Manual de formación. Informe técnicos N°17, PNUMA IE/PAC, EETU, ISWA, 1998.

XAVIER ELIAS, RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES, Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora, 2.a Edición. Diaz de Santos 2009.