



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

**MASTER UNIVERSITARIO EN SEGURIDAD
INDUSTRIAL Y MEDIO AMBIENTE**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y NUCLEAR

**TESIS DE MASTER
ANÁLISIS DEL RIESGO AMBIENTAL DE UN
VERTEDERO CONTROLADO DE RESIDUOS**

PRESENTADO POR:
Gloria Patricia Castillo Marín

DIRIGIDA POR:
SEBASTIÁN SALVADOR MARTORELL ALSINA

Valencia, Noviembre de 2009

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi profesión y lograr otra meta más en mi vida.

A mis padres José Rodrigo y Martha Lucía

Por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. A ellos les debo parte de mi esfuerzo y dedicación en esta maestría, porque nunca me dejaron desistir en mis momentos más difíciles.

Por su apoyo, en mis estudios ya que gracias a ellos soy Ingeniera Ambiental de la Universidad de Medellín, la cual fue merecedora de la acreditación a la primera Ingeniería ambiental en todo Colombia, en la que se formaliza su condición de programa de Alta Calidad; la acreditación fue otorgada por el Ministerio de Educación Nacional, por medio de la Resolución No 4541 del 3 de diciembre de 2004.

A mi tutor Sebastián Salvador Martorell Alsina

Quien siempre estaba cuando lo necesitaba y con paciencia y conocimientos me guió en la realización y conclusión de la tesis.

A cada uno de los profesores de la UPV

Por brindarme sus conocimientos en esta maestría, sus aportes serán de gran valor para mi desempeño laboral

RESUMEN DE LA TESIS

Las características, la composición y la cantidad de residuos sólidos en los vertederos, varían enormemente de unas instalaciones a otras, ya que dependen de factores, como el tipo de comunidades a los cuales se les hace la recolección de residuos; de si es un país desarrollado o en desarrollo, de las ciudades, culturas y nivel de ingresos económicos; otro factor es el presupuesto que tenga la instalación y operación del vertedero, ya que de este depende el tipo de tecnologías utilizadas para y en su construcción, su operación y Monitoreos.

La disposición de residuos, la generación de gases en los vertederos y el almacenamiento de lixiviados en las balsas, no deben ocasionar impactos medioambientales significativos en situación de operación normal, ya que para ello está la normatividad que los rige. Para evitar accidentes se debe tener muy en cuenta la legislación que rige esta actividad y comprobar el grado de cumplimiento, sobre todo en lo relativo a medidas de control de aguas subterráneas y superficiales para vigilar posibles filtraciones.

Se debe comprobar la existencia de un protocolo de actuación en caso de accidente y que el personal encargado de la instalación lo conozca, lo entienda y lo sepa aplicar; ya que su desconocimiento implicaría y conllevaría a accidentes de mayor magnitud y desencadenaría un desastre.

Hay que tener presentes todas las situaciones en las que se puedan producir contaminación de suelo, aire, aguas subterráneas y de aguas superficiales, para esto se debe realizar una correcta instalación de los elementos de diseño y construcción en: el vaso de vertidos de residuos sólidos, la red de evacuación de lixiviados y la balsa de lixiviados y además, realizarles un correcto mantenimiento y Monitoreos frecuentes. Con esto se tienen una serie de pautas, para que, en el caso de fuga accidental, se indique la naturaleza y distribución de la misma.

Lo anterior debe llevarse a cabo con la mayor precisión posible ya que la normatividad medioambiental, con el objetivo de hacer cumplir los principios ambientales en cuanto a que “quien contamina paga”, establece responsabilidades en caso de accidentes, catástrofe o impacto medioambiental, atribuyendo al causante de dicho impacto, los costes de la reparación, lo que obliga a que las instalaciones potencialmente peligrosas sean más seguras, precisamente para evitar gastos ocasionados por un accidente medioambiental.

En la presente tesis se realiza un Análisis de Riesgo Medioambiental para cuatro emplazamientos o partes de un vertedero controlado, los cuales son: la celda de disposición de residuos, el sistema de recogida de lixiviados, la balsa de lixiviados y las chimeneas de extracción de gases; este análisis se realizó aplicando la Norma española UNE 15008, *Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental*, Marzo 2008. Para llegar a cuantificar los riesgos de cada uno de estos emplazamientos, es necesario identificar y familiarizarse con los accidentes más comunes observados en la historia de los vertederos e identificar a partir de este histórico, las fuentes que iniciaron estos accidentes (iniciadores); con estos accidentes, se recrea el accidente en un *árbol de sucesos*, por medio del cual se evalúan las posibles consecuencias asociadas al fallo en un equipo o a una alteración en el proceso; los árboles de sucesos utilizan un análisis prospectivo (a partir de un suceso iniciador se determinan sus posibles consecuencias).

Pero para llegar a estos análisis de riesgo medioambiental, es necesario conocer, tanto el vertedero como los emplazamientos a los cuales se les realiza este análisis, por lo tanto, el capítulo II es la parte introductoria en la cual se hablan de las generalidades de un vertedero, donde se dan a conocer su definición, la clasificación de vertederos en función de su tratamiento, compactación y topografía del terreno; se habla también desde su sitio de ubicación, pasando por los estudios previos, diseño y operación en el vertedero, hasta los problemas más comunes causados por fenómenos naturales o por el tiempo de operación y vida útil del vertedero. Y el Capítulo III, da a conocer, para cada uno de los emplazamientos a analizar, su función y generalidades del mismo, su diseño, materiales, construcción, equipos para su construcción, etc. Con estos dos capítulos se tiene un conocimiento más amplio para entender los *análisis de riesgo medio ambiental* que se llevan a cabo en el capítulo IV.

ABSTRACT

The characteristics, composition and quantity of solid waste in landfills, vary enormously from one installation to another. As they depend on many factors including the type of communities to which they are made to waste collection. Whether it is a developed or developing country; since the type of waste varies greatly in terms of cities, cultures and income levels, another factor is the budget that takes the installation and operation of the landfill. This depends on the type of technology used and in its construction, for operation and other activities such as monitoring.

The disposal of wastes, generation of landfill gas and lixiviates storage ponds should not cause significant environmental impacts in normal operating situation, and that this is the norms that governs them. To avoid accidents you should take into account the laws governing this activity and verify compliance, especially regarding control measures for groundwater and surface water monitoring possible leakage.

It should verify the existence of a protocol for action in case of accident, the facility staff know it, understand it and know how to apply it, otherwise it would lead to accidents in a large scale, and trigger a disaster.

It should be kept in mind all the situations that can result in contamination of soil, air, groundwater and surface water, for that should be done as a correct installation of the elements of design and construction: glass solid waste disposal The lixiviates drainage system and lixiviates pond has to have correct maintenance and frequent monitoring. This will have a set of guidelines, so that in the event of accidental release, indicating the nature and distribution of it.

This should be done as accurately as possible because the environmental regulations; with the objective of enforcing environmental principles as to the "who pollute pays", establishes responsibilities in case of accidents, disasters and environmental impact. Attributing to having such impact and repair costs; which requires that hazardous facilities are safer, precisely to avoid costs caused by an environmental accident.

This thesis shows an Environmental Risk Analysis for four sites or parts of a landfill. Which are the waste disposal cell, the lixiviate collection system, the raft of lixiviate and gas extraction chimneys. This analysis was conducted using the Spanish Standard UNE 15008 Analysis and Environmental Risk Assessment, March 2008. To get to quantify the risks of each of these sites, it is necessary to identify and familiarize themselves with the most commonly reported accidents in the history of landfills and identified from the historical sources that initiated these accidents (initiators). With these accidents recreated in an event tree; by

which assesses the potential consequences associated with failure on a computer or an alteration in the process, the event trees used a prospective analysis (from an initiating event is determine their possible consequences).

To get to these environmental risk analysis, an understanding of both the landfill as the sites to which this analysis were, therefore, Chapter II is the introduction in which they talk about the generalities of a landfill, where they reveal their definition and classification of landfill in terms of their treatment, compaction and topography. They also speak from his place of location, through previous studies, design and operation at the landfill until the common problems caused by natural phenomena or by the operation time and lifetime of the landfill. Chapter III, is where its disclosed for each of the sites to analyze the general function of its design, materials, construction, construction equipment, etc.. With these two chapters you will have a wider knowledge in understanding the environmental risk assessment carried out in Chapter IV.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	3
ESQUEMA DE LA TESIS	4
CAPITULO II	5
2 PROCESO DE LA INDUSTRIA DE TRATAMIENTOS DE VERTEDEROS	5
2.1 GENERALIDADES DE UN VERTEDERO.....	6
2.1.1 DEFINICION	6
2.1.2 TIPOS DE VERTEDERO	7
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DE UBICACIÓN	13
2.1.4 ESTUDIOS PREVIOS	14
2.1.5 PARÁMETRO DE DISEÑO	16
2.1.6 DATOS TÉCNICOS	18
2.1.7 DATOS OPERATIVOS	19
2.2 DATOS SEGÚN PRTR-ESPAÑA	20
2.3 MEDIDAS PREVENTIVAS	24
2.4 LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN Y EJECUCIÓN DE UN PLAN DE PREVENCIÓN FRENTE A DESASTRES NATURALES.	25
2.4.1 PASOS A EJECUTAR.....	25
2.4.2 PROBLEMAS CAUSADOS DURANTE EL TIEMPO DE OPERACIÓN Y VIDA ÚTIL DEL VERTEDERO.....	27
2.4.3 PROBLEMAS CAUSADOS POR CLIMA ADVERSO Y SUS MEDIDAS DE PREVENCIÓN	27
CAPITULO III	29
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VERTEDEROS	29
3.1 VERTEDERO	30
3.1.1 SISTEMAS DE REVESTIMIENTO.....	30
3.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL REVESTIMIENTO.....	39
3.1.3 CONSTRUCCIÓN DE REVESTIMIENTOS DE MEMBRANA SINTÉTICA	40
3.1.4 BARRERAS VERTICALES	42
3.2 SISTEMA DE RECOGIDA DEL LIXIVIADO	43
3.2.1 DISEÑO.....	44
3.3 Balsa de Lixiviados	50
3.3.1 FUNCIÓN DE LAS BALSAS DE LIXIVIADOS	51
3.3.2 MEDIDAS PARA MINIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS:	51
3.3.3 JUSTIFICACIÓN DEL VOLUMEN.....	51
3.3.4 IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO DEL VASO	52
3.4 CHIMENEA DE EXTRACCION DE GASES.....	55
3.4.1 GENERACIÓN DE GAS.....	56
3.4.2 TIPOS DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE GAS	58

CAPITULO IV	60
4. ANALISIS DE RIESGO MEDIO AMBIENTAL	60
4.1 ANÁLISIS PRELIMINAR Y ALCANCE DEL ESTUDIO.....	61
4.1.1 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.....	61
4.1.2 Contaminación atmosférica.....	61
4.1.3 Contaminación del suelo.....	62
4.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	63
4.2.1 IDENTIFICACIÓN DE ACCIDENTES/INICIADORES.....	63
4.2.2 MODELADO DE ESCENARIOS ACCIDENTALES.....	64
4.2.3 CUANTIFICACION DEL RIESGO.....	65
4.3 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y CAUSAS.....	68
4.3.1 FUENTES DE PELIGRO AMBIENTAL OBJETO DE ESTUDIO.....	69
4.3.2 ESTUDIO DE HISTÓRICO DE ACCIDENTES.....	71
4.3.3 ESQUEMA DE LOS EMPLAZAMIENTOS.....	81
4.3.4 ESTUDIOS AMFE.....	84
4.4 MODELADO DE ESCENARIOS.....	92
4.5 CUANTIFICACION DEL RIESGO.....	98
CAPITULO V	111
CONCLUSIONES	112
ANEXO I	114
AUTORIZACION AMBIENTAL INTEGRADA.....	114
ANEXO II	116
FORMATO DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA.....	116
ANEXO III	117
BIBLIOGRAFIA	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema de los elementos de un vertedero controlado	6
Figura 2.2	Vertedero con trituración previa	9
Figura 2.3	Vertedero controlado baja/ media densidad	10
Figura 2.4	Vertederos en área	12
Figura 2.5	Vertederos en trinchera	12
Figura 2.6	Vertedero en vaguada o depresión	13
Figura 2.7	Corte transversal típico de un vertedero	20
Figura 2.8	Reconocimiento de capas y materiales típicos de un Vertedero	20
Figura 2.9	Emisiones al Aire directa en toda España	22
Figura 2.10	Emisiones al agua (directa) en porcentajes en toda España	22
Figura 2.11	Emisiones al agua (indirecta) en porcentaje en toda España	22
Figura 2.12	Complejos industriales de gestión de residuos en porcentaje en toda España	23
Figura 3.1	Variación de la permeabilidad de los minerales arcillosos	32
Figura 3.2	Materiales para impermeabilización en vertederos	34
Figura 3.3	Anclaje de un muro vertical (UESPA, 1984)	42
Figura 3.4	Implantación del sistema de recogida de lixiviado	46
Figura 3.5	Mecanismos del modelo HELP (Aziz et. al, 1992)	47
Figura 3.6	Uso de geotextiles	48
Figura 3.7	Estructura de una piscina de lixiviados en un Vertedero	53
Figura 3.8	Sistema de capa sencillo para la impermeabilización de fondo y paredes de una balsa de lixiviados, tanto en la base como en los taludes laterales	54
Figura.3.9	Sistema de capa compuesto para la impermeabilización de una balsa de lixiviados, tanto en la base como en los taludes laterales	54
Figura 3.10	Migración de gas de un vertedero (Me Bean, E.A. 1995)	55
Figura 3.11	Fases de la generación de gases de vertedero	58
Figura 3.12	Chimeneas de control pasivo de gas	59
Figura 3.13	Pozo activo para la extracción de gas de vertedero	59
Figura 4.1	Clasificación de amenazas según su origen	66
Figura 4.2	Reconocimiento de capas y materiales típicos de un Vertedero	81
Figura 4.3	Reconocimiento de capas y materiales típicos de un sistema de recolección de lixiviados	81
Figura 4.4	Reconocimiento de capas y materiales típicos de una balsa de Lixiviados	82
Figura.4.5	Sistema de capa compuesto para la impermeabilización de una balsa de lixiviados, tanto en la base como en los taludes laterales	82
Figura.4.6	Sistema de capa compuesto de chimeneas de extracción de gases	83
Figura 4.7	Árbol de suceso para el vertedero, consecuencias asociadas al fallo	93
Figura 4.8	Árbol de suceso para el Sistema de Recolección de Lixiviados, consecuencias asociadas	94
Figura 4.9	Árbol de suceso para la balsa de lixiviados, consecuencias asociadas al fallo	95
Figura 4.10	Árbol de suceso para las chimeneas de extracción de gases, consecuencias asociadas al fallo	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Actividades vs Gestión de Residuos	21
Tabla 2.2	Contaminantes, emisiones al aire, emisiones al agua en toda España	21
Tabla 2.3.	Numero de complejos industriales de gestión de residuos por comunidad autónoma	23
Tabla 2.4	Numero de sustancias contaminantes por comunidad autónoma	24
Tabla 2.5	Causas, medidas de prevención y protección, medidas de control y consecuencias de Accidentes	27
Tabla 2.6	Medidas de prevención vs riesgo potencial con referencia al clima	27
Tabla 3.1	Conductividad hidráulica y humedad óptima de los suelos compactados	31
Tabla 3.2	características mínimas a exigir en las láminas de PEAD	34
Tabla 3.3	Valores mínimos a exigir a un geotextil de protección	36
Tabla 3.4	Valores mínimos a exigir a un geotextil filtro	36
Tabla 3.5	Valores mínimos exigibles a la georred	37
Tabla 3.6	Técnicas de soldadura para geomembranas de PEAD	41
Tabla 3.7	Comparación de características típicas de los lixiviados de vertederos	50
Tabla 4.1	Criterios para la evaluación de frecuencia/probabilidad de cada escenario accidental	61
Tabla 4.2	Baremos para la estimación de la gravedad de las consecuencias	66
Tabla 4.3	Modo de ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para cada escenario.	67
Tabla 4.4	Código de tramados, para catalogar el riesgo	68
Tabla 4.5	Fuentes de peligro y su daño potencial en el vaso de un vertedero	70
Tabla 4.6	Fuentes de peligro y su daño potencial en el sistema de recolección de Lixiviados	70
Tabla 4.7	Fuentes de peligro y su daño potencial en balsa de lixiviados	71
Tabla 4.8	Fuentes de peligro y su daño potencial en las chimeneas de extracción de Gases	71
Tabla 4.9	Accidentes contabilizados en el período de 1977 al 2005 por Francisco Colmener	71
Tabla 4.10.	Problemas Causados Durante el Tiempo de Operación y Vida Útil en un Vertedero	78
Tabla 4.11	Problemas Causados por Clima Adverso y Sus Medidas de Prevención	80
Tabla 4.12	Análisis AMFEC para el vaso de Verdadero, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación	84
Tabla 4.13	AMFEC para el Sistema de Recolección de Lixiviados, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación	87
Tabla 4.14	AMFEC para la Balsa de Lixiviados, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación	88
Tabla 4.15	AMFEC para las chimeneas de extracción de gases, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación	91
Tabla 4.16	Árbol de suceso para el vertedero, consecuencias asociadas al fallo	92
Tabla 4.17	Estimación de la frecuencia/probabilidad para el vertedero	98
Tabla 4.18	Estimación de la frecuencia/probabilidad para el Sistema de Recolección de Lixiviados	99
Tabla 4.19	Estimación de la frecuencia/probabilidad para la Balsa de Lixiviados	100
Tabla 4.20	Estimación de la frecuencia/probabilidad para las chimeneas de extracción de gases	101
Tabla 4.21	Estimación de daños para el vertedero	101
Tabla 4.22	Estimación de Daños para el Sistema de Recolección de Lixiviados	102
Tabla 4.23	Estimación de daños para la Balsa de Lixiviados	103

Tabla 4.24 Estimación de Daños para las Chimeneas de Extracción de Gases	104
Tabla 4.25_ Baremos para la estimación de la gravedad de las consecuencias	105
Tabla 4.26 Cuantificación del Riesgo para el vertedero	105
Tabla 4.27 Cuantificación del riesgo para el sistema de recolección de lixiviados	106
Tabla 4.28 Cuantificación del Riesgo para la Balsa de Lixiviados	107
Tabla 4.29 Cuantificación del riesgo para las chimeneas de extracción de gases	108
Tabla 4.30 Código de tramados, para catalogar el riesgo	108
Tabla 4.31 Modo de ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para cada escenario	108
Tabla 4.32 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para el Vertedero	109
Tabla 4.33 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para el Sistema de recolección de Lixiviados	109
Tabla 4.34 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para la Balsa de Lixiviados	110
Tabla 4.35 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para la Chimenea de Extracción de Gases	110

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 2.1. Numero de contaminantes por CAA gestión de residuos por comunidad autónoma.	23
--	----

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 2.1 Vertedero convencional sin trituración	8
Imagen 2.2 Vertedero con trituración in situ	8
Imagen 2.3 Vertedero de baja densidad con cobertura	9
Imagen 2.4 Extendido de basuras	10
Imagen 2.5 Vertedero de alta densidad con trituración	11
Imagen 2.6 Residuos comprimidos	11
Imagen 2.7 Residuos comprimidos	11
Imagen 2.8 Celdas de residuos con cubierta diaria	13
Imagen 2.9 Vertido, distribución y compactación de residuos	13
Imagen 3.1 Colocación del revestimiento	41
Imagen 3.2 Sistema de recogida de lixiviados.	43
Imagen 3.3 Balsa de lixiviados, impermeabilización con geomembrana	53
Imagen 3.4 Tubería de entrada de lixiviados a la balsa de lixiviados	53
Imagen 3.5 Instalación de tuberías recolectoras de lixiviados	54

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento exponencial de la población mundial, ha traído consigo un incremento en el consumo: de alimentos, electrodomésticos, ropa, etc.; todos y cada uno de estos llegan algún día a su fin, algunos más rápido que otros; el día que dejan de ser útiles, son desechados; estos desechos se convierten en basura o técnicamente hablando, en residuos.

El promedio de emisión mundial de residuos por persona, está alrededor de 1Kg/día; los países más desarrollados producen más residuos por persona, que los países menos desarrollados, ya que la variedad en cuanto a la distribución y obtención de alimentos es mayor; es decir, una de las tantas cosas que hacen que un país desarrollado genere más residuos, es que utilizan más cantidad y variedad de productos de corta vida, como empaques y envases.

Ahora la población mundial es de 6.800 millones de personas aproximadamente, si nos imagináramos que cada una de estas genera un kilogramo de residuos son la misma cantidad de personas en kilogramos, lo que sería igual a toneladas y toneladas de residuos diarios. Aunque puede que haya una o varias formas de evitar la generación de tal cantidad de residuos, aparte de las formas conocidas que son reciclar, reutilizar, transformar, entre otras o disminuir; pero simplemente la población mundial no está preparada; ya que si las últimas mencionadas, son poco utilizadas, debido a que ha sido difícil hacer tomar conciencia a la población mundial de separar para reciclar, hace ver, a cualquier otra alternativa, imposible de realizar.

En la actualidad, el destino final de un alto porcentaje de residuos, es el vertedero, el cual hace algunos años utiliza técnicas para la disposición de residuos sólidos en el suelo, sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, este método, consiste confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

Los vertederos a lo largo de los años, han mejorado sus técnicas, modos de operación, equipos, tecnologías, estudios, controles, etc; pero estas mejorías solo se han visto, debido a que la legislación se ha vuelto cada vez más restrictiva, tanto que la legislación afecta a parámetros de ubicación, diseño, gestión, clausura y controles postclausura del vertedero.

Pero por más legislación que exista en procesos y actividades, siempre va a existir la probabilidad de accidente en cualquiera de estas; por lo que es conveniente realizar un estudio, para identificar los posibles accidentes, y con ellos realizar análisis de riesgos y modelizar sus posibles escenarios accidentales, para concluir con la elaboración y ejecución de un plan de prevención de accidentes y/o desastres; este plan lo debe conocer, entender y aplicar el personal encargado de la instalación, ya que ellos son los que deben evitar los accidentes o actuar en caso de que se presente alguno.

JUSTIFICACIÓN

La presente Tesis se ha realizado para el Máster de Seguridad Industrial y Medio Ambiente del Departamento de Ingeniería Química y Nuclear de la Universidad Politécnica de Valencia.

La elección del tema “Análisis del riesgo ambiental de un vertedero controlado de residuos”, se debe a que las prácticas de mi carrera como Ingeniera Ambiental las realicé en una empresa de “aseo, recolección, transporte, transferencia, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos”; del municipio de Medellín, en el Departamento de Antioquia, Colombia. En la Empresa INTERASEO S.A. E.S.P, afiancé mis conocimientos en cuanto a vertederos; pero además, la materia de Análisis Probabilística de Riesgos del Master, con el Profesor Sebastián Salvador Martorell Alsina, me proporcionó los elementos para entender que el tema ambiental no se agota y más en estudios relacionados con el campo accidental.

El Interés de referirme a la probabilidad de riesgos accidentales en un vertedero controlado, se debe a que a pesar de que existen estudios de probabilidad de accidentes en muchos campos ambientales, los provocados por y en un vertedero, no ha sido estudiado en profundidad. Elegir un vertedero controlado como tema de investigación, se debe a que cada día se tienen más factores contaminantes y mayores riesgos de accidentes en estos sitios, a pesar de los nuevos avances tecnológicos y de las precauciones que se toman tanto en la recolección como en la disposición final.

Lo anterior ha motivado mi interés por realizar un análisis de probabilidad de accidentes ambientales en vertederos, de daños y riesgos a través de cálculos y análisis. Y aunque existen ya varios estudios en cuanto a emisiones y contaminación; varias leyes que condicionen, regulen o prohíban algunas actividades que involucran el medio ambiente, los estudios de accidentes ambientales aún no dan cuenta en varios campos y actividades, ya que es difícil de indagar y evaluar, en razón a que en un daño ambiental intervienen varios elementos como aire, agua, fauna, flora, humanos, materiales, etc (como elementos directos) y que cada uno de ellos responden de forma diferente al accidente, sin contar con la dificultad que se dá, cuando el accidente afecta de forma indirecta a una comunidad o a otro recurso.

El realizar este análisis de probabilidad de accidentes ambientales en un vertedero controlado, es importante ya que he visto necesario plantear una línea de investigación para maximizar las medidas protectoras que rigen la eliminación de residuos sólidos.

Los estudios que se acercan a esta parte de trabajos realizados, están encuadrados en un marco general, que es la evaluación de impacto ambiental, a la que están sometidas este tipo de instalaciones.

El análisis de riesgos es reconocido como una herramienta concebida para ayudar a lograr el desarrollo sostenible, ya que permite planificar los recursos necesarios en materia de seguridad y calidad industrial, a partir de la cuantificación de los riesgos aportados por la actividad industrial.

ESQUEMA DE LA TESIS

La presente Tesis se estructura en cinco capítulos, los cuales serán descritos brevemente a continuación:

- Capítulo I. Éste contiene dos partes, la primera parte es la justificación de la tesis, la cual indica el porqué de la realización de ésta tesis y el tema escogido; y la segunda parte es ésta sección, la cual describe de forma breve el contenido de los de los capítulos que conforman la tesis
- Capítulo II: es la parte introductoria, y por lo tanto la más general. En este capítulo se mencionan las generalidades de un vertedero, como sus diferentes definiciones y partes que lo constituyen, la variedad de tipos y clasificación de vertederos, dependiendo del tratamiento, compactación y topografía del terreno; se clasifican las características que debe poseer el lugar o sitio para la ubicación de un vertedero, los estudios previos y parámetros de diseño que involucran su emplazamiento, modos de operación en varios aspectos; y por último se puede observar en este capítulo algunos lineamientos muy generales para la elaboración y ejecución de un plan de prevención frente a desastres naturales, y estos contienen unas tablas las cuales resumen los problemas generales durante la operación y por climas adversos.
- Capítulo III “Diseño y Construcción de Vertederos”: Aquí se especifican los elementos, materiales, equipos, diseño de los emplazamientos, métodos de construcción y modos de operación, de los cuatro tipos de instalaciones que se tendrán en cuenta para su análisis de accidentes, los cuales son: la celda de disposición de residuos, el sistema de recogida de lixiviados, la balsa de lixiviados y las chimeneas de extracción de gases
- Capítulo IV “Análisis de Riesgo Medio Ambiental”: En este capítulo se realiza el análisis probabilístico de riesgos para los cuatro emplazamientos: celda de disposición de residuos, el sistema de recogida de lixiviados, la balsa de lixiviados y las chimeneas de extracción de gases. Se comienza con el reconocimiento de accidentes ambientales y para estos se identifican los iniciadores, con el fin de determinar los modos de fallo. Con lo anterior se modelan los escenarios accidentales por medio de árboles de eventos para cada emplazamiento y escenario, teniendo en cuenta los factores condicionantes que cada emplazamiento posea para cada escenario accidental.

Luego para cuantificar los riesgos, es necesario tener en cuenta la frecuencia y el daño que genera cada escenario accidental. La frecuencia/probabilidad se obtiene de un histórico accidental en un intervalo de 50 años y el daño se obtiene a partir de una formula, para la cual cada variable tiene unos criterios de evaluación establecidos; al resultado se le da una valoración de “No relevante” a “Critico” y a estos calificativos se les asigna un puntaje de gravedad.

Y por último se cuantifica el riesgo multiplicando la probabilidad por la gravedad y mientras mayor resultado el riesgo será más alto.

CAPITULO II

2 PROCESO DE LA INDUSTRIA DE TRATAMIENTOS DE VERTEDEROS

2.1 GENERALIDADES DE UN VERTEDERO

Este alcance en primera estancia define los requerimientos mínimos necesarios para que el sistema de disposición final de vertederos sea diseñado, operado y monitoreado para evitar y mitigar los impactos ambientales que son generados al utilizar el sistema.

2.1.1 DEFINICION

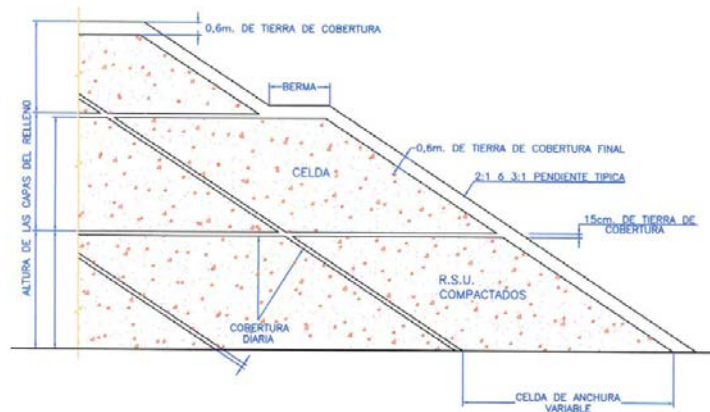
Según Directiva al territorio español reglamentada por el *Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero* y define **vertedero** como instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en la superficie. Se incluyen en este concepto las instalaciones internas de eliminación de residuos, es decir, los vertederos en que un productor elimina sus residuos en el lugar donde se producen. No se incluyen las instalaciones en las cuales se descargan los residuos para su preparación con vistas a su transporte posterior a otro lugar para su valorización, tratamiento o eliminación.

La Generalitat Valenciana, por su parte, mediante la *Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana*. [2000/10177], define **vertedero** como *instalación de eliminación que se destina al depósito de residuos en la superficie o bajo tierra. No tiene la consideración de vertedero el almacenamiento temporal de residuos por tiempo inferior a dos años o seis meses si se trata de residuos peligrosos.*

La definición mas aceptada de **vertedero** o relleno sanitario es la dada por la *American Society of Civil Engineers (ASCE)*; Relleno sanitario o vertedero es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, método este, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

Para el conocimiento general de las operaciones en un vertedero, se define lo siguiente [8]:

Figura 2.1. Esquema de los elementos de un vertedero controlado [8]



Celda unitaria: volumen de material depositado en un vertedero durante un periodo de explotación, normalmente de un día. Una celda incluye los propios residuos sólidos depositados y el material de cobertura, con frecuencia diaria y cuyos objetivos son eliminar la existencia de olores procedentes de la descomposición de éstos. Esta cobertura tendrá un espesor de 15 a 30 cm de un material con características determinadas y que preferiblemente lo podamos extraer de una zona cercana al vertedero para minimizar costes de transporte.

Berma: Son terrazas utilizadas cuando la altura del vertedero es considerable y tienen como objetivo mantener su estabilidad. También son utilizadas para la ubicación de los canales para el drenaje de aguas superficiales y tuberías para la recuperación de gas.

Impermeabilización del vaso: Se realiza con materiales naturales y/o artificiales. Estos materiales deben recubrir el fondo y las superficies naturales. Los recubrimientos son diseñados para evitar la migración del lixiviado y del gas.

Lixiviado: Líquido producido por la humedad presente en los residuos y cuando el agua procedente de la escorrentía superficial y/o lluvia se pone en contacto con los residuos depositados y adquiere características de líquido contaminante.

Frente de trabajo: Es el lugar donde los vehículos descargan los desechos para su posterior colocación, compactación y recubrimiento.

Biogás: Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable de las basuras, cuyos componentes principales son el metano y el dióxido de carbono.

2.1.2 TIPOS DE VERTEDERO

La *Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos*, establece una clasificación muy genérica de los vertederos en función de los residuos que van a ser depositados en ellos. Las tres clases de vertederos enunciadas en el *artículo 4* de la citada Directiva son:

- **Vertedero para residuos peligrosos**, considerándose "*residuos peligrosos*": todo residuo comprendido en el ámbito de aplicación del *apartado 4 del artículo 1* de la Directiva 91/689/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a los residuos peligrosos⁷;
- **Vertedero para residuos no peligrosos**, considerándose "*residuos no peligrosos*": los que no están incluidos en el tipo anterior
- **Vertedero para residuos inertes**, considerándose "*residuos inertes*": los residuos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. la lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la

ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas;

2.1.2.1 Clasificación en función del tipo de tratamiento de los residuos [8]

Según la técnica de depósito de los residuos, se encuentran:

- **Vertedero convencional sin trituración:** Los residuos son descargados directamente por el camión en el frente de trabajo, se extienden con maquinaria diseñada y acondicionada para ello.



Imagen 2.1. Vertedero convencional sin trituración [12]

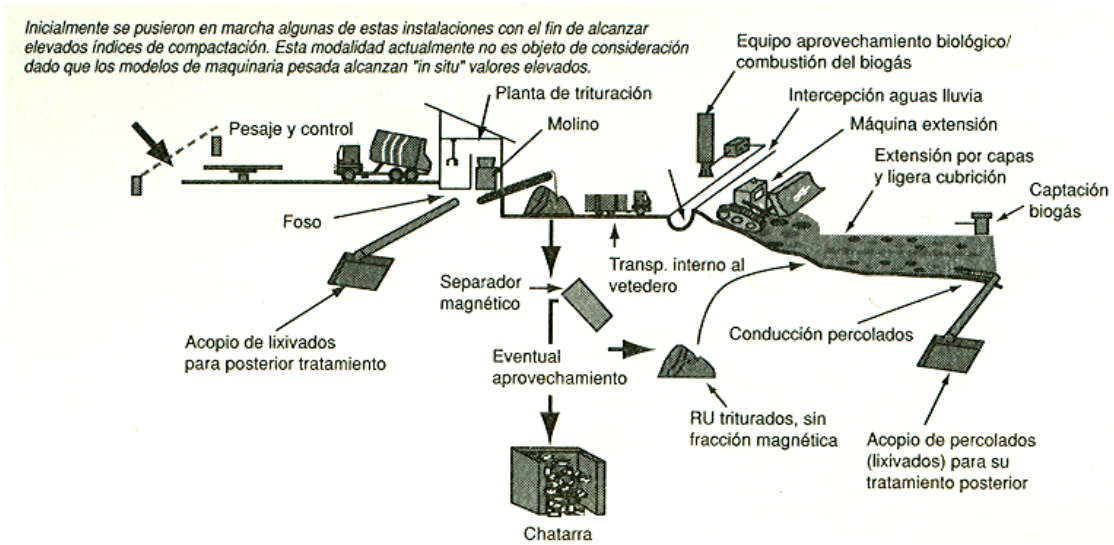
- **Vertedero con trituración in situ:** La maquinaria empleada realiza las funciones de extendido, compactado y triturado. Se denominan buldózer pata de cabra y pueden aplicar densidades elevadas en los residuos. A consecuencia de la trituración, aumenta la superficie de contacto entre los residuos, aumentando la aireación, la humedad y la homogeneidad y, en consecuencia, tiempos menores de descomposición por iniciarse una fermentación aerobia y una menor liberación de lixiviados.



Imagen 2.2. Maquinaria para trituración in situ [12]

- **Vertedero con trituración previa:** Los residuos son triturados en una planta de trituración, antes de su depósito. Este método se aplica en zonas donde el coste de los terrenos es alto, no se cuenta con material de cobertura adecuado y la pluviometría es baja. El grado de compactación es mayor que en los vertederos

convencionales y no provocan problemas de vuelos ni de malos olores. Como consecuencia de todo esto, la velocidad de descomposición aumenta.



2.1.2.2 Clasificación en función del grado de compactación [9]

En los vertederos controlados la compactación es un parámetro de gran importancia ya que influirá directamente sobre la vida útil del vertedero, la rapidez en la descomposición y la producción de biogás y lixiviados. Dependiendo del tipo de compactación podemos diferenciar los siguientes tipos de vertederos, teniendo siempre en cuenta que este tipo de vertederos está exclusivamente destinado a residuos no peligrosos de origen doméstico:

- **Vertedero de baja densidad con cobertura:** En estas instalaciones el residuo es extendido por una pala cargadora que produce, únicamente por la acción de su peso, una rotura, desgarró y compactación débil, llegando a alcanzar densidades de 500 Kg/m^3 . La misma máquina cubre diariamente los residuos con una capa de 15 - 20 cm de tierra para evitar problemas de insectos, roedores, olores, vuelos, etc. En estos vertederos se suelen alcanzar alturas de celda de 1,5 – 2,5 m., con pendientes de 1V:3H. Es necesaria la instalación de sistemas de recogida de lixivados y gases. Estos vertederos se utilizan en zonas urbanas con bajas producciones de residuos.



Imagen 2.3. Vertedero de baja densidad. [12]

- **Vertedero de media densidad con cobertura:** Este tipo de vertedero requiere maquinaria especializada con un peso mínimo de 15 toneladas para alcanzar densidades en torno a los 700 - 800 Kg/m³. La máquina compacta inicialmente los residuos y posteriormente compacta los mismos junto al material de cobertura de tierra para evitar problemas de insectos, roedores, olores, vultos, etc. Los costes son similares a los del de baja densidad con excepción de la maquinaria que es mayor. Es necesaria la instalación de sistemas de recogida de lixiviados y gases. Estos vertederos se utilizan en zonas urbanas con bajas producciones de residuos.



Imagen 2.4. Extendido de basuras. [12]

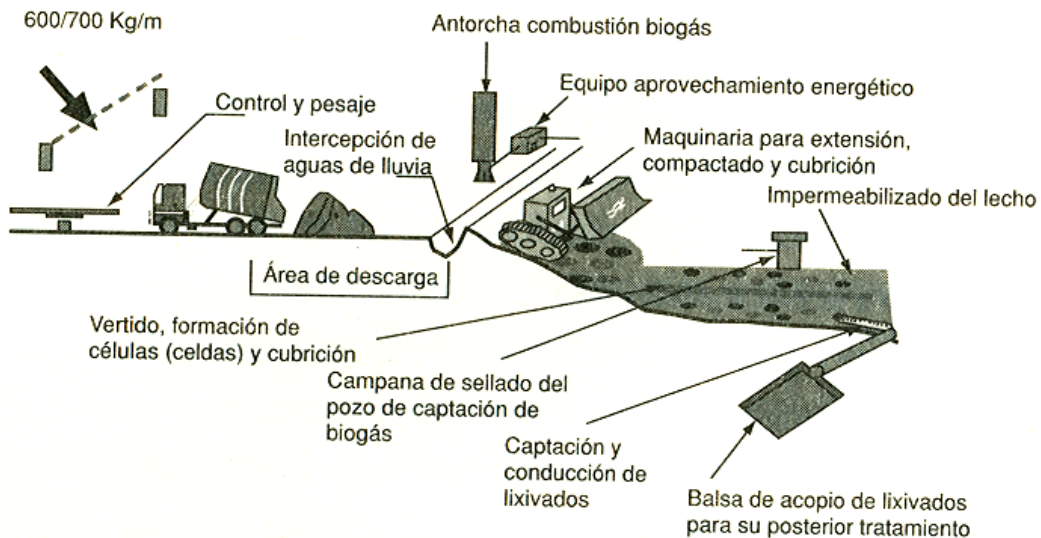


Figura 2.3. Vertedero de media densidad con cobertura [9]

- **Vertedero de alta densidad con trituración:** Los residuos se extienden y se compactan en capas de 15 a 30 cm., con maquinaria específica que consigue la trituración y alta compactación, gracias a un accesorio incorporado por la máquina denominado "pata de cabra". La densidad puede llegar hasta 1100 kg/m³. La estabilización de las capas, si la pluviometría es baja, se alcanza gracias a la fermentación aerobia de los residuos que tarda de 1a 2 meses, lo cual impide la liberación de malos olores. Cuando una capa está estabilizada, se procede al depósito de la siguiente capa. Se requieren grandes superficies al tener que echar los residuos en capas finas que consiguen una gran superficie de evaporación,

ausencia de vientos, ausencia de roedores y eliminación de lixiviados. Se emplean cuando se dispone de poco volumen



Imagen 2.5. Vertedero de alta densidad con trituración [12]

- **Vertedero de alta densidad, en balas:** El sistema consiste en prensar los residuos, comprimirlos y empaquetarlos, en las estaciones de transferencia o plantas de clasificación y compostaje, formando balas flejadas que mantienen su cohesión y estructura, de esta forma se obtienen elementos de formas regulares que permiten la fácil colocación en el vertedero. La densidad llega hasta 1000 kg/m^3 . Esto hace que los vertederos de balas requieran menor cantidad de material de cobertura para evitar la infiltración de las precipitaciones, lo que en conjunto, permite aprovechar el espacio disponible en un 25 % con respecto al vertedero tradicional.



Imagen 2.6. Balas de Residuos Sólidos [14]



Imagen 2.7. Balas de Residuos Sólidos [14]

Por otra parte, los residuos pierden un 10% de escurridos al ser comprimidos, de esta forma se reduce el volumen de lixiviados generado y se evitan los asentamientos bruscos de la masa de residuos, contando además con la gran estabilidad estructural que otorgan las balas. Las zonas intersticiales que quedan entre las balas, pueden rellenarse con materiales finos (trozos de vidrio, huesos de frutos y otros rechazos, etc.) Los tipos de embaladoras existentes en el mercado son:

- De esfuerzo vertical, con el cual se obtiene mayor compactación para la misma energía aplicada, pero requiere un tiempo adicional para la descarga de la bala.

- De esfuerzo horizontal, siendo de este último, la mayoría de los destinados a los residuos urbanos. Las dimensiones de las balas, dependen de la máquina embaladora, aunque generalmente se sitúan en 100 cm. de ancho, 120 cm. de alto y 100 – 200 cm. de longitud.

2.1.2.3 Clasificación en función de la topografía del terreno [9]

Vertederos en área. Se aplican en terrenos relativamente llanos, con grandes extensiones en las que la capa freática está a poca profundidad y, por lo tanto no se pueden realizar excavaciones importantes. El material de recubrimiento se obtiene normalmente de terrenos adyacentes y es transportado mediante camiones. La máquina más usada es el tractor de cadenas con cuchilla frontal. Se forman depósitos de residuos cubriendo todo el frente de trabajo, a los que se denominan celdas. La altura máxima recomendable de la celda es de 2,5 metros, para evitar asientos posteriores excesivos.

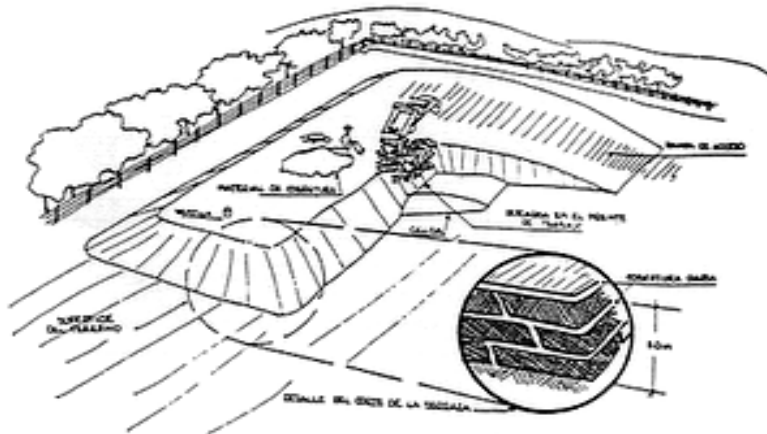


Figura 2.4. Vertedero en área [14]

Vertederos en trinchera: Se aplica en terrenos amplios y llanos con capa freática profunda, ya que se realizan excavaciones importantes. Las zanjas se recubren de residuos que se tapan con el material previamente excavado. Se suelen hacer varias trincheras paralelas cuya anchura mínima será dos veces la anchura de la máquina que extiende los residuos. La altura máxima recomendable es de 2,5 metros. El material sobrante procedente de la excavación se puede utilizar como relleno o para terraplenes.

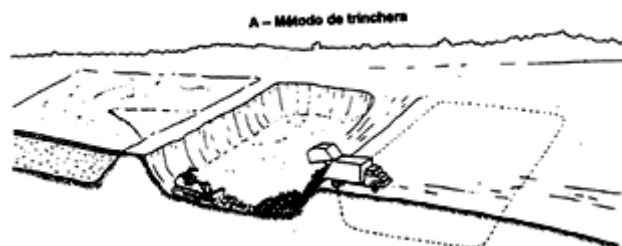


Figura 2.5. Vertederos en trinchera [14]

Vertederos en vaguada o depresión: Se aprovechan las características topográficas del terreno aprovechándose un valle, un barranco, una hondonada o una cantera abandonada. Para el caso de aprovechamiento de un barranco es necesario considerar la escorrentía, evitando que el agua pase a través de la masa de residuos. Esto se consigue por medio de canales perimetrales dimensionados en función de la pluviometría máxima de la zona. Una vez que el vertedero se ha clausurado es conveniente reforestar la zona para disminuir los procesos erosivos y mantener la estabilidad



Figura 2.6. Vertederos en vaguada o depresión [14]

Se realiza de forma similar al vertedero en área, aprovechando una ladera de un monte. Hay que tener especial precaución con la inclinación de la pendiente del terreno y con su rugosidad, para evitar posteriores deslizamientos. Una vez que se ha clausurado se deben reforestar para minimizar los riesgos erosivos. Incluiríamos en este caso la cubrición de canteras en las laderas de las montañas.



Imagen 2.8. Celdas de residuos con cubierta diaria [1]



Imagen 2.9. Vertido, distribución y compactación de residuos. [2]

2.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DE UBICACIÓN [3]

- Seleccionar un sitio que permita realizar la D. F. (Disposición final) en forma técnica, ambiental y económica.
- Minimizar los efectos del I. A. (impacto ambiental)
- Minimizar la distancia de transporte.
- Vida útil compatible con la gestión, costos de adecuación y obras de infraestructura.
- Suficiente material de cobertura.
- Facilitar la operación (topografía)
- Desarrollo del municipio (uso del suelo, expansión del casco urbano)
- Poseer documento de la propiedad del terreno.

Además existen restricciones generales como establecer distancias mínimas respecto a aeropuertos, casco urbano, cuerpos de agua, zonas de falla, fuentes de agua potable; obras civiles existentes – acueductos, alcantarillados, vías; restricciones en

zonas de humedales, pantanos o similares y considerar impactos asociados a olores y ruidos generados por el tráfico debido a la operación del vertedero.

2.1.4 ESTUDIOS PREVIOS [5]

Preseleccionadas las posibles áreas de emplazamiento del vertedero, es necesario efectuar una serie de estudios previos a efectos de completar los datos preliminares que son imprescindibles para encarar la planificación de este método de disposición final, como lo requiere todo Proyecto de Ingeniería.

Obtención de Datos.

Bajo este ítem se reúnen los resultados de la investigación previa para la obtención de datos que permitan encarar el proyecto con información actualizada; es una tarea que muchas veces resulta dificultosa por la carencia de estadísticas y valores confiables. Para una mejor planificación de la tarea a realizar, los datos a obtener se agrupan de la siguiente manera:

a) Legislación Vigente

Es necesario obtener información y recopilar leyes, decretos, ordenanzas, reglamentaciones y toda legislación relacionada con temas tales como:

- Gestión de residuos sólidos en todas sus etapas: almacenamiento, transferencia, recolección, transporte, tratamiento y disposición final.
- Protección del medio ambiente: aire, agua, suelo.
- Normas para la construcción, instalación y equipamientos industriales que tengan como objetivo preservar la salubridad, seguridad e higiene del personal y poblaciones aledañas.
- Ordenamiento territorial y uso del suelo

b) Datos Estadísticos

La búsqueda de información debe referirse a las características del área de influencia del vertedero en todo lo referente con la generación de residuos sólidos tales como: cantidad y calidad de residuos generados, cantidad de habitantes y la tasa de crecimiento prevista. Estos datos posibilitarán conocer la cantidad de residuos que ingresarán, y por consiguiente establecer la capacidad necesaria o tiempo de duración del terreno a seleccionar. La frecuencia de los vehículos recolectores durante la jornada, permitirá prever las horas pico de ingreso de los mismos.

El sistema de descarga y demás características de estos equipos permitirá conocer si se necesitarán sectores diferenciados de operación. El conocimiento de las actividades principales que se desarrollan en la zona, hará saber las características de los residuos, como así también la potencial producción de los mismos, cuáles son aquellos cuyo ingreso al vertedero no debe permitirse y prever las medidas de control necesarias.

c) Datos Climáticos

La información y datos sobre las condiciones climáticas que afectan el vertedero y las áreas circundantes deben conocerse, dado que todas ellas tienen una influencia marcada en todos los aspectos que atañen a este método de disposición final de residuos. Las características climatológicas de importancia incluyen la intensidad y dirección de los vientos predominantes, precipitaciones, temperaturas medias y extremas, evapotranspiración.

Toda información debe obtenerse a través de institutos públicos o privados confiables. Conocer la intensidad y dirección de los vientos predominantes es importante para

prevenir la posibilidad de problemas potenciales relacionados con el olor, polvo y residuos livianos que pueden ser dispersados por el viento. Las precipitaciones pluviales o néveas siempre es uno de los inconvenientes máximos en todo vertedero. Su relación con el escurrimiento de las aguas, tanto de la superficie del modulo, como de los caminos de circulación, las dimensiones del sistema de drenaje para el escurrimiento, su influencia en la generación de lixiviado, el tránsito de los camiones dentro y fuera del vertedero, así lo indican.

La evapotranspiración tiene influencia al considerar la generación de lixiviados como así mismo en la necesidad de mantener una humedad aceptable para el desarrollo de la vegetación en la cobertura del vertedero. La temperatura mensual promedio, variaciones de las mismas y valores de temperaturas límites para distintas épocas del año deben ser conocidas. Las temperaturas altas originan que los residuos comiencen su proceso de degradación biológica más rápido; por otro lado bajas temperaturas lo retrasan.

d) Estudio Hidráulico

La construcción de un vertedero, ocasiona modificaciones en la topografía del terreno. Esta situación debe analizarse en el proyecto, teniendo en cuenta la situación actual y la futura de la cuenca hídrica sobre la que influirá este emplazamiento. Debe preverse un adecuado drenaje de las áreas que ocupará y las zonas aledañas, aguas arriba y aguas abajo del mismo.

La pendiente del módulo, la cobertura y la vegetación a implantar en su superficie, es muy importante tenerlas en cuenta, para evitar que se produzca la erosión del mismo. Cumplido este objetivo, es necesario definir criterios y metodologías a ser utilizados para manejar el flujo de aguas superficiales que, proviniendo de la superficie del vertedero, se deben incorporar al caudal de líquido aguas abajo.

El estudio hidráulico debe contemplar una efectiva y correcta evacuación del flujo de aguas pluviales del módulo de manera tal de evitar la filtración de agua en el vertedero, como así también, la erosión de la cobertura del mismo.

El escurrimiento de estas aguas hacia los canales a proyectar y fuera del área debe efectuarse sin que se produzca un impacto desfavorable. Se debe tener muy en cuenta que la sobre elevación del terreno, representará un obstáculo para el libre escurrimiento del liquido que provenga de aguas arriba de este sitio; por consiguiente se deben proyectar canales que rodeando el vertedero, eviten el embalsamamiento de las mismas.

Cuando el emplazamiento del vertedero se realiza cercano a un curso de agua, se debe tener en cuenta las crecientes del mismo y obtener valores de los niveles de inundación con una recurrencia lo suficientemente amplia que permitan la construcción de los terraplenes perimetrales con una cota que impida el ingreso del agua al interior del módulo.

e) Hidrogeología

Los Estudios Hidrogeológicos aportan datos sobre las propiedades mecánicas y estructurales de los suelos, de la permeabilidad de los mismos; como así también de la ubicación, condiciones y escorrentía de las napas de agua subyacentes. Este estudio permite conocer las limitaciones que el suelo y las condiciones geológicas puedan imponer al proyecto.

Con la palabra suelo se designa a todos los materiales, tales como, rocas, arcillas, turbas o arenas que puedan presentarse en la corteza terrestre y debe tenerse en cuenta que, ciencias como la geología, mineralogía y química intervienen al determinar las propiedades de la fase sólida de estos materiales.

Con los datos obtenidos de estos estudios, se conocerán las propiedades del material para ser utilizado como soporte de los residuos, cobertura de los mismos y basamento de los caminos y de las construcciones civiles.

f) Topografía

Debe incluirse entre los estudios previos el relevamiento topográfico del terreno donde se emplazará el vertedero. Con los datos planialtimétricos, se confeccionan los planos de curvas de nivel y los cortes transversales del terreno, que permitan realizar el balance de suelos y saber si los volúmenes existentes cubren las necesidades de la obra.

Con el reconocimiento topográfico del terreno e investigaciones de gabinete paralelas, se conocerá la existencia de redes eléctricas y de comunicaciones, cursos de agua, vías férreas, cañerías subterráneas, que existan en el área y/o zonas aledañas.

g) Impacto Ambiental

Se debe tener en cuenta que en toda alteración del ambiente producida por la intervención del hombre independientemente de la evolución natural del mismo, debe considerarse como un impacto ambiental. Evidentemente la ejecución de un vertedero es un ejemplo claro de una alteración ambiental originada por el hombre y se requiere por consiguiente efectuar un análisis previo y evaluación del impacto que su ejecución ocasionará.

La modificación del medio ambiente puede ser: positiva (elevación de un terreno anegadizo), o negativa (producción de olores si la ejecución es incorrecta). Se puede presentar en forma: inmediata (circulación y trabajo de equipos, ruidos). y/o mediata (alteración del paisaje) y tener carácter de estables y/o temporales. Existen metodologías recomendadas por organismos internacionales para efectuar esta evaluación que posibilitan el desarrollo de esta tarea.

Deben considerarse tres etapas perfectamente diferenciadas durante las que se producen modificaciones en el terreno seleccionado y en zonas aledañas. Estas etapas son: preparación de la infraestructura necesaria. Período de recepción de residuos. Etapa de postcierre y control del área rellenada. En todos los casos en que se puedan generar impactos negativos hay que analizar la acción correctiva para neutralizarlos y/o minimizarlos.

2.1.5 PARÁMETRO DE DISEÑO [5]

Con los estudios previos efectuados se tiene el balance del terreno elegido para la ejecución del vertedero. Se conocerá en consecuencia si el volumen existente resulta suficiente para los requerimientos de la totalidad de la obra. El Proyecto Ejecutivo debe incluir una planilla donde se detalle el suelo disponible en obra y su correspondiente destino. En caso que el mismo no satisfaga las necesidades de obra, prever el aporte de origen externo.

El manto de suelo vegetal debe retirarse para acoplarlo, a efectos de su posterior utilización como cobertura final del módulo. El suelo subyacente se utiliza para conformar el núcleo de los terraplenes perimetrales del módulo a construir, ejecutar la base y protección superior de la membrana de polietileno y primera capa de cobertura de los residuos que se dispongan, caminos secundarios y bermas interiores.

Trama vial. Debe tenerse presente el uso definitivo del área a rellenar en el vertedero, y considerarse la secuencia del vertedero y la tecnología a implementar de acuerdo con las condiciones climáticas, con el fin de minimizar las inversiones

Sistemas de impermeabilización: Capa de arcilla y geomembrana

Sistemas de drenaje. Evacuación de líquidos tanto del vertedero como aguas lluvias en canales.

Las obras de drenaje deben ser construidas dentro del vertedero y en los límites del vertedero para captar el escurrimiento de las aguas arriba.

Drenaje temporales: talud 3:1(H:V) vertederos de grava para evitar socavaciones.

Drenaje de lixiviados. Diseñarse teniendo en cuenta el Q. máximo de lixiviados y el de escorrentía, impermeabilizando el fondo y paredes; si son superficiales, se debe construir un sistema de drenaje que sirva de base al vertedero o impermeabilizado el terreno construirse el sistema de recolección de lixiviados por medio de tuberías si son internos.

Drenaje de gases. Tubo de PVC, recubierto de hormigón y malla de alambre galvanizado

Estabilidad del vertedero. Debe realizarse un análisis a largo plazo, verificarse la estabilidad considerando las interfaces: de las capas y cubiertas (geotextiles, geomembranas y drenajes) con el material térreo

Obras complementarias. Trama vial, cerca perimetral, caseta de vigilancia, estación de pesaje, almacén y oficinas, área de emergencia, área de amortiguamiento, valla publicitaria, patio de maniobras, entre otros.

Cierre y uso final del sitio. Los siguientes componentes se deben considerar en el cierre total o parcial del vertedero.

Cobertura final: El sistema de cubierta debe ser diseñado y construido de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Minimizar la infiltración. y percolación de líquidos al vertedero durante el periodo de posclausura.
- Aislar del Medio Ambiente los Residuos Sólidos rellenos.
- Conducir el agua de escorrentía de manera que no desarrolle cárcavas debida a la erosión.
- Evitar las salidas de los gases tóxicos en caso de que se dispongan sustancias volátiles peligrosas en el vertedero.
- Tener en cuenta el asentamiento inicial y mantener la integridad de la capa impermeable durante los periodos de clausura y posclausura.
- Puede colocarse una cubierta temporal que minimice la infiltración en R. Sanitario para que el sistema de recolección de lixiviados opere apropiadamente.

El cierre terminará como proyecto realizándose el paisajismo sustentable y áreas verdes de uso público, la construcción de instalaciones deportivas de uso público y el tratamiento de taludes con áreas verdes.

Igualmente debe realizar un Control ambiental, es decir debe instrumentarse un programa de monitoreo ambiental el cual debe incluir medición y control de los impactos generados en el sitio de disposición final así:

- Calidad de los recursos hídricos
- Monitoreo de aguas subterráneas
- Estaciones de muestreo en cursos de agua
- Frecuencia de monitoreo
- Técnica de toma de muestras y control de calidad
- Determinación de los parámetros por analizar
- Control del líquido percolado. Composición y cantidad
- Recopilación y análisis estadístico de los datos obtenidos

Posclausura. El plan de mantenimiento de posclausura y monitoreo debe incluir:

- Fecha de inicio y terminación
- Descripción del plan de monitoreo: Lixiviados, aguas subterráneas, sistemas de venteo de gases
- Descripción del uso final del sitio y aprovechamiento
- Mantenimiento de la integridad de la cobertura y control de la erosión

2.1.6 DATOS TÉCNICOS [2]

Constructivos. Dentro de los procesos constructivos y operativos del vertedero se llevan a cabo actividades como las excavaciones para la formación de los niveles de disposición de residuos; construcción de canales perimetrales de manera que se recojan las aguas lluvias del mismo e impedir el mayor flujo de líquidos en él y a su vez disminuir la cantidad de lixiviado por percolado.

Para la construcción del vertedero se realizan excavaciones y luego se lleva a cabo la impermeabilización del fondo, implementando el uso de arcilla compactándola con un vibro-compactador con el fin de cumplir con los lineamientos y requerimientos planteados, adicionalmente se coloca una impermeabilización sintética de geomembrana protegida con geotextiles y sobre éstos se aplica material de rodadura para impedir el daño de estos materiales cuando ingresan y circulan los vehículos recolectores en el vertedero.

Manejo de lixiviados. La cantidad de lixiviado generado depende del régimen de lluvia y las características de los desechos dispuestos en el vertedero, para dar cumplimiento al tratamiento de los mismos se construyen piscinas de tratamiento, las cuales permanecen en un nivel bajo, este sistema de almacenamiento de lixiviados es complementado con un sistema de filtros que conducen el flujo de lixiviados hasta las piscinas.

Para llevar un control de los lixiviados, se hace seguimiento del pH con el fin de que no se generen condiciones ácidas en las piscinas (pH por debajo de 8) y de esta manera evitar al máximo la generación de microorganismos en cuyo proceso de descomposición generan algunos gases. Dicho control se comienza a realizar cuando han transcurrido años después de iniciado el entierro de los residuos en el vertedero, se demora tanto como se demora su formación.

2.1.7 DATOS OPERATIVOS [3]

Compactación y extendido. En los vertederos se debe realizar compactación diaria con el fin de operar en buenas condiciones técnicas y ambientales. Para llevar un control de las densidades de compactación, se realizan chequeos diarios de las mismas por medio de piques aplicados en diferentes lugares de la celda.

Controles y monitoreos ambientales: Para este tipo de proyectos se deben llevar a cabo ciertas medidas y controles ambientales, entre los que se encuentran:

Control de Impactos Ambientales: Con el fin de minimizar los impactos generados por la actividad del vertedero se llevan a cabo una serie de controles entre los que se destacan:

- Riego de las vías para evitar que se genere material particulado
- Revegetalización de las zonas ya clausuradas
- Charlas y trabajo con la comunidad
- Aplicación de un programa de seguridad industrial.
- Programación de charlas de capacitación al personal operativo.
- Seguimiento del plan de monitoreo ambiental.
- Monitoreo de los pozos para evaluar la posible migración de lixiviados.
- Estudios de estabilidad de los residuos.
- Control de vectores.
- Cobertura diaria.
- Control de olores.

Control de olores. Son controlados de acuerdo a la disposición de cobertura vegetal en las zonas de mayor criticidad, ya que actúa como cortaviento, se emplea la cobertura de los residuos pues es la manera como se evitan la proliferación de los diferentes vectores y propagación de olores desagradables al ambiente con los vientos.

Monitoreos Ambientales: Se hacen para seguirle un control a las variables ambientales y sus posibles afectaciones de acuerdo a la operación del vertedero. Entre las variables a analizar se encuentran:

- Calidad de aguas superficiales
- Calidad de aguas subterráneas
- Caudal de gases generados
- Velocidad gases generados
- pH de los lixiviados
- Oxígeno disuelto tanto en lixiviados como en las aguas
- Producción de metano.

Todas las estrategias se realizan con el fin de minimizar las molestias a las comunidades circundantes y así operar de la mejor forma posible el vertedero.

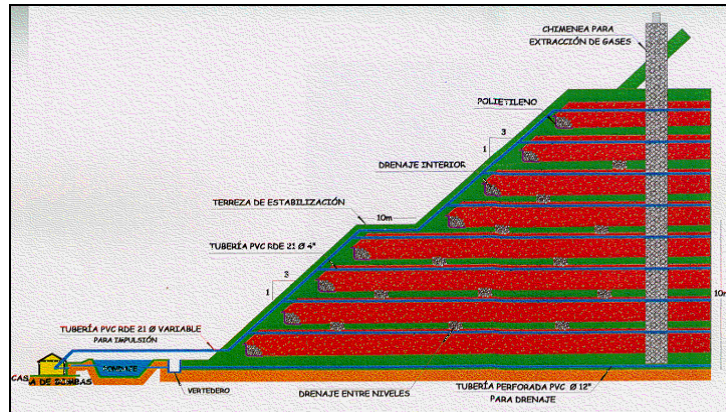
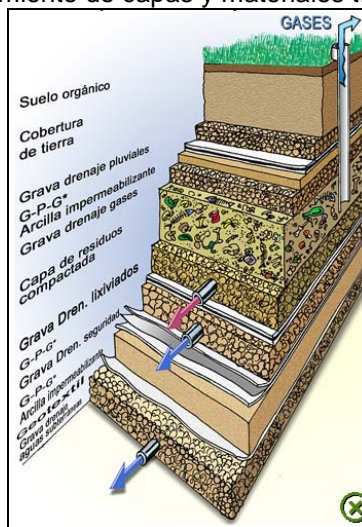


Figura 2.7 Corte transversal típico de un vertedero [1]

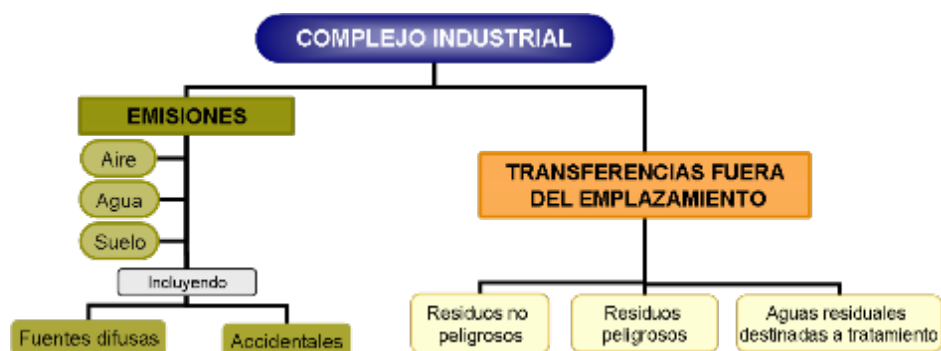
Figura 2.8. Reconocimiento de capas y materiales típicos de un Vertedero



2.2 DATOS SEGÚN PRTR-España [15]

El nuevo Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, PRTR-España, entra en funcionamiento a partir del 1 de enero de 2008. Es la continuación natural de EPER-España, al cual sustituye de acuerdo con la nueva normativa europea y española (Reglamento (CE) 166/2006 y RD 508/2007).

Los complejos industriales deberán comunicar información sobre sustancias contaminantes emitidas al aire, agua y suelo. También tendrán que informar sobre las emisiones accidentales, emisiones de fuentes difusas y la transferencia de residuos fuera de los complejos industriales. Además de la información adicional tal y como se recoge en los Anexos del Real Decreto 508/2007 por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de autorizaciones ambientales integradas



Resumen - Gestión de Residuos - Vertederos (recepción >10 t/día o cap. total >25.000 t, excluidos residuos inertes) - Toda España - (2006)

Actividades:	Gestión de Residuos
Categorías:	Vertederos (recepción >10 t/día o cap total >25.000 t, excluidos residuos inertes)
Año de reporte:	2006
Comunidad Autónoma:	Toda España
Sustancias:	13
Complejos Industriales:	97

Tabla 2.1 Actividades vs Gestión de Residuos

Detalle - Gestión de Residuos - Vertederos (recepción >10 t/día o cap. total >25.000 t, excluidos residuos inertes) - Toda España - (2006)

Contaminante	Emisiones al aire	Emisiones al agua (Directas)	Emisiones al agua (Indirectas)
13 Sustancias			
As y compuestos	-	0,0068 t	-
Carbono orgánico total (COT/ TOC)	-	-	188 t
Cd y compuestos	-	0,0121 t	0,0132 t
CH ₄	161.000 t	-	-
CO	673 t	-	-
Fenoles (total C)	-	0,1150 t	0,0628 t
Hg y compuestos	-	0,0010 t	-
Ni y compuestos	-	-	0,0562 t
NOx (como NO ₂)	557 t	-	-
Pb y compuestos	-	0,0204 t	0,4470 t
SOx (como SO ₂)	1.490 t	-	-
Total - Fósforo (total P)	-	-	6,00 t
Total - Nitrógeno (total N)	-	-	904 t
	163.000 t	0,155 t	1.090 t

Tabla 2.2 Contaminantes, emisiones al aire, emisiones al agua en toda España

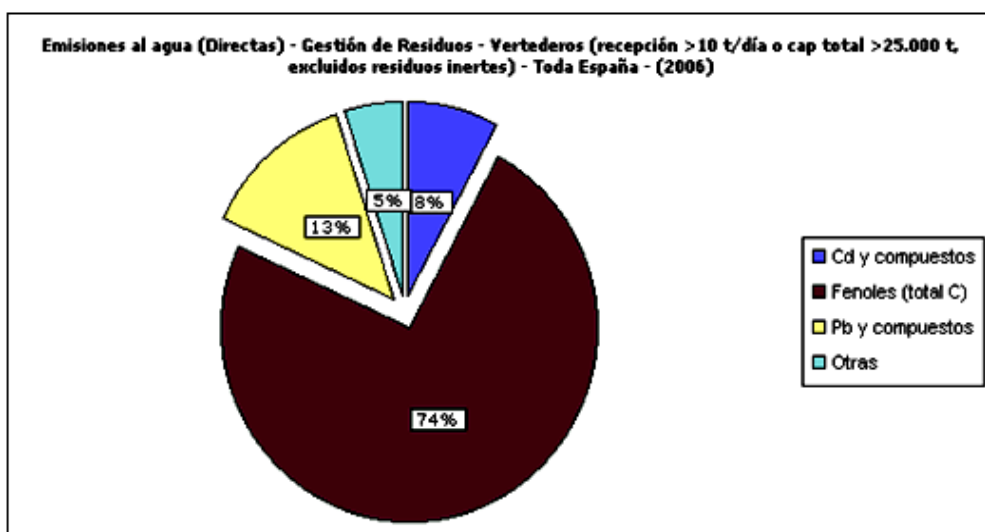
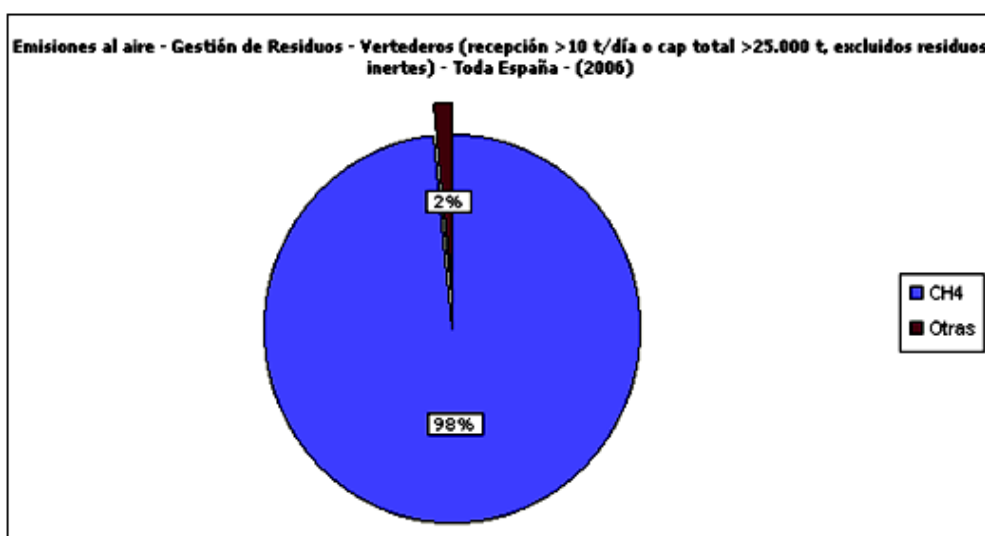


Figura 2.10 y 2.11. Emisiones al aire y al agua (directa) en porcentajes en toda España

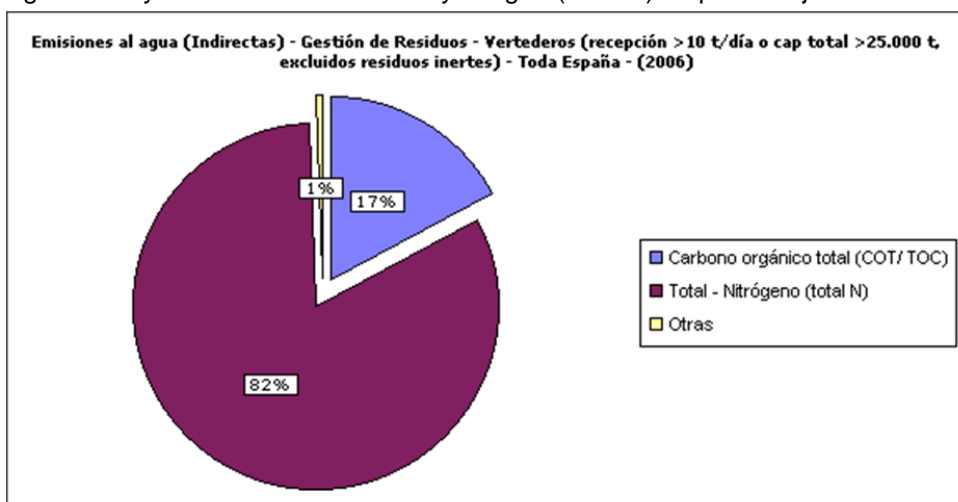


Figura 2.12 Emisiones al agua (indirecta) en porcentaje en toda España

Número de Complejos Industriales por CCAA - Gestión de Residuos - Vertederos (recepción >10 t/día o cap total >25.000 t, excluidos residuos inertes) - (2006)

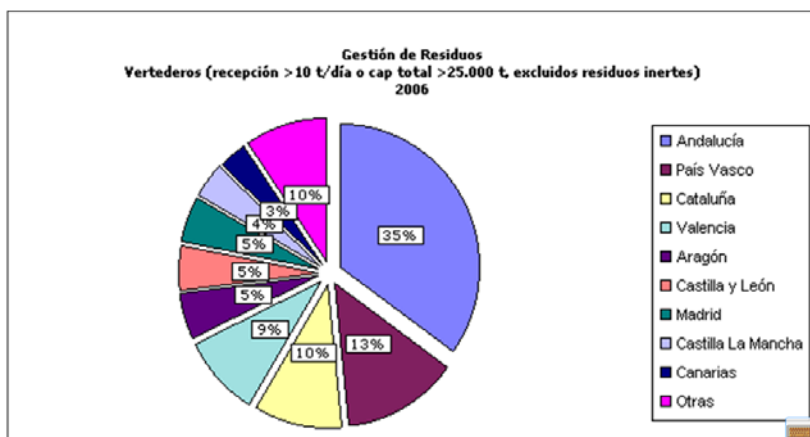


Figura 2.13. Complejos industriales de gestión de residuos en porcentajes en toda España

Comunidad Autónoma	Número Centros
Andalucía	34
País Vasco	13
Cataluña	10
Valencia	9
Aragón	5
Castilla y León	5
Madrid	5
Castilla La Mancha	4
Canarias	3
Extremadura	2
Murcia	2
Navarra	2
Galicia	1

Tabla 2.3. Numero de complejos industriales de gestión de residuos por comunidad autónoma.

Número de contaminantes por CCAA - Gestión de Residuos - Vertederos (recepción >10 t/día o cap. total >25.000 t, excluidos residuos inertes) - (2006)

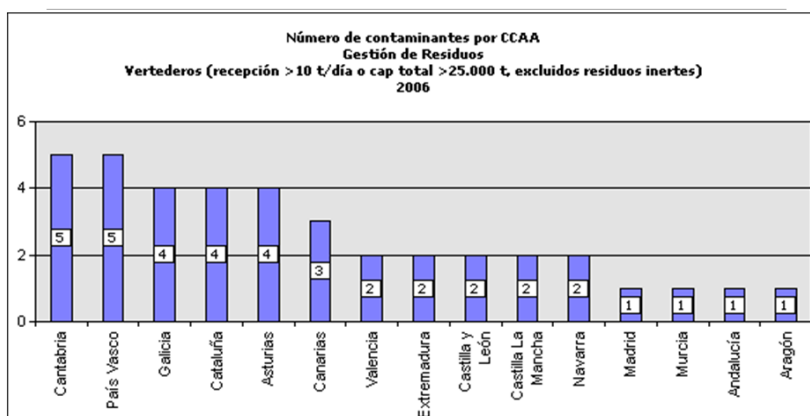


Grafico 2.1. Numero de contaminantes por CAA gestión de residuos por comunidad autónoma.

Comunidad Autónoma	Número de
--------------------	-----------

	sustancias
<u>Cantabria</u>	5
<u>País Vasco</u>	5
<u>Galicia</u>	4
<u>Cataluña</u>	4
<u>Asturias</u>	4
<u>Canarias</u>	3
<u>Valencia</u>	2
<u>Extremadura</u>	2
<u>Castilla y León</u>	2
<u>Castilla La Mancha</u>	2
<u>Navarra</u>	2
<u>Madrid</u>	1
<u>Murcia</u>	1
<u>Andalucía</u>	1
<u>Aragón</u>	1
<u>España</u>	46

Tabla 2.4 Numero de sustancias contaminantes por comunidad autónoma

2.3 MEDIDAS PREVENTIVAS

En cuanto a la parte de estudio básico de seguridad en el cual se incluyen y se analizan las fichas de seguridad de un elemento en específico, para este caso no puede realizarse de ese modo, ya que no se está trabajando con un elemento químico en un equipo, si no que se está analizando toda una serie de operaciones como si se estuviese tratando con un reactor a una muy grande escala.

Identificación de riesgos y medidas de prevención.

Los riesgos considerados como potenciales, están referidos a los siguientes componentes de:

- El vertedero.
- Tubería de inyección de lixiviados
- Estación de bombeo de los lixiviados tratados.
- Vía de acceso.
- Chimeneas de drenaje de gases.
- Cerco perimétrico.
- Otros (administrativos, financieros, sociales, etc.)

2.4 LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN Y EJECUCIÓN DE UN PLAN DE PREVENCIÓN FRENTE A DESASTRES NATURALES. [6]

Objetivo.

Garantizar el funcionamiento del sistema de disposición final de los desechos sólidos, con posterioridad de la ocurrencia de un desastre natural. Más específicamente:

- Reducir la vulnerabilidad
- Ejecución de las medidas de prevención a un costo razonable.
- Garantizar la continuidad del servicio.

2.4.1 PASOS A EJECUTAR.

a. Conformación de un equipo coordinador.

Un equipo multidisciplinario de profesionales, idealmente debe estar integrado por ingenieros, administradores y operadores del vertedero, así como expertos en la amenaza analizada (sismólogos, hidrólogos, etc.). Este grupo estará encargado de que se consideren los siguientes aspectos:

- Componentes físicos
- Componentes administrativos/funcionales.

b. Descripción del sistema de disposición final de los desechos sólidos.

Se debe analizar el sistema en su totalidad, ya sea la caracterización de los diferentes componentes físicos que la conforman así como los aspectos administrativos y de operación del mismo.

c. Estimación de la amenaza.

Una vez determinada(s) la(s) amenaza(s), debe caracterizarse el fenómeno natural a estudiar, para lo cual se debe recurrir a aquellas instituciones que usualmente desarrollan y recopilan este tipo de información (universidades, institutos científicos, Defensa Civil, etc.). Debe tomarse en cuenta la vida útil de este sistema, ya que muchas veces la vida útil remanente del sistema será decisiva para reparar algunos componentes dañados. Sin embargo, deberá evaluarse el riesgo de contaminación que de no controlarse traería características desastrosas.

d. Evaluación preliminar de la vulnerabilidad.

Secuencia:

- Calificación y priorización: elección de la metodología apropiada
- Valoración de la vulnerabilidad: física y administrativa

e. Selección de sistemas a ser analizados.

Un criterio de selección por ejemplo escoger los componentes más afectados por el fenómeno natural.

f. Evaluación cuantitativa de los componentes seleccionados

Para la evaluación de la vulnerabilidad del sistema de disposición final de los desechos sólidos analizado, utilizando una determinada metodología, la evaluación cuantitativa debe incluir por lo menos las siguientes actividades:

- Recopilación de planos y esquema del sistema de disposición final con sus componentes.
- Trabajo de campo para recopilación de información in situ.
- Identificación de componentes vulnerables y vulnerabilidades puntuales y general del sistema.
- Identificar las medidas de prevención a ser implementadas.

g. Priorización de los proyectos de inversión.

En esta etapa selectiva pueden intervenir criterios organizativos, políticos, técnicos y financieros. Si no se cuentan con recursos suficientes para intervenir todos los sistemas expuestos a desastres, se deberá desarrollar un programa de prevención a mediano plazo.

h.. Diseño detallado de la intervención y gestión de financiamiento.

En esta fase se debe elaborar el proyecto de prevención en sí mismo, con el fin de contar con sistemas de disposición final de los desechos sólidos más seguros para la población, par lo cual debe considerarse que se continúe con la operatividad del servicio mientras se ejecuten las obras. El financiamiento idealmente debería venir de recursos internacionales.

2.4.2 PROBLEMAS CAUSADOS DURANTE EL TIEMPO DE OPERACIÓN Y VIDA ÚTIL DEL VERTEDERO

Tabla 2.5. Causas, medidas de prevención y protección, medidas de control y consecuencias de Accidentes

CAUSAS QUE ORIGINAN ACCIDENTES AMBIENTALES	Medida de Prevención / Medida de Protección	MEDIDAS DE CONTROL	CONSECUENCIAS	DAÑO
Infiltración de aguas lluvia en terreno	diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero. Cubrir con geomembrana y arcilla el talud, para controlar completamente la infiltración superficial, control geotécnico. Control topográfico de terraplén	mediante el monitoreo geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno) periódico, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de perdida de material en el terreno alrededor, como formación de carcavas, deterioro progresivo, etc.	deslizamiento del talud natural, por desestabilización o desaglomeración del terreno, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de suelos, fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos
Infiltración de aguas lluvia en la celda de residuos	diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero y evitar un incremento en la humedad de las pilas y a su vez disminuir la cantidad de lixiviado por percolado	cubrir diariamente los residuos y canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero	aumento de la humedad y peso de la celda de residuos, desencadenando en un desplazamiento de la celda y/o deslizamiento y derrumbe	Contaminación de suelos, fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos, dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases
Infiltración de lixiviados al terreno por fisura de la membrana de impermeabilización	La protección adecuada de la geomembrana impide el rompimiento de esta por el movimiento de maquinaria sobre esta. Instalación de un pozo de monitoreo de tal forma que a través de la medición de ciertos parámetros se determine la existencia de fisura en la membrana de impermeabilización	Se realizarán perforaciones aguas abajo del relleno para determinar con mayor certeza el área desde donde se produce la infiltración. Dependiendo de la magnitud del impacto se procederá aplicar la tecnología más factible, siendo la más utilizada el bombeo de las aguas desde los pozos e inyección hacia el relleno. Se aislará el lugar con cinta o indicación visible. Personal especializado procederá a contener dichos escapes o derrames, en caso de	deslizamiento del talud natural, por desestabilización o desaglomeración del terreno, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos
Dispersión incontrolada de gases de chimeneas y residuos dispuestos	Mejoras en las chimeneas, colocación de atrapa llamas y cobertura diaria de los desechos compactados. extracción adecuada de los gases del vertedero, red horizontal de canalización de gases, tubos perimetrales verticales, controlar las emisiones y composición de biogas, lo que indicará fugas en el sistema, regulando el sistema de extracción de gas, así como la combustión	En caso de explosión, se evacuará al personal de dicha área y se trabajará en la chimenea de tal forma de aumentar la capacidad de succión y disminuir los riesgos de otras explosiones que pudiesen suceder en cadena. Capacitación al personal del relleno respecto de estos temas por personal especializado. Se contará con elementos de primeros auxilios y comunicación hacia el exterior.	Incendios y explosiones con daños a las personas y destrucción de la capa de cobertura, posible incendio forestal	Los contaminantes del aire, tanto gaseosos como particulados, pueden tener efectos negativos sobre los pulmones. Las partículas sólidas se pueden impregnar en las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiolos
Movimientos de tierra, tanto del talud como de los residuos dispuestos	conformar el núcleo de los terraplenes perimetrales del módulo a construir, debe realizarse un análisis a largo plazo, verificarse la estabilidad considerando las interfaces: de las capas y cubiertas (geotextiles, geomembranas y drenajes) con el material térreo, estudios de estabilidad de los residuos.	control de las densidades de compactación, control geotécnico, Control topográfico de terraplén, estabilidad de los residuos, inclinómetro, malla topográfica (medir presiones de poros y deformaciones)	deslizamiento del talud natural, deslizamiento de la pila de residuos, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos. Contaminación química, debido a polvo, gases y vapores, líquidos y humos
generación de vectores en el vertedero como roedores, olores, etc.	Fumigación periódica, cobertura de los desechos al final de cada jornada. Cerca perimetral natural al vertedero, cobertura de los desechos al final de la jornada diariamente		Propagación de vectores en el vertedero y alrededores	generación de enfermedades por virus, incomformidad de comunidades aledañas.
Riesgos sísmicos	Todas las instalaciones e infraestructura deberán ser construida considerando las normas antisísmicas.	Estar atentos a alertas de sismo en la zona y/o evacuación	deslizamiento del talud natural, deslizamiento de la pila de residuos, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos. Contaminación química, debido a polvo, gases y vapores, líquidos y humos
Ruido excesivo	Mantenimiento de cerco perimétrico y pantallas de amortiguamiento		deterioro de la salud de trabajadores, incomformidad de poblaciones aledañas	perdida audiva de trabajadores

2.4.3 PROBLEMAS CAUSADOS POR CLIMA ADVERSO Y SUS MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Tabla 2.6. Medidas de prevención vs riesgo potencial con referencia al clima.

MEDIDA DE PREVENCIÓN	PROBLEMA
Clima húmedo	
- Añadir cenizas, piedra molida o residuos de demolición de construcciones de concreto. - Mantener un área de trabajo especial con caminos permanentes.	Caminos de acceso enlodados
- Esparcir tierra seca - Mantener equipo de compactación fuera del área, descargar y mover los desechos sólidos de manera perpendicular al área. - Nivelar el área de descarga levemente para permitir la escorrentía	Área de descarga enlodada
Mantener pilas compactadas e inclinadas con cubierta impermeable.	Suelo húmedo no operable

- No compactar cuando hay exceso de humedad - Proteger el suelo (frente de trabajo) por ejemplo con coberturas.	La permeabilidad del suelo varía con el diseño.
- Añadir barreras - Limpieza periódica de red de tuberías	Obstrucción del sistema de colección de lixiviado por la escorrentía
Clima seco	
- Cubrir el suelo para prevenir secado - Humedecer el suelo.	Terrenos secos, imposibles de excavar e incremento en la permeabilidad
Clima frío	
- Aislar las celdas con hojas o paja. - Echar sal al suelo - Mantener el suelo/arena bien drenado - Remover el suelo continuamente.	Suelo congelado.

De acuerdo con su origen, las amenazas pueden ser de dos tipos: **Naturales**, (provenientes de fenómenos físicos originados por la naturaleza y sus elementos) y **Producidas por el hombre**.

Las principales amenazas de tipo geológico son los sismos, deslizamientos y las de tipo climático son las inundaciones y las sequías.

- Las amenazas pueden estar interrelacionadas y sus efectos magnificados.
- Los riesgos considerados como potenciales, están asociados a los siguientes componentes: el vertedero del vertedero, tubería de inyección de lixiviados, estación de bombeo de los lixiviados tratados, vía de acceso, chimeneas de drenaje de gases, Cerco perimétrico, otros (administrativos, financieros, sociales, etc.).

CAPITULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VERTEDEROS

3.1 VERTEDERO [9]

3.1.1 SISTEMAS DE REVESTIMIENTO

Para la construcción del revestimiento de un vertedero se suelen utilizar dos tipos de materiales distintos: arcilla y materiales sintéticos, aunque también se pueden considerar la aplicación de mezclas o mejoras de suelos. Cada uno de estos tipos de revestimiento tendrá una serie de ventajas que deberán ser estudiadas por el diseñador para elegir el material más adecuado a cada caso, teniendo en cuenta la viabilidad económica. También se deberá tener en cuenta que las especificaciones del material, controles exigidos o espesores mínimos, podrán variar con relación al país en el que se ejecute el proyecto, por lo que el diseñador deberá estar informado de las leyes vigentes

3.1.1.1 REVESTIMIENTO GEOLÓGICO

La arcilla se define como aquel tipo de suelo cuyas partículas sean iguales o menores de 0,002mm. En general, la arcilla es frecuentemente utilizada para revestir vertederos que contengan residuos no peligrosos, debido a su bajo coste, la gran capacidad de atenuación del lixiviado y por resistencia a su deterioro. Los revestimientos arcillosos reducen el movimiento de los elementos contaminantes al disminuir la conductividad hidráulica.

La permeabilidad, principalmente, viene compuesta por longitud de los poros, que, a su vez, depende de la textura del suelo. En principio, las partículas de arcilla forman terrones cuyos poros son más pequeños que los poros existentes entre dos terrones. Además existe otro tipo de poros que son los más grandes, debidos a fisuras y grietas, por donde se transportan gran cantidad de líquidos y que, por lo tanto, aumentarán la permeabilidad. Por ello, tiene una gran importancia el método de comparación utilizado, con el fin de conseguir una textura dispersa en la que el aumento de la tortuosidad y la reducción del tamaño de los poros disminuyan la permeabilidad. También se debe tener en cuenta que la permeabilidad de un suelo no saturado es mayor que la de un suelo completamente saturado. Así, un alto contenido de humedad de la arcilla proporciona una estructura dispersa, disminuyendo la permeabilidad.

Otros aspectos de los suelos que influyen en la permeabilidad son:

- El tamaño de grano: ya que los granos pequeños, al crear pequeños huecos. Disminuyen la permeabilidad.
- La composición: ya que la permeabilidad disminuye con el aumento de la superficie específica.
- La textura: ya que una textura floculada aumenta la conductividad hidráulica, mientras que una textura dispersa la disminuye.
- El grado de saturación: ya que la permeabilidad aumenta con este.

Además, existen factores naturales que también influyen sobre el comportamiento de la arcilla, como la aparición de las fracturas desecadas producidas por lo que se debe proteger el revestimiento de un secado excesivo mediante agua pulverizada. Por otro

lado, los efectos continuos de congelación y descongelación también aumentan la permeabilidad en dos órdenes de magnitud debido al aumento de volumen del agua congelada en las fisuras, que produce la formación de más fisuras. Para impedir este efecto, se deben tener en consideración las siguientes acciones:

- No dejar que el revestimiento sufra congelaciones durante más de un invierno
- Durante el invierno, proteger la arcilla de los efectos de congelación-descongelación.
- Usar un correcto programa de consolidación de la arcilla
- Dotar de una protección especial si el grosor del revestimiento es menos de 60cm. Es aconsejable un grosor mínimo de 120 cm.

Tabla 3.1 Conductividad hidráulica y humedad óptima de los suelos compactados [9]

SIMBOLO DEL SUELO	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
GW	2×10^{-2}	11-8
GP	5×10^{-2}	14-11
GM	$> 5 \times 10^{-7}$	12-8
GC	$> 5 \times 10^{-8}$	14-9
SW	$> 5 \times 10^{-4}$	16-9
SP	$> 5 \times 10^{-4}$	21-12
SM	$> 2 \times 10^{-5}$	16-11
SM-SC	$> 1 \times 10^{-4}$	15-11
SC	$> 2 \times 10^{-7}$	19-11
ML	$> 5 \times 10^{-6}$	24-12
ML-CL	$> 2 \times 10^{-7}$	22-12
CL	$> 5 \times 10^{-4}$	24-12
OL	-	33-21
MH	$> 2 \times 10^{-7}$	40-24
CH	$> 5 \times 10^{-8}$	36-19
OH	-	45-21

En general, un suelo apropiado para realizar las tareas de sellado inferior deberá tener un porcentaje de finos entre el 40% -50%, un índice de plasticidad entre el 10%-30%, un límite líquido entre 25%-30% y un contenido de arcilla entre 18%-25%.

No será conveniente el contacto de la arcilla con elementos químicos contaminantes, ya que se puede producir una alteración en las propiedades permeables de ésta por tres caminos diferentes:

- *Disolución de los minerales del suelo:* Debido a la acción de ciertos ácidos y bases procedentes de los residuos, se pueden disolver ciertas partículas del suelo que pueden ser arrastradas por el lixiviado, aumentándose la permeabilidad debido a la aparición de canales y caminos de fácil drenaje.
- *Cambios en la estructura de la arcilla:* Se pueden producir cambios catiónicos o por la sustitución de las moléculas de agua por fluidos orgánicos. Así, según se aprecia en, un aumento en la concentración de iones Ca_2 aumenta el coeficiente

de permeabilidad de los minerales arcillosos que aparecen en la figura debido al efecto de floculación que se presenta.

Por otro lado, un aumento en la concentración de iones Na^+ disminuye la permeabilidad al ocupar todas las cargas negativas de la superficie de las arcilla.

- *Precipitación:* la permeabilidad viene afectada por la precipitación de metales pesados, sales y carbonatos, que pueden taponar los poros del suelo, reduciendo la permeabilidad.

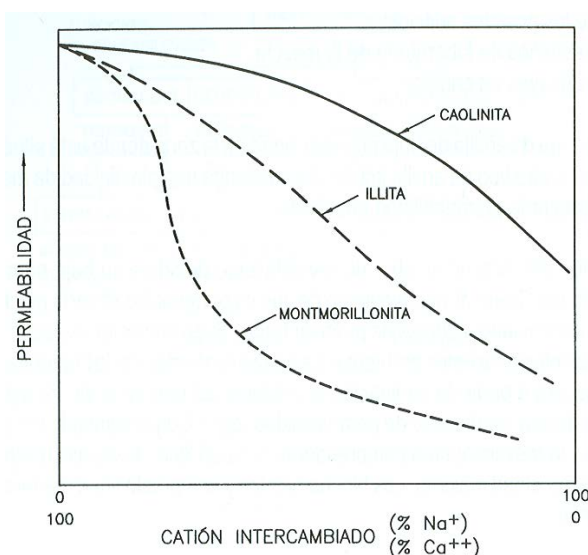


Figura 3.1. Variación de la permeabilidad de los minerales arcillosos [9]

Para solucionar los problemas que se han citado anteriormente, se suele recurrir a ensayos de laboratorio que muestren el efecto de los lixiviados sobre el suelo. Del estudio de estos ensayos se pueden obtener las siguientes conclusiones con relación a la influencia de los elementos químicos sobre la permeabilidad:

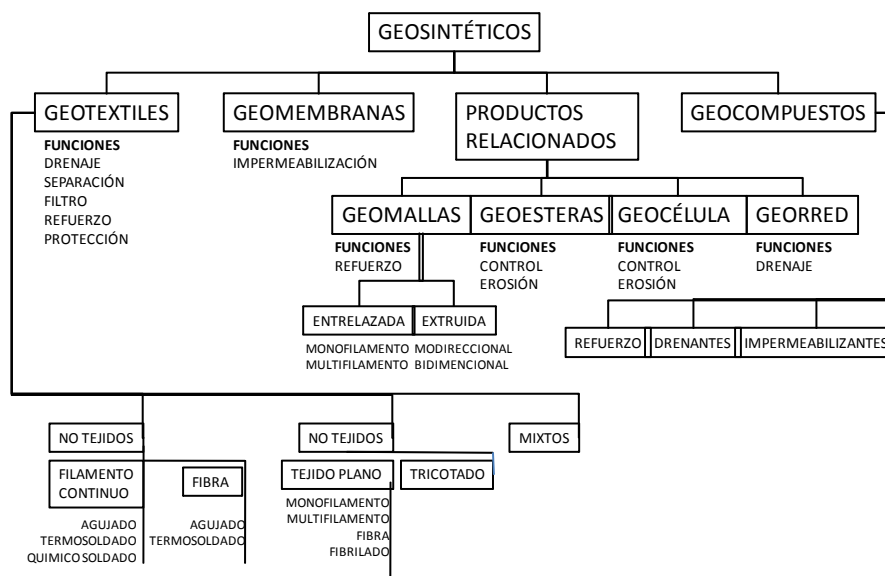
- El metanol no afecta la permeabilidad mientras su concentración no alcance el 80%
- La permeabilidad se reduce cuando el líquido que se filtra es ácido diluido
- El heptano y el tricloroetileno (TCE) no afectan la permeabilidad de los suelos
- Los líquidos orgánicos no afectan la permeabilidad de las arcillas
- Los hidrocarburos a concentraciones inferiores a su límite de solubilidad no afectan a la conductividad hidráulica de las arcillas
- Las concentraciones de alcohol menores del 80% tienen un escaso efecto en la permeabilidad de las arcillas
- Las soluciones de acetona a concentraciones menores del 75% tienen muy poco efecto en la permeabilidad de las arcillas

3.1.1.2 MATERIALES GEOSINTÉTICOS

Existen una serie de materiales, que aplicados en láminas, pueden utilizarse como impermeabilización de un vertedero (Fig. 3.2), ya sea por sí mismos o en colaboración del terreno natural. Entre ellos se pueden citar:

- Geomembranas
- Geotextiles
- Georredes

- Geocompuestos drenantes
- Geocompuestos impermeabilizantes



A. Geomembranas

Las Geomembranas son polímeros en combinación con diferentes tipos de aditivos, destacando el uso del polietileno de alta densidad (PEAD). Dicha preferencia es debido a que el polietileno es un polímero cristalino que tiende a formar láminas, las cuales se ordenan, para formar agregados mayores, llamados esferulitas. Los factores que influyen en las propiedades físicas de los polímeros, serán el tamaño, forma y estructura de las esferulitas, de forma que la formación de fracturas se favorece al aumentar la dimensión de aquéllas.

La distribución molecular también influye de manera que si los elementos de bajo peso molecular ocupan los espacios entre moléculas mayores, se impide la propagación de las fracturas. Como consecuencia la conductividad hidráulica, del polietileno es extremadamente baja (1×10^{13} /cm/s) por lo que el filtrado es inapreciable, dependiendo éste de la permeabilidad del material situado bajo la membrana y de la capa de drenaje situada por encima. Su bajo coste, al poseer características técnicas suficientes para cumplir las reglamentaciones ambientales y su gran resistencia química, hacen de él, el material perfecto para impermeabilización a pesar de su alta susceptibilidad térmica.

Los aditivos que se añaden a los polímeros, pueden ser atacados por la acción microbiológica debido a la composición de algunos residuos, por lo que deben ser cuidadosamente elegidos. Estos materiales también deben ser protegidos de la acción de algunos animales tales como los roedores o algunos tipos de vegetación que puedan dañarlos.

Las geomembranas más estrechas (1.5 mm) tienen la ventaja del fácil manejo y de la menor posibilidad de debilitamiento de la soldadura, pero, posiblemente, requieren un equipamiento especial de manipulación. También se debe tener en cuenta la facilidad

de soldadura y la durabilidad de la misma a largo plazo. Normalmente se utilizaran láminas de ancho superiores a 7 m sin soldaduras intermedias.

Las características mínimas de las láminas PEAD se obtiene en la tabla 3.2

Tabla 3.2 características mínimas a exigir en las láminas de PEAD

CARACTERISTICAS	UNIDAD	NORMA	VALOR
Espeso	Mm	UNE 53.221	1,5
Densidad	g/cm ³	UNE 53.2020	>0,94
Índice de fluidez	g/10min	UNE 53.200	0,5
Contenido de negro de carbono	%	UNE 53.375	2,5 ± 0,5
Contenido de cenizas	%	UNE 53.375	0,05
Dispersión de negro de carbono	-	UNE 53.131	4
Dureza shore D	-	UNE 53.130	60± 5
Doblado a bajas temperaturas	-	UNE 53.358	Sin grietas
Resistencia a la percusión	-	UNE 53.358	Sin perforación
Resist, tracción, fluencia, alargamiento		UNE 104.300	
Resistencia a la tracción	MPa		35
Limite elástico	MPa		17
Alargamiento en la rotura	%		800
Alargamiento en el pto de fluencia	%		17
Resistencia a la perforación		UNE 104.300	
Resistencia a la perforación	N/mm		400
Recorrido	Mm		10
Envejecimiento artificial acelerado		UNE 53.104	
Alargamiento en rotura	%		<15
Resistencia al desgarro	N/mm	UNE 53.358	140
Resistencia al calor	%	UNE 53.358	2
Envejecimiento térmico	-	UNE 53.358	
Alargamiento en rotura	%		<15
Resistencia al cuarteamiento por tensión en medio acuoso	-	UNE 104.300	Sin grietas
Absorción de agua	%	UNE 53.028 Método 1	=0,2 a 24 h = 1 a 6 días
Resistencia a la perforación por raíces	-	UNE 53.420	resiste

Las aplicaciones del polietileno son muy variadas y abarcan una gran cantidad de campos. Desde su aplicación clásica en impermeabilización de vertederos, depósitos de agua o barcas para acopio de agua, hasta otras aplicaciones especiales como la protección de superficies de contacto en minería, en canales y conducciones de agua, en túneles y galerías, o en embalses y presas.

El PEAD, también puede ser aplicado a muros de contención utilizados para aislar áreas contaminadas en la que no se puede realizar un proceso de saneamiento de terreno. De forma práctica se pueden utilizar geomembranas alrededor de los muros de contención, y una doble barrera formada por dos capas de geomembrana separada por una capa de georred para impermeabilizar la parte superior del depósito.

En general, las geomembranas empleadas, deben hacer frente y cumplir como mínimo las siguientes exigencias:

- Resistencia a las posibles acciones mecánicas
- Resistencia a posibles ataques y agresiones químicas
- Resistencia a posibles degradaciones originadas por los microorganismos
- Resistencia a las acciones de los roedores
- Resistencia al envejecimiento
- Estabilidad frente a la acción de los rayos U.V
- Estanqueidad en toda la superficie, sobre todo en las uniones entre placas
- Facilidad de colocación
- Posibilidad de ampliación del área impermeabilizada
- Facilitar el drenaje de líquidos y biogás

Centrándose en su uso en vertederos, las geomembranas se suelen utilizar para sustituir o complementar la baja permeabilidad del terreno natural, ya sea en la base o en el recubrimiento del vertedero. En su función de revestimiento, se sitúa bajo los residuos para minimizar la salida de lixiviados filtrados a través de los mismos, y que pueden contaminar tanto el suelo como el acuífero cercano. En su función de recubrimiento, se sitúa sobre la configuración final de los residuos para evitar que el agua de precipitación entre en contacto con los residuos y se puedan producir lixiviados.

También se suelen situar geomembranas bajo el resto de construcciones presentes en el vertedero para evitar que el gas generado de forma natural en el mismo, penetre en las distintas instalaciones, con el consiguiente peligro de explosión.

Las geomembranas del PVC, también son aplicables en vertederos en funciones tales como almacenamiento de suelos contaminados o almacenamiento de líquidos, siempre que su uso se limite al corto plazo (1-5 años) debido a los problemas de durabilidad que puede presentar. Sus ventajas radican en su bajo precio, su facilidad de soldadura, ya que se usan disolventes, y su variedad de tamaño de paneles.

B. Geotextiles

Es un material textil plano, permeable y polímero que puede ser tejido o no-tejido y que se usa en contacto con el suelo y/u otros materiales. Los geotextiles son los geosintéticos por excelencia debido a la multitud de aplicaciones que tienen y las diferentes funciones que desempeñan

Es importante tener en cuenta que los geotextiles son materiales que difieren unos de otros dependiendo de la materia prima que sirva para su fabricación, del tipo de filamentos, del sistema de tejido y del sistema de unión de las fibras. Los materiales mas apropiados son el PP y el PEAD, las fibras continuas ofrecen las mejores características mecánicas y los geotextiles agujados presentan mejores propiedades hidráulicas.

En la utilización de los geotextiles se deben distinguir las cuatro funciones que pueden desempeñar. Así si el geotextil se va a utilizar como elemento de protección, Tabla 3.3, se debe evitar su posible punzamiento durante la instalación o debido a la acción de los materiales en contacto con ella, como el soporte, las gravas de drenaje, o los residuos, ya que perdería su función impermeabilizante. Los geotextiles para este propósito, deben ser siempre no-tejidos. La correcta colocación del geotextil evita este problema, además de realizar las siguientes funciones.

- Proteger el geotextil de las tracciones debidas a grietas o cavidades del suelo
- Drenar el agua que se haya filtrado a través del geotextil.
- Drenar los gases formados para que no se produzcan zonas de presión

- Evitar el desgaste de la lamina de geotextil por rozamiento
- Proteger los taludes de las pérdidas de los finos por movimientos en el geotextil
- Separar el terreno del geotextil para poder realizar la limpieza y las soldaduras necesarias correctamente
- Aumentar el coeficiente de rozamiento entre el geotextil y el material del talud

Tabla 3.3. Valores mínimos exigir a un geotextil de protección [9]

CARACTERISTICAS	UNIDAD	NORMA	VALOR
Espesor bajo presión de 2 kN/m ²	mm	EN964	3
Resistencia a perforación CBR	N	EN ISO 12236	2.000
Resistencia a tracción	kN/m	EN ISO 10319/1	20
Alargamiento de rotura	%	EN ISO 10319/1	80
Perforación por caída libre de cono	mm	EN 918	<14
Resistencia a perforación con pirámide	N	Anexo B UNE 104-424	Tabla1

Si el geotextil se va a utilizar como filtro, Tabla 3.4, su función será la de evitar la colmatación de los drenes de recolección de lixiviados y/o las gravas de drenaje, reteniendo las partículas en suspensión. El funcionamiento del filtro dependerá del tipo de geotextil que se utilice, del tipo y volumen de vertido y de la precipitación de la zona, que indicará la dilución del lixiviado.

Tabla 3.4. Valores mínimos a exigir a un geotextil filtro [9]

CARACTERISTICAS	UNIDAD	NORMA	VALOR
Espesor bajo presión de 2 kN/m ²	mm	EN964	1,3
Resistencia a perforación CBR	N	EN ISO 12236	1500
Resistencia a tracción	kN/m	EN ISO 10319/1	9
Elongación a rotura	%	EN 918	60
Perforación por caída libre de cono	mm	EN ISO 10319/1	<30

C. Georredes

Las georredes son estructuras poliméricas planas, normalmente compuesto de polietileno, constituidas por una red regular densa, las cuales están formadas por elementos conectados por nudos o extrusiones, y en la que los huecos son mayores que los elementos que lo constituyen. Ser usan para sustituir las capas de drenaje de material granular, debido a su menor peso, mayor facilidad de instalación y mejor adaptabilidad a los taludes escarpados, Tabla 3.5. Como en el caso de los geotextiles, las georredes también pueden realizar varias funciones. En su uso como material drenante de los vasos de vertido, deben ser capaces de realizar:

- El drenaje de las aguas que proviene del terreno, situándolas bajo el sistema de impermeabilización.
- El drenaje de los lixiviados que se recojan en el vaso de vertido, situándolos sobre el sistema de impermeabilización
- Un drenaje de control de aquellos vertederos previstos de un doble sistema de impermeabilización, donde las georredes estarán situadas entre las dos impermeabilizaciones (geomembranas)
- El drenaje y recolección de los gases que provienen del vertido (biogás), situándolos bajo el sistema de sellado.
- El drenaje de las precipitaciones, situándolas sobre el sistema de sellado

Tabla 3.5. Valores mínimos exigibles a la georred. [9]

CARACTERISTICA	UNIDAD	NORMA	VALOR
Masa unitaria	g/cm ²	EN 965	700
Espesor	mm	EN 964-1	4,5
Resistencia tracción md cd	kN/m	EN 103319	8,0 4,0
Elongación en rotura md cd	%	EN 103319	7070
Resistencia a compresión	kPa	UNE EN ISO 60497	1 200
Transmisividad	Vs m	EN ISO 12958	1,70
Md (i=1) 20 kPa			1,50
200 kPa			1,20
Cd (i=1) 20 kPa			0,90
200 kPa			

D. Geocompuestos drenantes

Geocompuestos drenantes se denominan a los geotextiles unidos a las georredes por uno a ambas caras, y que actúan como filtro evitando la colmatación de la georred. Las temperaturas de fusión de ambos materiales deben ser compatibles para mantener las propiedades de cada elemento.

E. Geocompuestos impermeabilizantes o bentoníticos

Geocompuestos impermeabilizantes se utilizan para la sustitución de la arcilla como impermeabilizante, debido a que tiene las siguientes ventajas:

- Mayor facilidad de colocación
- La permeabilidad puede ser controlada
- Posible colocación en taludes, teniendo en cuenta que se debe tener cuidado en su colocación para que la bentonita no se desplace entre los geotextiles
- Menor espeso, ya que una lámina de geocompuesto equivale a un metro de arcilla compactada.

Los geocompuestos están formados por una capa de bentonita sódico (arcilla de baja permeabilidad cuya estructura consiste en una superposición de capas formadas por una lamina octaédrica entre dos laminas de silicato, de forma que el espacio existente entre dos capas absorbe fácilmente agua) situada entre dos geotextiles.

La bentonita se mantiene en su lugar por la acción de adhesivos solubles en agua de forma que cuando el geocompuesto entra en contacto con el agua, se hincha formando una capa continua de bentonita de 12 mm a 25 mm de grosor. Aventajan a la arcilla natural en que es de fácil colocación, que su permeabilidad es controlable, y que se puede colocar en taludes y que equivale a un m de arcilla compactada.

Las características a exigir a estos materiales son:

- Contenido en bentonita por m². Indica la cantidad de material impermeabilizante que tiene el material.
- Tipo de geotextiles que conforman el producto
- Sujeción de la bentonita en el sándwich. Solo se deben aceptar productos agujados que aseguren que la bentonita queda sujeta y no desliza

- Tipo de bentonita y si posee tratamiento para hidratarse con lixiviado
- Forma de unión de los paños en obra. Normalmente se solapan con bentonita en polvo o con pasta de bentonita

F. Geomallas

Por último, las geomallas son estructuras poliméricas planas usadas en contacto con el suelo y/u otros materiales constituidos por una red regular abierta íntegramente conectada con elementos tensados, los cuales pueden estar unidos por extrusiones o entrelazados y en la que los huecos son mayores que los elementos que los constituyen. Se utilizan para reforzar terrenos que dispongan de poca capacidad portante, así como para aumentar el coeficiente de rozamiento entre capas y para soportar materiales granulados en taludes. En vertederos se suele utilizar para estabilizar el revestimiento sobre un sustrato blando o estabilizar el recubrimiento en taludes. Las características a requerir serán la resistencia a tracción y el alargamiento.

G. Otros productos

Además existen otros productos como son:

- Geoesteras utilizadas para favorecer el reverdecimiento y sujetar tierra vegetal en taludes escarpados
- Geocélulas: material formado pro células de gran espesos y que ayudan a retener material en taludes
- Geoespaciadores: productos que se utilizan para espaciar dos materiales en el fin de favorecer el drenaje entre ambos
- Materiales de alta fricción: Son materiales que, al aumentar el ángulo de fricción entre capas, aumentan el factor de seguridad de los taludes. Entre sus ventajas, destacan la versatilidad dada por su aplicabilidad a distintos tipos de materiales, los ángulos de fricción altos (37° con arena drenada, 29° con arcilla y 32° con geotextiles) y la facilidad de unión de laminas

En general la elección del geotextil se basa en su peso unitario, mientras que la elección de las geomembranas se basa en su espesor; pero sería muy importante un completo conocimiento de los efectos que producen sobre ellos la temperatura, las condiciones climáticas y la acción de los lixiviados. Por ello, se pueden seguir las pautas generales siguientes:

- El espesor de las geomembranas es básico en su comportamiento a altas temperaturas, mostrando las geomembranas finas una reducción en su resistencia a tensión y en su rigidez
- La degradación a alta temperatura será mayor para los geotextiles con bajo peso unitario
- Las condiciones ambientales hacen disminuir la resistencia a tensión y la elongación de los geotextiles independientemente de su peso unitario
- Las geomembranas finas expuestas a las condiciones ambientales sufren una reducción en su resistencia a tensión y en su rigidez, mientras aumenta su elongación. Las geomembranas más gruesas presentan un comportamiento más frágil.
- Los geotextiles ligeros sometidos a la acción del lixiviado suelen disminuir su resistencia a la tensión, manteniendo su rigidez constante

- Las geomembranas finas sometidas a la acción del lixiviado ven reducida su resistencia a la tensión y su elongación, incrementando su rigidez.
- La acción de los lixiviados producen una disminución en la resistencia al punzamiento similar en ambos materiales.

3.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL REVESTIMIENTO

- Construcción de la subbase

La subbase de un vertedero es el terreno sobre el que se construye el revestimiento. Para ello la compactación y a clasificación del terreno utilizado para la subbase son básicos para una fácil construcción del revestimiento. Así, si se usa arena como material de la subbase, se deberá compactar al 85% - 90% de densidad relativa, lo cual se puede conseguir con un rodillo vibrador. Cuando el terreno elegido sea arcilla, será mucho más importante el conocimiento de la compactación del terreno que con arena, ya que se pueden producir movimientos irregulares de los estratos arcillosos, pudiendo provocar la rotura del sistema de recogida de lixiviados.

También será muy importante el estudio de los asentamientos máximos que sufrirá la subbase debido a la presión que ejercerá sobre ella el peso de los residuos depositados y el peso del revestimiento.

- Revestimiento arcilloso

En principio, los pasos necesarios para la correcta construcción de un revestimiento arcilloso son los siguientes:

- Localizar la zona de acopio de material
- Realizar ensayos en campo
- Realizar ensayos en laboratorio
- Excavar el terreno necesario
- Adecuar el suelo a la humedad necesaria: pulverización
- Almacenamiento e hidratación
- Transporte al área de construcción del vertedero y preparación de la superficie
- Extender el suelo en capas
- Conseguir la humedad final optima
- Compactación
- Asegurar la calidad del revestimiento
- Aumentar la compactación si es necesario

Los revestimientos arcillosos están formados, principalmente, por suelos naturales. Los dos objetivos principales de la compactación serán romper y reordenar los terrenos de forma homogénea, y aumentar la densidad del suelo.

Generalmente, se recomienda recubrir el revestimiento arcilloso tan pronto como sea posible tras su construcción, por lo que, en sistemas de revestimientos mixtos, la geomembrana absorba agua, produciéndose un condensado en la cara en contacto con la arcilla que conduce a la desecación de ésta.

Este condensado puede ser reabsorbido por el suelo, por lo que no solo basta con cubrir la arcilla con la geomembrana lo más rápidamente posible, sino que también se deben instalar el resto de los materiales situados por encima de la misma.

El tipo de maquinaria utilizada también influirá en la permeabilidad obtenida, de forma que se recomienda empezar la compactación hasta unos terrones de 2.5 cm para lo que se usaran maquinas de rodillos, aunque también se podrán usar maquinas de rotura de asfalto que puedan reducir el tamaño de partículas a 3,8 cm tras dos pasadas. Existen tres tipos de rodillos que se pueden aplicar a la compactación de revestimientos:

- Rodillos de patas de cabra
- Vibratorios
- Llantas de caucho

Control de calidad antes y durante la construcción del revestimiento arcilloso

Los parámetros que se deben conocer antes de la construcción serán: la calidad del suelo, el porcentaje de compactación y el contenido en humedad; mientras que las medidas que se deben de tomar para efectuar el control serán: el espesor de la capa, el numero de pasadas de la maquinaria de compactación, los contenidos de humedad y densidad, y la permeabilidad del revestimiento.

Se recomienda un espesor de 20 cm-25cm por capa antes de la compactación para garantizar un buen amasado y una mezcla correcta con la capa anterior. Una buena unión entre capas es básica para la construcción del revestimiento, sobre todo en capas horizontales, para que la permeabilidad en sentido horizontal según las superficies de contacto entre en distintas capas, no sea excesiva. Fig. 4.9 Un compactador de patas de cabra ayuda a evitar este problema.

3.1.3 CONSTRUCCIÓN DE REVESTIMIENTOS DE MEMBRANA SINTÉTICA

3.1.3.1 Factores constructivos

- **Preparación**

En la construcción de este tipo de revestimientos es muy importante la correcta preparación previa de la subbase, que deberá ser diseñada según las condiciones planificadas y que deberá tener correcta distribución de tamaños de grano, donde no debe haber partículas mayores de 1.25cm que puedan producir protuberancias en la membrana. Además, se deberá vigilar que no exista hundimiento que provoquen dobleces en la misma.

Debe ser estudiada la aplicación de un herbicida bajo la membrana que evite el crecimiento vegetal que pueda dañar el revestimiento, así como vallar la zona para que los animales no puedan estar en contacto con la membrana.









Imagen 3.1 Colocación del revestimiento [9]

3.1.3.2 Soldadura de geomembranas

Las soldaduras de geomembranas son las zonas más probables de producirse infiltraciones. Algunas condiciones para minimizar las tensiones producidas en las soldaduras son las siguientes:

- Las soldaduras se deben orientar en sentido paralelo a la línea de máxima pendiente del talud.
- Las soldaduras paralelas al pie del talud se deben situar, como mínimo, a 1,5m de dicho pie para minimizar las tensiones producidas por la contracción de las geomembranas
- Las soldaduras paralelas a la cresta del talud se deben situar, como mínimo, a 60 cm de la cresta
- Las soldaduras de la base se deben solapar de forma que la lamina que recubre el talud se situé sobre la de la base y, así, evitar la acumulación de lixiviado en la soldadura.
- El numero de soldadura debe ser como mínimo posible, especialmente en las esquinas
- Las soldaduras se deben extender hasta la zanja de anclaje
- Las soldaduras de unión de 3 ò 4 laminas se deben completar con un parche de 60 cm unido por extrusión

Tabla 3.6. Técnicas de soldadura para geomembranas de PEAD [17]

METODO	CONFIGURACIÓN	RITMO	COMENTARIOS
EXTRUSIÓN		30 m/h	-AMBAS LÁMINAS DEBEN ESTAR ENTERRADAS -LA LÁMINA SUPERIOR DEBE ESTAR INCLINADA -LA ALTURA Y COLOCACIÓN SE CONTROLAN MANUALMENTE -SIEMPRE SE DEBE USAR EL MISMO COMPUESTO POLIMÉRICO -SE PUEDE PRECALENTAR LA LÁMINA CON AIRE CALIENTE -NORMALMENTE UTILIZADO EN CASOS COMPLICADOS
EXTRUSIÓN PLANA		15 m/h	-ADECUADO PARA SUPERFICIES PLANAS LARGAS -MÁQUINA MUY AUTOMATIZADA -DIFICULTAD EN TALUDES -NO UTILIZABLE EN DETALLES CONCRETOS -SIEMPRE SE DEBE USAR EL MISMO COMPUESTO POLIMÉRICO -SE PUEDE PRECALENTAR LA LÁMINA CON AIRE CALIENTE
AIRE CALIENTE		15 m/h	-ADECUADO PARA UNIR LÁMINAS -SOLUCIÓN MANUAL Y MECANISMO AUTOMÁTICO -GRAN VARIACIÓN EN LA TEMPERATURA DEL AIRE -NO SE NECESITA EXTRUSIÓN
CUÑA CALIENTE		90 m/h	-SOLDADURA SIMPLE O DOBLE -NO APLICABLE EN DETALLES CONCRETOS -MÁQUINA MUY AUTOMATIZADA -NO SE REQUIERE EXTRUSIÓN -CONTROL DE LA PRESIÓN PARA EL PRENSADO
ULTRASONIDO CALIENTE		90 m/h	-NUEVA TÉCNICA PARA GEOMEMBRANAS -SOLUCIÓN EN CAMPO -TOTAL AUTOMATIZACIÓN
SOLDADURA ELÉCTRICA		—	-NUEVA TÉCNICA PARA GEOMEMBRANAS EN FASE DE DESARROLLO -SIEMPRE SE DEBE USAR EL MISMO COMPUESTO POLIMÉRICO

3.1.3.3 Protección del revestimiento sintético

Las geomembranas pueden ser dañadas durante la fase de construcción del revestimiento, durante la deposición de los residuos y también a largo plazo por punzamiento, dando lugar a posibles peligro ambientales.

Se puede hablar de protecciones minerales, tales como arenas, lodos o arcillas, cuyas especificaciones vienen dadas por fabricantes de las geomembranas. En este sentido, los tamaños de grano superiores a 8 mm pueden producir rasguños al revestimiento, mientras que tamaños inferiores a 2 mm son susceptibles de provocar inestabilidades cuando se saturan. En cuanto a las formas de los granos, se deben evitar los granos demasiado angulosos pues pueden producir roturas en el material, mientras que el espesor de la capa protectora deberá estar en el intervalo 100mm – 150mm.

Las principales funciones de cualquier capa protectora del revestimiento sintético serán las de proteger el sistema de revestimiento de un vertedero a los esfuerzos, punzamiento y penetraciones procedentes de la capa de drenaje y de los residuos.

3.1.4 BARRERAS VERTICALES

Las barreras verticales para el control del movimiento de elementos contaminantes procedentes de vertederos son barreras que contienen, capturan y dirigen el flujo de los lixiviados y la localización del acuífero. Basándose en los métodos de construcción, se pueden distinguir tres tipos de barreras:

- Muros verticales: se construyen a partir de la excavación de una zanja bajo los residuos, que serán utilizados para estabilizar dicha zanja durante su excavación, y el posterior relleno de la excavación con el material adecuado. El lodo está formado, normalmente, por mezclas de bentonita y agua, aunque también se suele usar cemento. Son el tipo de muros más habituales para el control de lixiviados.
- Muros instalados por vibración: Está formado por grandes vigas de sección H, instaladas en el terreno con técnicas de vibración. El hueco existente entre la viga y el terreno se suele rellenar con cemento-bentonita
- Muros de mezcla: se construyen con mezclas in situ de terreno con bentonita y agua

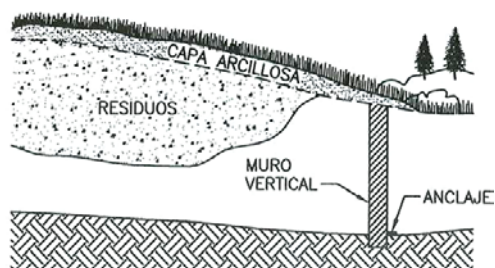


Figura 4.29. Anclaje de un muro vertical (USEPA, 1984).

Figura 3.3. Anclaje de un muro vertical [9]

3.2 SISTEMA DE RECOGIDA DEL LIXIVIADO^[9]

Figura 7.38. Esquema gráfico de red de captación de lixiviados

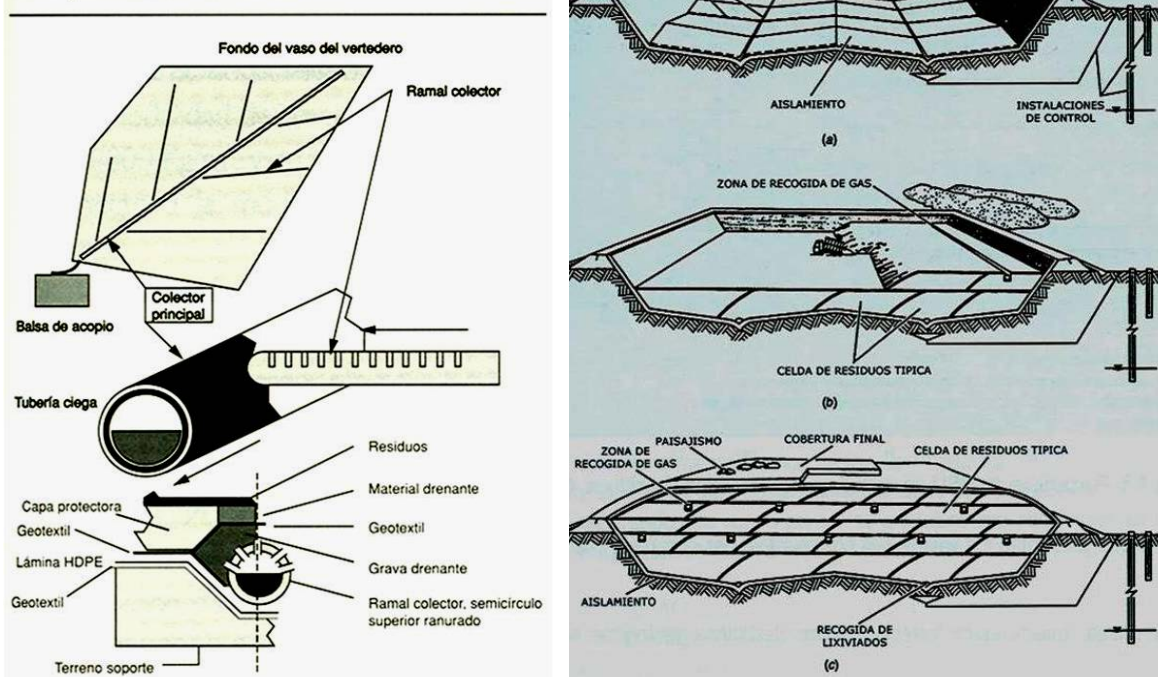


Imagen 3.2. Sistema de recogida de lixiviados. [9]

Uno de los principales objetivos de un vertedero controlado es que el lixiviado formado en los residuos salga de la estructura y no contamine el suelo y los acuíferos situados bajo el mismo. Como el revestimiento no es totalmente impermeable si se almacena demasiada cantidad de lixiviado pueden aparecer filtraciones, por lo que no solo será necesario un correcto revestimiento sino también extraer el lixiviado.

El sistema de recogida tiene la misión de recolectar el lixiviado y transportarlo hacia la planta de tratamiento.

Normalmente el sistema de recogida del lixiviado está formado por una capa de drenaje situada bajo la base del vertedero y sobre los revestimientos de la base y de los taludes, aunque también se pueden utilizar sistemas perimetrales o verticales.

Los factores que afectan a la generación de lixiviados se pueden dividir en cuatro categorías:

- Disponibilidad de agua:
 - Precipitaciones. Escorrentía.
 - Intrusión de agua subterránea.
 - Irrigación.
 - Descomposición de los estériles.
 - Vertido de residuos líquidos/lodos.
 - Temperatura.

- Condiciones superficiales del vertedero:
 - Evapotranspiración.
 - Escorrentía.
 - Infiltración.

- Características de los residuos:
 - Retención de humedad. Percolación.
 - Tiempo de vertido
- Características del subsuelo:
 - Retención de humedad.
 - Percolación.

PROCESOS HIDROLÓGICOS

Como ya se ha dicho, el agua entra en el vertedero por diferentes caminos para, posteriormente, sufrir una serie de procesos superficiales y subterráneos. Los procesos superficiales incluyen la retención, infiltración y escorrentía, mientras que los procesos subterráneos se producen tras la infiltración e incluyen la evapotranspiración, percolación y flujo lateral.

- **Retención superficial:** se define como la porción de agua que se almacena en la superficie, incluyendo la Intercepción del recubrimiento vegetal y la retención en depresiones (charcos, diques, etc.). La retención superficial puede eliminarse por evaporación o puede llegar a infiltrarse.
- **Escorrentía:** es la porción de agua que discurre sobre la superficie y, normalmente, se controla con un emplazamiento e inclinación adecuados. La escorrentía depende de si el volumen de precipitaciones supera la capacidad de infiltración de la superficie.
- **Infiltración:** es la porción de agua que penetra en el terreno, y depende del tipo de suelo, vegetación y estación del año.
- **Almacenamiento:** se define como el volumen de agua acumulada en los huecos existentes en el suelo y en los residuos.
- **Evaporación:** es el proceso de transformación del agua en líquido. La magnitud de la evaporación está afectada por la temperatura del aire, la radiación solar, la presión de vapor y la presión atmosférica.
- **Transpiración:** el agua es absorbida por las raíces de las plantas y, posteriormente, es transformada en vapor. Este proceso depende del tipo y densidad de la vegetación y de la cantidad de agua disponible.
- **Evapotranspiración:** es la combinación de los procesos de evaporación y transpiración, y se define como la pérdida de agua que se produce cuando existe una capa de vegetación
- **Percolación:** es el flujo vertical de agua a través de un suelo. Sus principales mecanismos son la gravedad y las fuerzas capilares.
- **Flujo subterráneo:** es la entrada de agua subterránea en un vertedero, y se produce en instalaciones antiguas que carecen de sistema de revestimiento.

3.2.1 DISEÑO

La configuración habitual del sistema de recogida de lixiviado está compuesta por:

- Una capa de drenaje de alta permeabilidad de 30 cm de espesor construida con suelo granular o material geosintético. La capa de drenaje se sitúa directamente sobre el revestimiento con una inclinación tal que permita el flujo por gravedad del lixiviado hacia el sumidero. Cuando se utilicen geomembranas como revestimiento, se puede colocar una capa de protección compuesta de un geotextil entre ésta y la capa de drenaje.
- Tuberías perforadas para la recogida de lixiviado situadas dentro de la capa de drenaje para aumentar el flujo y dirigirlo hacia los sumideros de recogida. Las tuberías se suelen revestir de grava para proteger a la tubería de posibles obstrucciones de las perforaciones. La grava puede ser envuelta de un geotextil que actúe como filtro de finos procedentes de la capa de drenaje.
- Una capa que actúe de filtro situada sobre la capa de drenaje y que minimice su obstrucción y la proteja de residuos cortantes y del peso de la maquinaria.
- Un sumidero de recogida donde se reciba el lixiviado, se almacene temporalmente y sea, finalmente, bombeado. Debe tener dimensiones acordes al volumen generado y suficientemente profundo para permitir el cebado de la bomba.

Además, se deberá instalar un puerto de limpieza de los conductos, una bomba de recogida de lixiviados con su sistema de elevación de líquidos y, en muchos casos, un tanque de almacenamiento de lixiviados.

3.2.1.1 CRITERIOS Y PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño del sistema de recogida puede ser el siguiente:

Paso 1. *Estimación de la cantidad de lixiviado:*

La generación de lixiviado se puede estimar mediante balances hidrológicos, preferiblemente en el caso más desfavorable que suele ser la caída de lluvia cuando solo se ha vertido una capa de residuos. En vertederos situados en valles, se deberán tener en cuenta las precipitaciones caídas sobre las laderas que desemboquen en el vertedero, a no ser que exista un canal perimetral para el control del agua superficial.

Paso 2. *Estimación de la inclinación de la base u espaciamiento de las tuberías:*

En principio todos los puntos del sistema de recogida deben presentar una pendiente mínima del 2%. Un estudio geotécnico del subsuelo del vertedero durante la fase de diseño puede resultar de gran ayuda para el conocimiento de la compresibilidad y asentamiento, pudiéndose diseñar la inclinación de la base de forma que se compensen estos movimientos.

Paso 3. *Calculo de la permeabilidad de la capa de drenaje:*

La permeabilidad de la capa de drenaje depende del nivel máximo de lixiviado, de la separación entre tuberías, de la inclinación de la base y de la aportación de lixiviado. Vertederos de RSU la máxima altura de lixiviado sobre el revestimiento es de 30 cm, con capas de drenaje de permeabilidad de $10^2 - 1$ cm/s. La permeabilidad de la capa de drenaje es igual a la de los materiales que la conforman

Si la permeabilidad obtenida en la capa de drenaje es inferior a la requerida, se deberá aumentar la inclinación de dicha capa para así aumentar la permeabilidad total.

Paso 4. Implantación del sistema de recogida de lixiviado:

Normalmente, la implantación comienza en el punto más bajo que, en la mayoría de los casos, es el sumidero. La altura mínima del sumidero se seleccionará basándose en la distancia al acuífero, en las operaciones del vertedero y en los permisos. El caso más favorable es aquel en que el sumidero se sitúa cerca del perímetro del vertedero, debido a la facilidad de acceso, mientras que los sumideros interiores se deben evitar por el peligro de asentamientos y daños motivados por las penetraciones en las geomembranas.

El sistema de recogida debe estar debidamente inclinado para que el lixiviado drene hasta el sumidero, fig. 3.4. La configuración seleccionada debe maximizar la capacidad de almacenamiento de residuos y tener un mantenimiento sencillo. También se debe tener presente si las celdas estarán aisladas hidráulicamente, caso en el que la aparición de excesivo lixiviado solo afectaría a una de las celdas, o bien se conduce a sumideros principales.

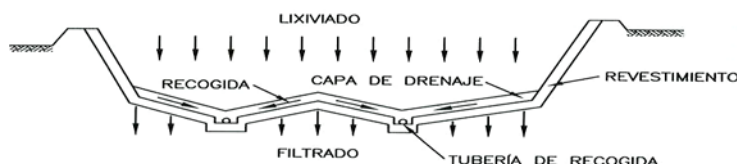


Figura 3.4. Implantación del sistema de recogida de lixiviado [9]

El sistema de recogida de lixiviado también debe actuar sobre los taludes con pendientes menores de 3H-:1V. En estos casos se suelen utilizar geocompuestos como material de drenaje debido a la dificultad de instalación de material granular en estas zonas.

Paso 5. Selección del material, longitud, diámetro y perforaciones de las tuberías

Los factores a considerar en la selección de las tuberías son:

- Tipo de lixiviado
- Flujo requerido por las tuberías
- Durabilidad (abrasión, resistencia a corrosión)
- Propiedades físicas
- Tipo de instalación
- Coste

Las tuberías de PE y PVC son las más habitualmente utilizadas debido a la compatibilidad con lixiviado y a las características de las perforaciones.

Las tuberías deben estar perforadas para permitir la recogida y transporte de lixiviado. El tamaño y espaciado entre perforaciones debe permitir un caudal adecuado dentro de la tubería u minimizar su obstrucción. Para aumentar el flujo, es mejor aumentar la permeabilidad de la capa de grava que aumentar el tamaño de las perforaciones de la tubería. Por lo tanto, el tamaño y espacio de las perforaciones deberán estar basadas en los modelos de tubería estándar, las características del relleno y los efectos de las perforaciones en la resistencia de las tuberías.

Paso 7. Evaluación de obstrucciones y filtros

El sistema de recogida de lixiviados es susceptible de sufrir obstrucciones físicas, químicas y biológicas. La obstrucción física se debe al movimiento de partículas finas

dentro de otras mayores, produciéndose la disminución de la permeabilidad de estas últimas. La obstrucción química se debe a la precipitación de sustancias insolubles, como carbonato cálcico, que provocan el bloqueo o cementación del material de drenaje, por lo que esta capa debe estar formada por material inerte. La obstrucción biológica se produce por el crecimiento de bacterias a partir del material orgánico y los nutrientes que transporta el lixiviado.

Los filtros de arena y los geotextiles se usan para impedir la obstrucción física, además de prevenir la posible rotura del revestimiento provocada por residuos angulares, y realizar una distribución de las cargas generadas por a maquinaria de construcción y operación.

Paso 8. Definición de los planos del sistema de recogida

En estos planos se debe indicar la situación de los sumideros, sus dimensiones, la localización de las tuberías y la inclinación necesaria. Las tuberías suelen ser diseñadas en línea recta, aunque la utilización de tuberías flexibles permite su curvatura. La situación de codos y juntas se debe indicar en el plano.

Se deben establecer todos los detalles técnicos correspondientes a los componentes del sistema, zanjas de recogida, sumideros, tuberías ascendentes, líneas de transmisión y las posibles perforaciones necesarias, definiendo el tipo de conexión entre las zonas de recogida del talud y de la base, las medidas a tomar para una terminación correcta y la posibilidad de futuras ampliaciones.

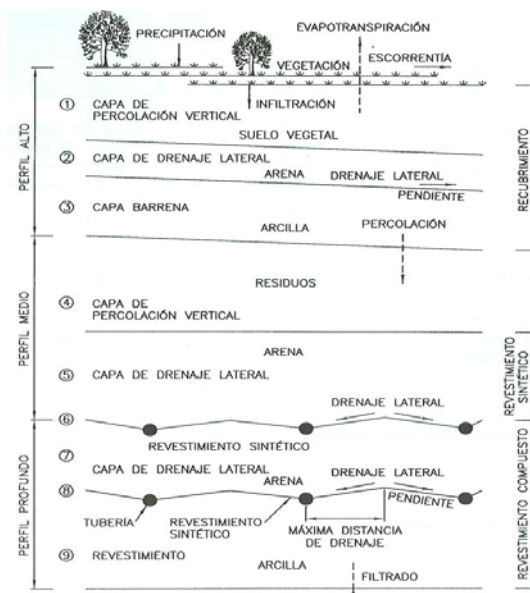


Figura 3.5. Mecanismos del modelo HELP [17]

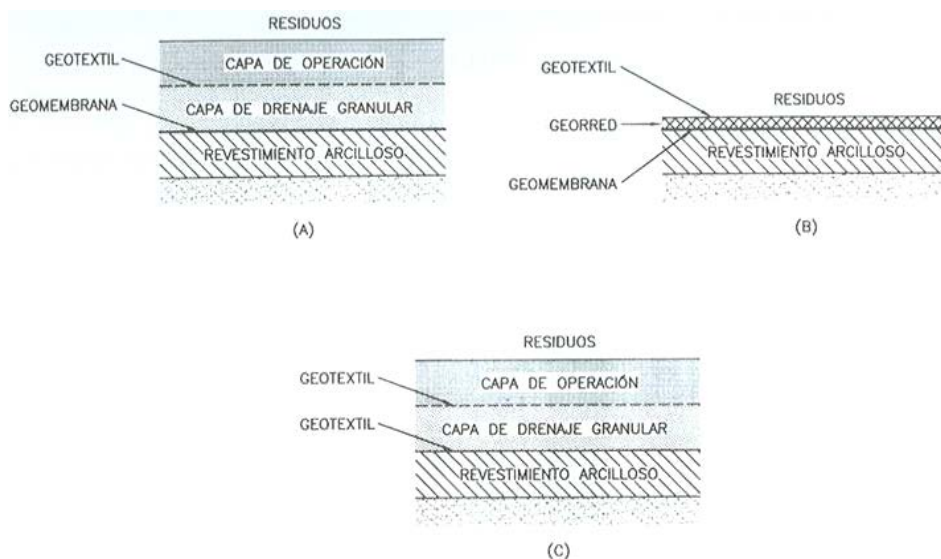


Figura 3.6. Uso de geotextiles: a) Arcilla, geomembrana y material granular; b) Arcilla, geomembrana y material sintético; c) Arcilla y material granular [9]

Obstrucción física, biológica y química

Existen varias causas que pueden provocar dicha obstrucción. Una de ellas es la aparición de finos como resultado de la sedimentación del lixiviado o por la migración desde la zanja de lixiviado. El uso de geotextil en la zanja disminuirá la posibilidad de aparición de finos.

La obstrucción química se debe a la precipitación de sustancias insolubles, como carbonato cálcico, a causa de variaciones en el pH, en la presión parcial de CO_2 o en la presión de evaporación, que provocan la cementación de los materiales granulares o sintéticos de drenaje.

3.2.1.2 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS

A partir de la experiencia en el uso de sistemas de recogida de lixiviados, las características técnicas se pueden resumir en lo siguiente:

- **Base arenosa (capa permeable):**

Espesor no inferior a 0,5 m:

- Alternativa 1: 0,3 m de arena y 0,2 m de grava.
- Alternativa 2: capa de grava con espesor mínimo de 0,3 m, encima de 0,5 m de arena sobre una lámina de geotextil.

Exigencias para la arena: no podrá contener fracciones granulométricas superiores a los 5 mm. Para reducir el riesgo de daños en la lámina convendrá el uso de una fracción granulométrica de 3 mm. Las características serán:

- Bajo porcentaje de carbonatas.
- Tamaño granulométrico preferente:

fracción > 250 mieras:	mínimo 70 %.
Fracción > 500 mieras:	mínimo 35 %.

- **Drenajes de recogida:**

Tubería ranurada o perforada de PEAD de resistencia variable.

- Diámetro interior de 70 mm. Para inspecciones con videocámara se exigirá un diámetro interior mínimo de **130** mm.

- Un mínimo de 200 perforaciones/m distribuidas de forma regular sobre la pared de la tubería en un mínimo de tres filas longitudinales. La anchura de las perforaciones será de 4 mm como

- Se recomienda el uso de tuberías de PEAD con ranuras transversales en los dos tercios de la circunferencia del tubo y de 5 mm - 6 mm de anchura. Las ranuras deben ser lisas y bien acabadas para evitar la formación de áreas de adhesión de depósitos microbiológicos.

- Máxima separación entre drenes: 15 m.

- Un máximo de 300 m de longitud para las tuberías de drenaje hacia un extremo y de 600 m para las de limpieza por los dos extremos. La pendiente de la base será de 0,25 % - 0,5 %.

- Las hileras de conductos no presentarán acodamientos o curvas cerradas,

- **Lecho de grava:**

- El espesor mínimo será de 0,3m.

- Para tuberías con ranuras transversales, se usará grava de 8/32 ó 16/32.

- El lecho de grava y la capa de arena deben cumplir, en general, con las normas para filtros de Terzaghi.

- Para la protección de la lámina impermeable del sellado inferior a la altura del lecho de grava, se puede instalar una lámina de geotextil.

- **Drenajes colectores:**

- Se situarán por dentro del muro de limitación de la celda de vertido.

- Se reducirán al máximo el número de aperturas en el sellado inferior para no debilitar la construcción.

- El colector debe ser accesible para trabajos de control y limpieza mediante pozos de Inspección.

- La capacidad hidráulica debe corresponderse con un caudal de al menos 4 mm/día, una sección efectiva entre 50-75 % y un caudal punta no inferior a 8 mm/día.

- Se recomienda el uso de colectores tanto aguas arriba como aguas abajo de las tuberías de recogida de lixiviados.

Conexiones entre drenajes de recogida y colectores

- La parte superior del conducto de evacuación irá al mismo nivel o más bajo que la parte inferior del drenaje de recogida y/o del colector.

- Conexión mediante pozos de inspección de material sintético o mediante conexiones ciegas (T o cruz) con equipamiento de limpieza.

- La limpieza de los drenes de recogida se podrá llevar a cabo siempre, por lo que las conexiones en T o en cruz deberán permitir el paso del equipo de limpieza.

- Se instalarán sistemas que eviten la entrada de aire en los drenes de recogida y en los colectores.

- Los elementos de conexión deben ser construidos con los mismos materiales que los utilizados en los conductos.

3.3 Balsa de Lixiviados

Generalidades de Lixiviados en Vertederos [6]

Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados en donde se hace énfasis en su alto poder contaminante. Se concluye usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos.

La calidad de los lixiviados en un vertedero varía grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de vertedero que se tenga

Teniendo en cuenta que un vertedero se opera por lustros o décadas, siempre habrá una parte del vertedero que aporta lixiviado joven, la que se está rellenando en ese momento, mientras que otras partes del vertedero tienen lixiviado maduro, las que tienen unos años, y otras lixiviado viejo, las que tienen más de cinco años. En la Tabla 3.7 se resume las principales características de los lixiviados jóvenes y viejos en un vertedero.

Tabla 3.7. Comparación de características típicas de los lixiviados de vertederos [6]

CARACTERÍSTICA	LIXIVIADO JOVEN	LIXIVIADO VIEJO
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
Amoniaco	Muy alto	Alto
Fósforo	Usualmente Deficiente (1)	Suficiente
pH	Muy bajo	Bajo
Detergentes	Muy Altos	Bajos
Sales disueltas	Muy Altas	Bajas (relativamente)
Agentes Incrustantes (Fe, Ca, Mg)	Muy Altos	Bajos
Metales Pesados	Muy Altos	Bajos

Como se puede observar por las características de la Tabla 3.7, el tipo de problema del tratamiento que se enfrenta con un lixiviado joven y uno viejo es muy diferente. Para empezar, las concentraciones de todos los parámetros son mucho mayores en un lixiviado joven que en un lixiviado viejo. Por ejemplo, la relación DBO / DQO para un lixiviado joven es alta, indicando una buena biodegradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja indicando una pobre biodegradabilidad de la materia orgánica. Las concentraciones de sales disueltas, y metales pesados son mucho mayores en un lixiviado joven, generando problemas de toxicidad en el caso de que se quieran utilizar procesos biológicos para la remoción de la DBO.

3.3.1 FUNCIÓN DE LAS BALSAS DE LIXIVIADOS [16]

Las balsas de lixiviados se utilizan para la recogida de los lixiviados aguas abajo del vertedero, para recoger el agua caída sobre las eras de compostaje de una planta de compostaje o para almacenar cualquier tipo de lixiviados sea del origen que sea. Las funciones de dichas balsas son:

- Recoger los lixiviados del fondo del vertedero procedentes del propio vertido, después de haber sido canalizados mediante la red de drenaje.
- Recoger el agua de percolación caída sobre el vertedero en el caso de lluvias fuertes.
- Almacenar y disminuir la producción global de lixiviados por evaporación en la balsa, de manera que esta disminución será mayor cuanto mayor sea la superficie de coronación.
- También pueden ser útiles en caso de derrames o pérdidas accidentales de lixiviados por saturación de residuos y por altas presiones intersticiales

3.3.2 MEDIDAS PARA MINIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS [18]:

- Control de aguas superficiales: El agua de escorrentía debe ser canalizado y desviada hacia afuera del vertedero.
- Procedimientos de operación: realizar compactación y la cobertura diaria.
- Procedimientos para disminuir el impacto una vez que han sido producidos: impermeabilización del fondo y laterales del vaso, canalización de los lixiviados, tratamiento de los lixiviados.

3.3.3 JUSTIFICACIÓN DEL VOLUMEN [8]

Para calcular la capacidad de una balsa de lixiviados de un vertedero o de una planta de compostaje se deberán estudiar, además de los requerimientos que marca la legislación, los siguientes aspectos:

Calcular la superficie total de la instalación que va a desaguar en la balsa.

Del volumen de lluvia caída en precipitación torrencial, se considera que el coeficiente de infiltración en un vertedero de baja compactación ($<800 \text{ kg/m}^3$) es del 25 - 40 % (Álvaro et al. 2001), y que por tanto un 25 – 40 % del agua de lluvia que cae sobre un vertedero anualmente pasa a convertirse en lixiviado. En un vertedero de alta compactación ($>800 \text{ kg/m}^3$) el 15-25 % de la precipitación anual se transforma en lixiviado (Álvaro et al. 2001; Stegmann. 1983).

Si se recoge el requerimiento del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana, se especifica que la balsa deberá tener una capacidad como suficiente para almacenar el doble de la lluvia máxima en 24 horas con un periodo de retorno de 100 años caído sobre la superficie del vertedero.

3.3.4 IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO DEL VASO [18]

Actualmente se utiliza el sistema de impermeabilización mixta formada por arcilla compactada y materiales síntesis (geosintéticos) generalmente de tipo (PP, HDPE).

Por lo que la impermeabilización del fondo del vaso según el uso que vaya a tener se realiza con los siguientes geosintéticos:

- Geomenbranas
- Geomallas
- Geotextiles

Unidades Constructivas Que Componen La Obra

Para la adecuada construcción de una balsa de materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana, hay que considerar los parámetros de tres unidades constructivas: diques, impermeabilización y obras complementarias. En el caso de los diques y de la impermeabilización, su construcción e instalación es similar, independientemente de la capacidad o de los diferentes líquidos contenidos.

El número y tipología de las obras complementarias dependen directamente de la capacidad y del tipo de balsa aumentando a medida que se incremente la capacidad de la balsa.

Diques

Los diques deben estar contruidos con un material adecuado, es decir un material bien graduado y con buenas propiedades mecánicas. Para ello se deben realizar los ensayos pertinentes sobre el material con el que va a ser construida la balsa

Impermeabilización

Las balsas de materiales sueltos se configuran mediante dos elementos o sistemas básicos: la estructura de tierras que conforma el vaso propiamente dicho y un sistema de impermeabilización que garantice suficiente estanqueidad. Este sistema de impermeabilización se puede realizar de diferentes maneras (arcilla, asfalto, GCL, plástico), aunque para el caso de balsas de lixiviados suele ser mediante geomembrana plástica, normalmente de HDPE

Los materiales utilizados para la fabricación de este tipo de geomembranas son PVC, HDPE, PP y EPDM14 variando su resistencia mecánica y su resistencia a agentes químicos en función de los aditivos o plastificantes añadidos en su fabricación



Imagen 3.3. Balsa de lixiviados, impermeabilización con geomembrana [8]

Estos plásticos suelen presentarse en rollos que se despliegan sobre el fondo y paredes del vaso a medida que se van soldando entre ellas. La soldadura puede ser térmica por aire caliente con pistola de llama, betún caliente, cuña caliente o por extrusión o por adhesivo o vulcanización (Zapata. 2003) y el perfecto acabado y revisión de esta actividad es fundamental para prevenir fugas posteriores.

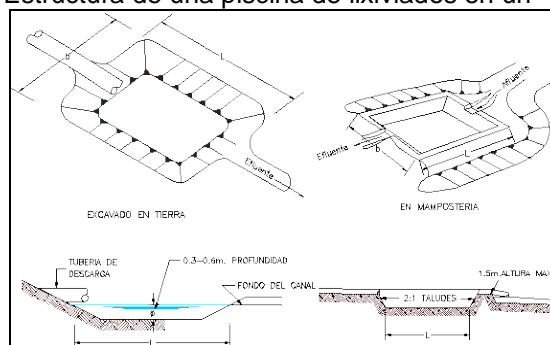
La entrada de agua suele ser por la parte superior mediante una tubería de diámetro variable que vierte el lixiviado recogido por la red de drenaje en la lámina impermeable del talud interior

El anclaje de la geomembrana se realiza normalmente por medio de un muerto de tierra, piedra o zuncho de hormigón.



Imagen 3.4. Tubería de entrada de lixiviados a la balsa de lixiviados [8]

Figura 3.7. Estructura de una piscina de lixiviados en un Vertedero. [8]



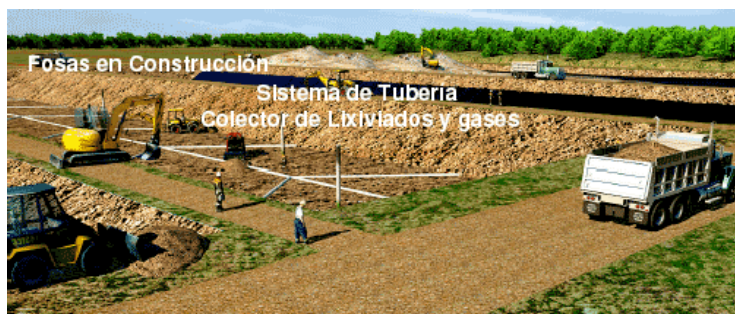


Imagen 3.5 Instalación de tuberías recolectoras de lixiviados. [2]

La cantidad de los lixiviados en un vertedero también es un punto importante a considerar en el momento de la selección de la tecnología para su tratamiento. La cantidad de los lixiviados es función de tres variables principales, el área rellenada, la cantidad de infiltración que se permita, y el sistema de drenaje, impermeabilización. El área rellenada afecta porque es a través de ella que se realiza la entrada y el contacto del agua de infiltración con la basura, al aumentar el área rellenada, aumenta paralelamente la cantidad de lixiviados

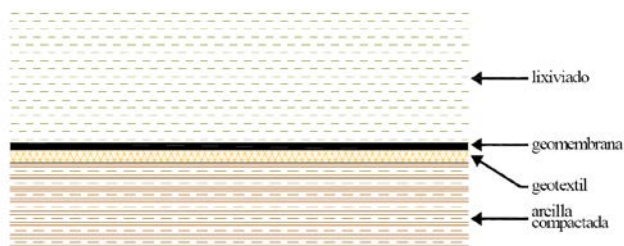


Figura 3.8 Sistema de capa sencillo para la impermeabilización de fondo y paredes de una balsa de lixiviados, tanto en la base como en los taludes laterales [8]

Entre la geomembrana impermeable y la capa de arcilla compactada, es muy conveniente poner una capa de geotextil, consistente en una capa de tejido constituido por fibras poliméricas sintéticas a la que se le añaden diferentes tipos de aditivos (Leiro. 2001). Su finalidad es proteger la lámina frente a las posibles irregularidades de la capa de arcilla o punzamiento provocados por elementos no eliminados. Este sistema de impermeabilización se conoce como “sistema de capa sencillo”

Otro método más seguro es el sistema basado en la detección de las posibles fugas de lixiviados. Con este sistema, si existiera una rotura en la lámina impermeable ya sea por defecto de la soldadura, acto vandálico, punzonamiento, envejecimiento del material u otras causas, y se produjera una fuga de lixiviado, el líquido sería conducido por un sistema de drenaje hasta un pozo de registro. Gracias a este se podría detectar la fuga y actuar con celeridad antes de que se produjera un accidente.

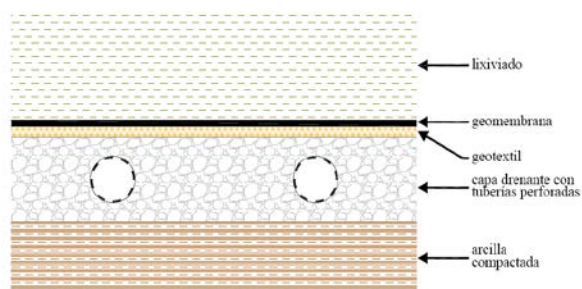


Figura.3.9 Sistema de capa compuesto para la impermeabilización de una balsa de lixiviados, tanto en la base como en los taludes laterales [8]

3.4 CHIMENEA DE EXTRACCION DE GASES [11]

El gas de vertedero es un gas saturado compuesto de metano y dióxido de carbono, junto con otros elementos traza. Estos gases pueden trasladarse a zonas cercanas y crear peligros de explosión. Por lo tanto, por cuestiones de seguridad y para su aprovechamiento como fuente de energía, se considera interesante la posibilidad de su recuperación. Se debe tener en cuenta que el biogás tiene un poder calorífico de unas 4.300 kcal/m³, lo que significa que 1 m³ de biogás es equivalente a 0,86 kg de carbón o 0,51 m³ de gas natural.

Debido a la naturaleza de los elementos traza y a la diferente composición del gas con el tiempo, toda instalación de recuperación debe ser flexible.

COMPONENTES PRINCIPALES:

- CH₄, CO₂, NH₃, H₂S, Vapor de agua.
- Gases traza: vapores de descomposición orgánica.

Numerosos factores influyen sobre la cantidad de biogás formado en un vertedero controlado. Entre estos tenemos:

- Composición del residuo, especialmente la cantidad de materia orgánica biodegradable presentes en el mismo, la humedad, así como la presencia de nutrientes e inhibidores.
- Operaciones llevadas a cabo en el vertedero: recirculación de lixiviado, sistema de recubrimiento, compactación, etc.
- Condiciones climáticas: temperatura, precipitación, etc.

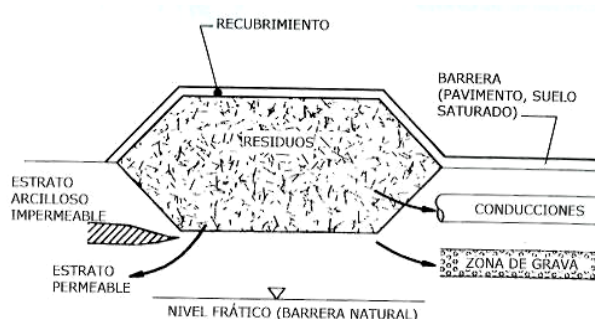


Figura 3.10. Migración de gas de un vertedero [11].

La recuperación del gas depende de una serie de características propias de cada vertedero, como la cantidad y calidad del gas, la disponibilidad de mercado a una distancia rentable y el precio de la energía. En general, el vertedero debe tener una cantidad de residuos entre 500.000 y 1'000.000 t con una profundidad de 15m.

Algunos de los factores que se deben tener en cuenta en la posible extracción de gas son las siguientes:

- Cobertura diaria: disminuye el movimiento libre de los gases.
- Residuos líquidos: dificultan el movimiento de los gases.
- Movimientos verticales de líquidos: dificultan el movimiento de los gases.
- Escasa profundidad: dificultan la extracción de gas debido a la entrada de aire durante el bombeo. Además, los vertederos profundos favorecen la generación anaerobia de metano.

- Permeabilidad del recubrimiento: cuanto mayor sea su impermeabilidad mayor resistencia a la entrada de aire.

Por otro lado, los principales problemas relacionados con el sistema de extracción son:

- La extracción se debe realizar en condiciones difíciles. Por ejemplo, asentamientos diferenciales como consecuencia de la compresión de los residuos, rotura de las tuberías o formación de condensados.
- Obstrucción de las tuberías por los condensados. Para evitar este problema, las tuberías se deben instalar con una inclinación mínima del 3 %, situando los sumideros de recogida en los puntos más bajos de cada línea, que conducirán los líquidos a la planta de tratamiento. El condensado se bombea periódicamente para su transporte o tratamiento in situ.
- En el diseño del sistema de extracción se debe examinar el lugar donde el gas va a ser bombeado.
- La aparición de agua en los pozos de extracción dificulta en gran medida la salida del gas.
- Puede producirse la entrada de aire a través de la superficie del vertedero como consecuencia de la presión de succión generada.
- La rotura de las líneas de recogida permite la entrada de aire, disminuyendo la calidad del gas.

Algunas precauciones a tomar para minimizar estos problemas son:

- Usar pendientes mayores del 2 %.
- Instalar un sumidero de recogida de condensado cada 300 m.
- Evitar la entrada de partículas sólidas en el sistema de extracción mediante cribas.

El proceso de desgasificación comporta la extracción, transporte y almacenamiento del biogás acumulado en el vertedero. Con ello se pretende garantizar la seguridad mediante el control de las emisiones gaseosas, y posibilitar el aprovechamiento energético mediante el uso del biogás como combustible para generar energía eléctrica. Este segundo aspecto conlleva, además, una notable reducción de la emisión de gases de efecto invernadero originada en el vertedero, en la medida en que la combustión transforma el metano contenido en el biogás en dióxido de carbono, un gas cuyo efecto invernadero es veintiún veces inferior al del primero.

3.4.1 GENERACIÓN DE GAS

Los gases del vertedero se generan por la fermentación de residuos con componentes orgánicos. En este caso, los gases están constituidos, principalmente, por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), y pueden ser tipificados como biogás. También aparecerán amoníaco (NH_3), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), además de otros constituyentes en cantidades traza.

La cantidad de gas generada en algunos vertederos es, prácticamente, despreciable, aunque en la mayoría de ellos, y no sólo con residuos orgánicos, el volumen suele ser significativo.

La calidad del gas generado dependerá principalmente del tipo de residuo vertido, sobre todo de la presencia y tipo de materia orgánica, y, como en el caso del lixiviado, tanto la cantidad como la calidad, variarán con el tiempo. Las condiciones para la vida bacteriana en el vertedero también es un factor importante en la formación de gas,

dependiendo éste del contenido de agua, del pH, de la temperatura, de los nutrientes y del potencial redox. Por último, la heterogeneidad del vertedero también es un factor básico, ya que una infiltración de agua no adecuada debido a variaciones en la permeabilidad de los residuos puede no producir la fermentación anaerobia debido a una hidrólisis deficiente o a que el pH se mantiene bajo.

Las fases en las que se puede dividir el proceso de formación de gas son, Fig. 3.11:

- **Fase I:** *Ayuste inicial (aerobia):* En esta fase los componentes orgánicos biodegradables de los RSU sufren descomposición microbiana mientras se colocan en el vertedero y poco después. Se produce descomposición biológica bajo condiciones aerobias, porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro del vertedero. La fuente principal de organismos responsables de la descomposición de los residuos es el material del suelo que se utiliza como cubrición diaria y final.
- **Fase II:** *Fase de transición (anaerobia):* Se produce un descenso del oxígeno y comienzan a desarrollarse condiciones anaerobias. Mientras ocurre esto, el nitrato y el sulfato se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. El comienzo de condiciones anaerobias se puede supervisar midiendo el potencial redox que tiene el residuo. En esta fase el pH del lixiviado comienza a disminuir debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO₂ dentro del vertedero.
- **Fase III:** *Fase ácida:* Se acelera la actividad con la producción de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de hidrógeno. El primer paso implica la transformación, mediada por enzimas (hidrólisis), de compuestos con alto peso molecular en compuestos aptos para ser usados por los microorganismos como fuentes de energía. El segundo paso (acidogénesis) implica la conversión de los compuestos anteriores en compuestos intermedios de bajo peso molecular (ácido acético). El CO₂ es el principal gas generado en esta fase. El pH del lixiviado caerá hasta un valor de 5.
- **Fase IV:** *Fase de fermentación del metano (metanogénica):* En esta fase predominan un grupo de microorganismos que convierten el ácido acético y el gas hidrógeno producidos en la fase ácida en CH₄ y CO₂. Los microorganismos responsables de esta conversión son anaerobios y se llaman metanogénicos. En esta fase la velocidad de formación de ácidos es más reducida, mientras que el valor del pH subirá a valores más neutros (7-8)
- **Fase V:** *Fase de maduración:* Mientras la humedad sigue migrando a través de los residuos, se transforman porciones de material degradable que antes no estaba disponible. La velocidad de generación de gas disminuye porque la mayoría de los nutrientes se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores. Durante esta fase, el lixiviado podrá contener ácido húmico y fúlvico, que son difíciles de degradar biológicamente.

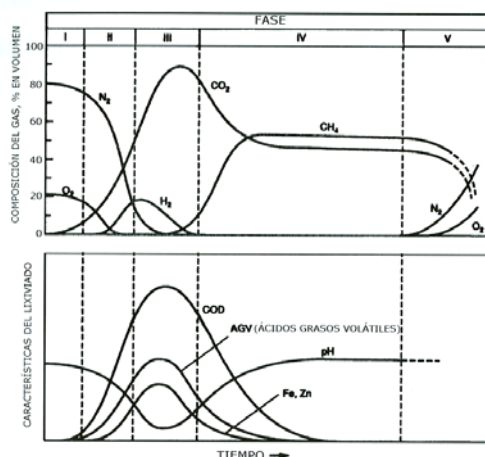


Figura 3.11 Fases de la generación de gases de vertedero [11].

La formación de metano alcanza una fase estable en un corto periodo de tiempo, a partir del cual la producción de gas va disminuyendo constantemente, por lo que el tiempo es una variable crítica para cualquier diseño. La velocidad específica de producción de gas (kg/año/tonelada de residuos), alcanza su máximo poco después del inicio de la fase metanogénica y también se va reduciendo con el tiempo.

Para la determinación de la producción de gas, se dispone de varios modelos matemáticos basados en la velocidad de fermentación de las diferentes categorías de materia orgánica. Uno de ellos es el desarrollado por Tabasuran y Rettenberger:

3.4.2 TIPOS DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE GAS

En principio, los sistemas de extracción de gas se pueden dividir en dos modalidades: pasivos y activos.

Los sistemas de extracción pasivos se instalan en vertederos con poca formación de gas, por lo que se aplican a pequeños vertederos (40.000 m³) con residuos no biodegradables. Dicho sistema consiste en la evacuación de gas hacia la atmósfera a través de aperturas en el recubrimiento utilizando energía en forma de vacío, por medio de una serie de respiraderos de gas cada 7.500 m² de residuos, aproximadamente. Se puede lograr el control de los gases principales y de los oligogases mientras se están produciendo, proporcionando caminos de mayor permeabilidad.

Uno de los métodos pasivos más comunes pretende reducir la migración lateral de los gases rebajando la presión del gas en el interior del vertedero. Para ello, se instalan chimeneas a través de la cobertura final, extendiéndose hacia abajo en la masa de residuos sólidos, Fig. 6.4. Si el metano es el gas que se escapa, se pueden conectar varias chimeneas y equiparlas con un quemador con llama piloto, aunque su uso puede no alcanzar las exigencias para el control de la calidad del aire de muchas instalaciones urbanas. También se podrían instalar zanjas perimetrales de interceptación lateral o zanjas barrera, o barreras más impermeables que el suelo adyacente.

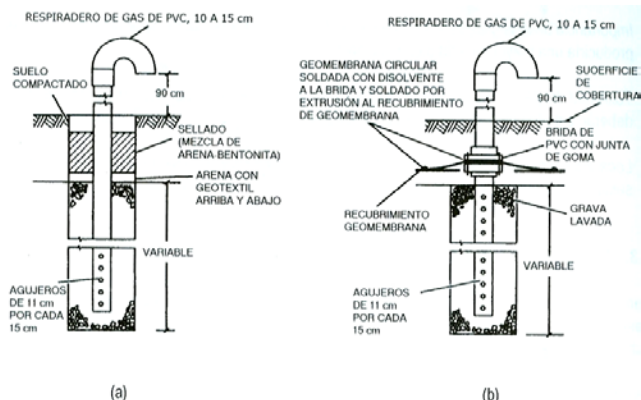


Figura 3.12. Chimeneas de control pasivo de gas: (a) para vertedero que no tiene recubrimiento, y (b) para vertedero que contiene recubrimiento [11].

Los sistemas de extracción activos hacen uso de una Instalación extractora a depresión, formada por una serie de pozos o chimeneas de extracción profunda, conectada a una tubería general, y de ésta a un soplador que puede distribuir el gas para su uso como fuente de energía o, simplemente, liberarlo a la atmósfera. Para poder efectuar una liberación de gas directamente a la atmósfera se deberá tener en cuenta la constitución del propio gas por si posee elementos peligrosos, y la situación del vertedero respecto a núcleos urbanos.

Normalmente, las chimeneas se utilizan en vertederos con profundidades de residuos sólidos de, por lo menos, 8 m. Se trata de una serie de chimeneas verticales instaladas dentro del vertedero a lo largo de su borde. Cada chimenea se conecta al tubo recolector común que está conectado a un compresor que produce vacío (presión negativa). Al aplicar el vacío se crea una zona o radio de influencia alrededor de cada chimenea y dentro del cual el gas es aspirado. Se debe evitar una sobrecarga del sistema para que el aire exterior no entre. La chimenea, Fig. 6.5, es una tubería de PVC o PE de 10-16 cm de diámetro, cuya parte inferior está perforada, colocada sobre un relleno de grava. El resto de la funda no se perfora y se coloca en un relleno de tierra o de residuos sólidos.

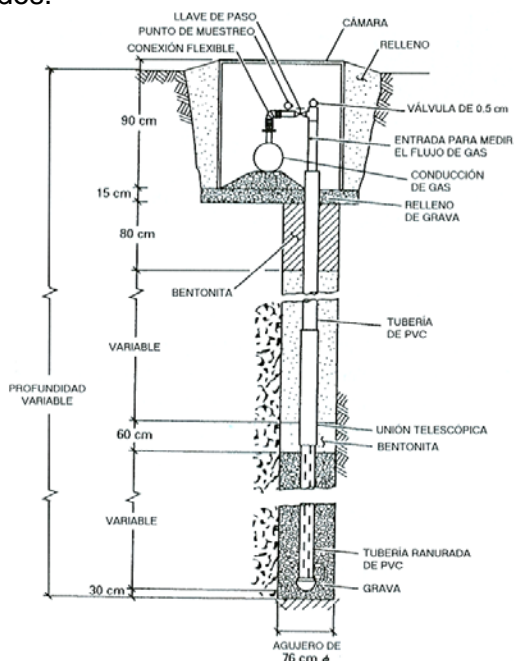


Figura 3.13 Pozo activo para la extracción de gas de vertedero [11].

CAPITULO IV

4. ANALISIS DE RIESGO MEDIO AMBIENTAL

4.1 ANÁLISIS PRELIMINAR Y ALCANCE DEL ESTUDIO

Los cuatro emplazamientos, a los que se les realizarán el análisis de riesgos son: la celda de disposición de residuos, el sistema de recogida de lixiviados, la balsa de lixiviados y las chimeneas de extracción de gases. Este es un análisis que abarca: la determinación de un suceso iniciador, los factores que condicionan este iniciador para llegar a los posibles escenarios accidentales, que son las consecuencias y daños que se pueden presentar, en el caso en que la secuencia accidental se dé.

4.1.1 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

Uno de los principales impactos que producen los vertederos es la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, causadas por los lixiviados, que se puede prolongar de 20-30 años después de su clausura.

El lixiviado es un efluente líquido liberado por la masa de residuos como resultado de la descomposición de fracciones orgánicas y putrescibles, pudiendo llevar líquidos inmiscibles (por ejemplo aceites), pequeñas partículas (sólidos suspendidos), microorganismos (por ejemplo bacterias) y virus. La mayor o menor gravedad de su contaminación estará determinada por diversos factores, entre los que se encuentran: la composición, cantidad, diseño y características del tratamiento del vertedero, clima, la morfología, permeabilidad y litología del sustrato, profundidad de la masa de agua, edad del vertedero, toxicidad, bioacumulación y persistencia de algunas sustancias del efluente, compactación y capacidad de absorción del residuo, pH, presencia de microorganismos e inhibidores, rango de movimiento de aguas y métodos de colocación de los residuos.

Su carga orgánica e inorgánica puede ser muy alta, con elevados valores en la DBO₅, y nutrientes como el nitrógeno y fósforo, por lo que si se vierten sobre cauces superficiales, pueden producir la eutrofización de las aguas y la disminución de la concentración de oxígeno disponible para los organismos. La solubilidad química de los residuos es también un factor importante, ya que pueden contener cantidades significativas de arsénico, plomo y cadmio que los hace potencialmente contaminantes y afectar a su uso.

El lixiviado también puede contaminar las aguas subterráneas. Dicha contaminación se puede producir como consecuencia de tres mecanismos: percolación de aguas de escorrentía superficial o aguas superficiales contaminadas, migración directa de los lixiviados a través del suelo que se encuentra por debajo de la masa de residuos, e intercambio entre acuíferos. Los acuíferos tienen la característica de actuar como sistemas de tratamiento naturales que atenúan las emisiones de lixiviados en los vertederos; las plumas de lixiviados tienen una capacidad de atenuación natural que depende del tamaño del vertedero, heterogeneidad del material de desecho y de la cantidad de contaminantes potenciales implicados. Algunos autores indican que en la mayoría de los casos el alcance de las plumas es relativamente pequeño, excediendo en raras ocasiones de los 1000 metros [20]. Sin embargo, existen estudios que muestran problemas de contaminación en aguas subterráneas a mayores distancias que en algunos casos superaron los 3 km [21].

4.1.2 Contaminación atmosférica

Otro impacto generado es la contaminación atmosférica debida a que la fracción de residuos biodegradables es convertida en un biogás que genera una afección de

ámbito local con olores, ruidos, incendios, explosiones, cuyos efectos son negativos para la salud del hombre. También se generan afecciones de ámbito global que contribuyen al efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono.

Los compuestos gaseosos que se encuentran con más frecuencia en las emisiones desprendidas por la degradación de los residuos son el metano y el dióxido de carbono, pero además existen trazas de compuestos orgánicos que pueden causar severos problemas de salud en los seres humanos; entre ellos se encuentran las dioxinas y los furanos, el vinilcloro y el benceno, con efectos cancerígenos.

Los incendios y explosiones son otros de los impactos provocados por una inadecuada gestión del biogás. Tal y como se ha indicado, los procesos de descomposición anaeróbica producidos en el vertedero generan metano, responsable de explosiones y combustiones espontáneas debido a su elevada inflamabilidad y a la capacidad para formar mezclas explosivas con el aire [22]. El rango límite para que el metano sea explosivo se encuentra entre el 5% y el 25%, dependiendo de la presencia de otros constituyentes [23],[24]. Por este motivo, se recomienda la comprobación de que, en el vertedero, los rangos de producción de gas metano permanezcan por debajo del 25% de su límite de explosión. Existen numerosas descripciones de casos de vertederos con altas concentraciones de gas e incendios.

La emisión de gases participa también en el agotamiento del ozono. A los vertederos a menudo llegan envases metálicos y restos de electrodomésticos que contenían algunos gases como los clorofluorocarbonados (CFCs), hidroclorofluorocarbonados (HCFCs) e hidrocarburos fluorados (HFCs), mayoritariamente volátiles, y que son liberados durante la corrosión de sus envases en el vertedero (Kjeldsen y Scheutz, 2002). Estos gases presentan un problema especial porque alcanzan la estratosfera donde el átomo de cloro se separa causando la disociación de la molécula de ozono.

Muchos olores se descargan en la atmósfera como una mezcla de componentes individuales, algunos con bajo umbral de olor y alto rango de emisiones. Aunque históricamente los olores procedentes de un vertedero se han percibido más como fastidio ambiental, diversos estudios han demostrado que también suponen un efecto perjudicial para la salud [26]; [27]; [28]. La respuesta sensorial humana a los componentes individuales varía considerablemente de componente a componente y de persona a persona (Sarkar et al., 2003) su medida y caracterización es importante para calcular la magnitud del problema que plantea así como para definir las propuestas de diseño de los sistemas de control.

4.1.3 Contaminación del suelo

Los impactos de los vertederos sobre el suelo pueden concretarse en su destrucción directa mediante arrastre o compactación, dependiendo de la magnitud del impacto de la superficie destruida y de la calidad edáfica de la superficie ocupada. El aumento de concentración de iones y cationes del lixiviado, y la importancia de la concentración de elementos traza, son indicadores del impacto que causan los vertederos en el suelo; las sales y los elementos traza pueden dar lugar a cambios en el ciclo de nutrientes, en las propiedades físicas del suelo y en los ciclos bioquímicos de estos sistemas. Los suelos impermeables son los más apropiados para la existencia de un vertedero perfectamente impermeabilizado, al contrario de otros rocosos que no cumplen estos requisitos.

4.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

En este apartado se explica la metodología que se llevo a cabo para el análisis del riesgo medio ambiental de los cuatro emplazamientos a analizar en un vertedero; la cual cubre las etapas de identificación de accidentes, modelado y cuantificación del riesgo.

4.2.1 IDENTIFICACIÓN DE ACCIDENTES/INICIADORES ^[19]

Luego de identificar y reconocer los accidentes ambientales típicos de un vertedero, se evaluó en detalle y por separado cada emplazamiento: la celda de disposición de residuos, el sistema de recogida de lixiviados, la balsa de lixiviados y las chimeneas de extracción de gases. Se procedió a buscar y analizar los posibles sucesos iniciadores de accidentes en cada uno de ellos. El suceso iniciador es un hecho físico que se ha identificado a partir de un análisis causal y que puede generar un incidente o accidente en función del cual sea su evolución en el espacio-tiempo ^[19]. Al tener el listado de estos sucesos iniciadores, se continuó con la identificación de la parte del sistema que falla y se realiza una tabla para cada emplazamiento, esta tabla se llama “tabla resumen de análisis de modos de fallo, efectos y criticidad; AMFEC=AMFE+C”.

El **análisis mediante AMFEC**, análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (Failure Mode and Effects Criticality Analysis, FMECA) parte de un listado de los equipos de una instalación, indicando sus posibles modos de fallo, los efectos que tendrían sobre el sistema, así como la criticidad asociada a cada modo de fallo. Con esta técnica de identificación de riesgos se tendrán una clasificación que indique en qué medida contribuye cada uno de los equipos al nivel de riesgos generales. ^[19]

La técnica **AMFEC** consiste en analizar sistemáticamente todos los modos de fallo independientes de cada equipo de un sistema, para identificar sus causas y sus efectos sobre otro equipo y sobre el sistema.

Cuando dicha técnica se extiende incluyendo el estudio de la criticidad de los modos de fallos, entonces se conoce como AMFEC, o también FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)

Las etapas a seguir, para la aplicación del método de análisis son las siguientes ^[19]:

- Familiarización con el sistema, sus equipos y funciones
- Selección del equipo y su función
- Identificación de modos de fallo aplicables para la función
- Estudio del efecto de cada fallo
- Estudio de las causas del fallo
- Estudio de medidas existentes para controlar el fallo y medidas compensatorias

La tabla AMFEC que se realizó para cada emplazamiento, contiene los siguientes apartados:

- **Equipo/Función:** Es donde se caracteriza la parte del sistema con probabilidad de fallo.
- **Modo de Fallo:** Donde se denota(n) la forma(s) en las que puede fallar dicha parte del sistema que se está analizando. Identificación de sucesos iniciadores
- **Efectos de fallo**

Sobre otros componentes: Es donde se enuncian y clasifican las partes fuera o alrededor, del sistema que puede afectar este fallo, partes, que pueden mitigar, detener o disminuir el probable accidente.

Sobre el sistema: Donde se dá a conocer el modo en el que afecta el fallo a la sección o sistema involucrado.

- **Mecanismo de fallo:** donde se clasifican y enuncian las causas que originan el fallo y un posible accidente. Fuentes de peligro objeto de estudio.
- **Método de detección-control:** Donde se enuncian las formas, métodos y mecanismos de detección del fallo y las medidas utilizadas en dicho caso para el control del incidente.
- **Medida Compensatoria:** Donde se enuncian las formas de actuación, métodos y mecanismos utilizados cuando el accidente ocurre.
- **Acción Recomendada:** Donde se enuncian las formas de actuación, métodos y mecanismos utilizados para evitar el posible accidente.

4.2.2 MODELADO DE ESCENARIOS ACCIDENTALES [19]

El modelado de escenarios se realiza luego de tener las tablas resumen de análisis AMFEC, ya que contiene el equipo y modo de fallo de cada emplazamiento a analizar, y además contiene el mecanismo de fallo, por medio del cual nos guiaremos para reconocer e identificar las partes condicionantes de dicho fallo, partes que juegan el papel de prevenir y/o evitar el accidente.

El modelado de escenarios se realizó utilizando la técnica llamada “**Análisis de árbol de sucesos** (Event tree, ET)”, árbol que evalúa las posibles consecuencias asociadas al fallo en un equipo o a una alteración en el proceso; los árboles de sucesos utilizan un análisis prospectivo (a partir de un suceso iniciador se determinan sus posibles consecuencias) [19], una vez identificado el suceso iniciador, se establece la secuencia accidental en función de los diferentes caminos de accidente seleccionados. Para cada uno de los posibles sucesos subsecuentes o medidas correctivas, se establecen dos caminos, en función de que se produzca o no el desarrollo accidental considerado. [19]

Como se menciona anteriormente este árbol permite determinar los diversos factores que condicionan los accidentes. El árbol se distribuye de la siguiente forma:

- **Iniciador:** es donde se enuncia la parte del sistema con probabilidad de fallo.
- **Factores condicionantes:** se caracterizan todas y cada una de las partes del sistema que condicionan el accidente, es decir, las partes que pueden mitigar, parar o reducir el posible accidente.
- **Escenarios de Accidente:** este se divide en dos partes, la de consecuencias y la de daño; en la primera se enuncian la(s) consecuencia(s) el cual es el mismo resultados que genera el accidente; y por último el daño, es donde se enuncian las afecciones resultantes del accidente.

4.2.3 CUANTIFICACION DEL RIESGO

4.2.3.1 ESTIMACIÓN DEL RIESGO [29]

Toda evaluación tiene una componente subjetiva asociada a distintos factores: incertidumbre del conocimiento científico, acceso a fuentes suficientes de información, existencia de distintas ya veces contradictorias percepciones de los riesgos existentes y de su gravedad, etc.; por tanto, la evaluación de riesgos debe documentar adecuadamente los juicios emitidos y las fuentes de información utilizadas.

En cualquier caso, la estimación de riesgos se realizará para cada escenario accidental postulado, a partir de la evaluación del daño asociado a la consecuencia o efecto para cada entorno y la frecuencia de ocurrencia de dichas consecuencias. Daño y frecuencia corresponden a las dos componentes del riesgo, las cuales permiten su estimación mediante el producto de ambas referido al tipo de consecuencia.

El procedimiento seguido para estimar ambas componentes y por tanto el riesgo en el entorno natural, se describe en los siguientes apartados.

➤ ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS/PROBABILIDADES.

A partir de la relación de escenarios accidentales identificados, se debe asignar una frecuencia o probabilidad de ocurrencia en función de los siguientes criterios:

	Muy probable	< una vez al mes	5
Una vez al mes	> altamente probable	> una vez al año	4
Una vez al año	> probable	> una vez cada 10 años	3
Una vez cada 10 años	> posible	> una vez cada 50 años	2
Una vez cada 50 años	> improbable	1

Tabla4.1 Criterios para la evaluación de frecuencia/probabilidad de cada escenario accidental [29]

Para la asignación de frecuencias para cada uno de los escenarios accidentales identificados, se utilizó como instrumentos una base de datos históricos de accidentes, los cuales serán mostrados en el punto 4.3.2.

➤ ESTIMACIÓN DE DAÑOS

Se estima el posible daño que cada uno de los escenarios postulados causa sobre el entorno receptor.

Para estimar la gravedad de cada tipo de consecuencia denominada como daño en entorno natural, se debe aplicar la siguiente fórmula, donde la peligrosidad se multiplica por 2 para darle un mayor peso:

Sobre el Entorno Natural

$\text{Daño EN} = \text{cantidad} + 2 * \text{peligrosidad} + \text{extensión} + \text{calidad del medio}$

Para esta fórmula se puede obtener un valor máximo de 20 y mínimo de 5. La estimación de la gravedad de las consecuencias se realizará según los siguientes baremos:

	Valoración	Valor asignado
Critico	Entre 20-18	gravedad de 5
Grave	entre 17-15	gravedad de 4
Moderado	entre 14-11	gravedad de 3
Leve	entre 10-8	gravedad de 2
No relevante	entre 7-5	gravedad de 1

Tabla 4.2 Baremos para la estimación de la gravedad de las consecuencias [29]

➤ **ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS SOBRE EL ENTORNO NATURAL** [29]

A continuación se indican los criterios a considerar para la estimación de consecuencias de cada escenario sobre el entorno natural.

Para cada uno de los criterios, se debe justificar y documentar la inclusión en la categoría adoptada.

a) **Cantidad:** Se refiere a la cantidad de sustancia emitida sobre el entorno. Se puede estimar a partir de los conceptos de concentración de la sustancia y duración del incidente.

- Muy alta: 4
- Alta: 3
- Poca: 2
- Muy poca: 1

b) **Peligrosidad:** Se refiere a la peligrosidad intrínseca de la sustancia. Se debe justificar en función de la toxicidad de la sustancia, posibilidades de acumulación, corrosividad, interacciones con otras incidencias que provoquen un incremento del efecto de la sustancia sobre el entorno y su reversibilidad.

- Muy peligrosa: 4
- Peligrosa: 3
- Poco peligrosa: 2
- No peligrosa: 1

c) **Extensión:** Se refiere al espacio de influencia del impacto en relación con el entorno considerado.

- Muy extenso: 4
- Extenso: 3
- Poco extenso: 2
- Puntual: 1

d) **Calidad del medio:** Debe tenerse en cuenta toda el área afectada en función de la extensión del impacto y su reversibilidad. Si la extensión del impacto y su reversibilidad abarca diferentes medios debe considerarse como puntuación global la del medio de mayor calidad.

- Calidad muy elevada: 4 (espacio protegido en cualquiera de sus grados)
- Calidad elevada: 3
- Calidad media: 2
- Calidad baja: 1

➤ **CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO** [29]

Una vez estimadas las probabilidades/frecuencias de ocurrencia de los distintos escenarios identificados y las consecuencias derivadas sobre el entorno natural, hay que proceder a la cuantificación del riesgo.

La estimación consiste, para cada escenario, en multiplicar la probabilidad {1-5} por la gravedad de las consecuencias {1-5), resultando un valor entre 1 y 25, siendo 1 el de menor riesgo y 25 el de riesgo más alto.

Se deben registrar los resultados obtenidos de la estimación de probabilidad/frecuencia realizada, así como de la gravedad de las consecuencias, indicando finalmente el valor numérico de la estimación de riesgo obtenido para cada escenario.

De esta forma, a cada escenario le corresponde el valor del riesgo en función del entorno el natural.

4.2.3.2 CARACTERIZACIÓN Y ACEPTACIÓN DEL RIESGO

Como base para realizar la caracterización del riesgo, se debe elaborar una tabla de doble entrada, para el entorno natural, como la que se indica en el ejemplo a continuación y en la que gráficamente debe aparecer cada escenario en su casilla correspondiente como resultado de la estimación del riesgo anteriormente realizada.

En la tabla, se ubica cada escenario indicando la probabilidad/frecuencia que produce ese escenario y las consecuencias o daños que cada escenario produce en el entorno natural.

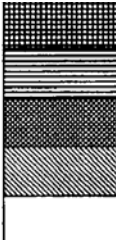
Gravedad Probabilidad	1	2	3	4	5
1		E ₂	E ₃		
2				E ₄	
3					E ₅
4	E ₆				
5		E ₇			

G = Gravedad de las consecuencias

P = Probabilidad

Tabla 4.3 Modo de ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para cada escenario. [29]

Además, los riesgos catalogan en una escala, con el criterio del código de tramados, el cual incluye únicamente el efecto orientativo y como ejemplo

Riesgo muy alto:	de 21 a 25	
Riesgo alto:	de 16 a 20	
Riesgo medio:	de 11 a 15	
Riesgo moderado:	de 6 a 10	
Riesgo bajo:	de 1 a 5	

NOTA – El código de tramados se incluye únicamente a efecto orientativo y como ejemplo.

Tabla4.4 Código de tramados, para catalogar el riesgo [29]

La ubicación de los escenarios en la tabla permitirá emitir un juicio sobre la evaluación del riesgo medio ambiental y plantear una mejora de la gestión de reducción del riesgo.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y CAUSAS

Se deben identificar, caracterizar y determinar las posibles fuentes de peligro y los peligros ambientales.

Los peligros ambientales de una organización, independiente de su clasificación en cuanto a tamaño o número de empleados, están relacionados principalmente con las sustancias utilizadas, así como con las condiciones y actividades de almacenamiento, procesamiento y eliminación.

También es necesario tener en cuenta que pueden ser fuentes de peligro las actividades, los procesos, los elementos del entorno, que puedan entrañar peligro para la instalación, la organización, la gestión de recursos humanos y los materiales, entre otros.

En el estudio debe recogerse el alcance de la identificación de peligros, justificándose éstos en virtud de su potencialidad de causar daños en el entorno. No se consideran aquellas fuentes de peligro que, en el desarrollo de su secuencia accidental, no provocan un daño para el medio ambiente; por ejemplo daño a los empleados, a las propias instalaciones, etc., las cuales son objeto de otras normas [19].

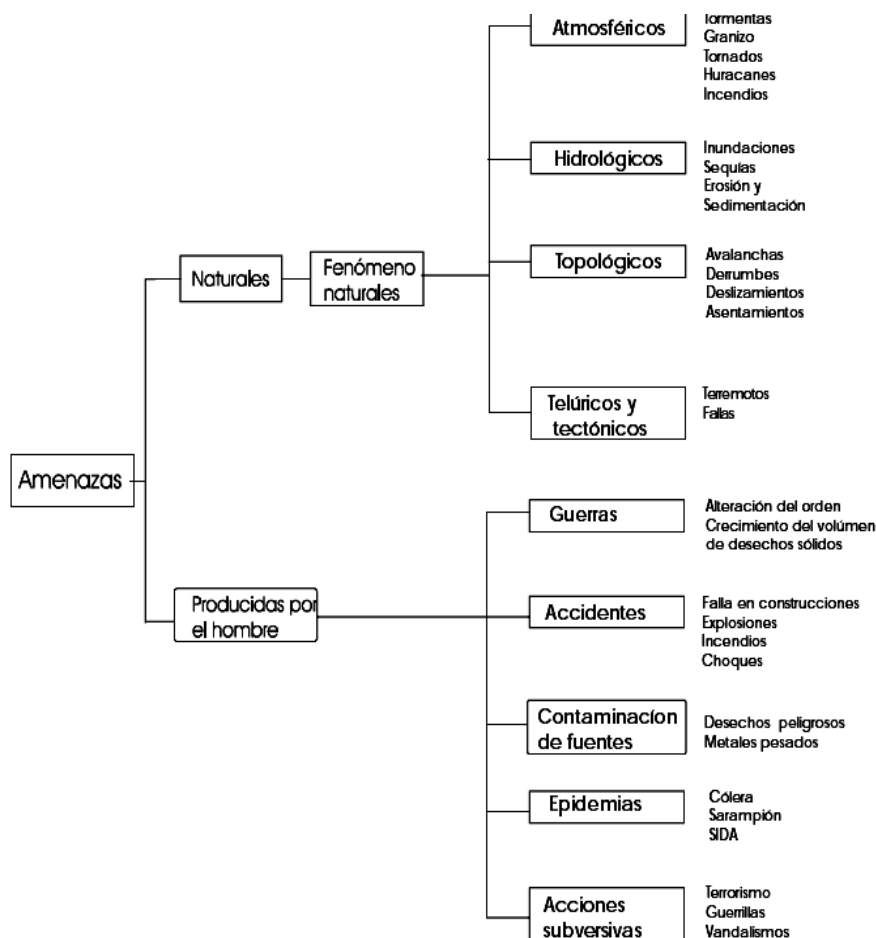


Figura 4.1. Clasificación de amenazas según su origen. [30]

4.3.1 FUENTES DE PELIGRO AMBIENTAL OBJETO DE ESTUDIO

Según los criterios establecidos en el apartado 4.3, a continuación se identifican las fuentes de peligro y su daño potencial para cada emplazamiento [19]

Vertedero	
Fuente de peligro	Potencial daño al entorno
Pendiente excesiva en taludes y suelo	Problemas de estabilidad, resultando en derrumbes, deslizamientos, asentamientos
Sismos, fallas geológicas	Problemas de estabilidad, resultando en derrumbes, deslizamientos, asentamientos y posibles filtraciones de lixiviados al terreno natural
Perforación de geomembrana	Filtración de lixiviados al terreno natural y aguas subterráneas.
Erosión de taludes	Desaglomeración y desestabilización del terreno, con el tiempo derrumbes, deslizamientos o asentamientos
Lluvias intensas	Deslizamiento, por aumento de humedad y peso de las celdas de residuos y consecuente aumento de las presiones intersticiales y disminución de cohesión suelo-residuos, aumento de lixiviados también. Erosión, arrastre de material de cobertura y desprendimiento de residuos
Sequias	Formación de grietas, desestabilización de terreno ocasionando derrumbes y deslizamientos.

Acumulación de lixiviados en el fondo del vertedero	Aumento de humedad y peso de las celdas de residuos y consecuente aumento de las presiones intersticiales y disminución de cohesión suelo-residuos, originando deslizamientos y derrumbes.
Ruptura del dique o muro de contención	Desestabilización del terreno fuera de la zona del vertedero, contaminación de suelos y aguas subterráneas

Tabla 4.5 fuentes de peligro y su daño potencial en el vaso de un vertedero

Sistema de recolección de Lixiviados

Fuente de peligro	Potencial daño al entorno
Obstrucción física, biológica y química de perforaciones en el tubo	Acumulación de lixiviados en el fondo del vertedero generando un Aumento de humedad y peso de las celdas de residuos y consecuente aumento de las presiones intersticiales y disminución de cohesión suelo-residuos, originando deslizamientos y derrumbes.
Rotura tubería parte baja+ rotura de geomembrana	Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo el vertedero y aguas subterráneas
Erosión de taludes	Desaglomeración y desestabilización del terreno, con el tiempo derrumbes, deslizamientos.
Perforación de geomembrana	Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas
Sismos, fallas geológicas	Formación de grietas, desestabilización de terreno ocasionando derrumbes y deslizamientos, con posible perforación de geomembrana que generaría Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas

Tabla 4.6 fuentes de peligro y su daño potencial en el sistema de recolección de lixiviados

Balsa de Lixiviados

Fuente de peligro	Potencial daño al entorno
Rebosamiento	Contaminación de suelos alrededor de la balsa de lixiviados con dirección en donde se encuentra la máxima pendiente
Fugas (perforación geomembrana)	Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas.
Erosión talud exterior	Desaglomeración, formación de grietas, cárcavas y desestabilización del terreno, con el tiempo derrumbes, deslizamientos o asentamientos, con posible ruptura o volcamiento de la balsa que provocaría, Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas y/o una avalancha de lixiviados hacia el terreno fuera de la balsa en dirección de la pendiente más inclinada
Ruptura del dique o muro de contención	avalancha de lixiviados hacia el terreno fuera de la balsa en dirección de la pendiente más inclinada y/o Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas
Sismos, Fallas geológicas	Posible ruptura o formación de grietas en el dique o muro de contención, desencadenando en avalancha de lixiviados hacia el terreno fuera de la balsa en dirección de la pendiente más inclinada y/o Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la

	balsa y aguas subterráneas
Envejecimiento de lámina	Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas

Tabla 4.7 fuentes de peligro y su daño potencial en balsa de lixiviados

Chimeneas de Extracción de Gases

Fuente de peligro	Potencial daño al entorno
Acumulación de biogás dentro de la masa de residuos	Explosión y desprendimiento de la celda o columna de residuos involucrada.
Salida de biogás por celdas de residuos	Generación de grietas, desestabilización de terreno ocasionando derrumbes y deslizamientos
Hinchamiento de geomembrana en capas de sellado	Peligro de explosión
Obstrucción de tuberías	Impide el paso de los gases a través de la tubería, cambiando la dirección de estos con posible acumulación en las celdas de residuos, escape a través de la cobertura diaria, desestabilizando las celdas, con su consecuente deslizamiento y/o explosión.

Tabla 4.8 fuentes de peligro y su daño potencial en las chimeneas de extracción de gases

4.3.2 ESTUDIO DE HISTÓRICO DE ACCIDENTES

En un estudio realizado por Francisco Colmener (2005) [8] se contabilizaban en 36 los casos de accidente ocurridos desde 1977-2005 siendo todos ellos en vertederos controlados y autorizados. En algunos casos eran simples basureros en los que se depositaban los residuos sin tratamiento alguno, pero que contaban con el visto bueno de las autoridades.

En la tabla, de forma resumida, se recogen los accidentes contabilizados en el periodo de 1977 a 2005.

Causa del accidente	Nº de accidentes
Accidentes debidos a problemas de estabilidad ocasionados por pendientes excesivas en taludes.	5
Accidentes debidos a problemas de estabilidad ocasionados por pendientes excesivas en suelo.	3
Accidentes debidos a problemas de estabilidad ocasionados por mal diseño de los diques de contención.	2
Accidentes debidos a problemas de estabilidad ocasionados por deslizamientos de la masa de residuos sobre la capa impermeable	3
Accidentes debidos a problemas de estabilidad por saturación de la masa de residuos.	10
Accidentes por problemas medioambientales provocados por la incorrecta impermeabilización de la base	2
Accidentes por problemas por la producción y por mala gestión de los gases generados.	10
Accidentes provocados por el mal dimensionamiento de los canales de evacuación de aguas de escorrentía exteriores al vertedero	1
Problemas por la rotura de la balsa de lixiviados	1

Tabla 4.9 Accidentes contabilizados en el período de 1977 al 2005 por Francisco Colmener

A continuación se enuncian los accidentes en vertederos controlados, sucedidos desde 1977 hasta el 2005, clasificados en cuanto a causa de accidente; investigados por Francisco Colmener (2005) [8].

Accidentes provocados por:

Pendiente excesiva en taludes:

Una falta de estabilidad en el talud por la altura excesiva y pendiente elevada ocasionó accidentes como los ocurridos en:

- a) Vertedero: Sarajevo (Bosnia-Herzegovina). **1**
Año: Diciembre 1977
Causa: El talud tenía una pendiente de 60°, factor de seguridad muy bajo. Una explosión de los gases generados contribuyó al deslizamiento.
Fuente: CONS.S.A. 2003; UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 2004.
- b) Vertedero: Umraniye-Hekimbasi (Estambul, Turquía) **1**
Año: Abril 1993
Causa: Pendiente excesiva del terreno, una pendiente y altura excesiva del talud del vertedero y una explosión de metano.
Fuente: Blight et al.2004; Díaz et al. 2003; ECONS.S.A. 2003; Fahey et al. 2002; Kocasoy et al.1995; Rushbrook. 1999.
- c) Vertedero: Hiriya (Tel-Aviv, Israel).
Año: Enero 1998
Causa: Parte superior del talud con 40° de inclinación y parte inferior con 56°. Facto de seguridad muy bajo
Fuente: Klein. 2003.
- d) Vertedero: Beirolas (Lisboa, Portugal).
Año: Junio 1995
Causa: El depósito incontrolado de terreno procedente de suelos contaminados sobre una masa de residuos, sin ningún control ni diseño, hizo que la altura del talud superase la máxima cota permisible y produjera un desprendimiento
Fuente: Castelao et al. 1999; Pardo de Santayana et al. 1998.
- e) Vertedero: Abanilla (Murcia, España)
Año: Mayo 2005
Causa: Un leve movimiento sísmico facilitó el deslizamiento de 25000 m³ de residuos en un talud con pendiente excesiva.

Pendiente excesiva en suelos

En vertederos mal construidos y mal gestionados, se depositan los residuos directamente sobre el suelo sin ningún tipo de impermeabilización, conllevando a accidentes como los ocurridos en:

- f) Vertedero: Canabrava (Salvador, Brasil)
Año: 1997

- Causa: Pendiente de 27° en el terreno y una acumulación de lixiviados en el fondo originados por lluvias intensas, aumentaron las presiones intersticiales y disminuyeron la cohesión suelo-residuos. El factor muy bajo
- Fuente: Oliveira. 2002.
- g) Vertedero: Umraniye-Hekimbasi (Estambul, Turquía) **2**
 Año: Abril 1993
 Causa: Pendiente elevada en terreno, pero una inclinación todavía mayor en el talud formado por los residuos. La explosión de metano que se produjo fue el detonante del desprendimiento.
 Fuente: (Blight et al. 2004; Díaz et al. 2003; ECONS.S.A. 2003; Fahey et al. 2002; Kocasoy et al. 1995; Rushbrook. 1999).
- h) Vertedero: Bens (A Coruña, España) **1**
 Año: Septiembre 1996
 Causa: El vertido incontrolado se inició en una pendiente de casi 30°. La mala gestión, el vertido inadecuado y las lluvias persistentes, provocaron el deslizamiento de 100000 t de residuos.

Mal diseño en diques de contención:

Los diques estarán preparados para aguantar lluvias intensas y persistentes, vientos fuertes e incluso terremotos. Una incorrecta construcción de los diques de contención puede provocar serios problemas como los que se describen a continuación

- i) Vertedero: Embalse de lodos de Mojkovac (Mojkovac, Montenegro)
 Año: Octubre 1992
 Causa: Las inundaciones por las fuertes lluvias sufridas en esta zona, estuvieron a punto de romper el dique y de provocar la consiguiente catástrofe ecológica.
- j) Vertedero: Santa Catalina (Ceuta, España)
 Año: Octubre 1996
 Causa: Las lluvias intensas y vientos fuertes provocaron grietas en el dique de este vertedero. La pendiente del terreno también contribuyó a la formación de grietas.

Deslizamiento de masa de residuos sobre capa impermeable:

Por problemas de estabilidad por deslizamientos de la masa de residuos sobre la capa impermeable, se han dado casos de accidentes como el ocurrido en:

- k) Vertedero: Kettleman Hills (California, EEUU)
 Año: Marzo 1988
 Causa: El excesivo peso del talud superó la fuerza de rozamiento y la masa de residuos deslizó sobre la geomembrana mediante un movimiento traslacional.
 Fuente: Chang et al.1999.
- l) Vertedero: Finale Emilia (Italia) - Vertedero de Northeastern USA Coast (EEUU) y Vertedero de Mankaa (Helsinki, Finlandia).
 Año: Marzo 1987

- Causa: La altura excesiva de la masa de residuos sobre un suelo con pobres propiedades mecánicas, mal consolidado y sin drenaje provocó, en los tres casos, sendos deslizamientos
- Fuente: Cancelli. 1989.
- m) Vertedero: Rumpke, Cincinnati. (Ohio, EEUU)
Año: Marzo 1996
Causa: La debilidad de una delgada capa de terreno con malas propiedades mecánicas, la pendiente del suelo y la saturación de las capas inferiores de residuos, provocó el deslizamiento de los residuos sobre la roca madre.
Fuente: Eid et al. 2000; Kölsch. 2000; Stark et al. 2000

Saturación de masa de residuos:

La constante recirculación de lixiviados, puede provocar también la saturación de los residuos, el incremento de las presiones intersticiales y el consiguiente deslizamiento. Un diseño inexistente o inadecuado y de una carencia total o casi total de gestión controlada puede provocar accidentes tales como:

- n) Vertedero: Bens (A Coruña, España) **2**
Año: Septiembre 1996
Causas: Las lluvias persistentes facilitaron la formación de lixiviados que saturaron la masa de residuos. Un vertido sin ningún diseño constructivo, facilitó la catástrofe.
- o) Vertedero: Doña Juana (Bogotá, Colombia)
Año: Septiembre 1997
Causa: Aunque la gestión se realizaba correctamente, la recirculación de lixiviados provocó el incremento de las presiones intersticiales en la masa de residuos y el consecuente deslizamiento.
Fuente: ECONS.S.A. 2003; Hendron et al. 1999; Johannessen et al. 1999.
- p) Vertedero: Payatas (Manila, Filipinas)
Año: Julio 2000
Causa: Las lluvias torrenciales provocaron la saturación de los residuos y la erosión del terreno. El depósito de residuos se realizaba sin control, formando un talud con pendiente y altura excesivas para un material saturado y con elevadas presiones intersticiales.
Fuente: Kölsch. 2000; Merry. 2000.
- q) Vertedero: El Basuro de Navarro (Cali, Colombia).
Año: Septiembre 2001.
Causa: Las lluvias persistentes provocaron una acumulación de lixiviados, lo que unido a la acumulación de gases, incrementó de forma espectacular la presión de poro, saturó los residuos y ocasionó el derrumbe.
- r) Vertedero: Mpewere (Kampala, Uganda)
Año: Mayo 2002:
Causa: Aunque se diseñó con un sistema de evacuación de lixiviados y de gases, éstos no llegaron a funcionar por obturación y los

- lixiviados se acumularon en el fondo del vertedero provocando el deslizamiento.
Fuente: Johannessen et al. 1999; Lemoine. 2003.
- s) Vertedero: Chongqing (China).
Año: Junio 2002
Causa: Al igual que los anteriores, el deslizamiento fue debido a una acumulación de lixiviados generados por lluvias intensas y persistentes.
- t) Vertedero: Loma Los Colorados (Santiago, Chile).
u) Año: Diciembre 2002.
Causa: La naturaleza arcillosa de un mATERIAL DE COBERTURA POCO PERMEABLE y la deposición de nuevas celdas sobre otras celDas saturadas fueron las causas de esta importante fuga de lixiviados.
- v) Vertedero: Ano Liossia (Atenas, Grecia).
Año: Marzo 2003
Causa: La variación en la concentración de lixiviado incrementó las presiones intersticiales y provocó una pérdida de cohesión en la masa de residuos. Se atribuyó también a un incendio declarado dos semanas antes.
- w) Vertedero: Guadalupe (Salvador).
Año: Octubre 2003
Causa: El deslizamiento se originó en una ladera, pero el movimiento de tierra arrastró el vertedero y produjo una avalancha de lodo y residuos.
Fuente: (Prois. 2003).
- x) Vertedero: Bandung (Indonesia).
Año: Febrero 2005
Causa: Las lluvias torrenciales y persistentes provocaron la formación de lixiviados que saturaron la masa de residuos. Un vertido sin ningún diseño constructivo facilitó la catástrofe.

Incorrecta impermeabilización:

Hay multitud de casos en los cuales un incorrecto o inexistente sistema de impermeabilización de la base ha generado destacables impactos ambientales. El agua subterránea penetra en el interior del vertedero y provoca la saturación de los residuos, disminuyendo su estabilidad e implicando un riesgo importante y provocando accidentes.

- y) Vertedero: Guadalupe (California, EEUU).
Año: Octubre 2003
Causa: En un deslizamiento provocado en la ladera de una montaña se detectaron contaminantes que, previsiblemente, procedían del vertedero por una mala o inexistente impermeabilización.
Fuente: Seward. 2000.
- z) Vertedero: Lewiston (Idaho, EEUU)
Año: Marzo 1999

Cusa: La inexistente impermeabilización permitió que entrase agua subterránea en la masa de residuos. Esta acumulación de líquido originó un desplazamiento en una fase clausurada del vertedero
Fuente: Jenkins et al. 2002.

Mala gestión de gases:

Algunos casos de accidentes ocurridos por la mala gestión de los gases producidos en vertederos:

- aa) Vertedero: Sarajevo (Bosnia Herzegovina) **2**
Año: Diciembre 1977
Causa: Una de las causas que originaron el desprendimiento fue la explosión de una acumulación de biogás dentro de los residuos.
Fuente: ECONS.S.A. 2003; UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 2004.
- bb) Vertedero: Vergiate (Italia)
Año: febrero 1995
Causa: La migración del gas produjo una explosión en un pozo para captación de aguas subterráneas situado a 300 m. El biogás causó daños a la vegetación situada a más de 1000 m.
Fuente: ECONS.S.A. 2003; Gandolla et al. 1998.
- cc) Vertedero: Derbyshire (Loscoe, UK)
Año: enero 1992
Causa: Al no existir impermeabilización, el metano migró 70 m hasta llegar a un chalé en el que se produjo la explosión.
Fuente: Aitkenhead. 2002; Derbyshire County Council. 1986; Eden. 1993; Wittle. 1998.
- dd) Vertedero: Carate-Brianza (Italia)
Año: mayo 1991
Causa: En un relleno de una antigua cantera, el metano salía del vertedero por las paredes del suelo detectándose a nivel del suelo
Fuente: Gandolla et al. 1998; Lassini et al. 1999.
- ee) Vertedero: Umraniye-Hekimbasi (Estambul, Turquía) **3**
Año: abril 1990
Causa: Además de otras causas, una explosión de metano se baraja como la causa principal de la catástrofe
Fuente: Blight et al. 2004; Díaz et al. 2003; ECONS.S.A. 2003; Fahey et al. 2002; Kocasoy et al. 1995; Rushbrook. 1999.
- ff) Vertedero: Cerro Maggiore (Milán, Italia)
Año: Agosto 1990
Causa: La impermeabilización del sellado del vertedero provocó la migración de metano a través del suelo y contaminando un centro comercial situado a 70 m
Fuente: Calare et al. 1996; ECONS.S.A. 2003; Parsons. 1993; TENAX SpA. 2004.

- gg) Vertedero: Seveso (Italia)
Año: Noviembre 1989
Causa: La generación de gases causó el hinchamiento de la geomembrana de la capa de sellado impermeable con el consiguiente peligro de explosión. El biogás también migró a través del suelo provocando una explosión en un edificio de depuración
Fuente: ECONS.S.A. 2003; Lassini et al. 1999.
- hh) Vertedero: Casate (Ticino, Suiza)
Año: junio 1990
Causa: El biogás migró a través del suelo afectando a los cultivos cercanos e incluso penetrando en viviendas
Fuente: ECONS.S.A. 2003; Gandolla et al. 1998; Parsons. 1993; Zhao et al. 1999.
- ii) Vertedero: Croglio (Suiza)
Año: julio 1991
Causa: El metano migrado reaccionaba con el aire formando un gas compuesto de CO₂, N₂ y vapor de agua a altas temperaturas
Fuente: Gandolla et al. 1998.
- jj) Vertedero: Saint Augustin (Alemania)
Año: septiembre 1987
Causa: Un grupo de viviendas tuvo que ser evacuado por las altas concentraciones de metano
Fuente: Gandolla et al. 1998.
- kk) Vertedero: Los Ángeles (Albuquerque, EEUU)
Año: diciembre 2000
Causa: El gas generado por el vertedero sale por las grietas resultantes del asentamiento del vertedero
Fuente: ECONS.S.A. 2003; Yoshimura. 2002.
- ll) Vertedero: Ghemme (Novara, Italia)
Año: enero 1990
Causa: Un vertedero con lámina impermeable se instaló junto a otro clausurado. La migración de biogás del antiguo vertedero provocó el hinchamiento de la lámina del nuevo y el consiguiente riesgo de explosión.
Fuente: Calare et al. 1996; Gandolla et al. 1998.

Tabla 4.10. Problemas Causados Durante el Tiempo de Operación y Vida Útil en un Vertedero.

CAUSAS QUE ORIGINAN ACCIDENTES AMBIENTALES	Medida de Prevención / Medida de Protección	MEDIDAS DE CONTROL	CONSECUENCIAS	DAÑO
infiltración de aguas lluvia en terreno	diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero, Cubrir con geomembrana y arcilla el talud, para controlar completamente la infiltración superficial, control geotécnico, Control topográfico de terraplén	mediante el monitoreos geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno) periódico, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de perdida de material en el terreno alrededor, como formación de carcavas, deterioro progresivo, etc.	deslizamiento del talud natural, por desestabilización o desaglomeración del terreno, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de suelos, fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos
Infiltración de aguas lluvia en la celda de residuos	diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero y evitar un incremento en la humedad de las pilas y a su vez disminuir la cantidad de lixiviado por percolado	cubrir diariamente los residuos y canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero	aumento de la humedad y peso de la celda de residuos, desencadenando en un desplazamiento de la celda y/o deslizamiento y derrumbe	Contaminación de suelos, fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos, dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases
Infiltración de lixiviados al terreno por fisura de la membrana de impermeabilización	La protección adecuada de la geomembrana impide el rompimiento de esta por el movimiento de maquinaria sobre esta. Instalación de un pozo de monitoreo de tal forma que a través de la medición de ciertos parámetros se determine la existencia de fisura en la membrana de impermeabilización	Se realizarán perforaciones aguas abajo del relleno para determinar con mayor certeza el área desde donde se produce la infiltración. Dependiendo de la magnitud del impacto se procederá aplicar la tecnología más factible, siendo la más utilizada el bombeo de las aguas desde los pozos e inyección hacia el relleno. Se aislará el lugar con cinta o indicación visible Personal especializado procederá a contener dichos escapes o derrames, en caso de	deslizamiento del talud natural, por desestabilización o desaglomeración del terreno, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos

Continuación tabla __ Tabla 4.10. ...

CAUSAS QUE ORIGINAN ACCIDENTES AMBIENTALES	Medida de Prevención / Medida de Protección	MEDIDAS DE CONTROL	CONSECUENCIAS	DAÑO
Dispersión incontrolada de gases de chimeneas y reiduos dispuestos	Mejoras en las chimeneas, colocación de atrapa llamas y cobertura diaria de los desechos compactados. extracción adecuada de los gases del vertedero, red horizontal de canalización de gases, tubos perimetrales verticales, controlar las emisiones y composición de biogas, lo que indicará fugas en el sistema, regulando el sistema de extracción de gas, así como la combustión	En caso de explosión, se evacuará al personal de dicha área y se trabajará en la chimenea de tal forma de aumentar la capacidad de succión y disminuir los riesgos de otras explosiones que pudiesen suceder en cadena. Capacitación al personal del relleno respecto de estos temas por personal especializado. Se contará con elementos de primeros auxilios y comunicación hacia el exterior.	Incendios y explosiones con daños a las personas y destrucción de la capa de cobertura, posible incendio forestal	Los contaminantes del aire, tanto gaseosos como particulados, pueden tener efectos negativos sobre los pulmones. Las partículas sólidas se pueden impregnar en las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiolos
Movimientos de tierra, tanto del talud como de los residuos dispuestos	conformar el núcleo de los terraplenes perimetrales del módulo a construir; debe realizarse un análisis a largo plazo, verificarse la estabilidad considerando las interfaces: de las capas y cubiertas (geotextiles, geomembranas y drenajes) con el material térreo, estudios de estabilidad de los residuos	control de las densidades de compactación, control geotécnico, Control topográfico de terraplén, estabilidad de los residuos, inclinómetro, malla topográfica (medir presiones de poros y deformaciones)	deslizamiento del talud natural, deslizamiento de la pila de residuos, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos, Contaminación química, debido a polvo, gases y vapores, líquidos y humos
generación de vectores en el vertedero como roedores, olores, etc.	Fumigación periódica, cobertura de los desechos al final de cada jornada. Cerca perimetral natural al vertedero, cobertura de los desechos al final de la jornada diariamente		Propagación de vectores en el vertedero y alrededores	generacion de enfermedades por virus, inconformidad de comunidades aledañas.
Riesgos sísmicos	Todas las instalaciones e infraestructura deberán ser construida considerando las normas antisísmicas.	Estar atentos a alertas de sismo en la zona y/o evacuación	deslizamiento del talud natural, deslizamiento de la pila de residuos, levantamiento y dispersión de material particulado, olores, bacterias, gases	Contaminación de fuentes de agua y personas con virus, bacterias, hongos y parásitos, Contaminación química, debido a polvo, gases y vapores, líquidos y humos
Ruido excesivo	Mantenimiento de cerco perimétrico y pantallas de amortiguamiento		deterioro de la salud de trabajadores, inconformidad de poblaciones aledañas	perdida audiva de trabajadores

Tabla 4.11 Problemas Causados por Clima Adverso y Sus Medidas de Prevención

MEDIDA DE PREVENCIÓN	PROBLEMA
Clima húmedo	
- Añadir cenizas, piedra molida o residuos de demolición de construcciones de concreto. - Mantener un área de trabajo especial con caminos permanentes.	Caminos de acceso enlodados
- Esparcir tierra seca - Mantener equipo de compactación fuera del área, descargar y mover los desechos sólidos de manera perpendicular al área. - Nivelar el área de descarga levemente para permitir la escorrentía	Área de descarga enlodada
Mantener pilas compactadas e inclinadas con cubierta impermeable.	Suelo húmedo no operable
- No compactar cuando hay exceso de humedad - Proteger el suelo (frente de trabajo) por ejemplo con coberturas.	La permeabilidad del suelo varía con el diseño.
- Añadir barreras - Limpieza periódica de red de tuberías	Obstrucción del sistema de colección de lixiviado por la escorrentía
Clima seco	
- Cubrir el suelo para prevenir secado - Humedecer el suelo.	Terrenos secos, imposibles de excavar e incremento en la permeabilidad
Clima frío	
- Aislar las celdas con hojas o paja. - Echar sal al suelo - Mantener el suelo/arena bien drenado - Remover el suelo continuamente.	Suelo congelado.

De acuerdo con su origen, las amenazas pueden ser de dos tipos: **Naturales**, (provenientes de fenómenos físicos originados por la naturaleza y sus elementos) y **Producidas por el hombre**.

Las principales amenazas de tipo geológico son los sismos, deslizamientos y las de tipo climático son las inundaciones y las sequías.

- Las amenazas pueden estar interrelacionadas y sus efectos magnificados.
- Los riesgos considerados como potenciales, están asociados a los siguientes componentes: el vertedero del vertedero, tubería de inyección de lixiviados, estación de bombeo de los lixiviados tratados, vía de acceso, chimeneas de drenaje de gases, Cerco perimétrico, otros (administrativos, financieros, sociales, etc.).

4.3.3 ESQUEMA DE LOS EMPLAZAMIENTOS

Para realizar la “identificación de accidentes e iniciadores” por medio de la técnica AMFEC, el cual define los modos de fallo; y para luego “modelar los escenarios accidentales” en un árbol de sucesos, el cual evalúa las consecuencias asociadas al fallo; y por último para cuantificar el riesgo. Es necesario Identificar cada una de las partes que componen los emplazamientos que son analizados.

A continuación se exhiben para cada uno de los emplazamientos a modo de figura, cada una de las partes que los compone:

• Vertedero o celda de disposición de residuos



Figura 4.2 Reconocimiento de capas y materiales típicos de un Vertedero

• Sistema de Recolección de Lixiviados

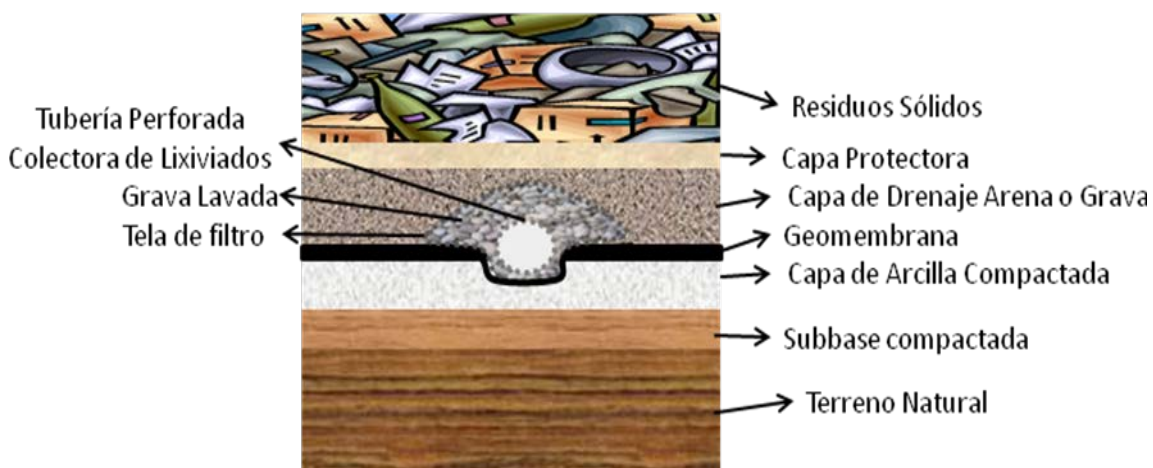


Figura 4.3 Reconocimiento de capas y materiales típicos de un sistema de recolección de lixiviados

- **Balsa de lixiviados**

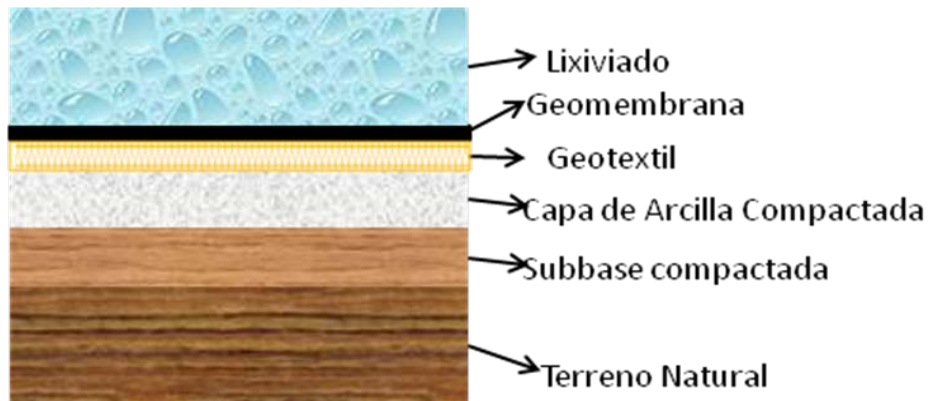


Figura 4.4 Reconocimiento de capas y materiales típicos de una balsa de lixiviados

Otro método más seguro es el sistema basado en la detección de las posibles fugas de lixiviados. Con este sistema, si existiera una rotura en la lámina impermeable ya sea por defecto de la soldadura, acto vandálico, punzonamiento, envejecimiento del material u otras causas, y se produjera una fuga de lixiviado, el líquido sería conducido por un sistema de drenaje hasta un pozo de registro. Gracias a este se podría detectar la fuga y actuar con celeridad antes de que se produjera un accidente.

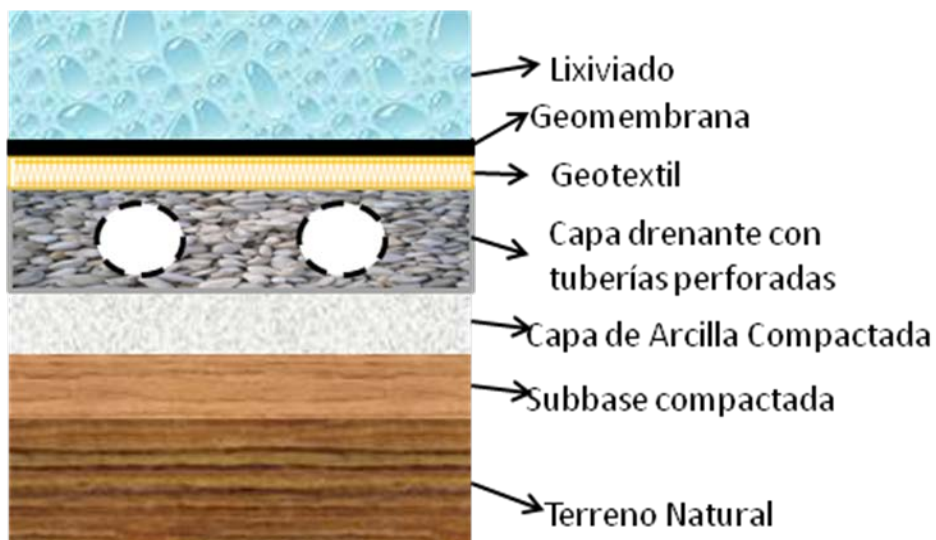


Figura.4.5 Sistema de capa compuesto para la impermeabilización de una balsa de lixiviados, tanto en la base como en los taludes laterales [8]

- Chimeneas de Extracción de gases

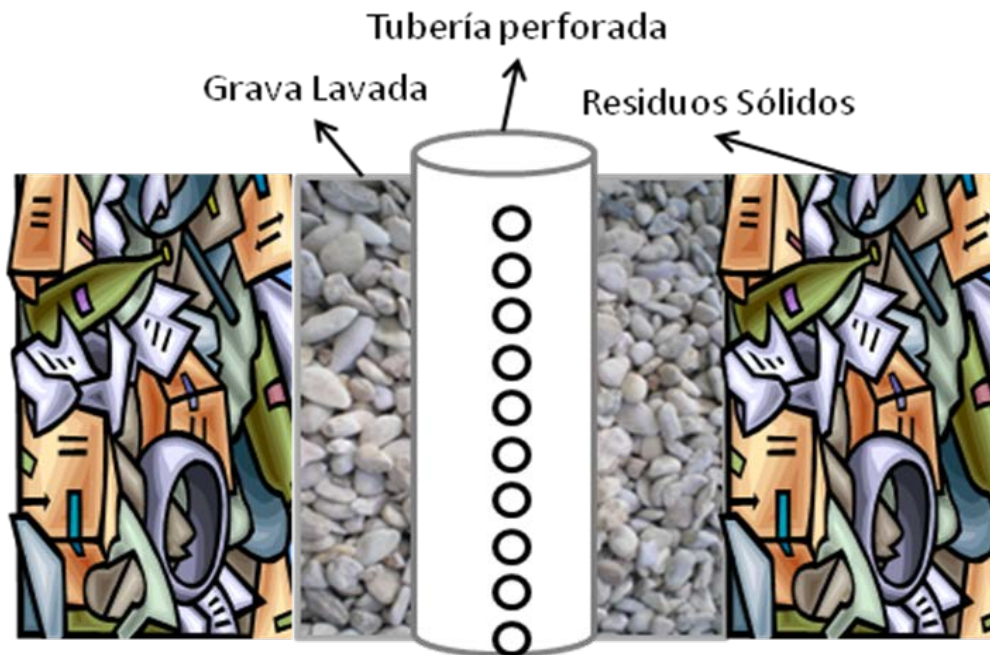


Figura.4.6 Sistema de capa compuesta de chimeneas de extracción de gases.

4.3.4 ESTUDIOS AMFE

Vertedero o celda de disposición de residuos

Equipo /Función	Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo		Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
		Sobre otros componentes	Sobre el sistema				
VERTEDERO							
Geo	Perforación	Capa de Arcilla Compactada, Subbase compactada, Terreno Natural, Aguas Subterranas	Paso continuo o Infiltración de lixiviados a través la perforación	Posibles perforaciones durante intslación, materiales en contacto como terreno natural, gravas, el propio vertido, movimiento de maquinaria sobre esta.	controles a la geomembrana durante la recepción e instalación y verificación de durabilidad; monitoreo en los pozos de muestreo para aguas subterranas y monitoreo en cuerpos de agua que se encuentren alrededor.	Se realizarán perforaciones aguas abajo del relleno para determinar con mayor certeza el área desde donde se produce la infiltración, para luego realizar bombeo de las aguas desde los pozos e inyección hacia el relleno, si es muy grande la perforación, remover los residuos y sellar de nuevo, si no es	Tomar las precauciones necesarias de revision y control durante su recibimiento e instalacion y revestir antes y despues de la geomembrana para evitar daños sobre la geomembrana. Y monitoreos a aguas subterranas y superficiales.
Celda de residuos	Sismos o fallas geológicas	Terreno natural	sobre las celdas de residuos y el terreno bajo el vertedero	movimientos convulsivos en el interior de la tierra y se propaga en forma de ondas provocando el movimiento del terreno	Control geotécnico, Control topográfico de terraplén, estabilidad de los residuos, inclinómetro, malla topográfica, medir presiones de poros, deformaciones y movimientos del terreno o residuos. Estar informados con la estación sismológica mas cercana.	Al observas movimientos en el terreno natural, dependiendo de la severidad del movimiento, construir muros de contención para evitar que el terreno se derrumbe y resanar las grietas. Realizar frecuentes monitoreos geotécnicos, topográficos, revisando la estabilidad de los terraplenes y residuos.	Ademas de construir las bases del vertedero con un diseño antisismico, Realizar frecuentes monitoreos geotécnicos, topográficos, etc, revisando la estabilidad de los terraplenes y residuos.

Tabla 4.12 Análisis AMFEC para el vaso de Vertedero, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

Continuación tabla 4.12 AMFEC para el vaso de Vertedero, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

Equipo /Función	Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo		Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
		Sobre otros componentes	Sobre el sistema				
VERTEDERO							
Celda de residuos	lluvias intensas y/o exceso de recirculación de lixiviados	Celdas superiores, inferiores y alrededor	Celda afectada	Aumento de humedad y peso de las celdas de residuos y consecuente aumento de las presiones intersticiales y disminución de cohesión suelo-residuos, aumento y acumulación de	Control geotécnico, Control topográfico de terraplén, estabilidad de los residuos, inclinómetro, malla topográfica, medir presiones de poros, deformaciones y movimientos del terreno de residuos.	Generar un efecto vacío en las tuberías de recolección de lixiviados para disminuir la humedad en las celdas de residuos	Buen diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero y evitar un incremento en la humedad de las pilas y a su vez disminuir la cantidad de lixiviado por percolado, cubrir diariamente los residuos para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero, recircular controladamente los lixiviados, mantener pilas compactadas e inclinadas con cubierta impermeable
Taludes	Erosión de taludes por lluvias intensas o sequías	Afecciones al vertedero	Terreno afectado	Formación de grietas, carcavas, pérdida de material en el terreno, desaglomeración del terreno	mediante el monitoreos geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno) periódico, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de pérdida de material en el terreno alrededor, como formación de carcavas, defromaciones, deterioro progresivo, etc., medir presiones de poros	Dependiendo de la severidad del movimiento, construir muros de contención para parar y/o disminuir la fuerza de empuje, resanar las grietas, humedecer el terreno en épocas de sequía para evitar la formación de grietas, o cubrir suelos para evitar las sequías o exceso de humedad	Cubrir suelo para evitar sequías o exceso de humedad, Buen diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero y evitar un incremento en la humedad en taludes, realizar frecuentes monitoreos geotécnicos, verificar la estabilidad del terreno, determinar si hay movimientos o desplazamientos del terreno, Medidas directas e indirectas de pérdida de material en el terreno alrededor, como formación de carcavas, defromaciones, deterioro progresivo, etc., medir presiones de poros

Continuación tabla 4.12 AMFEC para el vaso de Vertedero, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

Equipo /Función	Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo		Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
		Sobre otros componentes	Sobre el sistema				
VERTEDERO							
Dique o muro de Contención	Grietas o rompimiento	Terreno natural fuera del area del vertedero	Muro de contención	Formación de grietas o rompimiento cuando la carga del suelo sobrepasa la fuerza de contención del dique, esto cuando el suelo antes del dique se sobresatura, ya sea por aguas lluvia, lixiviados.	mediante el monitoreos geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno) periódico, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de perdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones, deterioro progresivo.	Compensar con otros métodos de contención para superar la fuerza de empuje creada por el talud y/o retirar suelo para disminuir la carga sobre el dique.	Buen diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero y evitar un incremento en la humedad y peso del terreno, evitar infiltraciones de lixiviados, con las acciones recomendadas anteriormente, vigilar y monitorear frecuentemente el estado del dique o muro de contención

Sistema de Recolección de Lixiviados

Equipo /Función	Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo		Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
		Sobre otros componentes	Sobre el sistema				
Sistema de recogida de liziviados							
Tubería (sistema de recolección de liziviados)	Rotura tubería parte baja+ rotura de geomembrana	Capa de Arcilla Compactada, Subbase compactada, Terreno Natural, Aguas Subterráneas	Paso de liziviados a travez de las capas subjacentes a la geomembrana	Exceso de presión sobre la tubería, generando su ruptura y consecuente daño y perforacion en la geomembrana	monitoreo en los pozos de muestreo para aguas subterráneas y monitoreo en cuerpos de agua que se encuentren alrededor, para determinar que existe fuga de liziviados	Se realizarán perforaciones aguas abajo del relleno para determinar con mayor certeza el área desde donde se produce la infiltración, para luego realizar bombeo de las aguas desde los pozos e inyección hacia el relleno, si es muy grande la perforación, remover los residuos y sellar de nuevo, si no es significativa la perforación la capa de arcilla y el terreno compactado evitarán mayores desastres, subsanar grietas y utilizar el método mas adecuado para evitar la continua formación de dicha erosión.	Tomar las precauciones necesarias de revision y control durante su recibimiento e instalacion y revestir antes y despues de la geomembrana para evitar daños sobre la geomembrana, evitar superar la resistencia del tubo con bajas presiones o presiones soportables por la tubería del sistema de recolección de liziviados, monitoreos frecuentes a aguas subterráneas y superficiales.
				Erosión de taludes, formando grietas bajo el emplazamiento del sistema de recolección de liziviados, aumentando la presión de la grava sobre la tubería generando su ruptura y consecuente daño y perforacion en la geomembrana	mediante el monitoreos geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno alrededor) periódicos, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de perdida de material columna de residuos, como formación de carcavas, defromaciones en las columnas de residuos, Estar informados con la estación sismológica mas cercana.	En la fase de construcción, comprobar que la compactación del material se realiza según la norma, vigilar y monitorear frecuentemente el estado geotécnico y de la columna de residuos.	
				Sismos, fallas geológicas	Ademas de construir las bases del vertedero con un diseño antisismico, Realizar frecuentes monitoreos geotécnicos, topográficos, etc, revisando la estabilidad de los terraplenes y residuos.		
	Obstrucción física, biológica y/o química de perforaciones en el tubo	Sobre celdas de residuos	tubería de recolección de liziviados	Aparición de finos como resultado de sedimentación del liziviado, precipitación de sustancias insolubles, como carbonato cálcico, a causa de variaciones en el pH	Como hay un aumento de la humedad en las celdas de residuos e incremento de peso, se observarán deformaciones en las columnas de residuos, grietas o movimientos, realizar los mismo análisis que para sismos y erosión de taludes, hay puntos de inspección especificados en el sistema de recolección	Realizar limpieza de tuberías, Generar un efecto vacio en las tuberías de recolección de liziviados para disminuir la humedad en las celdas de residuos	Las tuberías se suelen revestir de grava para proteger a la tubería de posibles obstrucciones de las perforaciones. La grava puede ser envuelta de un geotextil que actúe como filtro de finos procedentes de la capa de drenaje. Además, se deberá instalar un puerto de limpieza de los conductos, una bomba de recogida de liziviados con su sistema de elevación de líquidos y, en muchos casos, un tanque de almacenamiento de liziviados

Tabla 4.13 AMFEC para el Sistema de Recolección de Lixiviados, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

Balsa de lixiviados

Equipo /Función	Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo		Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
		Sobre otros componentes	Sobre el sistema				
BALSA DE LIXIVIADOS							
Geo	Perforación	Capa de Arcilla Compactada, Subbase compactada, Terreneo Natural, Aguas Subterrneas	Paso de lixiviados a travez de las capas subyacentes a la geomembrana	Posibles perforaciones durante intslación, materiales en contacto, Por la aparición de un poro por fallo en la soldadura de la geomembrana, por punzonamiento o por rotura debida a diversos factores (aves, roedores, actos vandálicos, etc.),	Capa drenante con tuberías perforadas, controles a la geomembrana durante la recepción e instaleción y verificación de durabilidad; monitoreo frecuente de su estado, del nivel de lixiviados; monitoreo en los pozos de muestreo para aguas subterrneas y monitoreo en cuerpos de agua aledaños.	Bombeo o traslado de lixiviados a otra balsa de lixiviados auxiliar (de emergencia), transporte a una planta de tratamientos de aguas que permita recibirlos y tratarlos, o recirculación a la masa de residuos. Y sellar la perforación.	La aparición de poros por defectos en la soldadura se previene realizando una correcta comprobación del sellado entre las láminas tal y como se recomienda por la norma UNE al respecto. Los punzonamientos o desgarros se previenen por medio de herbicidas, rodenticidas y avicidas adecuados. La presencia de una valla perimetral a una distancia considerable del borde de la balsa, evitaría los actos vandálicos. sustituir lamina de geomembrana pasados 30 años
Geo	Envejecimien to de la geomembran a y formación de poros y/o rompimiento	Capa de Arcilla Compactada, Subbase compactada, Terreneo Natural, Aguas Subterrneas	Paso de lixiviados a travez de las capas subyacentes a la geomembrana	Las geomembranas tienen una vida útil de unos 20 – 30 años según el material y las condiciones externas por lo que, si transcurrido este tiempo no se sustituye, pueden aparecer poros, desgarros u otros problemas que causarían una salida del líquido	Capa drenante con tuberías perforadas, monitoreos del estado de la geomembrana, y de las condiciones exteriores que la afectan y seguimiento de su edad	sustituir geomembrana	sustituir geomembrana

Tabla 4.14 AMFEC para la Balsa de Lixiviados, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

Continuación tabla 4.14 AMFEC para la Balsa de Recolección de Lixiviados, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

Equipo /Función	Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo		Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
		Sobre otros componentes	Sobre el sistema				
BALSA DE LIXIVIADOS							
Talud exterior	Erosion del talud exterior	Sobre la piscina de lixiviados y sobre el terreno natural	se puede perder material, disminuir la estabilidad del dique, influir en la desestabilización de la balsa de lixiviados	Formación de grietas, carcavas , pérdida de material en el terreno, desaglomeración del terreno, balsas en fase de abandono que no se han vaciado y en balsas que no se han construido siguiendo la normativa de compactación	mediante el monitoreos geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno) periódico, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de perdida de material en el terreno alrededor, como formación de carcavas, deterioro progresivo, etc.	Dependiendo de la severidad del movimiento, construir muros de contención para parar y/o disminuir la fuerza de empuje. humedecer el terreno en epocas de sequia para evitar la formacion de grietas, o cubrir suelos para evitar las sequias o exceso de humedad	Cubrir suelo para evitar sequias o exceso de humedad, Buen diseño de canales perimetrales para controlar el nivel de agua lluvia que entra al vertedero y evitar un incremento en la humedad en taludes, realizar frecuentes monitoreos geotécnicos, verificar la estabilidad del terreno, determinar si hay movimientos o desplazamientos del terreno, Medidas directas e indirectas de perdida de material en el terreno alrededor, como formación de carcavas, defromaciones, deterioro progresivo, etc., medir presiones de poros
Balsa de lixiviados	Rebosamiento	Terreno alrededor de la balsa de lixiviados		lluvias intensas, generación de lixiviados mayor que la capacidad de la balsa, mal diseño de dimenciones de la balsa de lixiviados	monitoreos constantes del nivel de aguas en la balsa de lixiviados	Bombeo o traslado de lixiviados a otra balsa de lixiviados auxiliar (de emergencia), transporte a una planta de tratamientos de aguas que permita recibirlos y tratarlos, o recirculación a la masa de residuos.	Diseño de balsa con capacidad adecuada (doble de capacidad calculada), de a cuerdo al volumen y dimensiones del vertedero, y a lluvias maximas en 24 horas con un tiempo de retorno de 100 años

Continuación tabla 4.14 AMFEC para la Balsa de Recolección de Lixiviados, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo		Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
	Sobre otros compone	Sobre el sistema				
Sismos o fallas geológicas	Terreno natural	Sobre balsa de lixiviados y el terreno bajo la balsa	movimientos convulsivos en el interior de la tierra y se propaga en forma de ondas provocando el movimiento del terreno	Control geotécnico, Control topográfico de terraplén, estabilidad de terreno, inclinómetro, malla topográfica, medir presiones de poros, deformaciones y movimientos del terreno o residuos. Estar informados con la estación sismológica mas cercana.	Al observas movimientos en el terreno natural, dependiendo de la severidad del movimiento, construir muros de contención para evitar que el terreno se derrumbe y resanar las grietas. Realizar frecuentes monitoreos geotécnicos, topográficos, revisando la estabilidad de los terraplenes y residuos. Estar informados con la estación	Ademas de construir las bases de la balsa de lixiviados con un diseño antisismico, Realizar frecuentes monitoreos geotécnicos, topográficos, etc, revisando la estabilidad del terreno. Estar informados con la estación sismológica
Grietas o rompimiento	Terreno natural fuera del area del dique de la balsa de lixiviados	Muro de contención	Formación aberturas incontroladas superficiales que afectan a todo el espesor del dique o quebrantamiento cuando la carga del balsa sobrepasa la fuerza de contención del dique.	mediante el monitoreos geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno alrededor) periódico, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de perdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones en el terreno o en la balsa.	Compensar con otros métodos de contención para superar la fuerza de empuje creada po la balsa de lixiviado y/o retirar lixiviados para disminuir la carga sobre el dique. Bombeo o traslado de lixiviados a otra balsa de lixiviados auxiliar (de emergencia), transporte a una planta de tratamientos de aguas que permita recibirlos y tratarlos, o recirculación a la masa de residuos.	En la fase de construcción de los diques, comprobar que la compactación del material se realiza según la norma, vigilar y monitorear frecuentemente el estado del dique o muro de contención

Chimeneas de Extracción de gases

Modo(s) de fallo	Efecto(s) del fallo	Causa(s) - Mecanismo(s) de fallo	Método detección-control	Medida compensatoria	Acción recomendada
	Sobre otros componen				
Chimeneas de Extracción de gases					
Salida de gases con dirección diferente hacia chimeneas	Celdas de residuos sólidos alrededor de las chimeneas	Acumulación de biogás dentro de la masa de residuos la cobertura diaria disminuye el movimiento libre de los gases, los residuos líquidos y su movimiento vertical dificultan el movimiento de los gases. La aparición de agua en los pozos de extracción dificulta en gran medida la salida del gas y Puede producirse la entrada de aire a través de la superficie del vertedero como consecuencia de la presión de succión generada	Deformaciones en el terreno, levantamiento de cobertura, formación de grietas, mediante el monitoreos geotécnicos (análisis de estabilidad del terreno alrededor) periódicos, los cuales determinan si hay desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno. Medidas directas e indirectas de perdida de material columna de residuos	La empresa debe contar con personal técnico y equipamientos necesarios para actuar en caso de detección de estos fallos, y dar aviso inmediato al cuerpo de bomberos.	Vigilar y monitorear frecuentemente las celdas de residuos y las chimeneas, intalar y correctamente las chimeneas de evacuación de gases y emplazarlas en las áreas correspondientes, según su calculo y diseño.
		Acumulación bajo la geomembrana, en la fase de sellado y clausura del vertedero. la cobertura diaria disminuye el movimiento libre de los gases, los residuos líquidos y su movimiento vertical dificultan el movimiento de los gases. La aparición de agua en los pozos de extracción dificulta en gran medida la salida del gas y Puede producirse la entrada de aire a través de la superficie del vertedero como consecuencia de la presión de succión generada	Hinchamiento de geomembrana en capas de sellado, detección mediante monitoreos frecuentes de las zonas clausuradas, mediante Medidas directas e indirectas de perdida de material en la cobertura, determinan si hay desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno.		
		Formación de grietas sobre la cobertura diaria de las celdas de residuos la cobertura diaria disminuye el movimiento libre de los gases, los residuos líquidos y su movimiento vertical dificultan el movimiento de los gases. La aparición de agua en los pozos de extracción dificulta en gran medida la salida del gas y Puede producirse la entrada de aire a través de la superficie del vertedero como consecuencia de la presión de succión generada.	mediante monitoreos frecuentes de las zonas clausuradas, mediante Medidas directas e indirectas de perdida de material en la cobertura, determinan si hay desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno.		

Tabla 4.15 AMFEC para las chimeneas de extracción de gases, modos de fallo, efectos y métodos de control y compensación

4.4 MODELADO DE ESCENARIOS

Vertedero o celda de disposición de residuos

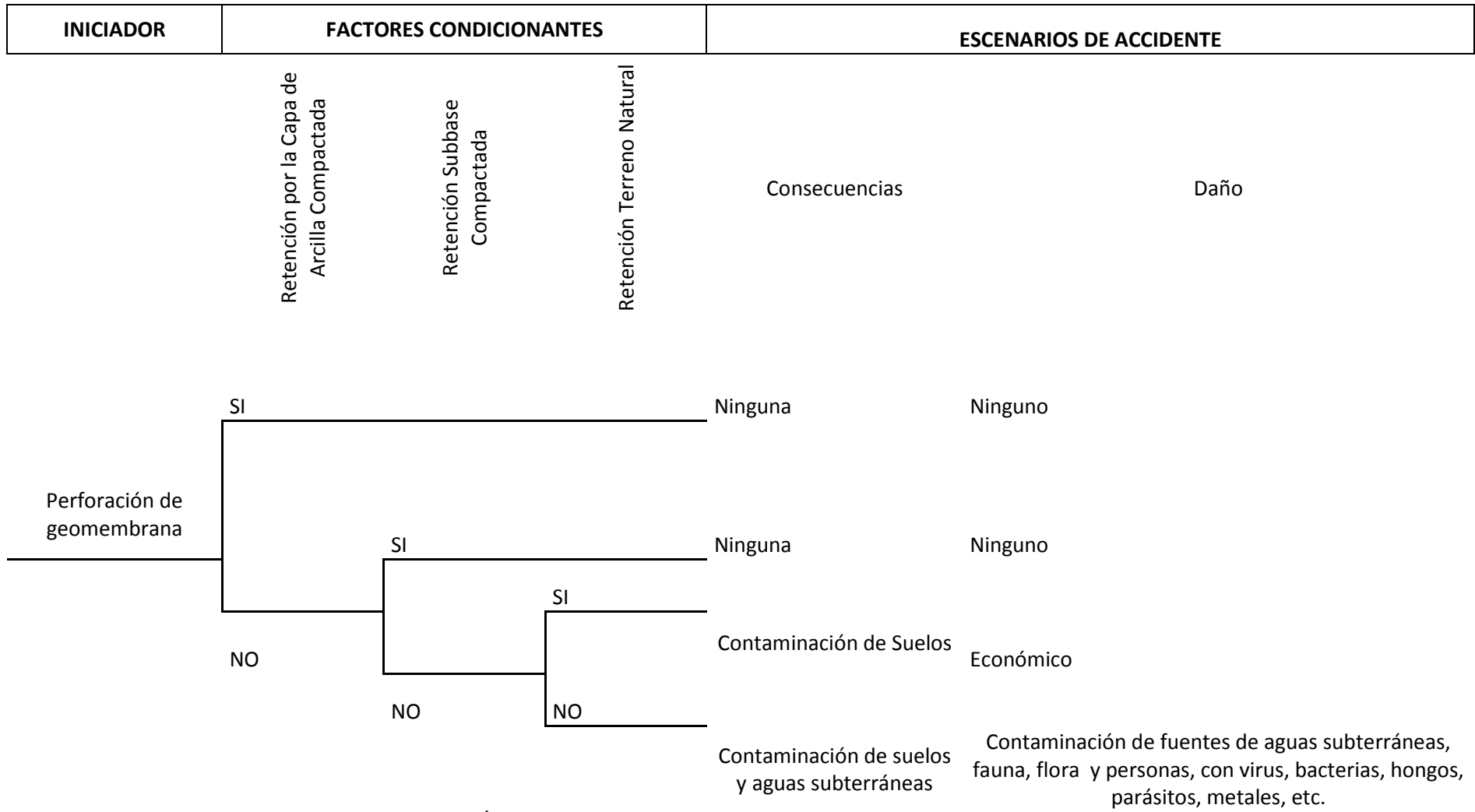


Tabla 4.16 Árbol de suceso para el vertedero, consecuencias asociadas al fallo

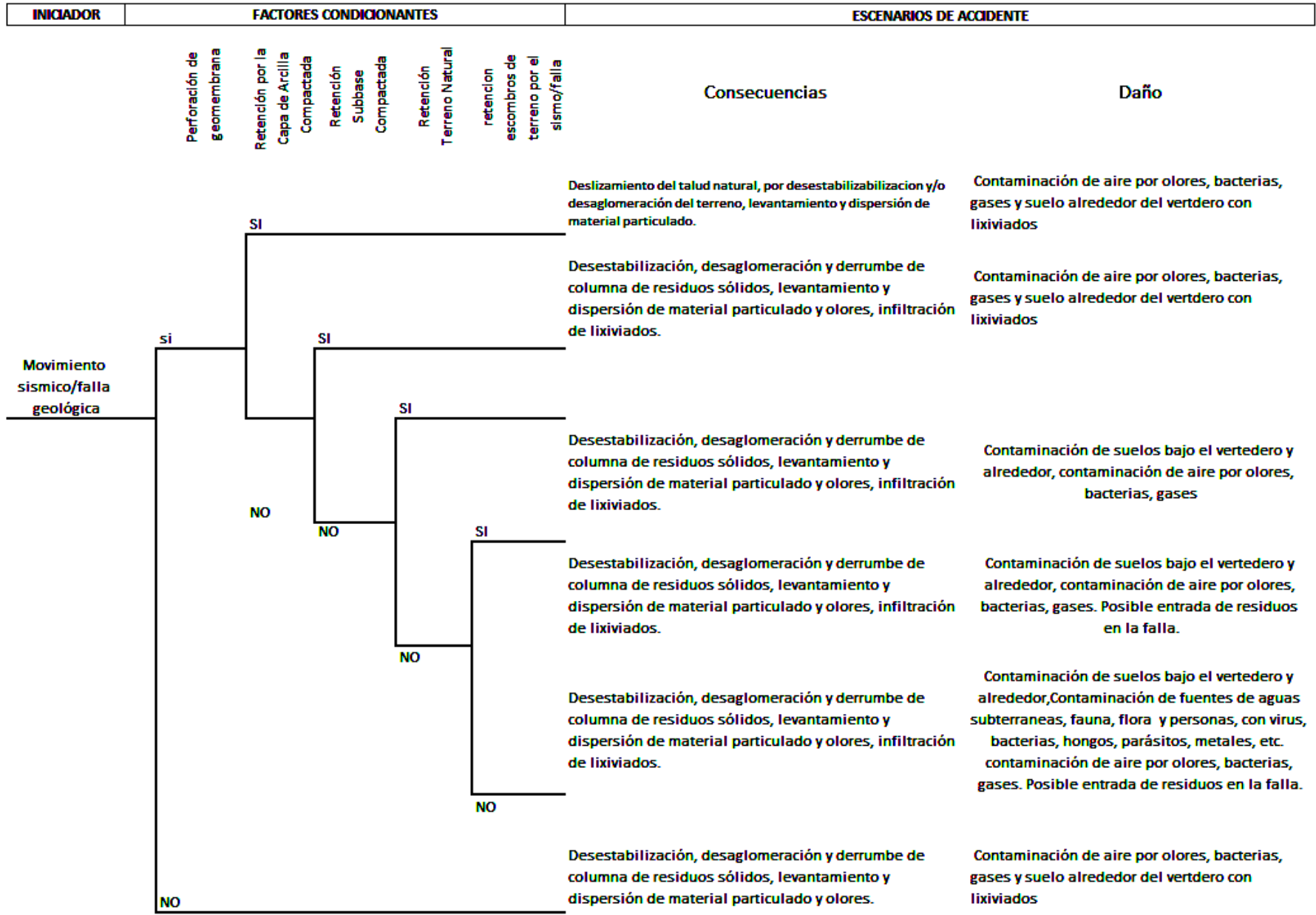


Figura 4.7 Árbol de suceso para el vertedero, consecuencias asociadas al fallo

Sistema de Recolección de Lixiviados

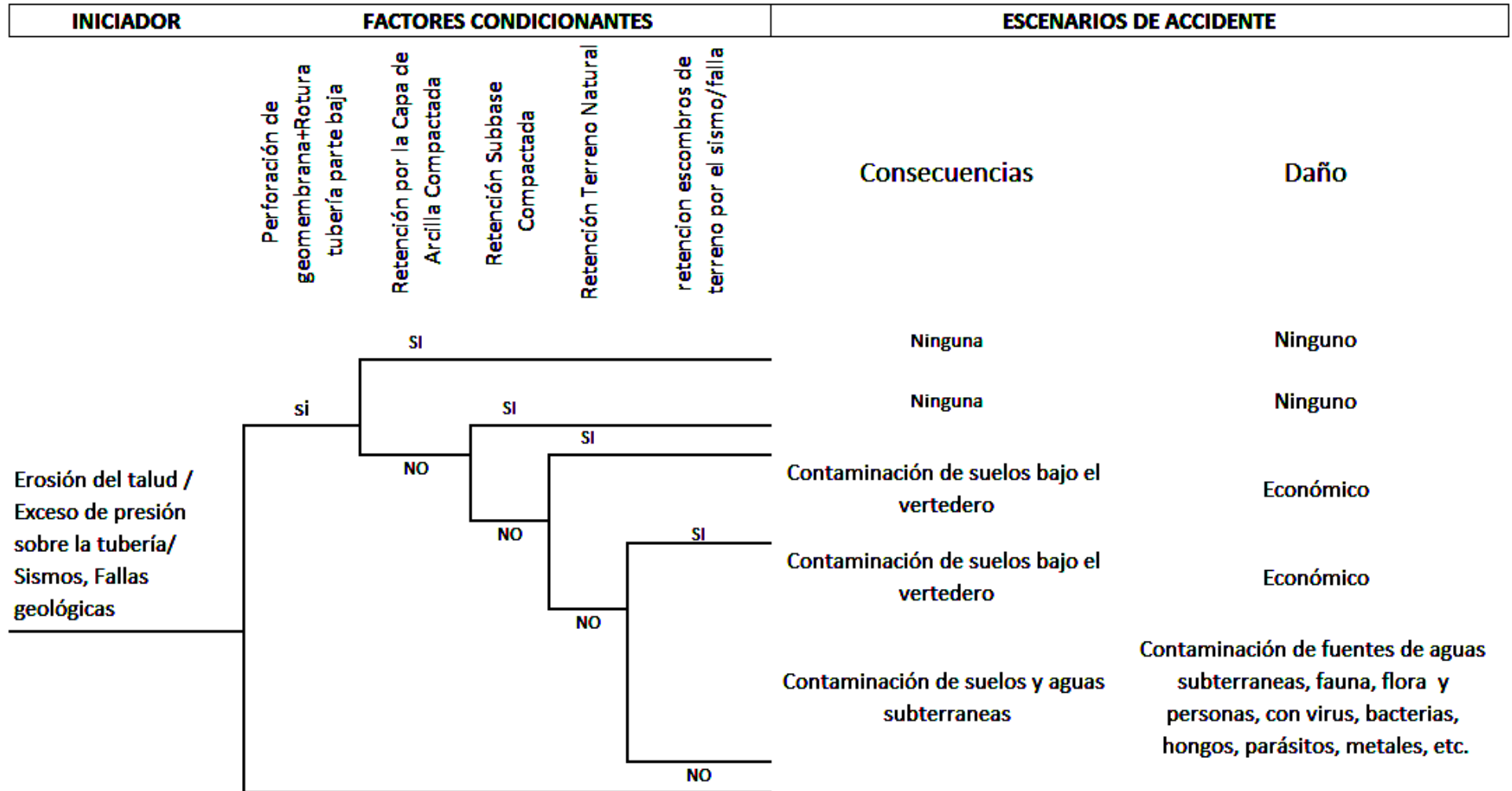


Figura 4.8 Árbol de suceso para el Sistema de Recolección de Lixiviados, consecuencias asociadas al fallo

Balsa de lixiviados

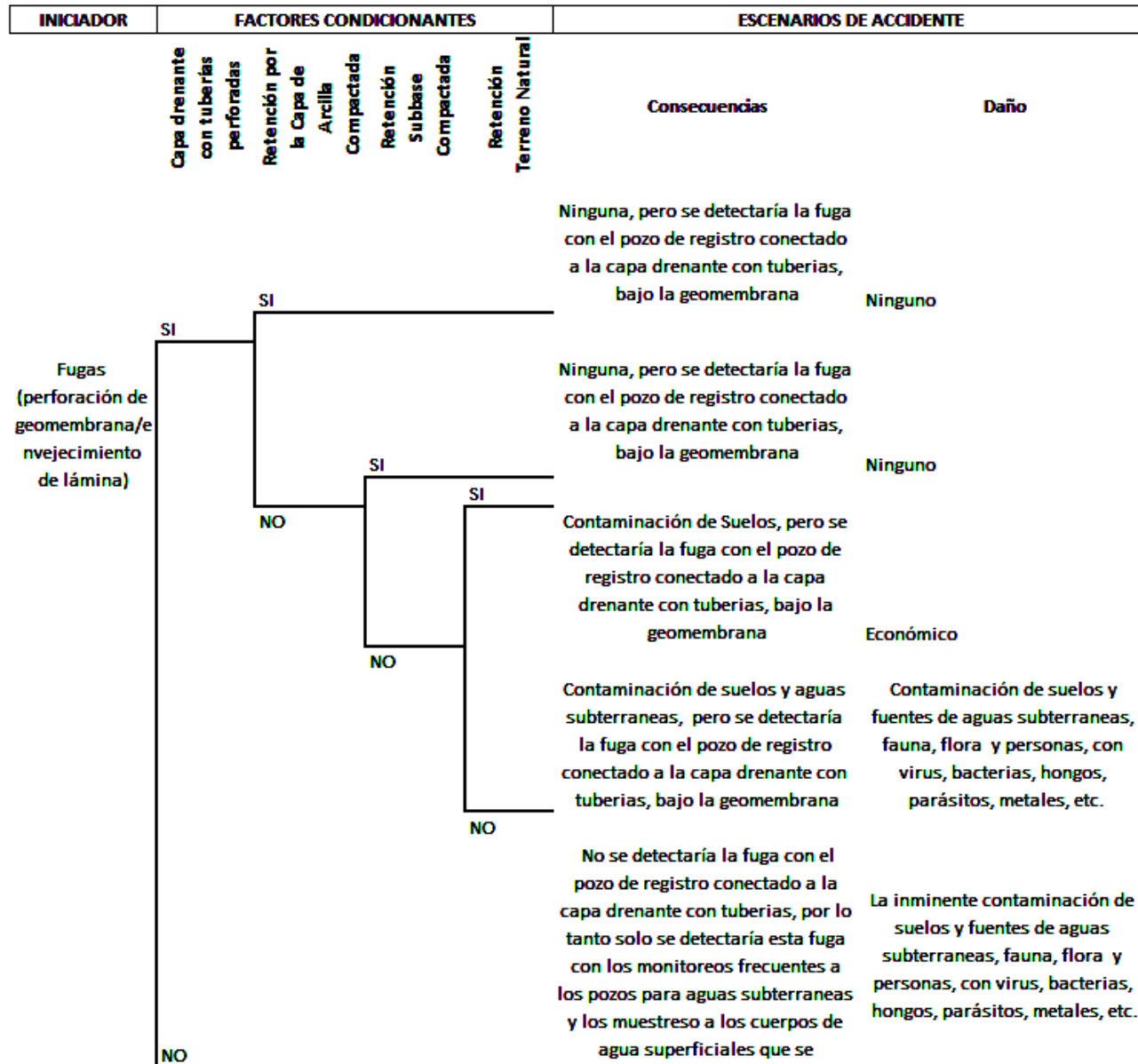
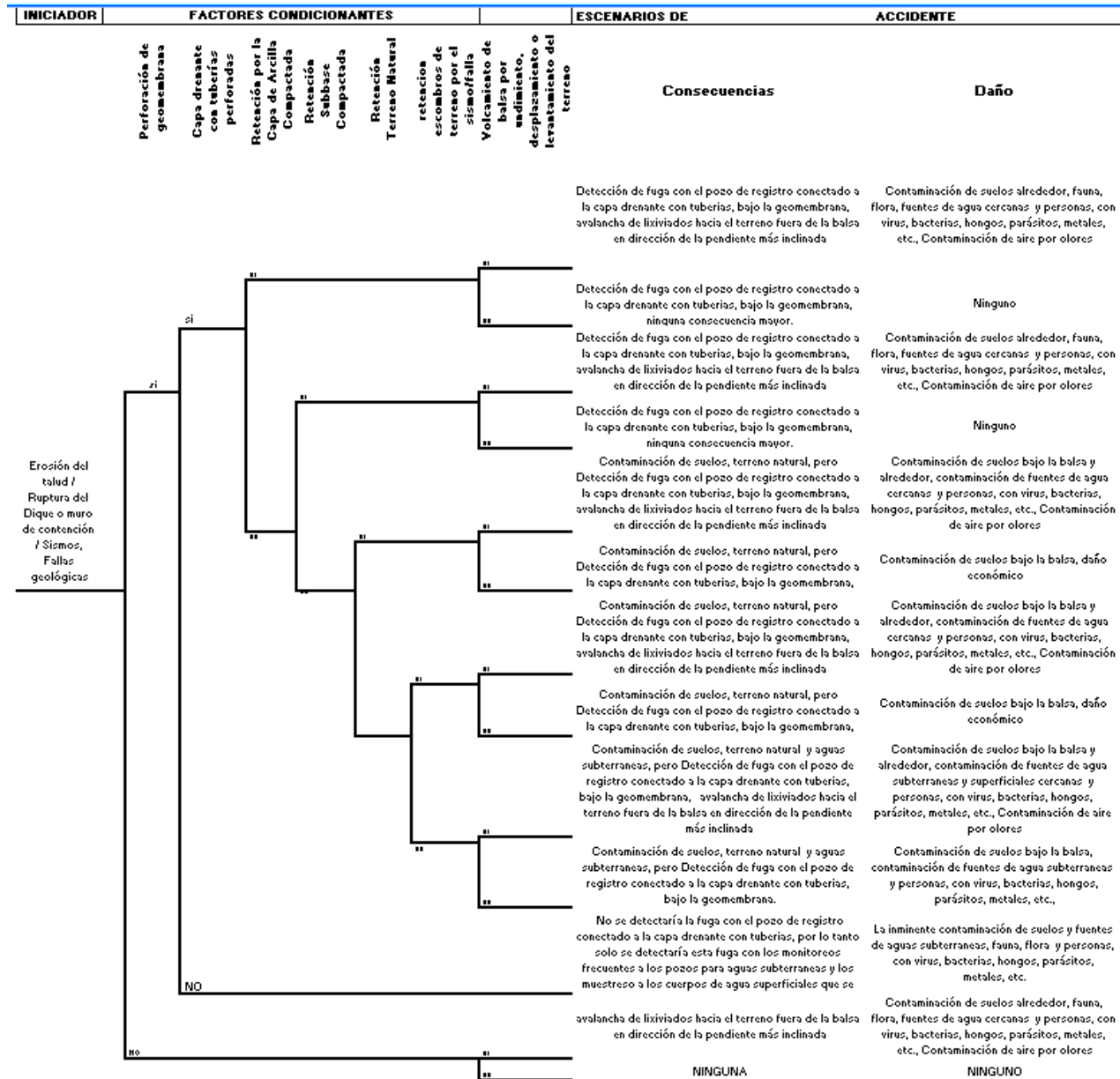


Figura 4.9 Árbol de sucesos para la balsa de lixiviados, consecuencias asociadas al fallo

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RIESGO MEDIO AMBIENTAL



Continuación Figura 4.9 Árbol de sucesos para la balsa de lixiviados, consecuencias asociadas al fallo

Chimeneas de Extracción de gases

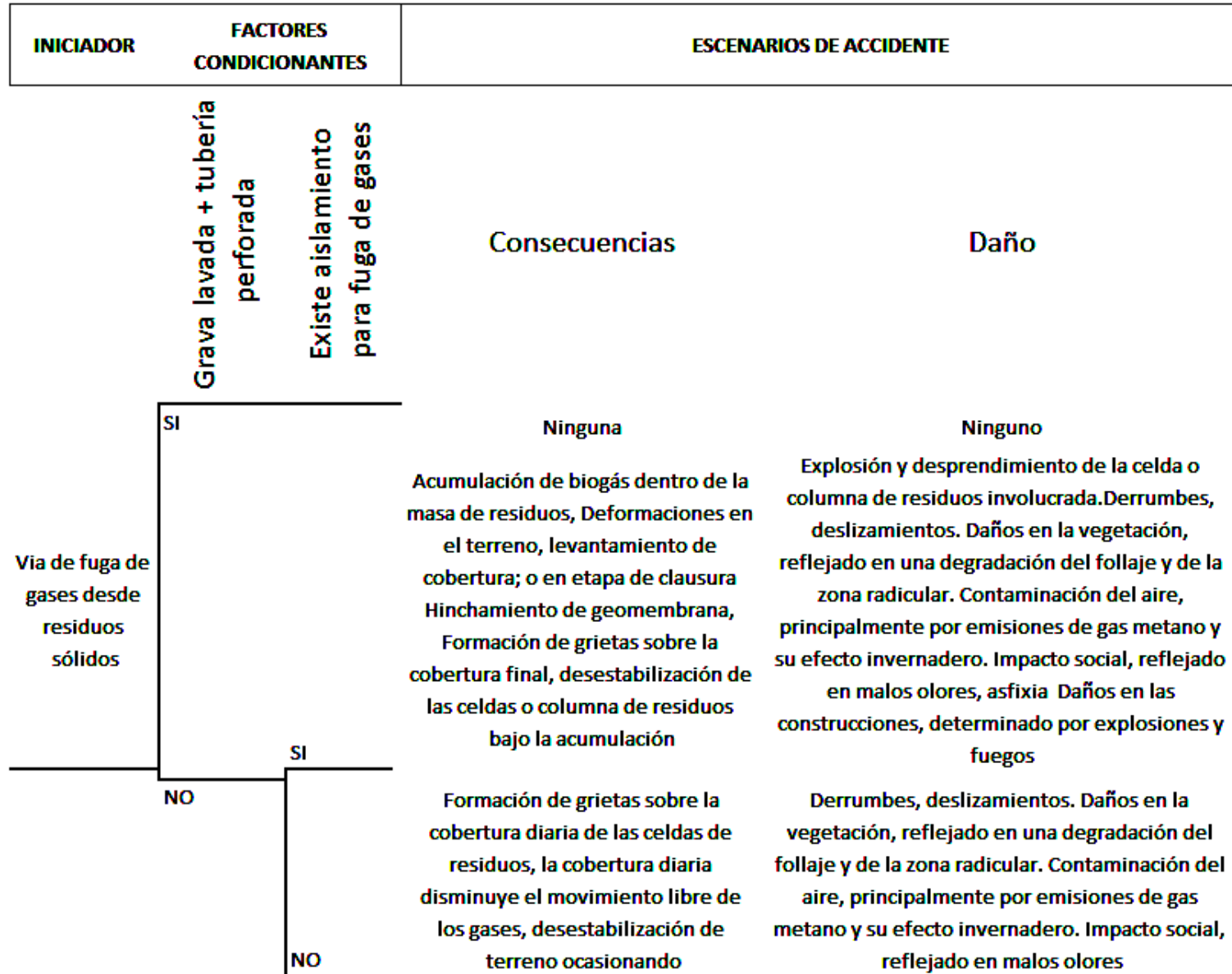


Figura 4.10 Árbol de suceso para las chimeneas de extracción de gases, consecuencias asociadas al fallo

4.5 CUANTIFICACION DEL RIESGO

ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS/PROBABILIDADES.

La estimación de riesgos se realizará para cada escenario accidental postulado, a partir de la evaluación del daño asociado a la consecuencia o efecto para cada entorno y la frecuencia de ocurrencia de dichas consecuencias

Para Obtener la frecuencia/probabilidad, se tuvieron en cuenta del historial de accidentes del apartado 4.3.2, la cantidad de accidentes para cada escenario, por emplazamiento, y con esta cantidad, se obtuvo la probabilidad de ocurrencia o la frecuencia para un intervalo de tiempo de 50 años. Como las noticias documentadas son para un intervalo de 32 años (desde 1977 a 2005), se hace una regla de tres para aproximar los datos al intervalo de 50 años (hasta el 2009), el cálculo se hace con la siguiente fórmula, y el dato obtenido se redondeará para obtener un número entero:

$$\text{Frecuencia/ 50 años} = \frac{\# \text{ Cantidad de accidentes/en los 32 años}}{32 \text{ años}} \times 50 \text{ años}$$

Luego de obtener esta probabilidad de accidentes cada 50 años, se utilizará la tabla 4.1 "Criterios para la evaluación de frecuencia/probabilidad de cada escenario accidental", para valorar la frecuencia o probabilidad.

Debido a que hay escenarios sin accidentes documentados, se estimará la frecuencia/Probabilidad de estos, analizando y comparándolo con respecto a los demás escenarios que si tienen histórico accidental.

A continuación se estiman las Frecuencias/Probabilidades, para cada tipo de emplazamiento estudiado, teniendo en cuenta la distribución de accidentes por emplazamiento, por cada 50 años:

Vertedero							
Escenario accidental	Daño	Consecuencia	Cantidad de accidentes	Noticias	Intervalo de años	Frecuencia/ 50 años	Frecuencia/ Probabilidad
Perforación de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	Infiltración de lixiviados por perforación en geomembrana	2	y) y z)	1999, 2003	3	1
Movimiento sísmico/falla geológica	Posibles filtraciones de lixiviados al terreno natural, Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores	Deslizamiento, desestabilización y/o desaglomeración del terreno, levantamiento y dispersión de material particulado.	1	e)	2005	2	1
Pendiente excesiva en taludes y suelo			8	a) - h)	1977, 1993, 1998, 1995, 2005, 1997, 1993, 1996	13	2
Lluvias intensas			8	f), h), i), j), p), q), s), x)	1997, 1996, 1992, 1996, 1997, 2000, 2001, 2002, 2005	13	2
Acumulación de lixiviados en el fondo del			4	f), m), r), s)	1997, 1996, 2002, 2002	6	2
Ruptura del dique o muro de contención			2	i), j)	1992, 1996	3	1
Erosión del terreno por lluvias intensas y/o sequías			1	p)	2000	2	1

Tabla 4.17 Estimación de la frecuencia/probabilidad para el vertedero

Sistema de recolección de Lixiviados

Escenario accidental	Daño	Consecuencia	Cantidad de accidentes	Noticias	Intervalo de años	Frecuencia/Probabilidad
Obstrucción física, biológica y química de perforaciones en el tubo	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado.	Acumulación de lixiviados en el fondo del vertedero generando un Aumento de humedad y peso de las celdas de residuos y consecuente aumento de las presiones intersticiales y disminución de cohesión suelo-residuos .Deslizamiento, desestabilización y/o desaglomeración del	-	-	-	1
Rotura tubería parte baja+ rotura de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo el vertedero y aguas subterráneas	-	-	-	1
Erosión de taludes	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado.	Desaglomeración y desestabilización del terreno, con el tiempo derrumbes, deslizamientos	1	p)	2000	1
Perforación de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	Infiltración de lixiviados por perforación en geomembrana	-	-	-	1
Sismos, fallas geológicas	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado, Contaminación de suelo y fuentes de aguas subterránea	Formación de grietas, desestabilización de terreno ocasionando derrumbes y deslizamientos, con posible perforación de geomembrana que generaría Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas	1	e)	2005	1

Tabla 4.18 Estimación de la frecuencia/probabilidad para el Sistema de Recolección de Lixiviados

Balsa de Lixiviados

Escenario accidental	Daño	Consecuencia	Cantidad de accidentes	Noticias	Intervalo de años	Frecuencia/ Probabilidad
Rebosamiento	Contaminación de suelos alrededor de la balsa de lixiviados con dirección en donde se encuentra la máxima pendiente y posible contaminación fuentes de agua cercanas, , fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	Derrame de los lixiviados contenido en la balsa, hacia terreno natural, tomando la dirección de la mayor inclinación, hasta llegar a la cota mas baja o hasta donde encuentre un lugar de estancamiento.	-	-	-	1
Fugas (perforación geomembrana)	Contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	Filtración de lixiviados por perforación en geomembrana	-	-	-	2
Erosión talud exterior	Desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno, pérdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones en el terreno o en la balsa.	Desaglomeración, formación de grietas, carcavas y desestabilización del terreno, con el tiempo derrumbes, deslizamientos o asentamientos, con posible ruptura o volcamiento de la balsa que provocaría, Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas y/o una avalancha de lixiviados hacia el terreno fuera de la balsa en dirección de la pendiente más inclinada	-	-	-	1
Ruptura del dique o muro de contención	Contaminación de suelos alrededor de la balsa de lixiviados con dirección en donde se encuentra la máxima pendiente y posible contaminación fuentes de agua cercanas, , fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	Derrame de los lixiviados contenido en la balsa, hacia terreno natural, tomando la dirección de la mayor inclinación, hasta llegar a la cota mas baja o hasta donde encuentre un lugar de estancamiento.	-	-	-	1
Envejecimiento de lámina	Contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	Filtración de lixiviados por perforación o poros formados en la geomembrana	-	-	-	1
Sismos, Fallas geológicas	Desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno, pérdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones en el terreno o en la balsa.	Desaglomeración, formación de grietas, carcavas y desestabilización del terreno, con el tiempo derrumbes, deslizamientos o asentamientos, con posible ruptura o volcamiento de la balsa que provocaría, Filtración de lixiviados contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas y/o una avalancha de lixiviados hacia el terreno fuera de la balsa en dirección de la pendiente más inclinada	-	-	-	1

Tabla 4.19 Estimación de la frecuencia/probabilidad para la Balsa de Lixiviados

Chimeneas de Extracción de Gases

Escenario accidental	Daño	Consecuencia	Cantidad de accidentes	Noticias	Intervalo de años	Frecuencia/Probabilidad	Frecuencia/Probabilidad
Acumulación de biogás dentro de la masa de residuos	Perdida material, de construcciones cercanas, Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado, Contaminación de suelo, fauna, flora alrededor y fuentes de aguas cercanas	Explosión y/o desprendimiento de la celda o columna de residuos involucrada.	1	aa)	1977,	2	1
Salida de biogás por celdas de residuos	Contaminación de aire por olores.	Generación de grietas, desestabilización del terreno ocasionando derrumbes y deslizamientos	2	dd), kk)	1991, 2000	3	1
Hinchamiento de geomembrana en capas de sellado	Peligro de explosión, daño material, posible incendio forestal, pérdida de cobertura vegetal, contaminación de aire por olores, humo y material particulado, desprendido por la exposición.	Hinchamiento de la geomembrana, cambio en el paisaje por defromación del terreno, pérdida de material, formación de carcavas, grietas	2	gg), ll)	1989, 1990	3	1
Obstrucción de tuberías	Salida de gases por vías diferentes a las chimeneas de extracción de gases, con posible acumulación en las celdas de residuos, agrietamientos en las cubiertas diarias de	Impide el paso de los gases a través de la tubería, cambiando la dirección de estos con posible acumulación en las celdas de residuos, escape a través de la cobertura diaria, desestabilizando las celdas, con su consecuente deslizamiento y/o explosión.	-	-	-	-	1

Tabla 4.20 Estimación de la frecuencia/probabilidad para las chimeneas de extracción de gases

ESTIMACIÓN DE DAÑOS

Vertedero

VERTEDERO							
Escenario/Consecuencia	Daño	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Daño EN	Valoración
Perforación de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	1	1	1	5	No relevante
Movimiento sísmico/falla geológica	Posibles filtraciones de lixiviados al terreno natural, Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores	2	1	2	1	7	No relevante
Pendiente excesiva en taludes y suelo		2	1	2	1	7	No relevante
Lluvias intensas		3	2	3	2	12	Moderado
Acumulación de lixiviados en el fondo del vertedero		3	2	3	2	12	Moderado
Ruptura del dique o muro de contención		3	2	2	2	11	Moderado
Erosión del terreno por lluvias intensas y/o sequías		3	3	3	2	14	Moderado

Tabla 4.21 Estimación de daños para el vertedero

Sistema de recolección de Lixiviados

Sistema de Recolección de Lixiviados							
Escenario/Consecuencia	Daño	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Daño EN	Valoración
Obstrucción física, biológica y química de perforaciones en el tubo	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado.	1	1	1	1	5	No relevante
Rotura tubería parte baja+ rotura de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	2	2	1	2	9	Leve
Erosión de taludes	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado.	1	1	2	2	7	No relevante
Perforación de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	1	1	1	5	No relevante
Sismos, fallas geológicas	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado, Contaminación de suelo y fuentes de aguas subterránea	2	2	2	2	10	Leve

Tabla 4.22 Estimación de Daños para el Sistema de Recolección de Lixiviados

Balsa de Lixiviados

Balsa de Lixiviados							
Escenario/Consecuencia	Daño	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Daño EN	Valoración
Rebosamiento	Contaminación de suelos alrededor de la balsa de lixiviados con dirección en donde se encuentra la máxima pendiente y posible contaminación fuentes de agua cercanas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	4	3	4	4	18	Critico
Fugas (perforación geomembrana)	Contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	3	3	3	3	15	Grave
Erosión talud exterior	Desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno, pérdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones en el terreno o en la balsa.	2	3	2	2	12	Moderado
Ruptura del dique o muro de contención	Contaminación de suelos alrededor de la balsa de lixiviados con dirección en donde se encuentra la máxima pendiente y posible contaminación fuentes de agua cercanas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	3	3	4	3	16	Grave
Envejecimiento de lámina	Contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	3	3	3	3	15	Grave
Sismos, Fallas geológicas	Desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno, pérdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones en el terreno o en la balsa.	3	3	3	3	15	Grave

Tabla 4.23 Estimación de daños para la Balsa de Lixiviados

Chimeneas de Extracción de Gases

Chimeneas de Extracción de Gases							
Escenario/Consecuencia	Daño	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Daño EN	Valoración
Acumulación de biogás dentro de la masa de residuos	Perdida material, de construcciones cercanas, Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado, Contaminación de suelo, fauna , flora alrededor y fuentes de aguas cercanas	3	3	2	2	13	Moderado
Salida de biogás por celdas de residuos	Contaminación de aire por olores.	2	2	1	1	8	Leve
Hinchamiento de geomembrana en capas de sellado	Peligro de explosión, daño material, posible incendio forestal, pérdida de cobertura vegetal, contaminación de aire por olores, humo y material particulado, desprendido por la exposición.	3	3	2	2	13	Moderado
Obstrucción de tuberías	Salida de gases por vías diferentes a las chimeneas de extracción de gases, con posible acumulación en las celdas de residuos, agrietamientos en las cubiertas diarias de	2	1	1	1	6	No relevante

Tabla 4.24 Estimación de Daños para las Chimeneas de Extracción de Gases

CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

La estimación de la gravedad de las consecuencias se realiza a partir de la siguiente tabla y según el daño sobre entorno natural “Daño EN” obtenido se obtiene un valor:

	Valoración	Valor asignado
Critico	Entre 20-18	gravedad de 5
Grave	entre 17-15	gravedad de 4
Moderado	entre 14-11	gravedad de 3
Leve	entre 10-8	gravedad de 2
No relevante	entre 7-5	gravedad de 1

Tabla 4.25_ Baremos para la estimación de la gravedad de las consecuencias [29]

A continuación se observará la cuantificación del riesgo para cada escenario en cada emplazamiento:

La estimación consiste, para cada escenario, en multiplicar la probabilidad {1-5} por la gravedad de las consecuencias {1-5}, resultando un valor entre 1 y 25, siendo 1 el de menor riesgo y 25 el de riesgo más alto.

Vertedero

Escenario/ Consecuencia	Daño	Frecuencia/Pr obabilidad	Daño		Gravedad	Riesgo	
			Daño EN	Valoración		Valor	Caracterización
Perforación de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	5	No relevante	1	1	Riesgo bajo
Movimiento sísmico/falla geológica	Posibles filtraciones de lixiviados al terreno natural, Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores	1	7	No relevante	1	1	Riesgo bajo
Pendiente excesiva en taludes y suelo		2	7	No relevante	1	2	Riesgo bajo
Lluvias intensas		2	12	Moderado	3	6	Riesgo Moderado
Acumulación de lixiviados en el fondo del vertedero		2	12	Moderado	3	6	Riesgo Moderado
Ruptura del dique o muro de contención		1	11	Moderado	3	3	Riesgo bajo
Erosión del terreno por lluvias intensas y/o sequías		1	14	Moderado	3	3	Riesgo bajo

Tabla 4.26 Cuantificación del Riesgo para el vertedero

Sistema de recolección de Lixiviados

Escenario/ Consecuencia	Daño	Frecuencia/Pr obabilidad	Daño		Gravedad	Riesgo	
			Daño EN	Valoración		Valor	Caracterización
Obstrucción física, biológica y química de perforaciones en el tubo	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado.	1	5	No relevante	1	1	Riesgo bajo
Rotura tubería parte baja+ rotura de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	9	Leve	2	2	Riesgo bajo
Erosión de taludes	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material	1	7	No relevante	1	1	Riesgo bajo
Perforación de geomembrana	Contaminación de fuentes de aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	5	No relevante	1	1	Riesgo bajo
Sismos, fallas geológicas	Contaminación de suelos alrededor, fauna, flora, fuentes de agua cercanas y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc., Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado, Contaminación de suelo y fuentes de aguas	1	10	Leve	2	2	Riesgo bajo

Tabla 4.27 Cuantificación del Riesgo para el Sistema de Recolección de Lixiviados

Balsa de Lixiviados

Escenario/ Consecuencia	Daño	Frecuencia/Pro babilidad	Daño		Gravedad	Riesgo	
			Daño EN	Valoración		Valor	Caracterización
Rebosamiento	Contaminación de suelos alrededor de la balsa de lixiviados con dirección en donde se encuentra la máxima pendiente y posible contaminacióna fuentes de agua cercanas, , fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	18	Crítico	5	5	Riesgo bajo
Fugas (perforación geomembrana)	Contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	2	15	Grave	4	8	Riesgo Moderado
Erosión talud exterior	Desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno, pérdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones en el terreno o en la balsa.	1	12	Moderado	3	3	Riesgo bajo
Ruptura del dique o muro de contención	Contaminación de suelos alrededor de la balsa de lixiviados con dirección en donde se encuentra la máxima pendiente y posible contaminacióna fuentes de agua cercanas, , fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	16	Grave	4	4	Riesgo bajo
Envejecimiento de lámina	Contaminando al terreno natural bajo la balsa y aguas subterráneas, fauna, flora y personas, con virus, bacterias, hongos, parásitos, metales, etc.	1	15	Grave	4	4	Riesgo bajo
Sismos, Fallas geológicas	Desplazamiento o movimiento o undimiento del terreno, pérdida de material en el terreno, como formación de carcavas, defromaciones en el terreno o en la balsa.	1	15	Grave	4	4	Riesgo bajo

Tabla 4.28 Cuantificación del Riesgo para la Balsa de Lixiviados

Chimeneas de Extracción de Gases

Escenario/ Consecuencia	Daño	Frecuencia/Pro babilidad	Daño		Gravedad	Riesgo	
			Daño EN	Valoración		Valor	Caracterización
Acumulación de biogás dentro de la masa de residuos	Perdida material, de construcciones cercanas, Contaminación de aire por olores, por levantamiento y dispersión de material particulado, Contaminación de suelo, fauna, flora alrededor y fuentes de aguas cercanas	1	13	Moderado	3	3	Riesgo bajo
Salida de biogás por celdas de residuos	Contaminación de aire por olores.	1	8	Leve	2	2	Riesgo bajo
Hinchamiento de geomembrana en capas de sellado	Peligro de explosión, daño material, posible incendio forestal, pérdida de cobertura vegetal, contaminación de aire por olores, humo y material particulado, desprendido por la exposición.	1	13	Moderado	3	3	Riesgo bajo
Obstrucción de tuberías	Salida de gases por vías diferentes a las chimeneas de extracción de gases, con posible acumulación en las celdas de residuos, agrietamientos en las cubiertas diarias de	1	6	No relevante	1	1	Riesgo bajo

Tabla 4.29 Cuantificación del Riesgo para las Chimeneas de Extracción de Gases

4.2.3.2 CARACTERIZACIÓN Y ACEPTACIÓN DEL RIESGO

La siguiente tabla de doble entrada, para el entorno natural, como la que se indica en la tabla__ , aparece gráficamente cada escenario en su casilla correspondiente como resultado de la estimación del riesgo anteriormente realizada, es decir, de acuerdo al valor que obtuvo cada escenario por gravedad y probabilidad.

Riesgo muy alto:	de 21 a 25	
Riesgo alto:	de 16 a 20	
Riesgo medio:	de 11 a 15	
Riesgo moderado:	de 6 a 10	
Riesgo bajo:	de 1 a 5	

NOTA – El código de tramados se incluye únicamente a efecto orientativo y como ejemplo.

Tabla 4.30 Código de tramados, para catalogar el riesgo [29]

Gravedad \ Probabilidad	1	2	3	4	5
1		E ₂	E ₃		
2				E ₄	
3					E ₅
4	E ₆				
5		E ₁			

G = Gravedad de las consecuencias

P = Probabilidad

Tabla 4.31 Modo de ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para cada escenario 29]

Vertedero

Gravedad \ Probabilidad	1		2	3			4	5
	1	Movimiento sísmico/falla geológica	Perforación de geomembrana			Ruptura del dique o muro de contención		Erosión del terreno por lluvias intensas y/o sequías
2	Pendiente excesiva en taludes y suelo			Acumulación de lixiviados en el fondo del vertedero		Lluvias intensas		
3								
4								
5								

Tabla 4.32 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para el Vertedero

Sistema de recolección de Lixiviados

Gravedad \ Probabilidad	1			2		3	4	5
	1	Obstrucción física, biológica y química de perforaciones en el tubo	Erosión de taludes	Perforación de geomembrana	Rotura tubería parte baja+ rotura de geomembrana	Sismos, fallas geológicas		
2								
3								
4								
5								

Tabla 4.33 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para el Sistema de Recolección de Lixiviados

Balsa de Lixiviados

Gravedad Probabilidad	1	2	3	4			5
1			Erosión talud exterior	Sismos, Fallas geológicas	Ruptura del dique o muro de contención	Envejecimiento de lámina	Rebosamiento
2					Fugas (perforación geomembrana)		
3							
4							
5							

Tabla 4.34 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para la Balsa de Lixiviados

Chimeneas de Extracción de Gases

Gravedad Probabilidad	1	2	3		4	5
1	Obstrucción de tuberías	Salida de biogás por celdas de residuos	Acumulación de biogás dentro de la masa de residuos	Hinchamiento de geomembrana en capas de sellado		
2						
3						
4						
5						

Tabla 4.35 Ubicación del riesgo, según la probabilidad y gravedad para la Chimenea de Extracción de Gases

CAPITULO V

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo con el trabajo que en esta tesis de máster se ha llevado a cabo, se van a exponer algunas conclusiones que pueden servir para solucionar posibles problemas surgidos de vertederos en funcionamiento o clausurados a la vez que se puedan utilizar como base empírica para la elaboración de modelos matemáticos y para minimizar el riesgo ambiental y sanitario y los emplazamientos que lo conforman

- Aunque actualmente los vertederos tienen mayor legislación y por lo tanto mayor control en cuanto a instalación, operación, sellado y monitoreos; y como en cualquier actividad, siempre existirá el riesgo de un accidente, así se tengan medidas de control y prevención, es necesario tener en cuenta los posibles accidentes que puedan suceder. Para ello hay que vigilar el durante y el después de la vida útil de un vertedero.
- Los gases pueden generar problemas en un vertedero y por tanto este aspecto es mas vigilado durante la operación, sin embargo es importante no disminuir los monitoreos en vertederos sellados, ya que sin previo aviso pueden tener mayores posibilidades de generar explosiones o fugas en el suelo, afectando materiales, personas, plantas y animales.
- Es necesario conocer la zona donde se pretende ubicar la instalación y todos sus emplazamientos. La elección de una zona adecuada es fundamental para minimizar y evitar filtraciones de lixiviados, inundaciones, entrada de aguas subterráneas a la masa de residuos, deslizamientos, pérdidas de estabilidad, entre otros.
- Un canal perimetral dimensionado correctamente permite minimizar la generación de lixiviados por lluvias y/o escorrentía, es importante que el agua de escorrentía producida por precipitaciones no penetre en el área de depósito; no obstante, es preceptivo aislar los residuos del suelo por medio de un adecuado sistema de impermeabilización y evacuar los lixiviados generados evitando la saturación de la masa de residuos y la formación de acumulaciones en la base del vaso.
- Para garantizar la estabilidad estructural del vertedero se debe diseñar y construir con una inclinación de taludes aceptable, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los residuos, su posible saturación e incluso, los movimientos sísmicos. Como norma general un vertedero recientemente clausurado es una estructura inestable durante muchos años, por lo que se tendrá especial cuidado si se construyen estructuras rígidas en su superficie entre los 25 y 30 años posteriores a la clausura.
- Las balsas de lixiviados, siendo instalaciones seguras, pueden resultar peligrosas si no se construyen correctamente o no se tiene en cuenta las características del entorno.
- Los diferentes emplazamientos de un vertedero, como los evaluados en esta tesis, tienen diversos impactos en cuanto a la frecuencia accidental, el daño que podrían generar y el riesgo que representaría cada uno al ambiente. De acuerdo al análisis realizado en esta tesis se reconoce que las probabilidades de accidentes son más

altas en el vaso de un vertedero que en una balsa de lixiviados, pero aunque sea menor la probabilidad accidental de una balsa de lixiviados, el daño causado es mucho mayor, tanto que el daño puede ser crítico.

- En general, la probabilidad de ocurrencia accidental es poca y el nivel de riesgo ambiental es de moderado a bajo; sin embargo, dependiendo del emplazamiento donde ocurra el accidente, el daño tiene afecciones mayores al ambiente; pero lo que sí es evidente, es que el daño más grave lo produce la balsa de lixiviados.
- Este estudio pretende una primera exploración sobre la evaluación de probabilidad de riesgos de accidentes ambientales, ya que el histórico de accidentes es poco, debido a que son ocultados, porque generan grandes problemas legales y gastos económicos muy altos.
- Las principales causas de accidente corresponden a una inexistente gestión de evacuación del biogás, inadecuado emplazamiento, falta de medidas para evitar la generación de lixiviados, inadecuado cálculo de la estabilidad de los taludes, falta de estabilidad geotécnica de la masa de residuos, mal diseño general de la instalación e incorrecta ubicación de la balsa de lixiviado. Lo anterior se ha podido demostrar a través del análisis de 36 casos de accidentes ocurridos en vertederos durante los últimos 30 años.
- A pesar de un diseño y gestión supuestamente controlados, se ha producido un accidente por algún factor no considerado. Por eso en las fases de diseño, gestión, clausura y postclausura de vertederos se deben realizar los adecuados controles intensivos de todos los posibles peligros con el fin de minimizar los riesgos.

ANEXO I

AUTORIZACION AMBIENTAL INTEGRADA

La Autorización Ambiental Integrada es una resolución del órgano competente de la Comunidad Autónoma en la que se ubique la instalación, por la que se permite, a los solos efectos de la protección del medio ambiente y de la salud de las personas, explotar la totalidad o parte de la instalación bajo determinadas condiciones destinadas a garantizar que la misma cumpla el objeto y las disposiciones de la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. Tal autorización podrá ser válida para una o más instalaciones o partes de instalaciones que tengan la misma ubicación y sean explotadas por el mismo titular¹

Los objetivos fundamentales de dicha Autorización son la protección del medio ambiente en su conjunto y la simplificación administrativa de las distintas autorizaciones ambientales existentes hasta el momento.

El órgano competente, se designa al director general de Medio Ambiente como órgano competente al que se dirigirán las solicitudes de autorización ambiental integrada y quien resolverá el procedimiento de autorización ambiental integrada. Adscrita a la Consejería de Medio Ambiente, se crea la Comisión de Prevención y Control Integrados de la Contaminación como órgano colegiado de carácter consultivo

Características tiene la autorización ambiental integrada.²

La Autorización Ambiental Integrada tiene las siguientes características:

Simplifica los trámites administrativos, integrando en una misma autorización:

Todas las autorizaciones ambientales existentes en materia de:

- Producción y gestión de residuos, incluidas las de incineración de residuos municipales y peligrosos, y en su caso, las de vertido de residuos.
- Vertidos a las aguas continentales, incluidos los vertidos al Sistema Integral de Saneamiento (SIS).

Las determinaciones de carácter ambiental en materia de contaminación atmosférica, incluidas las referentes a los compuestos orgánicos volátiles.

Igualmente, se incluye en el procedimiento de AAI:

- Actuaciones en materia de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).
- Descripción de las medidas de prevención y control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Otras actuaciones que estén previstas en la normativa autonómica ambiental, así como los trámites de la licencia municipal, incluido el de la presentación de la correspondiente solicitud, con excepción de la resolución final de la autoridad municipal (art. 29, Ley 16/2002).

¹ Art 3.a, Ley 16/2002

² Art. 11, Ley 16/2002

Su objetivo es proteger al medio ambiente en su conjunto, aplicando los principios de prevención y control ambiental de una forma integrada, con el fin de impedir la transferencia de contaminación de un medio a otro. Para ello impone específicamente para cada instalación valores límite en todos los vectores ambientales (atmósfera, aguas, ruidos, residuos, suelos,...), así como planes de vigilancia al respecto.

LEY 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

Título III Régimen Jurídico de la Autorización Ambiental Integrada

CAPÍTULO 1 Finalidad y aplicación

Artículo 9. Instalaciones sometidas a la autorización

Artículo 10. Modificación de la instalación.

Artículo 11. Finalidad de la autorización ambiental integrada.

CAPÍTULO II Solicitud y concesión de la autorización ambiental integrada

Artículo 12. Contenido de la solicitud.

Artículo 13. Presentación de la solicitud.

Artículo 14. Tramitación.

Artículo 15. Informe urbanístico.

Artículo 17. Informes.

Artículo 18. Informe del Ayuntamiento.

Artículo 19. Informe del organismo de cuenca.

Artículo 20. Propuesta de resolución y trámite de

Artículo 21. Resolución.

Artículo 22. Contenido de la autorización ambiental

Artículo 24. Impugnación.

Artículo 25. Renovación de la autorización ambiental

Artículo 26. Modificación de la autorización ambiental

CAPÍTULO III Coordinación con otros mecanismos de intervención ambiental

Artículo 29. Coordinación con el régimen aplicable en materia de actividades clasificadas.

ANEXO III

BIBLIOGRAFIA

- [1] Generalidades Del Vertedero Doña Juana, Villavicencio – Colombia, INTERASEO S.A. E.S.P.
- [2] Estudios, Diseño y Construcción; Parque Industrial De Residuos Sólidos La Miel Del Municipio de Ibagué - Colombia; Componente Separación Y Tratamiento Biotecnológico. INTERASEO S.A. E.S.P.
- [3] REGLAMENTO TÉCNICO Y MANUAL DE OPERACIONES; Vertedero Colomba-Guabal; Municipio De Yotoco Valle Del Cauca – Colombia; INTERASEO DEL VALLE S.A. E.S.P.
- [4] GIRALDO E., "Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos", 1997.
- [5] RAS 2000, Título F, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Sistemas de Aseo Urbano.
- [6] EUGENIO GIRALDO, Tratamiento de Lixiviados de Vertederos Sanitarios, Ingeniero Civil, Universidad de Los Andes. MSc. Ingeniería Ambiental y Ph. D. en Ingeniería Ambiental, University of Massachussets, USA. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes, Bogotá – Colombia.
- [7] Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, <http://www.prtr-es.es/>, 16 de julio de 2009
- [8] FRANCISCO J. COLOMER MENDOZA; Tesis Doctoral, Análisis y Sistematización de la Seguridad Medioambiental de los vertederos Controlados de Residuos Urbanos y Asimilables Aplicación a las Balsas de Lixiviados; Valencia Julio de 2006
- [9] VAQUERO DÍAZ, IVÁN, Manual de diseño y construcción de vertederos de residuos sólidos urbanos, Universidad Politécnica de Madrid, 2004
- [10] Luis FONTANET SALLÁN; PEDRO POVEDA GÓMEZ, Gestión de Residuos Urbanos. : Manual técnico y de régimen jurídico, *Manuales de medio ambiente*, Ex-Libris Ediciones, 2000
- [11] SANTIAGO MARTÍN GONZÁLEZ, SANTIAGO FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, Gestión del biogás en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos; Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, 2000

- [12] SMITH, D.W., B. G. SIMS, D. H. O'NEIL; Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas, Volumen 110 de Boletín de servicios agrícolas de la FAO; Food & Agriculture Org., 1994
- [13] GERARDO BERNACHE, GERARDO BERNACHE PÉREZ; Cuando la basura nos alcance: el impacto de la degradación ambiental, Publicaciones de la Casa Chata, Antropologías (Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (Mexico); CIESAS, 2006
- [14] JOSÉ PEREIRA MARTÍNEZ; Eliminación de los residuos sólidos urbanos, Reverte, 1980
- [15] <http://www.prtr-es.es/>
- [16] GEORGE TCHOBANOGLOUS, Hilary Theisen, Samuel A. Gil, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volúmenes I y II, Mc Graw Hill, España, 1994.
- [17] David Edwin Daniel, Geotechnical practice for waste disposal; Edición ilustrada, reimpressa; Springer, 1993
- [18] Pedro Ramos Castellanos, Pablo Álvarez Álamo; Residuos: alternativas de gestión Volumen 53 de Colección Aquilafuente; Universidad de Salamanca, 2003
- [19] Norma española UNE 15008, Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental, Marzo 2008.
- [20] Barcelona M, Wehrmann, Keely J., Pttjohn W. Contamination of ground water. Noyes data corporation. Park ridge, New Jersey, USA. 1990.
- [21] Fatta D.; Voscos.; Haralambous K.J.; Loizidou M. (1997). An assessment of the effect of landfill leachate on groundwater quality. Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium.
- [22] Sivertsen B. Air pollution impacts from open air burning. Waste international conference a waste management and the environment , Malta. 2006. Waste Management and the environment III. Ed. by Popov et al. South Ampton. Wit press 449-457. 2006
- [23] Christensen T.H., Cossu R., Diaz L., Lechner P., Stegmann R., Lagerkvist A. (2000). Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfill. Curso superior sobre gestión y diseño de vertederos. CER (Club Español de los Residuos)
- [24] Glysson E.A. Residuos sólidos. Capítulo 8. Mc Graw Hill. 2003.
- [25] Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A.P., Baun A., Ledin A., Christensen T.H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate. A review. Critical reviews In Environmental Science and Technology. 2002.

- [26] Shusterman D. Critical review: the health significance of odour pollution. Archives of Environmental health, January/February 1992. Vol 47 n° 1 pp 76-87.
- [27] Cooper C.D. Reinhart D.R., Rash F., Seligman D., Keely D. Landfill gas emissions. Report 92-2, civil and environmental engineering department. University of Central Florida. 1992.
- [28] Sironi S., Capelli L., Céntola P., Del Rosso R., Il Grande M. Odour emissions factor for the assessment and prediction of Italian MSW landfills odour impact. Atmospheric Environment n° 39. 2005
- [29] APENDICE A, Análisis de Riesgos de Accidentes Medioambientales, Norma española UNE 15008, Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental, Marzo 2008.
- [30] JAVIER ORCCOSUPA RIVERA, Gestión y Planificación Ambiental, Plan Director de Manejo Integral del Desechos Sólidos del Cusco, Cap XII; Riesgo Y Vulnerabilidad Del Relleno Sanitario Del Cusco