

Reglamento Técnico
del Sector de Agua Potable y
Saneamiento Básico - RAS

TÍTULO F
Sistemas de Aseo Urbano



Libertad y Orden

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico

República de Colombia



Libertad y Orden

**Ministerio de Vivienda,
Ciudad y Territorio**

República de Colombia

Presidente de la República
Juan Manuel Santos Calderon

Ministra de Vivienda, Ciudad y Territorio
Beatriz Uribe Botero

Viceministro de Agua y Saneamiento Básico
Iván Fernando Mustafá

Director de Programas
Edgar Pulecio Bautista

Director de Desarrollo Sectorial
Javier Moreno Mendez

Diseño textos y contenido:

Carlos Arturo Álvarez
María Elena Cruz
Lizardo Ovalle
Angélica Peñuela
José Miguel Rincón
Mauricio Rivera
Armando Vargas

ISBN: 978-958-57464-0-4

Apoyo Técnico

Junta Técnica Asesora del RAS (Resolución 1447 de 2005),

Grupo de Residuos Sólidos
Oficina Asesora Jurídica

CORRECCIÓN DE ESTILO

María Emilia Botero Arias
Centro de Documentación, MADS

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO GRÁFICO

José Wilson Garzón • José Roberto Arango Romero

Catalogación en la fuente "Obra Completa"

Cítese como: Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F. Sistemas de Aseo Urbano / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2012. 264 p.

ISBN: 978-958-57464-0-4

1. Saneamiento básico 2. Servicios públicos 3. Zona urbana 4. Servicio de aseo 5. Disposición final 6. Rellenos sanitarios 7. Tratamiento de residuos 8. Aprovechamiento de residuos 9. Buenas prácticas 10. Residuos sólidos municipales

I. Tit.

CDD: 628

© Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización de los titulares de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

CONTENIDO

F0	PRESENTACIÓN	7
F0	INTRODUCCIÓN	9
F1.	ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO	
F1.1	Alcance	11
F1.2	Definiciones	12
F1.3	Procedimiento general de diseño de los sistemas de aseo urbano	27
F1.4	Procedimiento particular para el desarrollo de sistemas de aseo urbano	35
F1.5	Condiciones generales para hacer factible la prestación del servicio de aseo en las áreas suburbanas, rurales y centros poblados rurales	54
F2.	ALMACENAMIENTO Y PRESENTACIÓN	
F2.1	Alcance	57
F2.2	Requisitos obligatorios que se deben cumplir en la actividad de almacenamiento y presentación de los residuos sólidos por parte de los usuarios	58
F2.3	Recomendaciones para el almacenamiento y la presentación de los residuos sólidos domiciliarios por parte de los usuario	59
F3.	RECOLECCIÓN DE RESIDUOS, BARRIDO MANUAL Y MECÁNICO DE VÍAS, LIMPIEZA DE ÁREAS PÚBLICAS, CORTES Y PODAS EN ÁREAS PÚBLICAS	
F3.1	Alcance	65
F3.2	Requisitos obligatorios que se deben cumplir en la actividad de recolección de los residuos sólidos por parte de las personas prestadoras del servicio de aseo	65

F.3.3	Recomendaciones que se deben tener en cuenta al diseñar el sistema de recolección	67
F.3.4	Cortes de cesp�ed y poda de arboles en áreas p�ublicas	82
F.4	TRANSPORTE DE RESIDUOS Y ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	
F.4.1	Alcance	85
F.4.2	Requisitos obligatorios que se deben cumplir en la actividad de transporte	85
F.4.3	Requisitos obligatorios que deben cumplir las estaciones de y aprovechamiento y las estaciones de transferencia	90
F.4.4	Recomendaciones específicas para el diseño de estaciones de separación y aprovechamiento y estaciones de transferencia	97
F.4.5	Recomendaciones para la operación de estaciones de separación y aprovechamiento y de estaciones de transferencia	103
F5.	APROVECHAMIENTO	
F.5.1	Alcance	107
F.5.2	Requisitos obligatorios en los sistemas de aprovechamiento y valorización de residuos sólidos	109
F.5.3	El aprovechamiento en la prestación del servicio público de aseo	117
F.5.4	Usos de los residuos sólidos aprovechables	136
F.5.5	Localización de unidades de tratamiento para potenciar el aprovechamiento	142
F6.	DISPOSICIÓN FINAL	
F.6.1	Alcance	151
F.6.2	Requisitos obligatorios para la disposición final de los residuos sólidos ordinarios mediante la técnica de relleno sanitario	151

F.6.3	Fomento a la regionalización de sistemas de disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de rellenos sanitarios	160
F.6.4	Componente económico	160
F.6.5	Gestión de pasivos y cierre de sistemas	161
F.6.6	Procedimiento para la ubicación de rellenos sanitarios	161
F.6.7	Parámetros de diseño	171
F.6.8	Estudio de impacto ambiental (eia)	210
F.6.9	Reglamento operativo del relleno sanitario	210
F.6.10	Cronograma de actividades y plan de trabajo	219
F7.	PROCESOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO	
F.7.1	Alcance	221
F.7.2	Requisitos obligatorios del sistema	222
F.7.3	Generalidades	227
F.7.4	Planta de tratamiento y eliminación térmica	231
F.7.5	Manejo de los residuos del tratamiento térmico	242
F.0.6	Seguridad industrial y salud ocupacional	246
F.7.1	Mantenimiento	247
F7.	ANEXOS	
F.7.1	Sistemas de unidades	251
F.7.2	Conversión de unidades	252
F.7.3	Abreviaturas, siglas y acrónimos	254
F.7.4	Normas técnicas referenciadas	255
F.7.5	Políticas y documentos conpes	259
F.0.6	Normativa aplicable	259
F.7.1	Marco Jurídico	260
F.7.2	Índice de tablas	263
F.7.3	Índice de figuras	264
F.7.4	Bibliografía	264

TÍTULO F

PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

El Reglamento técnico de Agua y Saneamiento (RAS) está compuesto por una parte obligatoria, la Resolución 1096 de 2000, y otra parte, de manuales de prácticas de buena ingeniería, conocidos como los títulos del RAS, en donde se realizan recomendaciones técnicas mínimas para la formulación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, de forma que se logre con esta infraestructura prestar un servicio con calidad.

El presente documento, correspondiente al Título F – Sistemas de Aseo Urbano, establece los criterios básicos, los requisitos mínimos y las buenas prácticas técnicas de ingeniería que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la implementación y construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación, el mantenimiento, el cierre, la clausura y la postclausura y las actividades de salvamento de infraestructura de los diferentes componentes y subcomponentes del sistema de aseo urbano que se desarrollen en el país, con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, efectividad, sostenibilidad, redundancia e integralidad dentro del nivel de complejidad determinado para el proyecto.

De los 3 servicios públicos, el de aseo ha tenido mayores desarrollos normativos, técnicos y operacionales en los últimos años, que han permitido un mayor conocimiento de los procesos mínimos que deben incorporarse en la prestación de este servicio público. Por ello, esta actualización del título F, frente al publicado en el año 2000, presenta el conocimiento adquirido en los últimos años, el ordenamiento que se ha desarrollado, distinguiendo entre los residuos sólidos y los peligrosos. Así mismo, se han incorporado criterios en la implementación de proyectos de aprovechamiento de residuos sólidos que permitan la sostenibilidad de estos sistemas y la mitigación de impactos negativos sobre el medio ambiente y la comunidad.

BEATRIZ URIBE BOTERO

MINISTRA DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

TÍTULO F

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

El Título F – Sistemas de Aseo Urbano, tiene como propósito fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos y las buenas prácticas de ingeniería que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la implementación y construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación, el mantenimiento, el cierre, la clausura y la postclausura y las actividades de salvamento de infraestructura de los diferentes componentes y subcomponentes del sistema de aseo urbano que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, efectividad, sostenibilidad, redundancia e integralidad dentro del nivel de complejidad determinado para cada proyecto.

Las políticas y estrategias del Gobierno Nacional están orientadas a mejorar la prestación del servicio público de aseo dentro del marco de la gestión integral de los residuos sólidos y van dirigidas a asegurar y garantizar el aumento de la cobertura y la calidad en la prestación del servicio, mejorar la capacidad institucional de las entidades territoriales y de las personas prestadoras del servicio, promover la captación de mayores recursos para inversión y promover e incentivar la ejecución de las actividades viables y sostenibles de aprovechamiento y valorización de residuos sólidos. Lo anterior con el fin de prevenir, minimizar y mitigar los posibles impactos en la salud pública y en el medio ambiente que pueden ser originados desde la generación de los residuos, en el tratamiento de fracciones de los mismos, hasta su disposición final, es decir en toda la cadena de los componentes y subcomponentes del sistema de aseo, teniendo en cuenta las directrices normativas específicas aplicables en el tema.

Con el fin de dar un manejo integral a los residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo, en este Título se incluyen temas como el cálculo de la población, de la producción per cápita y la demanda del servicio, los criterios básicos aplicables para el diseño e implementación de unidades de almacenamiento, recolección, transporte, barrido manual y mecánico de vías y limpieza de áreas públicas, estaciones de transferencia, sistemas de aprovechamiento y valorización de residuos sólidos y sistemas de tratamiento y disposición final.

Se incluyen además, elementos funcionales y componentes específicos del servicio como la separación en la fuente, las estaciones de separación y aprovechamiento de fracciones aprovechables de residuos sólidos y, la valorización energética mediante procesos térmicos e implementación de rellenos sanitarios.

No se contemplan en este Título el manejo de los residuos con características de peligrosidad, cuya gestión debe realizarse de acuerdo con las normas ambientales y demás normatividad aplicable conforme al tipo de residuos.

El contenido de este documento comprende los siguientes capítulos:

Componente	Capítulo
Aspectos generales de los sistemas de aseo urbano	F.1
Almacenamiento y presentación	F.2
Recolección de residuos, barrido manual y mecánico de vías, limpieza de áreas públicas, cortes y podas en áreas públicas	F.3
Transporte de residuos y estaciones de transferencia	F.4
Aprovechamiento	F.5
Tratamiento y disposición final	F.6
Procesos de tratamiento térmico	F.7

TÍTULO F

ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO

1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO

F1.1 Alcance

El presente capítulo tiene como propósito establecer los principios básicos para la prestación del servicio de aseo urbano, sus componentes y elementos funcionales, las definiciones, los procedimientos generales que se deben tener en cuenta para el diseño de los sistemas de aseo y los procedimientos particulares para el desarrollo de éstos.

El municipio debe tener presente en el desarrollo de actividades tanto para elaborar el plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) como para implementarlo, las diferencias que existen entre el manejo de residuos domiciliarios y el manejo de residuos que requieren de gestión diferente a la convencional y que se consideran como especiales debido al volumen de los residuos, los requerimientos de transporte, su potencial de recuperación o sus características de peligrosidad. Para el manejo de estos últimos, se debe atender los requisitos que sus características implican para su adecuado manejo y tratamiento y las responsabilidades de las diferentes partes involucradas, con observancia de las normas que para este tipo de residuos estén vigentes. Este título se limita al manejo de residuos sólidos y excluye los residuos peligrosos.

F1.1.1 Fines para la Prestación del Servicio de Aseo

La prestación del servicio de aseo, debe perseguir y alcanzar los fines que se indican a continuación:

1. Garantizar la calidad del servicio a toda la población.
2. Prestar eficaz y eficientemente el servicio en forma continua e ininterrumpida.
3. Obtener economías de escala comprobables.
4. Establecer mecanismos que garanticen a los usuarios el acceso al servicio y su participación en la gestión y fiscalización de la prestación.

Así mismo y con el ánimo de minimizar y mitigar impacto en la salud y en el ambiente, el documento CONPES 3530 de 2008, plantea unos propósitos que permitan generar impactos efectivos en el mediano y largo plazo, entre los cuales se mencionan: realizar una planeación integral del servicio de aseo en todos sus componentes, que garanticen la adecuada disposición final de los residuos sólidos, y la planeación integral en los objetivos de cada uno de

los componentes del servicio, fortaleciendo la formulación, implementación y seguimiento de los PGIRS; establecer esquemas regionales, para todos o algunos de los componentes del servicio público de aseo, contando con la dinámica de los desarrollos tecnológicos; y aprovechando economías de escala; fomentar esquemas para facilitar la comercialización de los productos generados en los procesos de aprovechamiento y adelantar actividades y acciones que impliquen la implementación de sistemas de aprovechamiento y reciclaje definidas, bajo criterios ambientalmente sostenibles y responsables socialmente.

F.1.1.2 Componentes Básicos y Elementos Funcionales del Servicio de Aseo

Se presentan las opciones para el cálculo de la población, la producción per cápita y demanda, los requisitos y los criterios de diseño para los componentes básicos y elementos funcionales de los sistemas de aseo urbano, los cuales se referencian a continuación:

COMPONENTE
Almacenamiento y presentación
Recolección de residuos, barrido manual y mecánico de vías y limpieza de áreas públicas y, cortes y podas en áreas públicas
Transporte de residuos y estaciones de transferencia
Aprovechamiento
Tratamiento y disposición final
Procesos de tratamiento térmico

F 1.2 Definiciones

Para interpretar y aplicar los fines que se exponen en el presente Título deben tenerse en cuenta las siguientes definiciones, además de las contempladas en la normativa vigente sobre el servicio público de aseo, entre ella, el Decreto 1713 de 2002.

Acceso al sistema de disposición final. Es el procedimiento establecido en el reglamento operativo de los rellenos sanitarios, para la utilización de un sistema de disposición final por parte de los usuarios del mismo, mediante el pago de una tarifa de acuerdo con las normas regulatorias vigentes.

Acidez. Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/l como carbonato de calcio.

- Acuífero.** Unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua.
- Acuífero confinado.** Acuífero comprendido entre dos capas impermeables en donde el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica. Estratos de roca permeable, localizados en zonas profundas, que almacenan agua que está sometida a una presión mayor que la atmosférica sin tener la posibilidad de fluir libremente.
- Acuífero libre.** Acuífero donde al agua se encuentra sometida a la presión atmosférica. Estratos de roca permeable, localizados en zonas someras, que almacenan agua que fluye libremente.
- Aeración.** Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.
- Aforo.** Producto obtenido de la acción de aforar ó acción de aforar.
- Aforar.** Determinar el volumen y el peso de residuos generados, recolectados, transportados, aprovechados y valorizados, tratados y finalmente dispuestos.
- Aguas lluvias.** Aguas provenientes de la precipitación pluvial.
- Aguas residuales o aguas servidas.** Residuos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial.
- Aguas residuales municipales o Aguas servidas municipales.** Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.
- Alcalinidad.** Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3).
- Amenaza.** Peligro latente asociado con la potencial ocurrencia de un evento de origen natural o antrópico que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en un sistema. Se expresa matemáticamente como la probabilidad de ocurrencia de un evento de una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición definido.
- Apique.** Excavación que se realiza generalmente con herramientas manuales (de manera ocasional con equipo mecánico como retroexcavadora), de sección variable, alrededor de un metro y medio de lado suficiente para que el personal pueda trabajar tanto en la excavación en sí como en la toma de muestras y realización de ensayos de campo. Su profundidad depende del propósito y necesidades o de las condiciones del suelo que se encuentre en el sitio. Los apiques dependiendo de la profundidad y del tipo de suelo a excavar podrán

o no tener entibado. En general para apiques mayores a 2,5 m de profundidad se deberá usar un tipo de soporte temporal.

Área de aislamiento y control ambiental. Corresponde al área perimetral de las infraestructuras para el manejo, aprovechamiento y disposición final de residuos, en donde se establecen actividades que permiten la reducción de impactos a la población y al entorno.

Bacteria. Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y denitrificación.

Barrido de vías y limpieza de áreas públicas. Es el conjunto de actividades que se ejecutan de forma manual o mecánica, tendientes a dejar las áreas públicas libres de todo residuo sólido esparcido, acumulado o fijado en muros. Por sus características los residuos sólidos generados por el proceso de barrido y recolección de los residuos, así como los provenientes de la limpieza de áreas públicas se vinculan con la actividad principal de recolección del servicio público de aseo.

Biodegradable. Cualidad de un compuesto químico o sustancia de poder ser degradado por acción biológica.

Biogás. Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable, cuyo componente principal es el gas metano.

Botadero a cielo abierto. Sitio de acumulación de residuos sólidos que no cumple con las disposiciones vigentes o crea riesgos para la salud y seguridad humana o para el ambiente en general.

Cadena de custodia. Es un sistema documentado que se aplica a los elementos materiales (muestras) y evidencias físicas recolectados por las personas responsables del manejo de los mismos desde el momento de su recolección hasta su disposición final, lo que permite no solo garantizar su autenticidad, sino demostrar que se han aplicado procedimientos estandarizados para asegurar las condiciones de identidad, integridad, preservación, seguridad, continuidad y registro. Esto permite asegurar las características originales de las muestras desde la recolección (toma), embalaje, transporte, análisis de laboratorio, almacenamiento y disposición final de las mismas.

Caracterización de los residuos. Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades. Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de un residuo sólido, identificando contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica.

- Carga contaminante.** Producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d).
- Carga orgánica.** Producto de la concentración media de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (Kg/d).
- Celda de seguridad.** Infraestructura que podrá ser ubicada en las áreas donde se realizará la disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario, donde se confinarán y aislarán del ambiente los residuos peligrosos previo cumplimiento de las normas ambientales y sanitarias en materia de residuos peligrosos.
- Cenizas residuales o cenizas de fondo (*Bottom ash*).** Material sólido que permanece en la cámara de combustión o cae a través de las parrillas después que el procesamiento térmico se ha completado.
- Cenizas volantes (*Fly ash*).** Partículas residuales no combustibles emitidas o transportadas por los gases de combustión.
- Centro de acopio.** Lugar en el cual se desarrollan acciones tendientes a reunir productos, desechados o descartados por el consumidor al final de su vida útil, acondicionado para tal fin de manera segura y ambientalmente adecuada, con el fin de facilitar su recolección y posterior manejo integral.
- Coagulación.** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.
- Coagulantes.** Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.
- Cobertura diaria.** Capa de material natural y/o sintético con que se cubren los residuos depositados en el relleno sanitario durante un día de operación.
- Cobertura final.** Revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario, para facilitar el drenaje superficial, interceptar las aguas filtrantes y soportar la vegetación superficial.
- Cogeneración de energía.** Proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de una actividad productiva, destinadas ambas al consumo propio o de terceros en procesos industriales o comerciales.
- Coliformes.** Bacterias Gram negativas de forma alargada, capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 °C o 37 °C (Coliformes

totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5 °C se denominan Coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

Combustión interna. Es aquella en la que el calor se libera en el interior del equipo debido a la combustión de los carburantes que se emplean en los motores de explosión.

Combustión total. Proceso mediante el cual se da la oxidación exotérmica de la totalidad del material carbonáceo presente en un material mediante un comburente utilizando como mínimo la proporción estequiométrica requerida para ello.

Compost. Producto final del proceso de compostaje.

Compostaje. Proceso controlado e irreversible de transformación biológica aeróbica, que ocurre mediante organismos descomponedores endémicos (artrópodos y microorganismos, enzimas presentes en el medio natural), que conduce a una etapa de maduración, caracterizada por su estabilidad química y microbiológica.

Coprocesamiento. Es el ingreso de sustancias, productos, desechos o residuos a hornos de producción de Klínker en plantas de cemento, las cuales manejan temperaturas de combustión entre 1.100 °C y 2.000 °C, con tiempo de retención de gases mayores a cuatro segundos para que dichos materiales sean dispuestos de forma final y segura, sin riesgos para la salud o el medio ambiente.

Cuneta. Zanja en cada uno de los lados de un camino o carretera para recibir las aguas lluvias.

Chimenea. Estructura de ventilación que permite la salida de los gases producidos por la biodegradación de los residuos sólidos.

Densidad. Masa o cantidad de materia de los residuos, contenida en una unidad de volumen, en condiciones específicas, expresado en Mg/m³.

Descomposición anaerobia. Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

Dioxinas y Furanos. Son compuestos de origen antrópico producto de la combustión o subproductos no deseados en diferentes reacciones químicas de procesos industriales. 21 de sus congéneres son clasificados como altamente tóxicos en cantidades pequeñas. Los policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDD) y los policlorodibenzofuranos (PCDF) son dos familias de hidrocarburos aromáticos halogenados tricíclicos que engloban un total de 210 compuestos: 75 PCDD y 135 PCDF, constituidos por dos anillos bencénicos unidos entre

sí, que poseen entre uno y hasta ocho átomos de cloro como sustitutos de sus enlaces. Estos compuestos son comúnmente conocidos como dioxinas y furanos. Las dioxinas (PCDD) se encuentran unidas por dos átomos de oxígeno y en el caso de los furanos (PCDF) por un átomo de oxígeno y un enlace carbono-carbono y cuyos átomos de hidrógeno pueden ser sustituidos hasta por ocho átomos de cloro.

Disposición final de residuos sólidos. Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

Emisiones atmosféricas. Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, proveniente de una fuente fija o móvil.

Estaciones de separación y aprovechamiento. Son las instalaciones técnicamente diseñadas con criterios de ingeniería, operadas ambientalmente y con eficiencia económica, dedicadas a incorporar valor agregado a la fracción de residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos de clasificación, compactación, lavado, triturado o granulado (peletizado) entre otros. Estas instalaciones deben ser parte funcional y operativa de las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos, por lo tanto son elementos constitutivos del sistema de aseo urbano. Las plantas de aprovechamiento y valorización pueden tener unidades de tratamiento para residuos sólidos orgánicos y unidades de valorización para residuos sólidos inorgánicos.

Estratigrafía. Es la representación de la secuencia en la que se encuentran los diferentes estratos o capas del subsuelo. Rama de la Geología que estudia e interpreta las rocas sedimentarias estratificadas reconociendo en ellas formas, composiciones litológicas, propiedades geofísicas y geoquímicas, sucesiones originarias, relaciones de edad, distribución y contenido fosilífero para la reconstrucción secuencial de eventos geológicos

Estudios de impacto ambiental (EIA). Es el conjunto de la información que deberá presentar ante la autoridad ambiental competente el peticionario de una licencia ambiental. El Estudio de impacto ambiental contendrá información sobre localización del proyecto, y los elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos del medio que puedan sufrir deterioro por la respectiva obra o actividad, para cuya ejecución se pide la licencia, y la evaluación de los impactos que puedan producirse. Además, incluirá el diseño de los planes de prevención, mitigación, corrección y compensación de impactos y el plan de manejo ambiental de la obra o actividad.

Estudio geotécnico. Es el conjunto de actividades (trabajos y ensayos) que permiten obtener la información para la caracterización geológica y geotécnica

del terreno y del subsuelo, necesaria para la implementación de un proyecto de construcción. Éste se realiza previamente al proyecto de construcción y tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del terreno, las cuales son necesarias para definir el tipo y condiciones del método de excavación y la cimentación, así como el comportamiento de estabilidad de taludes del sistema en el tiempo. Permite definir el tipo de elementos de contención a implementarse y recomendaciones para el diseño e implementación del sistema.

Evaluación ambiental. Conjunto de procedimientos de investigación y análisis tendiente a obtener una visión completa de la situación ambiental de un espacio determinado.

Frente de trabajo. Sitio en el relleno sanitario donde se realizan los procesos de descargue, acomodación, compactación y cobertura de los residuos sólidos entregados para disposición final.

Fuente de emisión. Es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Fuente fija. Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Fuente fija dispersa o difusa. Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como por ejemplo, en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales.

Fuente fija puntual. Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

Gas generado en el relleno. Es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia y/o aerobia, o por efectos de reacciones químicas de los residuos sólidos dispuestos.

GCL (*geosintetic clay liners*). Revestimiento de compuestos químicos que se asemejan a la arcilla y que está conformado por materiales compuestos de bentonita y geosintéticos que pueden ser usados como barrera hidráulica o de infiltración.

Geocompuesto. Elemento empleado para el drenaje de los lixiviados o cualquier otro fluido que deba captarse, conducirse y evacuarse y que está compuesto por un geotextil no tejido, una red sintética y una tubería corrugada perforada de drenaje.

Geomalla. Una malla polimérica biaxial formada por una red regular de elementos de tracción conectados en forma integral, con aberturas lo suficientemente

grandes como para permitir la trabazón con el suelo, las piedras o la tierra circundantes, que funciona principalmente como refuerzo.

Geomembrana. Producto sintético polimérico en forma laminar, continua y flexible, utilizado como barrera impermeable de líquidos u otros fluidos en proyectos de ingeniería. Las geomembranas poseen propiedades mecánicas, físicas, químicas y biológicas que las diferencian en su potencial uso y aplicación.

Geotextil. Material natural o sintético o combinación de ambos, el cual se asemeja estructuralmente a los textiles, los cuales se pueden enrollar, cortar y coser. Son resistentes a la tensión y al punzonamiento y se utilizan como elementos de refuerzo, separación, filtración, protección o barrera en obras de ingeniería.

Geotextil no tejido. Tipo de geotextil cuyas fibras están aleatoriamente distribuidas, proporcionándole propiedades hidráulicas importantes por su alta capacidad filtrante y drenante.

Geotextil tejido. Tipo de geotextil en el cual las fibras tienen un patrón de distribución proporcionándole alta resistencia a la tensión.

Impacto ambiental. Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

Incineración. Procesamiento térmico de residuos sólidos, líquidos o gaseosos mediante la oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Proceso de reducir los desechos a material inerte (escoria) y a productos gaseosos completamente oxidados mediante la combustión.

Incinerador. Equipo destinado a la incineración de residuos, mediante procesos térmicos, constituido principalmente por dos cámaras instaladas de tal manera que los gases generados por la combustión parcial de los residuos en la primera cámara pasan a la segunda cámara o de poscombustión dentro de regímenes de tiempo y temperatura controlados permitiendo la combustión total, para lo cual cada cámara debe contar con sus respectivos dispositivos de control de temperatura y quemadores.

Infiltración. Proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo.

Instalaciones de drenaje para aguas superficiales. Es el conjunto de elementos y dispositivos que componen un sistema de drenaje diseñado con el propósito de separar y conducir la escorrentía superficial de los alrededores y también la de la superficie con cobertura al interior de los rellenos sanitarios.

Instalación de incineración o planta de incineración. Instalación en donde se operan uno o más incineradores, cuya capacidad está determinada por la suma de las capacidades de operación nominal individual de cada incinerador y cuya principal actividad sea la incineración de residuos.

Kárstico (Cárstico). Dicho de una formación caliza producida por la acción erosiva o disolvente del agua.

Lombricultura. Actividad que consiste en complementar con la acción de lombrices de tierra la maduración de la materia orgánica compostada.

Lombricompuesto. Producto de la digestión de lombrices empleando sustratos orgánicos.

Mantenimiento. Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.

Mantenimiento correctivo. Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista.

Mantenimiento preventivo. Conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosas o imprevistas.

Material de cobertura. Material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario.

Material particulado. Partículas sólidas o líquidas finas como polvos, neblina, smog, presentes en el aire o en las emisiones atmosféricas.

Medidas de compensación. Son las acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos, mitigados o sustituidos.

Membrana. Barrera constituida por material sintético, arcillas u otros materiales de baja permeabilidad, destinadas a impermeabilizar el fondo y taludes de un relleno sanitario.

Metales pesados. Son elementos que tienen un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm³ como por ejemplo, plomo (Pb), plata (Ag), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), molibdeno (Mo), níquel (Ni), zinc (Zn).

Monitoreo. Actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas de una característica, elemento, parámetro o de un

proceso, en un sitio y periodo determinados, con el objeto de verificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública.

Nivel freático. Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno. Pueden encontrarse varios niveles dependiendo de la permeabilidad y la secuencia de los estratos.

Optimización. Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.

Perforación. Hueco en el subsuelo, habitualmente de sección circular, que puede ser hecho con herramientas manuales o herramientas accionadas mecánicamente.

Perforación con barreno manual. Método de perforación realizado con herramienta manual por lo cual le son inherentes limitaciones en cuanto a dureza del material perforado y/o profundidad alcanzada.

Perforación con percusión y lavado. Método de exploración directa del subsuelo, que se realiza con equipo mecánico mediante el lavado con inyección de agua en conjunto de percusión.

Perforación con taladro. Método de exploración directa del subsuelo, que se realiza con equipo mecánico mediante rotación con elementos tales como brocas y triconos o piñas; adicionalmente se pueden aplicar los métodos de percusión o de percusión y lavado.

Permeabilidad. Propiedad que tienen los cuerpos de permitir el paso de un fluido a través de ellos.

Plan de Manejo Ambiental. Es el conjunto detallado de medidas y actividades que, producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales debidamente identificados, que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad.

Plan de ordenamiento territorial. Conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.

Plan de trabajo y construcción. Es el documento que debe llevar diariamente el operador, en donde se detallan las actividades realizadas, fecha de inicio y de terminación, persona responsable y personal utilizado para su ejecución, cumplimiento del reglamento operativo, presupuesto, maquinaria y equipo utilizado con el respectivo rendimiento, inconvenientes y soluciones

adoptadas, condiciones climáticas y cumplimiento de las medidas de control, mitigación, prevención y compensación ejecutadas.

Población flotante. Población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un periodo corto de tiempo por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal.

Precipitación. Cantidad de agua lluvia caída en una superficie durante un tiempo determinado.

Procesamiento térmico de residuos. Transformación de los residuos en productos de conversión ya sean gaseosos, líquidos o sólidos, lo cual está acompañado con un requerimiento de combustible, comburente y generación de energía.

Producción más limpia: Según el PNUD, es “una aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios para reducir los riesgos relevantes a los humanos y el medio ambiente”.

Producción diaria *per cápita*. Cantidad de residuos sólidos generada por una persona, expresada en términos de Kg./hab - día o unidades equivalentes, de acuerdo con los aforos realizados o estimaciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE.

Producción diaria por usuario. Cantidad de residuos sólidos generada por un usuario, expresada en términos de Kg./usuario - día o unidades equivalentes, de acuerdo con los aforos realizados y el número de habitantes atendidos o estimaciones del DANE.

Productos de la combustión. Sustancias producidas durante la quema o incineración de materiales.

Puesta en marcha. Actividades de verificación que se realizan cuando un sistema va a empezar a operar al final de la etapa de construcción

Punto de descarga. Ducto, chimenea, dispositivo o sitio por donde se emiten los contaminantes ya sea a la atmósfera, al suelo o a un cauce receptor.

Radio de giro. El espacio mínimo absoluto para ejecutar un giro de 180°. Queda definido por la trayectoria que sigue la rueda delantera izquierda del vehículo (trayectoria exterior) y por la rueda trasera derecha (trayectoria interior). Además de la trayectoria exterior, debe considerarse el espacio libre requerido por la sección en volado que existe entre el primer eje y el parachoques o elemento más sobresaliente. La trayectoria exterior queda determinada por el radio de giro mínimo propio del vehículo y es una característica de fabricación. La trayectoria interior depende de la trayectoria exterior, del ancho del vehículo, de la distancia entre el primer y el último eje y de la circunstancia de

que estos ejes pertenecen a un camión del tipo unidad rígida o semirremolque articulado.

Reactor. Estructura hidráulica en la cual un proceso químico, físico o biológico se lleva a cabo.

Recolección en acera. Es la que se efectúa cuando los residuos sólidos son presentados por los usuarios para su recolección en el andén ubicado frente a su predio o domicilio.

Recolección en unidades de almacenamiento. Es la que se efectúa cuando los residuos sólidos generados por los usuarios se presentan para su recolección en forma conjunta en cajas de almacenamiento.

Reducción en el origen. Forma más eficaz de reducir la cantidad, peso y volumen, de los residuos, así como los costos asociados a su gestión y los impactos ambientales. Se encuentra en primer lugar en la jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos.

Registro estratigráfico. Representación de la información resultante de la exploración del subsuelo. Se consignan la descripción y el espesor de cada estrato detectado, niveles freáticos, los resultados de los ensayos de campo y laboratorio y demás elementos relevantes. Los estratos se describen con base en su material, color, olor, humedad, plasticidad, consistencia, etc.

Reglamento operativo de los rellenos sanitarios. Corresponde al compendio de requisitos, procedimientos y acciones internas de operación y funcionamiento, aplicable al personal del operador y a las personas contratantes del acceso a cada relleno sanitario.

Reglamento técnico. Reglamento de carácter obligatorio expedido por la autoridad competente, con fundamento en la Ley, que suministra requisitos técnicos, bien sea directamente o mediante referencia o incorporación del contenido de una norma nacional, regional o internacional, una especificación técnica o un código de buen procedimiento.

Relleno sanitario manual. Relleno sanitario que es construido y operado sin necesidad de utilizar maquinaria diferente a la mano de obra.

Relleno sanitario mecanizado. Relleno sanitario que es construido y operado con maquinaria especializada.

Remediación. Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para reducir o eliminar los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.

Riesgo. Potenciales consecuencias económicas, sociales o ambientales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función

de un sistema durante un tiempo de exposición definido. Se expresa matemáticamente, como la probabilidad de exceder una pérdida en un sitio y durante un lapso determinado, resultado de relacionar la vulnerabilidad del sistema y la amenaza a la cual se encuentra sometido.

Ruta de reciclaje. Recorrido necesario para recoger los residuos potencialmente aprovechables, separados en la fuente.

Servicio público de aseo. Es el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos. También se aplicará a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos.

Sistemas de control para aguas superficiales. Conjunto de actividades, dispositivos y procesos que evitan el ingreso y la acumulación de aguas de escorrentía al relleno sanitario, incluyendo instalaciones de drenaje de aguas superficiales y estanques para almacenamiento de aguas lluvias.

Sistema de control de emisiones. Conjunto ordenado de equipos, elementos o maquinaria que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados medibles y verificables de reducción o mejoramiento de las emisiones atmosféricas generadas en un proceso productivo.

Sistema de manejo y tratamiento de lixiviados. Es el conjunto de procesos, instalaciones, dispositivos y operaciones unitarias o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los lixiviados producidos en el relleno sanitario, con el propósito de minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.

Sistema de recolección de lixiviados. Es el conjunto de elementos interrelacionados conformado por accesorios, tuberías y/o canales, en materiales naturales y sintéticos, complementados por un sistema de impermeabilización, que permite captar, conducir y evacuar los lixiviados producidos en el relleno sanitario y los conducen al sistema de manejo y tratamiento de lixiviados.

Sistema para recuperación de energía a partir del gas generado en el relleno sanitario. Es el conjunto de procesos, instalaciones y dispositivos mediante los cuales el gas generado en el relleno sanitario es aprovechado para convertirlo en electricidad haciendo uso de motores de combustión interna o turbinas de gas, sistemas de calefacción o producción de vapor.

Sistema de recuperación de gases. Es el conjunto de procesos, instalaciones y dispositivos, que incluyen chimeneas y tuberías instaladas con la finalidad de recolectar el gas generado en el relleno sanitario para su control, venteo o aprovechamiento.

Sistema natural de impermeabilización. Es el conjunto de procesos, instalaciones y dispositivos necesarios para el aislamiento, construido con

arcilla de baja permeabilidad, empleado para evitar la filtración de líquidos percolados y biogás hacia el exterior de la zona del relleno sanitario o el ingreso de agua subterránea.

Sistema de pesaje. Es el conjunto ordenado y sistemático de equipos, elementos y maquinaria que se utilizan para la determinación certera de la cantidad de residuos objeto de gestión en uno o varios de los componentes del servicio público de aseo y que proporciona información con datos medibles y verificables.

Sistema de aseo urbano. Es el conjunto ordenado y sistemático de equipos, elementos y maquinaria, que se utilizan para el desarrollo de los diferentes componentes que hacen parte del servicio público de aseo y que proporciona información sobre el estado, calidad y comportamiento de las actividades en la gestión de los residuos sólidos.

Sondeo y perforación. Exploración de campo directa (penetración estándar, penetración con cono, corte torsional con veleta, etc.) o indirecta (sondeos geoelectricos o refracción sísmica), realizada para establecer algunas propiedades del subsuelo por medio de medición de la resistencia del subsuelo a la acción de la sonda (penetración, torsión, propagación de corriente eléctrica, ondas sísmicas, etc.). Las perforaciones para exploración geotécnica se pueden llevar a cabo manualmente (barrenos) o mecánicamente (a percusión y lavado o rotación).

Subsidencia. Hundimiento o asentamiento paulatino del suelo, originado por las cavidades subterráneas producidas por actividades antrópicas o fenómenos naturales.

Suelo de protección. Constituido por las zonas y áreas de terreno localizados dentro de cualquiera de las anteriores clases, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse.

Suspensión de obra o actividad. Cese temporal o permanente de la obra o actividad en infraestructuras para el servicio público de aseo.

Sustancia. Todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sean en forma sólida, líquida o gaseosa.

Temperatura de combustión. Temperatura necesaria para producir la combustión completa de los residuos sólidos. Cuanto mayor sea el contenido de aire en exceso, el contenido de oxígeno en los gases de la chimenea también

se incrementa y la temperatura de combustión disminuye. La temperatura de los gases de la chimenea es importante desde el punto de vista de control de olores.

Tiempo de residencia de combustión. Tiempo necesario que deben permanecer los residuos sólidos en la cámara de combustión para que se produzca la combustión completa de los mismos a las condiciones de temperatura y aire en exceso que se tengan.

Trinchera. Excavación superficial (< 3,0 m) y alargada con ancho menor a 1,0 m, llevada a cabo en la exploración del subsuelo con el fin de conocer en detalle las capas más superficiales en sitios de afloramientos rocosos, en taludes, en cañadas, escarpes, cortes realizados en vías o en zonas donde se presentan grietas o discontinuidades geológicas (fallas). Este tipo de exploración complementa aquella exploración de campo llevada a cabo con perforaciones y tiene la ventaja de que a través de ella se define mejor la estratigrafía. Las trincheras pueden tener un sistema de soporte temporal, especialmente en zonas de suelos blandos, rellenos o arenas sueltas.

Valorización agronómica. Es el uso del potencial de aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables que por procesos de transformación pueden ser utilizados como enmiendas, acondicionadores de suelo o abonos orgánicos. El tratamiento más utilizado para este tipo de recuperación es el compostaje.

Valorización energética. Es el uso del potencial de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos y biosólidos como fuente de energía alternativa.

Vectores. Organismos, generalmente insectos o roedores, que transmiten enfermedades. Medio de transmisión de un patógeno de un organismo a otro.

Vehículo recolector. Vehículo empleado en las actividades de recolección de los residuos sólidos en los sitios de generación y en su transporte hasta las estaciones de aprovechamiento y estaciones de transferencia o hasta el sistema de disposición final.

Vehículo transportador o de transferencia. Vehículo empleado en las actividades de transporte de los residuos sólidos desde las estaciones de separación y aprovechamiento o desde estaciones de transferencia hasta el sistema de disposición final.

Vías de acceso. Vialidad que permite ingresar a las infraestructuras para el servicio público de aseo.

Vía interior. Vialidad que permite el tránsito interno en las infraestructuras para el servicio público de aseo.

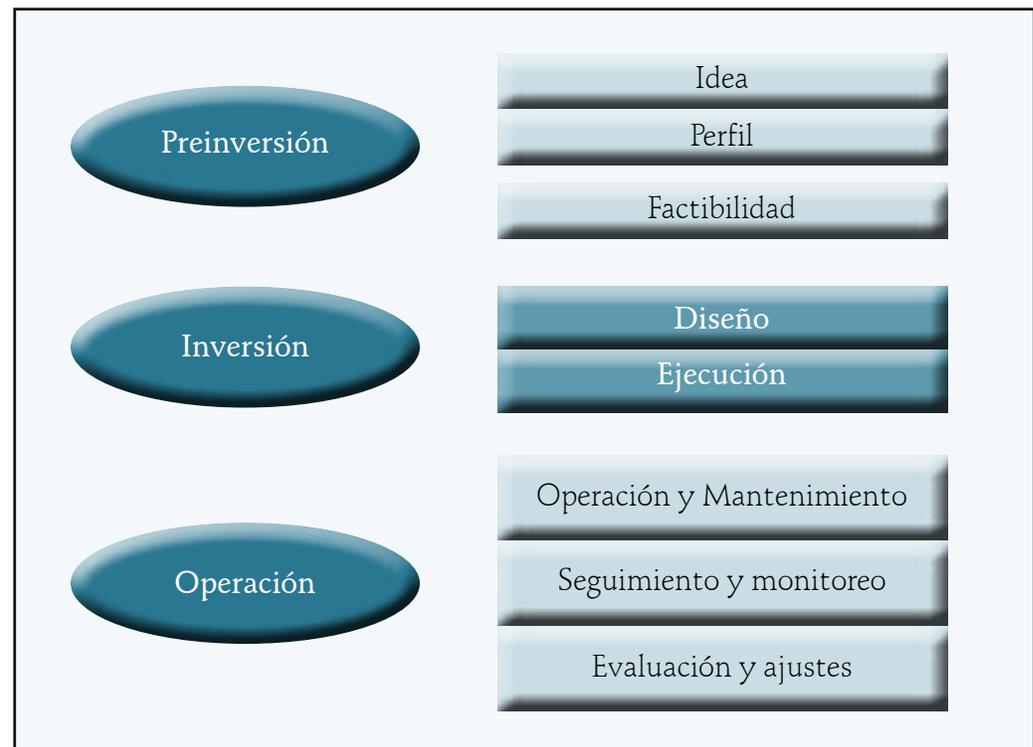
Vía principal. Vía que hace parte de la red pública de transporte que permite la intercomunicación entre las entidades territoriales.

Vulnerabilidad. Predisposición intrínseca de un sistema de ser afectado o de ser susceptible a sufrir daños o pérdida de su función, como resultado de la ocurrencia de un evento que caracteriza una amenaza.

Zona de falla. Zona donde se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

F1.3 Procedimiento general de diseño de los sistemas de aseo urbano

Toda acción relacionada con la conceptualización, el diseño, la implementación y construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación, el mantenimiento, el cierre, la clausura y la postclausura y las actividades de salvamento de infraestructura para llevar a cabo un proyecto propuesto dentro del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), algún en armonía con el sistema de aseo urbano, o uno de sus componentes, debe tener en cuenta las etapas del ciclo de vida de un proyecto, según el siguiente esquema:



F1.3.1 PASO 0 - Elementos Preliminares para el diseño del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos

Previamente al inicio de la formulación del proyecto, se debe comprobar el uso del suelo permitido en la zona seleccionada para el desarrollo de la misma de acuerdo con el plan de ordenamiento territorial (POT, PBOT o EOT), los Planes de Gestión Integral de residuos sólidos (PGIR), así como, lo determinado en los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas (POMCH), las restricciones de áreas protegidas y en los títulos mineros (cuando aplique) y realizar las actividades de socialización y divulgación del proyecto, la consulta previa (cuando aplique), obtener la certificación expedida por la Aeronáutica Civil (AEROCIVIL) sobre el cumplimiento de la normatividad sobre el tema.

Etapa de conceptualización y planificación

F1.3.2 PASO 1 - Definición del Nivel de Complejidad del Sistema

Debe definirse según se establece en el capítulo A.3: Determinación del nivel de complejidad del sistema del Título A: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

F1.3.3 PASO 2 - Justificación del Proyecto y Definición del Alcance

La planificación, el diseño, el desarrollo e implementación de alguno o todos los componentes de un sistema de aseo urbano, en el marco de la gestión integral de residuos sólidos, debe contar con una justificación basada en los siguientes aspectos:

1. El proyecto propuesto debe cumplir los criterios de priorización de inversiones establecidos en la Resolución 1459 de 2005, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o la norma que la modifique, adicione o sustituya, y la normativa específica aplicable.
2. Se deben considerar las recomendaciones y obligaciones establecidas en el capítulo A.4: Identificación y justificación de los proyectos del Título A: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, del RAS y la Guía RAS – 002: Identificación, justificación y priorización de proyectos.
3. Debe considerar los siguientes resultados esperados:
 - Aumento de la cobertura del servicio de aseo
 - Continuidad del servicio.

- Mayor volumen de residuos sólidos reincorporados al ciclo económico productivo.
 - Mayor capacidad para disposición final de residuos en el relleno sanitario.
 - Generación de empleo.
 - Se cuenta con medidas de prevención, minimización y mitigación de los impactos ambientales.
4. Un diagnóstico de la situación actual (socioeconómica, técnica, financiera, ambiental e institucional) que permita la identificación del problema general con sus causas y consecuencias, en materia de salud pública, de impacto negativo al medio ambiente
 5. Se deben evaluar los riesgos potenciales con el fin de incrementar la eficiencia tanto en la prestación del servicio de aseo como en la preservación de los recursos naturales

F.1.3.4 PASO 3 - Conocimiento del Marco Institucional

Se debe conocer las competencias de las diferentes entidades relacionadas con la prestación del servicio público domiciliario de aseo, que establecen las responsabilidades y las funciones de cada una, información obtenida del Plan de Gestión Integral de residuos sólidos municipal.

Las entidades y aspectos que deben identificarse son:

1. Entidad responsable del proyecto.
2. Diseñador.
3. Papel del municipio, ya sea como prestador del servicio y como responsable de asegurar y garantizar la prestación del servicio de aseo en cada componente.
4. Prestador del servicio público de aseo, incluyendo las empresas de servicios públicos y su carácter (oficial, mixto o privado).
5. Entidad reguladora (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA).
6. Entidad de vigilancia y control (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD)
7. Operador de cada componente del servicio.
8. Interventor.
9. Sectores de la población beneficiados o que deben estar presentes o involucrados en el desarrollo del proyecto.
10. Autoridad ambiental competente. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible; municipios, distritos y áreas metropolitanas con población dentro

de su perímetro igual o superior a un millón de habitantes y autoridades ambientales creadas mediante la Ley 768 de 2002 , según el caso).

11. Fuentes de financiación.

F.1.3.5 PASO 4 – Marco Legal

Se debe conocer y cumplir la normativa específica aplicable y relacionada con la conceptualización, planificación, diseño, operación, construcción, mantenimiento, cierre, clausura y postclausura, supervisión técnica y operación de un sistema de aseo urbano en cada uno de sus componentes y en especial el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos adoptado para la prestación del servicio público de aseo en el respectivo municipio.

Deben tenerse en cuenta los compromisos adquiridos por el Estado colombiano en lo concerniente a los objetivos del milenio, y lo establecido en el Título I: Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, del RAS, al igual que la Ley 388 de 1997 o aquella que la modifique o sustituya.

F.1.3.6 PASO 5 - Aspectos Ambientales

El Título I del RAS contendrá el componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, y presentará en términos generales el marco jurídico ambiental que debe cumplir el sector de agua potable y saneamiento básico.

La construcción y operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a 20.000 toneladas/año, y la construcción y operación de rellenos sanitarios requiere la obtención previa de Licencia Ambiental conforme al Decreto 2820 de 2010.

Los proyectos que desarrollen alguna de las actividades complementarias del sistema de aseo que no requieran de Licencia Ambiental, para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables deberán obtener los respectivos permisos de vertimiento, emisiones, concesión de agua y aprovechamiento forestal, y demás autorizaciones ambientales según el caso, ante la respectiva Autoridad Ambiental.

F.1.3.7 PASO 6 - Ubicación dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial y de Desarrollo Urbano Previstos

Se debe conocer el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el Plan de desarrollo municipal o distrital y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT,

PBOT o EOT) aprobado por el Concejo Municipal o Distrital y lo dispuesto en el Decreto 1713 de 2002, modificado por el Decreto 838 de 2005.

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe determinar la localización y distribución espacial de la población actual y futura, así como la densidad de saturación de la región o municipio objeto del diseño.

F.1.3.8 PASO 7 – Definición del Alcance del Proyecto

Una vez justificado el proyecto y conocidos los aspectos institucionales y legales, se debe definir los alcances específicos. Estos pueden incluir el diseño de un sistema completamente nuevo en un área anexa al municipio objeto del diseño; la extensión de un sistema existente; o la ampliación de un sistema existente por aumento en la densidad poblacional, o por finalización de un período de diseño.

En la definición de los alcances específicos se deben establecer los componentes que el proyecto debe incluir. En cada uno de estos componentes se debe establecer el alcance específico, indicando si se trata de una construcción nueva, una ampliación o una adaptación de lo existente.

F.1.3.9 PASO 8 - Estudios Previos y Estudios de Factibilidad

Todo proyecto de aseo urbano debe llevar a cabo los estudios previos mencionados en el literal A.2.7: Estudios previos del Título A: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico del RAS, en lo que tiene que ver con los sistemas de aseo urbano y los estudios de factibilidad técnico - económica deberán estar formulados con base en lo dispuesto en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del respectivo municipio, o distrito y su elaboración debe estar sustentada en información primaria y secundaria, en la normativa expedida por las autoridades competentes y en las especificaciones definidas en el presente Título.

Tales estudios tienen el objetivo de establecer las condiciones físicas, económicas, ambientales y sociales del municipio y de la localidad en la cual se va a llevar a cabo el proyecto, permitiendo el planeamiento de escenarios de operación que tengan en cuenta tanto los componentes actuales como los futuros del sistema, todo dentro de un análisis de optimización de inversiones.

En aquellos casos en que el proyecto identificado corresponda a la ampliación o mejora de un sistema existente, se debe tener en cuenta toda la infraestructura aprovechable ya sea por su buen estado o por su capacidad operativa. Se debe determinar un plan de reforzamiento del sistema cuando el proyecto implique el desarrollo de una ampliación o rehabilitación de un sistema existente.

F.1.3.10 PASO 9 - Generación de Alternativas y Optimización Económica y Financiera

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios de factibilidad y la información obtenida, el planificador del proyecto deberá identificar diferentes escenarios o alternativas de solución que cumplan con el alcance y los objetivos definidos para el proyecto. Con el fin de seleccionar la solución más apropiada para la comunidad, el planificador deberá realizar, para cada alternativa, una evaluación socioeconómica y con base en la comparación de sus resultados elegir aquella de mayor beneficio al menor costo económico y considerar como mínimo los siguientes criterios.

- Favorecer el desarrollo por etapas.
- Aprovechar la infraestructura existente.
- Favorecer diseños flexibles, de forma que de acuerdo con las condiciones de operación, sea posible efectuar ajustes para optimizar el sistema.
- Plantear y evaluar soluciones regionales.

Cada alternativa debe ser evaluada desde los puntos de vista técnico, económico, financiero y de impacto ambiental con el objetivo de reconocer su viabilidad. Dentro de la viabilidad económico-financiera deberá observarse que exista la capacidad de pago de los usuarios y del municipio de acuerdo con los requerimientos de participación en los recursos.

F.1.3.11 PASO 10 - Evaluación Socioeconómica, ambiental y estudio de factibilidad

En el proceso de comparación de alternativas se debe realizar la evaluación socioeconómica; considerando las etapas de construcción, operación y mantenimiento según lo establecido en los capítulos A.4 y A.8 del Título A: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico del RAS.

La evaluación y la factibilidad socioeconómica de las alternativas deben estar enmarcadas dentro de un proceso de optimización, cuyo objetivo sea seleccionar la alternativa que aporta los mayores beneficios al menor costo económico.

El análisis de factibilidad se centrará en evaluar con mayor nivel de profundidad la(s) alternativa(s) que fueron identificadas como viables en donde se buscará la maximización de beneficios, la racionalización de costos y con ello la viabilidad financiera de los proyectos. Sobre la alternativa óptima encontrada se realizará el diseño específico.

Igualmente se debe realizar la evaluación ambiental que puede ocasionar la ejecución del proyecto, obra o actividad en el área de su influencia.

Los proyectos que se desarrollen en el país deberán incluir un informe preliminar que certifique el cumplimiento de los pasos 1 a 10 de la etapa de conceptualización y planificación descrita en este Título.

Etapa de diseño

Se realizará el seguimiento, supervisión y control de la ejecución de todas y cada una de las actividades del diseño del proyecto.

F.1.3.12 PASO 11 - Diseño y Requerimientos Técnicos

La alternativa seleccionada para el proyecto de aseo urbano, o de cualquier componente o elemento funcional de un sistema de aseo, obtenida a través de la evaluación socioeconómica realizada y descrita en el informe preliminar del proyecto será la que se adopte y debe ser objeto del diseño definitivo. El diseñador y/o el operador deben prestar especial atención a la definición de los protocolos de pruebas que deben establecerse desde esta etapa y que deben llevarse a cabo en el momento de la puesta en marcha del sistema, una vez finalizada su construcción y realizado el recibo de la obra por parte de la persona operadora del servicio.

De acuerdo con lo anterior, el diseño de cualquier componente de un sistema de aseo urbano debe buscar la minimización de los costos de construcción, operación y mantenimiento para la alternativa seleccionada, cumpliendo los requerimientos mínimos establecidos en el presente Título.

F.1.3.13 PASO 12 - Definición de Fases de Desarrollo

Cuando la ejecución del proyecto de aseo urbano sea planificada por etapas, éstas deben quedar claramente establecidas en los diseños, en la evaluación financiera, ambiental y socioeconómica de alternativas y en la presentación final del proyecto. Las ampliaciones del sistema deben ajustarse al aumento de la densidad poblacional.

F.1.3.14 PASO 13 - Preparación de Especificaciones Técnicas

Una vez definido el diseño final del sistema de aseo urbano se deben preparar todas las especificaciones técnicas que permitan efectuar la construcción, puesta en marcha y operación del mismo de acuerdo con los diseños, los protocolos de pruebas y el manual de operación y mantenimiento.

F.1.3.15 PASO 14 - Preparación del Presupuesto

A partir de los planos de diseño y las especificaciones técnicas, deben calcularse de manera detallada las cantidades de obra y los recursos materiales y humanos necesarios para ejecutar el proyecto y con estos se prepararán los análisis de precios unitarios de cada ítem incluido en el proyecto y el presupuesto general respectivo.

Todos los proyectos deberán contener un informe de diseño en el que se incluya el soporte detallado de las actividades definidas en los pasos 11 a 14 de la etapa de diseño descrita en este Título.

Etapa de construcción

F.1.3.16 PASO 15 – Proceso de Contratación

Cuando dentro del desarrollo del proyecto, exista un proceso de contratación este deberá someterse a la reglamentación vigente. El propósito de los documentos del contrato es establecer de manera clara la naturaleza de las obras a ser ejecutadas y la forma de pago de los mismos. Así mismo se establecen las obligaciones legales y las responsabilidades de cada uno de los participantes con respecto al proyecto.

F.1.3.17 PASO 16 – Construcción e Interventoría

Los procesos de construcción y de puesta en marcha de un sistema de aseo urbano deben ajustarse a los requisitos establecidos en las autorizaciones y normatividad ambiental, en el Título G del RAS- Aspectos Complementarios, y las medidas de manejo ambiental que se establecerán en el Título I, según sea el caso.

Etapa de operación y mantenimiento

F.1.3.18 PASO 17 – Puesta en Marcha

Todas las medidas técnicas concernientes a la verificación de la puesta en marcha de los sistemas de aseo urbano o de algunos de sus componentes, deben seguir todos los requerimientos establecidos para cada componente en el presente documento.

F.1.3.19 PASO 18 – Operación y Mantenimiento

Los procedimientos y medidas pertinentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los diferentes componentes de un sistema de aseo urbano deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente o elemento funcional señalados en el presente documento, además de las establecidas por la autoridad ambiental competente según el caso.

F.1.3.20 PASO 19 – Cierre, Clausura, Postclausura y Salvamento de Infraestructura

Los procedimientos y medidas pertinentes a las actividades de cierre, clausura, postclausura y salvamento de infraestructura de los diferentes componentes de un sistema de aseo urbano deben seguir los lineamientos establecidos dentro del diseño, dando cumplimiento a las actividades de seguimiento programada+s para esta etapa.

F1.4 Procedimiento particular para el desarrollo de sistemas de aseo urbano

F.1.4.1 Selección del Sistema

Es importante que se evalúe las condiciones particulares de la población que se va a atender con el proyecto y de los demás usuarios (sector comercial, industrial y otros), así como en general, del mercado potencial para los productos a obtener, para definir si es posible implementar un sistema con aprovechamiento o no. Para ello, debe tener en consideración las siguientes variables que le permitan conocer las condiciones básicas a considerar en la selección del sistema:

1. Producción *per cápita* de residuos sólidos generados.
2. Proyección de la población (análisis demográfico). Utilizar la Guía 001: Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua del RAS.
3. Caracterización de los residuos sólidos, lo cual incluye la determinación de la composición física y química, y frecuencias y tasas de generación por tipo de generador con la respectiva estratificación socioeconómica.

4. Determinación del peso específico, el volumen de los residuos y demás variables. De forma particular el parámetro de volumen es relevante para los residuos con potencial de aprovechamiento.
5. Condiciones geográficas y topográficas del territorio, así como económicas y de mercado.

F1.4.1.1 Cálculo de la producción *per cápita*

Puede utilizarse cualquier método técnicamente válido, ya sea recomendado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas – ICONTEC o por estándares internacionales, para determinarla. Sea cual fuere el método escogido, éste debe considerar al menos las siguientes variables:

1. Cantidad de residuos generados por día, determinados mediante aforos.
2. Número total de habitantes en el sector de estudio.
3. Número de usuarios servidos y potenciales, incluyendo estrato y uso.
4. Número promedio de habitantes por usuario del sistema, por estrato y uso.
5. Cantidad de residuos que se transportan al sistema de disposición final, determinada mediante aforos.
6. Cantidad de residuos que se incorporan efectivamente al aprovechamiento, según su naturaleza, determinada mediante aforos.

Si el objetivo es determinar la generación de residuos sólidos en la fuente, la toma de muestras para su determinación y su caracterización debe realizarse mediante aforo de los residuos presentados por los usuarios para recolección y transporte identificando estrato y uso en la microrruta o sector de evaluación antes de que se realice la extracción de fracciones potencialmente aprovechables. En este caso, la persona prestadora del servicio público de aseo debe prever el etiquetado de las bolsas que contendrán los residuos a recoger, en donde se identifique la microrruta, estrato y uso (cuando exista separación en la fuente, se debe identificar adicionalmente el tipo de residuo). Cuando los residuos sean presentados en canecas, el prestador debe prever su empaque en bolsas y el etiquetado correspondiente. Para ambos casos, se deberán tener en cuenta el número de usuarios y el número de habitantes por usuario y por estrato.

Si el objetivo del proyecto es optimizar el sistema de transporte y recolección existente, la toma de muestras puede realizarse de los residuos sólidos contenidos en cada vehículo recolector.

La unidad de expresión de la generación de residuos sólidos en la producción diaria per cápita es Kg./hab - día, aunque pueden utilizarse unidades equivalentes.

La producción *per cápita*, debe calcularse con una frecuencia mínima anual por parte de la(s) persona(s) prestadora(s) del servicio de aseo en sus diferentes componentes.

Valores típicos de la producción *per cápita*

Si no se ha realizado un estudio de campo para determinar la generación *per cápita* en el área para la cual se desea estructurar e implementar el servicio, en el prediseño del sistema, pueden considerarse los rangos que se muestran en la tabla F.1.1. Valores Indicativos de la producción *per cápita* para municipios colombianos (Kg./hab - día).

En el diseño definitivo del sistema, debe determinarse la generación *per cápita* de residuos, como se describe en el numeral 1.4.1: Selección del sistema.

Nivel de complejidad	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
Bajo	0.30	0.75	0.45
Medio	0.30	0.95	0.45
Medio Alto	0.30	1.00	0.53
Alto	0.44	1.10	0.79

Estos valores son indicativos y por ello no obvian la necesidad de realizar la caracterización.

En el caso de proyectos para ampliación de los sistemas de aseo urbano existentes, la generación *per cápita* de residuos sólidos debe fijarse con base en el análisis cuantitativo de los datos de la cantidad de residuos recolectada y transportada al sistema de disposición final en el servicio existente por la persona prestadora del servicio, más la cantidad de otros residuos como los recolectados para el aprovechamiento.

Los datos relacionados con la generación de residuos y la disposición de los mismos de un sistema de aseo, deben registrarse en el Sistema Único de Información (SUI) el cual es administrado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, con la periodicidad que esta entidad de control establezca, con el objetivo de realizar el seguimiento y control respectivo.

El sistema de disposición final debe contar con un sistema de pesaje, el cual es necesario implementar en todos los rellenos sanitarios, estaciones de aprovechamiento y de transferencia y en los sistemas de eliminación térmica para sistemas categorizados como de nivel de complejidad medio alto y alto, deben llevar una estadística diaria del peso de los residuos sólidos recibidos y la cantidad y tipo de vehículos que los entregan. Esto con el objetivo de calcular

tasas anuales de generación de residuos *per cápita* y poder estimar la vida útil residual del sistema de disposición final tipo relleno sanitario o las tasas de ocupación de la infraestructura de eliminación térmica.

Se debe igualmente efectuar el seguimiento de las cantidades y de los volúmenes de residuos generados, transportados y dispuestos finalmente, lo cual permite llevar la estimación de la vida útil residual del sistema de disposición final tipo relleno sanitario, para lo cual se debe realizar seguimiento topográfico semestral del mismo, lo que permite determinar los índices de ocupación, compactación y densidad de los residuos en el sistema.

El ingreso de datos al SUI deberá hacerse siguiendo lo establecido por la SSPD mediante la Resolución 2009-40000-15085 de 2009, por la cual se unifica en un solo acto administrativo la normativa expedida en el sector de agua potable y saneamiento básico para el cargue de la información al SUI.

F1.4.1.2 Estimación de la población

La Guía 001: Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua del RAS amplía en detalle la metodología para definir el nivel de complejidad y los métodos de cálculo para determinar la población futura en proyectos de acueducto, alcantarillado o aseo. Además proporciona recomendaciones para aplicar correctamente cada uno de los métodos de cálculo de población establecidos en la tabla F.1.2. Métodos de cálculo recomendados según el nivel de complejidad del sistema.

Los datos de población deben estar ajustados con la población flotante, la población migratoria y las etnias minoritarias.

TABLA F.1.2. Métodos de Cálculo Permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema

Método de cálculo a emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Wappus	X	X	X	X
Gráfico	X ⁽¹⁾	X	X	
Exponencial	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽²⁾	
Detallar por zonas		X	X	X
Detallar densidades		X	X	X

Nota: Se podrá emplear el método del DANE, para cualquier nivel de complejidad.

X⁽¹⁾. Sujeto a justificación.

X⁽²⁾. Optativo, recomendable.

La Guía 001: Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua presenta un ejemplo práctico de aplicación de las diferentes fórmulas de estos métodos aplicadas a un caso real: el municipio de San Vicente en el departamento de Antioquia.

F1.4.1.3 Caracterización de los residuos sólidos

Las tablas F.1.3. Tipo de caracterización física, química y biológica de los residuos sólidos para sistemas de aseo sin aprovechamiento y F.1.4. Tipo de caracterización física, química y biológica de los residuos sólidos para sistemas de aseo con aprovechamiento, muestran las propiedades físicas, químicas y biológicas que deben analizarse según el nivel de complejidad del servicio y el tipo de sistema a diseñar. Los métodos de ensayo deben realizarse de acuerdo con normas técnicas colombianas o normas técnicas internacionales, en caso de que las primeras no existan.

El generador debe identificar las características peligrosas de cada uno de los residuos que genere, teniendo en cuenta las particularidades de los procesos en donde dichos residuos sean generados y de las materias primas y otros insumos empleados. El manejo de residuos peligrosos se realizará conforme a la normativa específica sobre la materia.

TABLA F.1.3. Tipo de Caracterización Física, Química y Biológica de los Residuos Sólidos para Sistemas de Aseo sin Aprovechamiento

Sistema de tratamiento	Tipo de caracterización	Nivel de complejidad del sistema				Normas ASTM
		Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	
Recolección y transporte, barrido y limpieza	Peso específico	X ¹	X ¹	X	X	D5057-90 (2006)
	Contenido de humedad	X ¹	X ¹	X	X	
Disposición final	Peso específico	X ¹	X ¹	X	X	D5057-90 (2006)
	Contenido de humedad	X ¹	X ¹	X	X	
	Permeabilidad de residuos compactados	X	X	X	X	
	Metales (cadmio, cobre, mercurio, plomo y níquel)			X	X	
	Capacidad de campo			X	X	

X: Obligatorio

X1: Pueden ser obtenidos de datos de referencia definidos en el presente Título.

TABLA F.1.4. Tipo de Caracterización Física, Química y Biológica de los Residuos Sólidos para Sistemas de Aseo con Aprovechamiento

Sistema de tratamiento	Tipo de caracterización	Nivel de complejidad del sistema				Normas ASTM
		Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	
Recolección y transporte, barrido y limpieza	Peso específico	X ¹	X ¹	X	X	D5057-90 (2007)
	Contenido de humedad	X ¹	X ¹	X	X	
Compostaje aeróbico, digestión anaeróbica	Peso específico	X ¹	X ¹	X	X	D5057-90 (2007)
	Contenido de humedad	X ¹	X ¹	X	X	
	Tamaño de partículas			X	X	E726-01 (2006)
	Distribución del tamaño			X	X	
	Nutrientes esenciales	X ¹	X ¹	X	X	
	Biodegradabilidad	X ¹	X ¹	X1	X1	
	Coliformes	X	X	X	X	
	Metales (cadmio, cobre, mercurio, plomo y níquel)			X	X	
Tratamiento térmico – recuperación de energía	Peso específico	X ¹	X ¹	X	X	D5057-90 (2007)
	Contenido de humedad	X ¹	X ¹	X	X	
	Tamaño de partículas			X	X	E726-01 (2006)
	Materia volátil combustible			X	X	
	Ceniza			X	X	
	Punto de fusión de las cenizas	X ¹	X ¹	X	X	D5468-02 (2007)
	Análisis elemental (C, H, O, N, S, cenizas)	X ¹	X ¹	X	X	E1279-89 E778-08
	Contenido de energía	X ¹	X ¹	X	X	
	Carbono fijo	X ¹	X ¹	X	X	
Reciclaje y reutilización	Tipo de residuo a reciclar	X ¹	X ¹	X	X	
	Peso específico por tipo		X ¹	X	X	D5057
	Tamaño de partícula y distribución			X	X	E726-01 (2006)
	Posibilidades de reuso y reciclaje	X	X	X	X	

TABLA F1.4. Tipo de Caracterización Física, Química y Biológica de los Residuos Sólidos para Sistemas de Aseo con Aprovechamiento

Sistema de tratamiento	Tipo de caracterización	Nivel de complejidad del sistema				Normas ASTM
		Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	
Tratamiento y disposición final	Peso específico	X ¹	X ¹	X	X	D5057-90 (2007)
	Contenido de humedad	X ¹	X ¹	X	X	
	Permeabilidad de residuos compactados	X	X	X	X	
	Análisis elemental (C, H, O, N, S, cenizas)	X ¹	X ¹	X	X	E1279-89 E778-08
	Metales (cadmio, cobre, mercurio, plomo y níquel)			X	X	
	Capacidad de campo			X	X	

Para la caracterización de los residuos sólidos, se deben tener en cuenta los siguientes procedimientos:

F1.4.1.4 Determinación de variables a considerar en la selección del sistema

Se considera necesario determinar como mínimo las siguientes variables: Peso Unitario ó Peso Específico, Contenido de Humedad, Tamaño de partícula y distribución del tamaño, Permeabilidad de los residuos compactados, Material volátil combustible, Punto de fusión de la ceniza, Análisis elemental de los componentes de residuos sólidos, Contenido energético de los componentes de los residuos sólidos, Nutrientes esenciales, Biodegradabilidad de los componentes (BF) y Capacidad de campo (CC).

a) Peso Unitario ó Peso Específico (γ)

El peso unitario ó peso específico, se define como el peso de los residuos sólidos por unidad de volumen, la unidad de medida utilizada es Kg./m³ o unidades análogas. En la tabla F1.5. Peso unitario y contenido de humedad para residuos sólidos, se relacionan pesos unitarios empleados frecuentemente, los cuales pueden ser utilizados por los sistemas de nivel de complejidad bajo y medio. Para municipios con sistemas con nivel de complejidad medio alto y alto, los valores deben ser obtenidos por un método recomendado por el ICONTEC o cualquier otro método normalizado.

TABLA F.1.5. Peso Unitario y Contenido de Humedad para Residuos Sólidos

Tipos de residuos	Peso unitario (Kg./m ³)		Contenido de humedad % (en peso)	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Domésticos (no compactados)				
Residuos de comida mezclados	131 - 481	291	50 - 80	70
Papel	42 - 131	89	4 - 10	6
Cartón	42 - 80	50	4 - 8	5
Plásticos	42 - 131	65	1 - 4	2
Textiles	42 - 101	65	6 - 15	10
Goma	101 - 202	131	1 - 4	2
Cuero	101 - 261	160	8 - 12	10
Residuos de jardín	59 - 225	101	30 - 80	60
Madera	131 - 320	237	15 - 40	20
Vidrio	160 - 481	196	1 - 4	2
Latas de hojalata	50 - 160	89	2 - 4	3
Aluminio	65 - 240	160	2 - 4	2
Otros metales	131 - 1.151	320	2 - 4	3
Suciedad, cenizas, etc.	320 - 1,000	481	6 - 12	8
Cenizas	650 - 831	745	6 - 12	6
Residuos sólidos	89 - 181	131	5 - 20	15
Jardín				
Hojas (sueltas y secas)	30 - 148	59	20 - 40	30
Hierba verde (suelta y húmeda)	208 - 297	237	40 - 80	60
Hierba verde (húmeda y compactada)	593 - 831	593	50 - 90	80
Residuos de jardín (tritutados)	267 - 356	297	20 - 70	50
Residuos de jardín (compostados)	267 - 386	326	40 - 60	50
Urbanos				
En camión compactador	178 - 451	297	15 - 40	20
En relleno sanitario medianamente compactados	362 - 498	451	15 - 40	25
En relleno sanitario bien compactados	590 - 742	600	15 - 40	25
Comerciales				
Residuos de comida (húmedos)	475 - 950	540	50 - 80	70
Aparatos	148 - 202	181	0 - 2	1
Cajas de madera	110 - 160	110	10 - 30	20
Podas de árboles	101 - 181	148	20 - 80	5
Residuo (combustible)	50 - 181	119	10 - 30	15
Residuo (no combustible)	181 - 362	300	5 - 15	10
Residuo (mezclado)	139 - 181	160	10 - 25	15
Construcción y demolición				
Demolición mezclados (no combustible)	1.000 - 1.600	1.421	2 - 10	4
Demolición mezclados (combustible)	300 - 400	360	4 - 15	8
Construcción mezclados (combustible)	181 - 360	261	4 - 15	8
Hormigón roto	1.198 - 1.800	1.540	0 - 5	-
Industriales				
Lodos químicos (húmedos)	801 - 1.101	1.000	75 - 99	80
Cenizas volantes	700 - 900	800	2 - 10	4

TABLA F.1.5. Peso Unitario y Contenido de Humedad para Residuos Sólidos

Tipos de residuos	Peso unitario (Kg./m ³)		Contenido de humedad % (en peso)	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Restos de cuero	100 - 250	160	6 - 15	10
Chatarra metálica (pesada)	1.501 - 2.000	1.780	0 - 5	-
Chatarra metálica (ligera)	498 - 900	740	0 - 5	-
Chatarra metálica (mezclada)	700 - 1.500	900	0 - 5	-
Aceites, alquitranes, asfaltos	801 - 1.000	950	0 - 5	2
Aserrín	101 - 350	291	10 - 40	20
Residuos textiles	101 - 220	181	6 - 15	10
Madera (mezclada)	400 - 676	498	30 - 60	25
Agrícolas				
Agrícolas (mezclados)	400 - 751	561	40 - 80	50
Animales muertos	202 - 498	359	-	-
Residuos de frutas (mezclados)	249 - 751	359	60 - 90	75
Estiércol (húmedo)	899 - 1.050	1.000	75 - 96	94
Residuos de vegetales (mezclados)	202 - 700	359	60 - 90	75

b) Contenido de humedad

El contenido de humedad de una muestra, se expresa como un porcentaje del peso seco del material húmedo, por la fórmula:

$$\omega = [(W_M - W_S) / W_M] * 100 = [W_W / W_M] * 100 \quad (F.1.1)$$

Donde:

ω = Contenido en la humedad de los residuos sólidos (%)

W_M = Peso de la muestra (Kg)

W_S = Peso de la muestra después de secarse a 105 °C (Kg)

W_W = Peso del agua contenida en los residuos sólidos (Kg)

El contenido de humedad se debe determinar por la diferencia de la muestra en condiciones normales menos el peso de los residuos luego de ser secados a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar peso constante.

Los valores típicos a ser tenidos en cuenta para sistemas de complejidad baja y media, corresponden a los definidos en la tabla F.1.5, para el resto de sistemas, deberá realizarse la caracterización en campo.

c) Tamaño de partícula y distribución del tamaño

El tamaño y la distribución del tamaño de los componentes de los materiales en los residuos sólidos son una consideración importante en los procesos

de recuperación de materiales, en especial cuando se realizan a través de medios mecánicos como cribas, tambores rotatorios y separadores electromagnéticos. El procedimiento para el cálculo debe realizarse mediante la Norma E726-01 (2006) o las siguientes fórmulas:

$$Sc = l \quad (F.1.2)$$

$$Sc = (l+w)/2 \quad (F.1.3)$$

$$Sc = (l+w+h)/3 \quad (F.1.4)$$

$$Sc = (l*w)^{1/2} \quad (F.1.5)$$

$$Sc = (l*w*h)^{1/3} \quad (F.1.6)$$

Donde:

Sc= tamaño de residuo (mm)

w= ancho del residuo (mm)

h= altura del residuo (mm)

l = largo del residuo (mm)

d) Permeabilidad de los residuos compactados

Para la disposición final de residuos sólidos, se debe conocer la conductividad hidráulica de los residuos compactados, para determinar el comportamiento de los lixiviados, la permeabilidad se deberá calcular teniendo en cuenta la fórmula:

$$K = Cd^2*\gamma/\mu = \kappa*\gamma/\mu \quad (F.1.7)$$

Donde:

Cd^2 = permeabilidad intrínseca (m^2)

γ = peso unitario del fluido que circula (kg/m^3)

μ = viscosidad dinámica del agua ($Kg/m \cdot s$)

κ = permeabilidad intrínseca (m^2)

e) Material volátil combustible

Se debe determinar mediante la pérdida de peso adicional con la ignición a 950 °C en un crisol cubierto.

f) Punto de fusión de la ceniza

Es la temperatura en la que la ceniza resultante de la incineración de residuos sólidos se transforma en escoria por la fusión y la aglomeración.

Generalmente estas temperaturas oscilan entre 1.100 °C y 1.200 °C para residuos sólidos.

g) Análisis elemental de los componentes de residuos sólidos

Para sistemas que involucren procesos térmicos, compostaje ó la disposición final a través de rellenos sanitarios, se debe determinar el porcentaje en peso de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) y ceniza.

Para carbono se debe utilizar la Norma E1279 y para nitrógeno la Norma E778. En sistemas con nivel de complejidad bajo y medio, se pueden utilizar los valores definidos en la tabla F.1.6.

Componentes	Porcentaje (%) en peso (base seca)					
	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
Residuos de comida	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Papel	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Cartón	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Plásticos	60	7,2	22,8	-	-	10
Textiles	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Goma	78	10	-	2	-	10
Cuero	60	8	11,6	10	0,4	10
Residuos de jardín	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Madera	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Vidrio ¹	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	98,9
Metales ¹	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	90,5
Suciedad, cenizas, etc.	26,3	3	2	0,5	0,2	68

¹ El contenido orgánico es el de recubrimientos, etiquetas y otros materiales adjuntos.

h) Contenido energético de los componentes de los residuos sólidos

El contenido energético de las fracciones de los residuos sólidos se puede determinar: a) utilizando una caldera a escala real como calorímetro, b) con una bomba calorimétrica de laboratorio y c) por cálculo, si se conoce la composición elemental.

Generalmente, los valores del contenido energético están en una base referida al tipo de residuos como se establecen en la tabla F.1.7, valores que se pueden convertir a una base seca mediante la ecuación:

$$\text{KJ/Kg. (base seca)} = \text{KJ/Kg. (residuos desechados)} \times (100 / (100\% \text{ humedad} - \% \text{ ceniza}))$$

(F.1.8)

TABLA F.1.7. Valores Típicos de Rechazos Inertes y Contenido Energético de Residuos Sólidos

Componentes	Rechazos inertes ¹ , porcentaje (%)		Energía ² , kcal/kg	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Residuos de comida	2 – 8	5	833 - 1.667	1.111
Papel	4 – 8	6	2.778 - 4.444	4.000
Cartón	3 – 6	5	3.333 - 4.167	3.889
Plásticos	6 – 20	10	6.667 - 8.889	7.778
Textiles	2 – 4	2,5	3.611 - 4.722	4.167
Goma	8 – 20	10	5.000 - 6.667	5.556
Cuero	8 – 20	10	3.611 - 4.722	4.167
Residuos de jardín	2 – 6	4,5	556 - 4.444	1.556
Madera	0,6 – 2	1,5	4.167 - 4.722	4.444
Orgánicos misceláneos	-	-	-	-
Vidrio	99 - 99+	98	28 - 56	33
Latas de hojalata	96 - 99+	98	56 - 278	167
Aluminio	90 - 99+	96	-	-
Otros metales	94 - 99+	98	56 - 278	167
Suciedad, cenizas, etc.	60 – 80	70	556 - 2.778	1.667
Residuos sólidos urbanos			2.222 - 3.333	2.778

1 Después de combustión total

2 Sobre una base como desechados. El contenido energético es de recubrimientos, etiquetas y materiales adjuntos

i) Nutrientes esenciales

Cuando el sistema de aseo, incluye procesos de transformación de residuos para la obtención de materia orgánica estabilizada, alcoholes y otros subproductos orgánicos, se debe conocer información referente a nutrientes esenciales y a los elementos que componen los residuos sólidos, para así identificar y valorar los usos finales que puedan tener los materiales restantes después de la conversión biológica.

Como guía de referencia, los nutrientes esenciales y los elementos encontrados en los principales constituyentes de los residuos sólidos se presentan en la tabla F.1.8.

TABLA F.1.8. Nutrientes Esenciales

Constituyente	Unidad	Sustrato de alimentación (base seca)			
		Papel periódico	Papel de oficina	Residuos de jardín	Residuos de comida
NH ₄ -N	Ppm	4	61	149	205
NO ₃ -N	Ppm	4	218	490	4,278
P	Ppm	44	295	3,500	4,900
PO ₄ -P	Ppm	20	164	2,210	3,200
K	%	0,35	0,29	2,27	4,18
SO ₄ -S	Ppm	159	324	882	855
Ca	%	0,01	0,1	0,42	0,43
Mg	%	0,02	0,04	0,21	0,16
Na	%	0,74	1,05	0,06	0,15
B	Ppm	14	28	88	17
Se	Ppm	-	-	<1	<1
Zn	Ppm	22	177	20	21
Mn	Ppm	49	15	56	20
Fe	Ppm	57	396	451	48
Cu	Ppm	12	14	7,7	6,9
Co	Ppm	-	-	5	3
Mo	Ppm	-	-	1	<1
Ni	Ppm	-	-	9	4,5
W	Ppm	-	-	4	3,3

j) Biodegradabilidad de los componentes (BF)

Para procesos de estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables que se realicen dentro de la prestación del servicio de aseo, es necesario que se determine, con anticipación a la toma de decisiones, la fracción efectivamente biodegradable, la cual se debe obtener a partir del contenido de lignina (LC) de los residuos sólidos con base en la ecuación:

$$BF (\%) = 0,83 - 0,028 * LC \quad (E.1.9)$$

Donde:

LC = Contenido de lignina (%)

Cuando exista separación en la fuente en los sistemas de nivel de complejidad alto y medio alto, así como para los sistemas de nivel de complejidad bajo y medio e independientemente de que exista o no separación en la fuente, se pueden utilizar los valores definidos en la tabla F.1.9.

TABLA F.1.9. Datos sobre la Fracción Biodegradable de Residuos Sólidos Orgánicos de Componentes Seleccionados de Residuos basados en Contenido de Lignina

Componente	Sólidos volátiles (SV) porcentaje (%) de sólidos totales (ST)	Contenido de lignina (LC) porcentaje (%) de SV	Fracción biodegradable (%) (BF)
Residuos orgánicos frescos	7 – 15	0,4	0,82
Papel periódico	94	21,9	0,22
Papel de oficina	96,4	0,4	0,82
Cartón	94	12,9	0,47
Residuos de jardín	50 - 90	4,1	0,72

k) Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo de los residuos sólidos es el contenido de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. Este parámetro es de importancia crítica para determinar la producción de lixiviados en los rellenos sanitarios, ya que el exceso de agua sobre la capacidad de campo se emitirá en forma de lixiviación.

Para determinar la capacidad de campo en un relleno sanitario, se aplica la ecuación empírica:

$$CC (\%) = 0,6 - 0,55(W/(5413 + W)) \quad (F.1.10)$$

Donde:

W = peso de sobrecarga calculado a una altura media de los residuos dentro del nivel en cuestión para calcular la capacidad de campo de un relleno sanitario (kg/m²)

F1.4.2 Composición de los Residuos

Para todos los sistemas, independientemente de su nivel de complejidad, se deben determinar la composición cuantitativa, cualitativa, de procedencia, el grado de peligrosidad y la estructura porcentual de sus residuos sólidos de acuerdo con los esquemas de clasificación que se muestran a continuación: esquema de clasificación según la composición física, esquema de clasificación según la procedencia de los residuos sólidos, esquema de clasificación según la factibilidad de manejo y disposición, esquema de clasificación según el grado de peligrosidad y, cálculo de la composición de los residuos sólidos. El esquema de clasificación según el grado de peligrosidad debe considerarse en sistemas de gestión de residuos peligrosos.

F1.4.2.1 Esquema de clasificación según la composición física

Los residuos sólidos deben clasificarse, en porcentaje en peso base húmeda, de acuerdo con el siguiente esquema:

- a. Residuos orgánicos crudos, residuos de poda, corte de césped y jardinería
- b. Productos de papel y productos de cartón
- c. Plásticos
- d. Textiles
- e. Metales ferrosos , compuestos de aluminio y otros metales no ferrosos
- f. Vidrio
- g. Madera, caucho (goma), cuero, ceniza, rocas y escombros, huesos y otros.

Los residuos sólidos orgánicos cocinados que han tenido contacto con saliva (residuos de restaurante por ejemplo), no son óptimos para procesos de compostaje. Este tipo de residuos pueden ser tratados en procesos de degradación biológica cerrados o anaerobios con fines de valorización energética o llevados a disposición final en rellenos sanitarios.

F1.4.2.2 Esquema de clasificación según la procedencia de los residuos sólidos

Los residuos sólidos de acuerdo a quien los genera deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

- a. Residenciales
- b. Industriales
- c. Comerciales
- d. Institucionales
- e. Hospitalarios no peligrosos.
- f. De barrido manual o mecánico y limpieza de áreas públicas
- g. De escombros

F1.4.2.3 Esquema de clasificación según la factibilidad de manejo, aprovechamiento y disposición

Los residuos sólidos deben clasificarse, de acuerdo con el siguiente esquema:

- a. Ordinarios

- b. Especiales (incluyen las fracciones que requieren de gestión diferente a la convencional en consideración a características como el volumen de los residuos, los requerimientos de transporte, su potencial de recuperación ó sus características de peligrosidad. Ej. Llantas, materiales de envase y empaque, colchones, muebles, residuos de construcción y escombros, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos).

F1.4.2.4 Esquema de clasificación según el grado de peligrosidad

Los residuos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

- a. No peligrosos (residuos sólidos)
- b. Peligrosos (la gestión de estos residuos es independiente del servicio público de aseo)

F1.4.2.5 Cálculo de la composición de los residuos sólidos

Debe determinarse el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos ya clasificados de acuerdo con los numerales anteriores. El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes debe ser como mínimo el 95% del peso total de la muestra. En caso contrario debe repetirse la determinación.

F1.4.2.6 Metodología de muestreo

El muestreo deberá realizarse por un método técnicamente recomendado dentro de las normas técnicas colombianas del ICONTEC o de normas técnicas internacionales, en caso de que las primeras no existan.

F1.4.2.7 Número de muestras

El número de muestras está vinculado al método de muestreo escogido. Sin embargo el número de muestras debe considerar los siguientes parámetros:

- a. Desviación estándar normal para el nivel de confianza deseado
- b. Desviación estándar calculada
- c. Error muestral. El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes de subproductos considerados, debe ser como mínimo el 95% del peso total de la muestra. En caso contrario debe repetirse la determinación.

F1.4.2.8 Frecuencia de los ensayos

Se debe realizar la caracterización de los residuos sólidos en las siguientes situaciones:

- a. En la etapa de planificación y prediseño de un sistema de manejo de residuos sólidos
- b. En la etapa de diseño definitivo de un sistema de manejo de residuos sólidos
- c. Cuando se requiera optimizar un sistema de residuos sólidos
- d. Al menos una vez cada año
- e. Siempre que las condiciones de la generación cambien

Los literales c, a, y e, deben ser realizados por la persona prestadora del servicio de aseo, los literales a y b por el municipio o la persona prestadora del servicio, dependiendo quien esté realizando la planificación y diseños del sistema de manejo de residuos sólidos.

F1.4.2.9 Unidades para expresar los residuos cuantificados

Para sistemas de recolección y transporte de residuos sólidos, deben expresarse los residuos sólidos generados utilizando unidades de peso como: kilogramos o megagramos (toneladas) por día o año. Para expresar las cantidades generadas, se recomiendan las unidades de expresión que aparecen en la tabla F.1.10.

Tipo de residuos	Unidad de expresión recomendada
Doméstico	Kg./ (hab.-día)
Comercial	Kg./día
Industrial	Se recomienda expresarla con base en una unidad repetitiva. Ej. [Kg./Unidad de producción]
Agrícola	Se recomienda expresarla con base en una unidad repetitiva. Ej. [Kg./Mg de producto]

F1.4.3 Cadena de Custodia

Para asegurar la integridad de la muestra en los análisis de composición de los residuos, desde la recolección hasta el reporte de los datos, debe realizarse la cadena de custodia mediante el siguiente procedimiento.

F1.4.3.1 Procedimiento

La persona encargada de tener las muestras en custodia debe cumplir con los siguientes parámetros.

1. Etiquetas de las muestras

Se deben usar etiquetas para identificar cada una de las muestras, las cuales deben ser rótulos adhesivos que contengan, como mínimo, la siguiente información:

- a. Número de la muestra
- b. Nombre de la persona que toma la muestra
- c. Fecha y hora de recolección
- d. Lugar de recolección
- e. Tipo de generador (residencial, no residencial: industrial, comercial, institucional, etc.)
- f. Identificación del tipo de muestra

Las etiquetas deben colocarse antes del periodo del muestreo y llenarse a la hora de ejecución del muestreo.

2. Sellos de muestras

Para detectar falsificación de las muestras deben usarse sellos de muestras. El sello debe incluir, como mínimo, la misma información que contienen las etiquetas de las muestras y deben colocarse en los recipientes antes de que el personal de muestreo abandone el sitio.

3. Registros

Debe registrarse toda la información pertinente al trabajo de campo o muestreo realizado en un libro debidamente foliado. El registro debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

- a. Localización del punto de muestreo
- b. Nombre y dirección del contacto en el sitio de muestreo
- c. Generador del residuo y dirección si es diferente de la de localización
- d. Tipo de residuo según procedencia
- e. Número y volumen o peso de la muestra tomada
- f. Propósito del muestreo
- g. Descripción del punto de muestreo y metodología de muestreo

- h. Fecha y hora de recolección
- i. Número de identificación de la muestra
- j. Distribución de la muestra y de su transporte
- k. Referencias, como mapas o fotografías del sitio de muestreo
- l. Observaciones de campo
- m. Medidas hechas en el campo
- n. Firmas del personal responsable
- o. El libro de registro debe ser archivado de manera segura

4. Carta de custodia

Cada muestra debe estar acompañada de la correspondiente carta de custodia.

El registro debe contener, como mínimo, la siguiente información:

- a. Número de la muestra
- b. Firma de quien toma la muestra
- c. Fecha y hora de recolección
- d. Lugar y dirección de recolección de la muestra
- e. Tipo de residuo
- f. Nombre y firmas de las personas que hacen parte del manejo de la muestra y la fecha de su manipulación

5. Hoja de remisión de muestras

A la muestra debe asignársele una hoja de remisión con la información de campo. El personal de laboratorio debe completar la información pertinente. La hoja de remisión debe incluir como mínimo la siguiente información:

- a. Nombre de la persona que recibe la muestra
- b. Número de la muestra
- c. Fecha y hora de recibo de la muestra
- d. Localización de la muestra
- e. Ensayos por realizar a la muestra

6. Transporte, recibo, registro y análisis de la muestra en el laboratorio.

- a. La muestra debe ser transportada al laboratorio para los análisis dentro del primer o segundo día después del muestreo.

- b. La muestra debe ir acompañada de la carta de custodia y de la hoja de remisión de muestras.
- c. La muestra debe ser entregada a la persona autorizada para recibirla en el laboratorio, quien debe revisar etiquetas y sellos los cuales deben estar acordes con lo consignado en la carta de custodia.
- d. En el laboratorio se le asigna un número, se consigna en el libro de registro del laboratorio y se almacena en un cuarto seguro hasta que se realicen los análisis.
- e. Debe existir siempre una persona responsable del cuidado y custodia de la muestra.

F1.5 Condiciones generales para hacer factible la prestación del servicio de aseo en las áreas suburbanas, rurales y centros poblados rurales

Siempre que sea factible, el servicio de aseo se extenderá a las zonas suburbanas, rurales y centros poblados rurales del Municipio. Para esto se deben cumplir los condicionamientos que se relacionan a continuación:

1. Existencia de vías adecuadas, de tal manera que se pueda hacer la recolección domiciliaria a lo largo de éstas o al menos en sitios de almacenamiento colectivo previamente convenidos con la comunidad.
2. En los sitios de almacenamiento colectivo debe haber condiciones de maniobrabilidad para los vehículos recolectores y de fácil acceso para los usuarios.
3. La ubicación del sitio para almacenamiento colectivo no debe causar molestias e impactos a la comunidad vecina.
4. Cumplir lo dispuesto en los planes de ordenamiento territorial (POT, PBOT o EOT) para la ubicación de estaciones de aprovechamiento o estaciones de transferencia.

5. Disponer de cajas de almacenamiento adecuadas para iniciar allí la disposición de los residuos sólidos por parte de la comunidad. La frecuencia, día y hora de recolección debe ser de obligatorio cumplimiento por parte de la persona prestadora del servicio de aseo con el fin de evitar la acumulación de basura en estos sitios de acopio.
6. Cumplir las disposiciones ambientales y obtener las autorizaciones requeridas para la realización del proyecto y el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables.

El desarrollo de las características particulares se detalla en el Título J: Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural del RAS.



TÍTULO F

ALMACENAMIENTO Y PRESENTACIÓN



2. ALMACENAMIENTO Y PRESENTACIÓN

F2.1 Alcance

En este capítulo se establecen los criterios básicos y requisitos mínimos obligatorios que deben cumplir los usuarios del servicio público de aseo en relación con el almacenamiento y la presentación de los residuos sólidos generados, de acuerdo con la normativa vigente. Así mismo, se presentan recomendaciones de buenas prácticas de ingeniería para este componente del servicio.

El almacenamiento es la operación en la cual el usuario ubica de forma temporal los residuos en depósitos, recipientes, contenedores retornables o desechables, mientras son recogidos para disposición final o de forma selectiva con fines de aprovechamiento.

La presentación es la actividad realizada por el usuario de envasar, empacar e identificar todo tipo de residuos sólidos que ha generado, para su almacenamiento y posterior entrega al prestador del servicio de aseo para su: a.) transporte a estaciones de transferencia y a continuación a disposición final o, b.) disposición final de forma directa o, c.) recolección selectiva y posterior transporte hacia estaciones de aprovechamiento. Esta actividad debe realizarse con una antelación no mayor de tres (3) horas a la hora inicial de recolección establecida para la zona.

En las diferentes formas de almacenamiento y presentación se debe considerar el carácter de bien colectivo y su prevalencia sobre actividades particulares, dar cumplimiento a las normas que lo regulan para prevenir y minimizar los impactos asociados con el ambiente, el espacio público, el urbanismo, el paisajismo y a la salud pública.

En el caso de almacenamiento y presentación para procesos de aprovechamiento, la actividad debe estar asociada a programas de separación en la fuente y a mecanismos de gestión diferenciada de residuos que permita la implementación de rutas de recolección selectiva, articuladas a las macro y microrrutas del servicio público de aseo; con las respectivas variaciones en el tipo de vehículos, capacidad y formas de transporte, así como con los horarios y frecuencias de recolección.

Estos programas de separación en la fuente, transporte y recolección selectiva deben estar articulados con los Planes de Gestión Integral de residuos sólidos del municipio o distrito, considerando los diferentes tipos de recipientes y las especificaciones técnicas para los mismos, la logística y operatividad de la actividad así como la viabilidad de la misma.

F2.2 Requisitos obligatorios que se deben cumplir en la actividad de almacenamiento y presentación de los residuos sólidos por parte de los usuarios

El usuario tiene obligaciones con relación al almacenamiento y a la presentación de los residuos sólidos generados por él, las cuales están contempladas en el Capítulo II del Título I del Decreto 1713 de 2002 o aquellas normas que los modifiquen, adicionen o sustituyan, los cuales se detallan a continuación:

Títulos Relacionados	Artículos	Normativa
Obligación de almacenar y presentar	14	Decreto Gobierno Nacional 1713/2002.
Presentación de residuos sólidos para recolección	15	
Obligación de almacenar conjuntamente los residuos sólidos de las edificaciones y andenes	16	
Características de los recipientes retornables para almacenamiento de residuos sólidos	17	
Características de los recipientes desechables	18	
Sistemas de almacenamiento colectivo de residuos sólidos	19 *	
Empaque de los residuos para evacuación por ductos	20	
Sitios de ubicación para la presentación de los residuos sólidos	21 *	
Obligación de trasladar residuos sólidos hasta los sitios de recolección	22	
Sistema de almacenamiento	23	
Características de las cajas de almacenamiento	24	
Prohibición de arrojar residuos fuera de las cajas de almacenamiento	25	
Sitios de ubicación para las cajas de almacenamiento	26	
Prohibición de cajas de almacenamiento en áreas públicas	27	
Responsabilidad por la presentación inadecuada de los residuos sólidos	29	

Los artículos 19 y 21 del Decreto 1713 de 2002, fueron modificados por el Decreto 1140 de 2003

F2.3 Recomendaciones para el almacenamiento y la presentación de los residuos sólidos domiciliarios por parte de los usuarios

Debe efectuarse un estudio de la dotación desagregada por usos y por zonas del municipio, el cual debe considerar los siguientes usos del agua:

F2.3.1 De la separación de los residuos sólidos en la fuente

En caso de que los estudios de factibilidad que hacen parte de los planes de gestión integral de residuos sólidos de un municipio o distrito o los que se realicen tomando como unidad de análisis un conjunto de los mismos en forma regional, que hayan concluido que es viable y sostenible el proceso de aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos generados en la(s) jurisdicción(es) mediante la implementación de alternativas municipales o de tipo regional, las autoridades municipales o distritales definirán los tipos de materiales que serán objeto de reutilización o reciclaje y divulgarán las especificaciones y requisitos sobre la presentación y los distintivos que deben llevar los empaques de estos materiales.

El objetivo de la separación en la fuente es realizar un manejo diferenciado de los residuos aprovechables en recipientes independientes de los residuos que serán transportados al relleno sanitario.

Para la separación en la fuente de las diferentes fracciones, por los generadores domiciliarios, se emplearán 3 recipientes así:

- Fracciones de residuos sólidos inorgánicos reciclables en recipiente de fondo de color blanco.
- Fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables en recipiente de fondo de color verde. Puede emplearse el color café si son recipientes fabricados con celulosa.
- Fracciones de residuos sólidos a disposición final en recipiente de fondo de color negro. De forma alterna puede emplearse el color gris.

Para la separación en la fuente de las diferentes fracciones de residuos sólidos, por los generadores no domiciliarios, los colores de los recipientes serán los indicados por la Guía Técnica Colombiana GTC – 24: Gestión ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la separación en la fuente o aquella que la modifique, adicione o sustituya, de acuerdo con el tipo de materiales recuperables.

F2.3.2 De los recipientes

La presentación en recipientes diferenciados seguirá las directrices definidas por el operador del servicio de aseo y establecidas igualmente en el PGIRS, y las dadas por las entidades que efectúen la recolección selectiva de fracciones de residuos sólidos separados en la fuente, siguiendo los códigos de colores establecidos en este capítulo que son acordes con la GTC - 24.

F2.3.2.1 Canecas domésticas

Son recipientes retornables los cuales deben fabricarse de modo que faciliten y reduzcan el impacto sobre el ambiente, el espacio público y la salud pública, así como satisfacer condiciones de ergonomía y manejo seguro.

Además de lo establecido en el artículo 17 del Decreto 1713 de 2002, o la norma que la modifique o sustituya, las canecas domésticas deben tener las siguientes características mínimas:

- a. Peso y construcción que faciliten el manejo hasta el sitio de presentación y durante la recolección. Deben tener una capacidad máxima de almacenamiento que no supere los 25 Kg o los 60 L.
- b. Fabricados en material impermeable, de fácil limpieza y mantenimiento y resistentes a la corrosión, preferiblemente de material sintético, caucho, metal o materiales compuestos.
- c. Dotados de tapa con ajuste y sello, de fácil remoción y que no dificulte el proceso de vaciado durante la recolección.
- d. Diseñados y construidos de modo que, estando cerrados o tapados, no permitan la entrada de agua, insectos o roedores, ni la salida de líquidos por sus paredes o por el fondo, garantizando condiciones de estanqueidad.
- e. Con bordes redondeados y de mayor área en la parte superior, tronco de cono, de modo que se facilite el vaciado.
- f. Capacidad de acuerdo con lo que establezca la entidad que presta el servicio de aseo, con una capacidad mínima de almacenamiento equivalente a una semana.

Las canecas domésticas deben lavarse por el usuario con una frecuencia tal que sean presentados en condiciones sanitarias adecuadas y que evite la generación de olores y vectores al interior del domicilio.

F2.3.2.2 Recipientes desechables

Los recipientes desechables utilizados para almacenamiento y presentación de residuos sólidos en el servicio ordinario pueden ser bolsas de material sintético o natural (fibras celulósicas), deben cumplir con lo señalado en el artículo 18 del Decreto 1713 de 2002 o la norma que lo modifique o sustituya y deben reunir por lo menos las siguientes condiciones:

- a. Su resistencia debe soportar la tensión ejercida por los residuos sólidos contenidos y por su manipulación.
- b. Su capacidad debe estar de acuerdo con lo que establezca la entidad que presta el servicio de aseo.
- c. Cuando se utilicen bolsas de material sintético o natural (fibras celulósicas) como recipientes desechables, el usuario deberá presentarlas cerradas con nudo o sistema de amarre fijo.

F2.3.2.3 Recipientes para residuos sólidos de evacuación por ductos

Los residuos sólidos que sean evacuados por ductos, serán empacados en recipientes impermeables que cumplan con las características exigidas para recipientes desechables, no podrán ser evacuados por ductos residuos de vidrio, botellas, o todo material que al lanzarlo por el ducto pudiera desgarrar el recipiente o bolsa que lo contenga.

En los desarrollos urbanísticos existentes y nuevos puede contemplarse la alternativa de implementar líneas diferenciadas de ductos que permitan una gestión diferenciada de residuos.

F2.3.2.4 Cajas de almacenamiento

El diseño de las cajas de almacenamiento debe cumplir, al menos, los siguientes criterios:

- a. El tamaño y capacidad, así como su sistema de cargue y descargue, deben ser los que señale la persona prestadora del servicio de aseo, con el objeto de que resulten compatibles con los correspondientes equipos de recolección y transporte.
- b. Las dimensiones deben ser tales que aseguren el almacenamiento completo de los residuos sólidos producidos de acuerdo con las frecuencias de recolección.
- c. Deben colocarse las cantidades requeridas de cajas que garanticen el almacenamiento de la totalidad de los residuos generados acorde con la frecuencia de recolección establecida por el prestador del servicio de recolección y transporte.

- d. Su forma y configuración deben ser tales que impidan el acceso de animales y la proliferación de vectores.
- e. Deben tener tapa o cubierta que impida el ingreso de agua. Su aseo estará a cargo del prestador del servicio de recolección y transporte.
- f. Su colocación en áreas públicas debe contar con la autorización de la autoridad ambiental y la autoridad urbanística local.
- g. Su colocación dentro de una propiedad horizontal o privada debe obedecer a diseños y normas establecidos por la Secretaría de Planeación local.

Las canecas domésticas, recipientes desechables, recipientes para evacuación por ductos y cajas de almacenamiento utilizadas en sistemas de gestión diferenciada de residuos: separados en la fuente, con almacenamiento y presentación para recolección y transporte selectivo con fines de aprovechamiento, podrán separarse y presentarse de la siguiente forma:

- Fracciones de residuos sólidos inorgánicos reciclables.
- Fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables.
- Fracciones de residuos sólidos inservibles a disposición final.

La presentación en recipientes diferenciados seguirá las directrices definidas por el operador del servicio de aseo y/o por las entidades que efectúen la recolección y transporte selectivo, siguiendo los códigos de colores establecidos en este capítulo, debidamente identificados con la señalización (símbolos y colores) que informe de manera que se eviten confusiones a los usuarios.

F2.3.2.5 Canecas públicas

Las canecas públicas deben ser diseñadas y ubicadas según los siguientes requisitos:

- a. La altura de la boca debe estar entre 0,75 m y 1,10 m del suelo (altura de la mano para facilitar su uso).
- b. El ancho de la boca debe ser como mínimo de 0,35 m para evitar la caída de los papeles al disponerlos.
- c. Para que los papeles no sean arrastrados por el viento, es preferible que las canecas sean profundas.
- d. No colocar tapas ya que el público se resiste a empujar una tapa que se supone estará sucia.
- e. Deben tener algunas perforaciones en el fondo para evitar que se llenen de agua cuando llueva.
- f. Deben ser fáciles de vaciar, por lo que conviene que puedan voltearse girando sobre su propio eje horizontal, para lo cual deben tener un punto

- de rotación y un seguro manual que permita dicha acción únicamente para el momento de la recolección.
- g. Deben estar sólidamente sujetos para evitar que sean hurtadas u objeto de vandalismo. Los soportes tienen que ser resistentes para que los golpes ocasionales no los doblen.
 - h. El color debe ser llamativo para atraer la vista, pero sin alterar la estética del sector.
 - i. Deben ser ubicados en esquinas y áreas de mayor concentración y movimiento de personas, tomando en cuenta que no obstruyan el paso de peatones y que éstos no se desplacen en demasía para depositar el residuo en la caneca.
 - j. Los recipientes sujetos en postes o empotrados en la pared, estarán a una altura de 0,75 m a 1,10 m, dependiendo si éstos se encuentran en una zona escolar, comercial o de esparcimiento público.
 - k. El material de los recipientes debe ser duradero, rígido y liviano.
 - l. La entidad que instaló y tenga a cargo las canecas públicas, es la responsable de garantizar que se realice el mantenimiento permanente de las mismas.

F2.3.2.6 Recipientes para almacenamiento de residuos sólidos con características especiales

Deben ser distintos a los destinados para el servicio ordinario, claramente identificados y cumplir las medidas especiales sanitarias y de seguridad para la protección de la salud humana y el ambiente. Sus características serán las definidas por el marco normativo específico aplicable.



TÍTULO F

RECOLECCIÓN DE RESIDUOS, BARRIDO MANUAL Y MECÁNICO DE VÍAS, LIMPIEZA DE ÁREAS PÚBLICAS, CORTES Y PODAS EN ÁREAS PÚBLICAS



3. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS, BARRIDO MANUAL Y MECÁNICO DE VÍAS, LIMPIEZA DE ÁREAS PÚBLICAS, CORTES Y PODAS EN ÁREAS PÚBLICAS

F3.1 Alcance

En este capítulo se establecen los criterios básicos y los requisitos mínimos obligatorios que deben cumplir las personas prestadoras del servicio de aseo en el proceso de recolección y sus componentes de barrido de vías y áreas públicas, corte de césped y poda de árboles en áreas públicas, con el fin de garantizar su seguridad, funcionalidad, eficiencia y calidad del servicio relacionados en esta actividad y sus elementos funcionales.

Contiene además los aspectos que deben tenerse en cuenta para diseñar y operar el tipo de servicio de recolección a proporcionar, el tamaño de la cuadrilla, la frecuencia de la recolección, frecuencia de barrido manual y mecánico, frecuencia de lavado de vías y áreas públicas, tipo de vehículo recolector, las macro y microrrutas, cantidad y tipo de residuos sólidos a gestionar, distancias que se recorrerán hasta la estación de transferencia, el aprovechamiento, el tratamiento o hasta el sitio de disposición final.

F3.2 Requisitos obligatorios que se deben cumplir en la actividad de recolección de los residuos sólidos por parte de las personas prestadoras del servicio de aseo

Los requisitos obligatorios en relación con la recolección de los residuos sólidos, que deben cumplir las personas prestadoras del servicio de aseo son aplicables a los cuatro niveles de complejidad del sistema y están contenidos

principalmente en la Ley 09 de 1979 y el Decreto 1713 de 2002 ó aquellos que los modifiquen o sustituyan. Estos requisitos se relacionan en la tabla F.3.1

TABLA F.3.1 Requisitos Obligatorios en Relación con la Recolección de los Residuos Sólidos: Decreto 1713 de 2002

Títulos Relacionados	Artículos
Recolección separada	30
Requisitos de la actividad de recolección	31
Sistemas de recolección	32
Establecimiento de macro rutas y micro rutas	33
Horarios de recolección	34
Frecuencias de recolección	35
Divulgación de rutas y horarios	36
Cumplimiento de las rutas	37
Normas sobre recolección a partir de cajas de almacenamiento	38
Recolección de residuos acumulados por el barrido manual de calles	39
Recolección de residuos de poda de árboles y desechos de jardines	40
Recolección industrial y comercial	41
Recolección en plazas de mercado, mataderos y cementerios	42
Recolección de animales muertos	43
Recolección de escombros	44
Recolección de tierra	45
Almacenamiento y recolección de residuos generados en eventos especiales y espectáculos	46
Almacenamiento y recolección de residuos generados en puntos de ventas en áreas públicas	47
Responsabilidad por los residuos sólidos generados en el cargue y descargue de mercancías y materiales	48
Características de los vehículos transportadores de residuos sólidos	49
Responsabilidad en barrido y limpieza de vías y áreas públicas	52
Establecimiento de macro-rutas y micro-rutas para el servicio de barrido	53
Establecimiento de la frecuencia de barrido	54
Establecimiento del horario de barrido	55
Actividad de barrido manual de calles	56
Instalación de cestas de almacenamiento de residuos sólidos en las calles	57
Equipo para la actividad de barrido manual	58
Actividad de barrido mecánico	59
Responsabilidad de los anunciadores en materia de limpieza	60

F3.3 Recomendaciones que se deben tener en cuenta al diseñar el sistema de recolección

La recolección de los residuos sólidos, sean estos los presentados por los usuarios o los del producto del barrido manual y mecánico de vías y de limpieza de áreas públicas, es una de las actividades más importantes que desarrollan las personas prestadoras del servicio de aseo y la que presupuestalmente es más costosa, por lo que cualquier mejora que se pueda hacer en ella significará una importante economía, dado el carácter repetitivo que tiene esta actividad.

La interacción de la generación de residuos sólidos con sus actividades de almacenamiento y presentación y las del producto de barrido manual y mecánico de vías y limpieza de áreas públicas, con la actividad de recolección, se da en dos aspectos:

1. En la separación de los residuos en la fuente si se busca el aprovechamiento de estos.
2. En la frecuencia de recolección.

Los sistemas de recolección en aceras se recomiendan para residuos sólidos domésticos y para los obtenidos en el proceso de barrido manual y de limpieza de áreas públicas, al igual que para los que son acopiados en puntos debidamente acondicionados en esquinas e intersecciones viales en zonas de difícil acceso, caso en el cual se constituyen en una alternativa funcional desde el punto de vista operativo y logístico.

El sistema de unidades de almacenamiento se recomienda para recolección de residuos procedentes de centros de alta tasa de generación temporal, así como para los procedentes de grandes generadores.

La frecuencia de la recolección afecta el tamaño y el tipo de recipiente adecuado para el almacenamiento así como las características del vehículo recolector.

F3.3.1 Frecuencia de la Recolección

F3.3.1.1 Recolección convencional

Para el establecimiento de las frecuencias y los horarios, deben tenerse en cuenta en especial las vías en función de su uso, la frecuencia de barrido de vías y áreas públicas y las particularidades de las zonas urbanas que se van a servir, así:

- a. Tipo de vías existentes (principales y secundarias, con separadores, estado de la vía) en los municipios y de alto tráfico vehicular y peatonal.
- b. Uso del suelo (residencial, comercial, industrial, etc.).
- c. Hospitales, clínicas y entidades similares de atención a la salud.
- d. Recolección en zonas industriales.
- e. Zonas de difícil acceso.
- f. Cualquier otro gran generador.
- g. Caminos peatonales.
- h. Plazas públicas.
- i. Barreras geográficas naturales o artificiales.

En municipios con sistemas de complejidad baja y media, las frecuencias de recolección de los residuos sólidos obtenidos en el proceso de barrido de vías y limpieza de áreas públicas, podrán realizarse simultáneamente con las frecuencias de recolección de los residuos presentados por los usuarios del servicio ordinario, para lo cual las cuadrillas de barrido deberán diseñarse con base en las micro-rutas de recolección de residuos presentados por los usuarios del servicio de aseo.

En municipios con sistemas de complejidad media alta y alta, las frecuencias de recolección deberán ser diseñadas en forma separada, procurando que los residuos producto del barrido manual y mecánico de vías y limpieza de áreas públicas puedan ser transportadas al sitio de disposición final sin ser mezclados con los residuos presentados por los usuarios del servicio de aseo.

Como mínimo se deberán implementar las frecuencias de recolección establecidas en la tabla F.3.2, que tiene en cuenta la temperatura y el nivel de complejidad del sistema definidos en el capítulo A.3: Determinación del nivel de complejidad del sistema del Título A: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

TABLA F.3.2 Frecuencias de Recolección Mínima

Nivel de complejidad	Temperatura ¹	Frecuencias de recolección mínimas (Veces/Semana)	
		De residuos presentados por los suscriptores	De residuos producto del barrido de vías y limpieza de áreas públicas
Bajo	Indiferente	2 simultáneamente	
Medio	Indiferente	2 simultáneamente	
Medio Alto	Mayor o igual a 22 °C	3	1
	Menor de 22 °C	2	1
Alto*	Mayor o igual a 22 °C	3	1
	Menor de 22 °C	2	1*

* Las frecuencias mínimas de recolección de residuos producto del barrido manual y mecánico de vías y limpieza de áreas públicas deberá ser de 2 veces por semana en ciudades con población mayor a 800.000 habitantes.

1. La temperatura se asocia con el ciclo reproductivo de la mosca y con la volatilización de compuestos generadores de olores ofensivos.

No obstante, las frecuencias mínimas de recolección de los residuos presentados por el usuario y de los resultantes de la actividad de barrido definidas en la tabla F.3.2, la persona prestadora del servicio de aseo deberá dar cumplimiento a las frecuencias mayores que se determinen, por sectores geográficos o vías, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) municipal o distrital, así como para aquellas zonas con actividades productivas, industriales, comerciales, institucionales y de servicios, con características particulares que hacen necesario aumentar la frecuencia de recolección.

Todo cambio en las rutas, frecuencias y horarios debe ser notificado con anterioridad de mínimo 5 días a los usuarios atendidos. Si el día propuesto de recolección es festivo y la empresa de recolección no labora en ese día, ésta deberá diseñar un plan de contingencia de modo que la recolección se normalice en los siguientes 2 días.

La entidad prestadora del servicio de aseo debe ofrecer por lo menos 2 veces al año el servicio de recolección de aquellos residuos que por su manejo, volumen o peso, no puedan ser recogidos por el sistema de recolección ordinario, tales como: neveras, muebles, calentadores, árboles, objetos pesados, etc. La entidad prestadora del servicio de aseo debe informar de forma anticipada a la comunidad, con al menos 2 semanas, sobre las condiciones y fecha de este servicio.

F3.3.1.2 Recolección selectiva

Para el establecimiento de las frecuencias y los horarios, debe tenerse en cuenta el comportamiento particular de los generadores de acuerdo a las fracciones de residuos sólidos de interés que se deseen gestionar, en desarrollo del componente de aprovechamiento.

La implementación de la recolección selectiva puede hacerse de forma simultánea o alternada con la recolección convencional o de forma totalmente independiente de la misma.

Las características operativas y logísticas, así como las adecuaciones de los elementos, equipos y maquinaria y las herramientas de trabajo, dependerán de las características físicas y fisicoquímicas de las fracciones de residuos sólidos y de las cantidades de las mismas así como de las tasas de generación y la modalidad de presentación que realice el generador.

De manera específica deben tenerse en cuenta:

- a. La localización de los generadores.
- b. Los tipos de vías existentes (principales y secundarias, con separadores, estado de la vía) en los municipios y de alto tráfico vehicular y peatonal.

- c. Las zonas de difícil acceso.
- d. Las barreras geográficas naturales o artificiales.

Las frecuencias de recolección de las diferentes fracciones de residuos sólidos aprovechables deberán ser diseñadas en forma separada.

Para la recolección de la fracción de residuos sólidos no aprovechables presentada por los generadores, se debe garantizar que se cuente con las frecuencias de recolección establecidas en la tabla F.3.2, que tiene en cuenta la temperatura y el nivel de complejidad del sistema definido en el capítulo A.3: Determinación del Nivel de Complejidad del Sistema del Título A: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Para la recolección de las fracciones de residuos sólidos aprovechables, se debe garantizar que se cuenta con las frecuencias de recolección establecidas en la tabla F.3.3.

TABLA F.3.3. Frecuencias de Recolección Mínimas de las Fracciones de Residuos Sólidos Aprovechables			
Nivel de complejidad	Temperatura*	Frecuencias de recolección mínimas (Veces/Semana)	
		Residuos orgánicos biodegradables presentados por los suscriptores	Otras fracciones de residuos sólidos aprovechables
Bajo	Indiferente	2	Definida acorde con el PGIRS por el responsable de la recolección selectiva
Medio	Indiferente	2	
Medio Alto	Mayor o igual a 22 °C	3	
	Menor de 22 °C	2	
Alto*	Mayor o igual a 22 °C	3	
	Menor de 22 °C	2	

* Las frecuencias mínimas de recolección de residuos producto del barrido manual y mecánico de vías y limpieza de áreas públicas deberá ser de 2 veces por semana en ciudades con población mayor a 800.000 habitantes.

No obstante las frecuencias mínimas de recolección definidas en la tabla F.3.3, el prestador del servicio de aseo responsable de la recolección selectiva de las fracciones de residuos sólidos aprovechables deberá dar cumplimiento a las frecuencias mayores que se determinen, por sectores geográficos o vías, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Gestión Integral de residuos sólidos (PGIRS) municipal o distrital, así como para aquellas zonas con actividades productivas, industriales, comerciales, institucionales y de servicios, con características particulares que hacen necesario aumentar la frecuencia de recolección.

Todo cambio en las rutas, frecuencias y horarios debe ser notificado con anterioridad de mínimo 5 días a los usuarios atendidos.

2. La temperatura se asocia con el ciclo reproductivo de la mosca y con la volatilización de compuestos generadores de olores ofensivos.

F3.3.1.3 Rendimiento de la recolección

Los tiempos de recolección se deben diseñar de modo que se minimice el costo total de la recolección. La determinación de los diferentes factores de tiempo podrá hacerse a través del monitoreo de los tiempos reales empleados por el sistema de recolección actual (si existiera), el uso de fórmulas teóricamente válidas o la utilización de las siguientes fórmulas recomendadas:

F3.3.1.3.1 Tiempo de recolección

Es el tiempo requerido para llenar el vehículo de recolección. Está determinado por factores como la cantidad de residuos sólidos por parada de recolección, capacidad de almacenamiento del vehículo de recolección y peso específico de los residuos sólidos.

$$\text{Tiempo de recolección} = \frac{V \times \gamma \times t_s}{Q} \quad (\text{F.3.1})$$

Donde:

- V = Capacidad de almacenamiento (m^3)
- γ = Peso específico de los residuos sólidos (Kg/m^3 , t/m^3 , Mg/m^3)
- t_s = Tiempo promedio de llenado por parada (min/parada)
- Q = Peso de los residuos sólidos por parada (Kg/parada)

F3.3.1.3.2 Tiempo de transporte

Tiempo comprendido desde el llenado del vehículo de recolección hasta su entrega en el sitio de disposición final y regreso al sitio de recolección.

$$\text{Tiempo de transporte} = [(2 \times n) - 1] \times b \quad (\text{F.3.2})$$

Donde:

- n = Cantidad de viajes realizados desde la ruta de recolección al sitio de disposición final (unidades).
- b = Tiempo de viaje desde la ruta de recolección hasta el sitio de disposición final (horas).

F3.3.1.3.3 Tiempo de descarga

Es el tiempo comprendido desde la llegada del vehículo al sitio de disposición final hasta su salida. Su estimación es función del tipo de superficie del área de disposición, facilidades de maniobrabilidad del vehículo y el tiempo gastado en la compactación.

F3.3.1.3.4 Tiempos muertos

Es la suma de:

- Tiempos de viaje desde el garaje del vehículo recolector hasta el inicio de la ruta de recolección, al comenzar el día de trabajo.
- Tiempos de viaje desde el sitio de disposición final al sitio de almacenamiento de los vehículos de recolección al terminar el día.
- Tiempos inherentes al personal de la cuadrilla, como almuerzos, fatigas que afectan la eficiencia del recolector, despacho de vehículos, accidentes, etc.

F3.3.1.4 Horarios de recolección

La(s) persona(s) prestadora(s) del servicio público domiciliario de aseo deben determinar el horario de la recolección de los residuos sólidos presentados por los usuarios y de los obtenidos dentro del proceso del barrido y limpieza de vías y áreas públicas, teniendo en cuenta las características de cada zona, la jornada de trabajo, el horario de las cuadrillas del barrido de vías, el clima, la capacidad de los equipos, las dificultades generadas por la intensidad del tráfico vehicular o peatonal y cualquier otro elemento que pueda tener influencia en la prestación del servicio.

F3.3.1.5 Rendimiento de barrido y limpieza

El rendimiento de la actividad de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, deberá determinarse con base en la cantidad de kilómetros barridos y el tiempo mensual utilizado por los operarios cuando sea manual o de los equipos cuando sea mecánico, para lo cual se deberán utilizar las siguientes fórmulas:

$$\text{Rendimiento de barrido manual} = \frac{\text{LBMa}}{\text{OB}} \quad (\text{F.3.3})$$

$$\text{Rendimiento de barrido mecánico} = \frac{\text{LBMe}}{\text{HBMe}} \quad (\text{F.3.4})$$

Donde:

- LBMa = longitud de barrido manual (Km/mes)
 LBMe = longitud de barrido mecánico (Km/mes)
 OB = número de operarios de barrido por mes (Operarios/mes)
 HBMe = horas de barrido mecánico (Horas/mes)

F3.3.1.6 Horarios de barrido

La(s) persona(s) prestadora(s) del servicio domiciliario de aseo deben determinar el horario de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, teniendo en cuenta las características de cada zona, la jornada de trabajo, el clima, las dificultades generadas por la intensidad del tráfico vehicular o peatonal y cualquier otro elemento que pueda tener influencia en la prestación del servicio.

F3.3.2 Cuadrilla

F3.3.2.1 De recolección

La persona prestadora del servicio domiciliario de aseo debe realizar un estudio de campo que optimice y reduzca los tiempos y movimientos de las cuadrillas que efectúan la recolección de los residuos presentados por los usuarios y de los del producto de barrido de vías y áreas públicas.

La persona prestadora del servicio de aseo debe ofrecer entrenamiento a su personal de recolección en medidas de seguridad industrial y salud ocupacional (SI&SO), que cubra al menos los siguientes aspectos:

- a. Técnicas de manipulación de los residuos sólidos.
- b. Forma como deberán ser recibidos de los usuarios los recipientes de almacenamiento.
- c. Forma como deben ser recibidos los residuos de las cuadrillas del barrido de vías y áreas públicas.
- d. Técnicas para una recolección eficiente.
- e. Uso de los elementos que la persona prestadora del servicio de aseo debe proveer a su personal para protección personal, seguridad e higiene industrial, salud ocupacional y ergonómicos necesarios, tales como protección de cabeza contra radiación (casco o gorra), protección visual (gafas de seguridad), protección respiratoria (mascarillas), protección de miembros (guantes de carnaza o vaqueta y calzado de protección de seguridad con puntera y suela resistente a hidrocarburos y antideslizante), ropa de trabajo (overol o uniforme en materiales resistentes al desgaste), así como otros elementos apropiados para el desempeño seguro del trabajo: palas, escobas y recipientes de recolección de residuos clandestinos, cinturones de corrección de postura, etc., elementos apropiados para el desempeño seguro del trabajo.

En general, la persona prestadora del servicio domiciliario de aseo debe tomar todas las medidas de seguridad necesarias a fin de no exponer la seguridad y salud de su personal de recolección.

F3.3.2.2 Del proceso de barrido manual y mecánico

La persona prestadora del servicio ordinario de aseo deberá realizar un estudio de campo, que permita determinar el estado y longitud de las vías y áreas públicas que serán sometidas al proceso de barrido y la cantidad de residuos por kilómetro de cuneta, las micro-rutas y macro-rutas del proceso de barrido. la formación óptima de las cuadrillas y, la minimización de tiempos muertos.

Se entiende por cuneta la zanja en cada uno de los lados de un camino o carretera para recibir las aguas lluvias y que limita con el andén o separador.

La empresa prestadora del servicio de aseo debe ofrecer entrenamiento a su personal de recolección en medidas de seguridad industrial y salud ocupacional (SI&SO), que cubra al menos los siguientes aspectos:

- a. Técnicas de barrido y manipulación de los residuos sólidos.
- b. Forma como deberán ser recogidos y empacados los residuos.
- c. Técnicas para un barrido eficiente.
- d. Uso de los elementos, que la persona prestadora del servicio de aseo debe proveer a su personal para protección personal, seguridad e higiene industrial, salud ocupacional y ergonómicos necesarios, tales como protección de cabeza contra radiación (casco o gorra), protección visual (gafas de seguridad), protección respiratoria (mascarillas), protección de miembros (guantes de carnaza o vaqueta y calzado de protección de seguridad con puntera y suela resistente a hidrocarburos y antideslizante), ropa de trabajo (overol o uniforme en materiales resistentes al desgaste), así como otros elementos apropiados para el desempeño seguro del trabajo: palas, escobas y recipientes de recolección de residuos clandestinos, cinturones de corrección de postura, delantales y petos de cuero, etc., elementos apropiados para el desempeño seguro del trabajo.

En general, la entidad prestadora del servicio domiciliario de aseo debe tomar todas las medidas de seguridad necesarias con el fin de no exponer la seguridad y salud de su personal de barrido.

Se deberá prohibir el barrido de vías y áreas públicas hacia las alcantarillas del sistema pluvial del municipio o distrito.

F3.3.3 Selección de los Vehículos de Recolección y de Barrido Mecánico

El vehículo recolector debe seleccionarse de modo que cumpla con las consideraciones mínimas definidas en este capítulo, se minimice el tiempo y el costo de la recolección total por tonelada de residuo sólido recolectado.

Para la selección del equipo adecuado de recolección debe realizarse un estudio de costos, teniendo en cuenta aspectos tales como:

- a. Disponibilidad de repuestos y mantenimiento.
- b. Velocidad de llenado y vaciado.
- c. Capacidad volumétrica máxima del vehículo recolector.
- d. Tamaño de las calles.
- e. Trazado de las vías.
- f. Pendientes de las calles en el recorrido.
- g. Densidad de población.
- h. Distancia al lugar de descarga o disposición final.
- i. Capacidad de compresión de la unidad compactadora (cuando aplique).
- j. Densidad del tráfico y condiciones de tránsito y movilidad.
- k. Rendimientos del equipo.
- l. Las actividades requeridas para prestar el servicio con las calidades señaladas en este documento y la normativa existente.
- m. Análisis económico y/o financiero donde se consideren escenarios, con el propósito de prestar el servicio con las calidades requeridas y con la mayor eficiencia.

La selección del vehículo de barrido mecánico debe realizarse con base en un estudio de costos que incluirá al menos los siguientes ítems:

- a. Disponibilidad de repuestos y mantenimiento. Duración de los elementos y tasas de reposición.
- b. Restricciones operativas: Pendientes de la vía, autonomía, velocidad de tránsito.
- c. Eficiencia de barrido: Km/día por unidad de combustible.
- d. Capacidad de la unidad de almacenamiento.
- e. Presentación final del material recolectado.
- f. Consumo de insumos: Cepillos y rodillos.
- g. Requerimientos de personal.
- h. Densidad del tráfico y condiciones de tránsito y movilidad.
- i. Las actividades requeridas para prestar el servicio con las calidades señaladas en este documento y la normativa existente.
- j. Análisis económico y/o financiero donde se consideren escenarios, con el propósito de prestar el servicio con las calidades requeridas y con la mayor eficiencia.

Una vez realizada dicha valoración, se compara con los costos que se tendrían mediante barrido manual y se determina la selección de la respectiva alternativa.

Los vehículos que realizan actividades de gestión de residuos dentro del servicio público de aseo en las actividades de recolección y transporte de residuos, deben cumplir con las características señaladas en la normatividad vigente y adicionalmente cumplir con lo siguiente:

1. Los vehículos de recolección y transporte deben ser estancos es decir, no permitir el escape de líquidos, sólidos o gases concentrados dentro del mismo.
2. El vehículo de recolección debe ser motorizado y estar identificado claramente.
3. Por razones de seguridad industrial para el personal, el escape (exhosto) debe tener su punto de emisión colocado hacia arriba y por encima de la altura máxima de la unidad de almacenamiento de residuos. Se deberá cumplir con las demás normas vigentes para emisiones atmosféricas y ajustarse a los requerimientos de tránsito.
4. Los vehículos con caja compactadora deben tener un sistema de compactación que pueda ser detenido en caso de emergencia.
5. Las cajas compactadoras de los vehículos destinados a la recolección y transporte de los residuos sólidos, deben ser de tipo cerrado, de manera que impidan la pérdida del lixiviado, y contar con un mecanismo automático que permita una rápida acción de descarga.
6. Los vehículos para la recolección selectiva de fracciones de residuos sólidos aprovechables pueden o no contar con un sistema de compactación, lo cual dependerá de las fracciones que se deseen gestionar.
7. Los vehículos destinados al transporte hacia disposición final y que se cargan en las estaciones de aprovechamiento y en las estaciones de transferencia, no requieren contar con un sistema de compactación en su unidad de almacenamiento. La unidad de almacenamiento de los residuos debe ser estanca y con elementos que permitan su cierre y efectuar un adecuado descargue en el sistema de disposición final de la carga de residuos. No deben tener elementos externos para transporte temporal de personal.
8. Los equipos destinados para la recolección de las diferentes fracciones de residuos deben tener estribos y soportes adecuados para que el personal pueda acceder a la tolva de carga en forma segura; así mismo deben tener superficie antideslizante y elementos de sujeción.

9. Los equipos deben efectuar rápidamente la carga y la descarga de los residuos almacenados en las cajas (cerradas y abiertas), para evitar al máximo la dispersión de los residuos sólidos y la emisión de polvos en los diferentes sitios de gestión.
10. Durante el transporte, los residuos deberán estar cubiertos dentro de los vehículos, de modo que se reduzca al mínimo al contacto con la lluvia y el viento, y se disminuya el impacto visual.
11. Las dimensiones de los vehículos deben corresponder a la capacidad y dimensión de las vías públicas, permitiendo alternar con sistemas no convencionales.
12. Deben garantizar la seguridad ocupacional de los conductores y operarios.
13. Deben estar dotados con equipos contra incendios y accidentes.
14. Deben estar dotados de dispositivos que minimicen el ruido, especialmente aquellos utilizados en la recolección de los residuos sólidos en zonas residenciales y en las vecindades de hoteles, hospitales, centros asistenciales e instituciones similares.
15. Deben estar provistos de un equipo de comunicaciones que se utilizará para la operación en los diferentes componentes del servicio.
16. Deben estar claramente identificados (color, logotipos, número de identificación, etc.)
17. Se recomienda que cuenten con equipos de compactación de residuos sólidos.

Cuando por condiciones del estado, capacidad y dimensión de las vías públicas, dificultades de acceso o condiciones topográficas o meteorológicas adversas no sea posible la utilización de vehículos con las características antes señaladas, se deberá seguir lo establecido en la normativa vigente para la definición, evaluación e implementación de sistemas alternos.

Los equipos, accesorios y ayudas de que estén dotados los vehículos destinados para transporte de residuos sólidos deben funcionar permanentemente en condiciones adecuadas para la prestación del servicio, para lo cual se someterán a revisión periódica de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

Los vehículos de recolección y transporte de residuos sólidos deben lavarse al final de la jornada. El lavado no puede efectuarse en áreas públicas y estará sometido a las reglamentaciones que al respecto fije la autoridad competente.

F3.3.4 Diseño de rutas

F3.3.4.1 De recolección

Las personas prestadoras del servicio deben establecer las macrorrutas y microrrutas que deben seguir cada uno de los vehículos recolectores en la prestación del servicio, de acuerdo con las normas de tránsito y las características físicas y topográficas de las calles del municipio. Estas rutas deben permitir cumplir con eficiencia la asignación de recursos físicos y humanos para lograr la productividad de un servicio competitivo.

Para el diseño de las macrorrutas se recomienda seguir la siguiente metodología:

- a. Definir espacialmente, empleando planos topográficos y de infraestructura vial, la zona a servir, teniendo en cuenta los planes de desarrollo de cada municipio. Deben conocerse también las redes de servicio público existentes.
- b. Incluir en el plano las toneladas diarias de residuos sólidos por cada vivienda ó contenedor, de acuerdo con el sistema de recolección previamente escogido.
- c. Subdividir el área en zonas que en lo posible tengan el mismo uso, por ejemplo: residencial, comercial, industrial, etc.
- d. Asignar a cada subárea una o más microrrutas. Esta asignación debe en lo posible limitar el paso por cada calle a una vez y en general deben considerarse las recomendaciones para el diseño de microrrutas.

Para el diseño de microrrutas deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. La microrruta debe comenzar en el punto más cercano al garaje del vehículo y terminar en el punto más cercano al sitio de disposición final de los residuos sólidos.
2. Los residuos localizados en zonas de congestión vial se deben recoger a una hora del día tal que no haya congestiones de tráfico que retrasen el recorrido o que no se generen problemas de flujo en el tránsito por su presencia.
3. El diseño de la microrruta debe minimizar los giros en “U” y los giros a la izquierda.
4. La microrruta debe promover que el recorrido de las calles sea en el sentido de las manecillas del reloj.

5. La microrruta debe ser continua, es decir que contenga una serie de calles sin zonas muertas o traslapadas con calles correspondientes a otras rutas.
6. Las microrrutas correspondientes a una misma zona de servicio deben en lo posible recolectar un mismo número de cargas diarias, lo que le da flexibilidad al servicio.
7. Las vías cerradas deben ser recolectadas así: desplazamiento en reversa y recolección en marcha adelante.
8. En lo posible, las microrrutas deben diseñarse para que empiecen y terminen cerca de calles de tráfico alto, utilizando las barreras topográficas y físicas como bordes de la macrorruta.
9. En zonas de laderas y de alta pendiente del terreno, la recolección debe empezar en la parte más alta y continuar cuesta abajo mientras se cargan los vehículos.
10. En calles de alta pendiente, la recolección empezará en la parte más alta y, si se deben recoger ambas aceras, el conductor viajará cuesta abajo mientras el personal recolector carga el camión.
11. En caso de recolección en ambas aceras, deben preferirse rutas derechas con pocos giros.
12. El conductor o jefe de cuadrilla debe contar con una carta de recorrido o microrruta preestablecida al momento de iniciar los servicios; ésta debe ser susceptible de adaptarse a medida que la cuadrilla descubra mejores formas de realizar el servicio (reducción de tiempo y consumo de combustible).
13. Deben minimizarse los tiempos muertos y recorridos improductivos.
14. Deben considerarse las condiciones de tránsito real y futuro.
15. Debe considerarse la cantidad de residuos de los grandes generadores, teniendo en cuenta el censo.
16. Incluir en el análisis los usos del suelo y las características de los generadores específicos asentados en las diferentes áreas.
17. Evaluar y tener presente las alturas máximas permisibles en puentes vehiculares y peatonales, así como de infraestructura de comunicaciones, eléctrica y alumbrado público.
18. La selección de los equipos de recolección deberá considerar el cálculo de las cantidades de residuos sólidos que se van a recoger por cada microrruta.

Cuando el sistema de transporte se encuentre en operación, la ruta diseñada debe ser rectificadas en conjunto con el conductor del vehículo de recolección.

F3.3.4.2 De barrido manual y mecánico

Las microrrutas del proceso de barrido manual y mecánico y de limpieza de áreas públicas, deben diseñarse teniendo en cuenta las siguientes consideraciones y metodología:

- a. Se deben señalar en un plano las microrrutas con horarios de recolección de residuos presentados por los usuarios.
- b. Las macrorrutas de barrido manual y mecánico y de limpieza de áreas públicas, deberán corresponder al área geográfica que la cuadrilla o el equipo mecánico barre en una semana, las microrrutas deben corresponder a los kilómetros de cuneta que la cuadrilla o el equipo mecánico barre en un día, y deben ser diseñadas de tal forma que permitan cumplir con eficiencia la asignación de recursos físicos y humanos para lograr la productividad de un servicio competitivo.

Para el diseño de las macrorrutas se recomienda seguir la siguiente metodología:

- a. Definir espacialmente, empleando planos topográficos y de infraestructura vial, la zona a servir, teniendo en cuenta los planes de desarrollo de cada municipio o distrito. Deben conocerse también las redes de servicio público existentes.
- b. Incluir en el plano la longitud de los diferentes componentes de la infraestructura vial (calles, carreras, transversales, avenidas, etc.) según sea el caso, describiendo tipo de terminado de la vía: pavimentada, sin pavimentar, y su estado.
- c. Subdividir el área en zonas que en lo posible tengan el mismo uso, por ejemplo: residencial, comercial, industrial, etc., en todo caso, en el plano se debe describir el uso.
- d. Asignar a cada área una o más microrrutas.

Para el diseño de microrrutas, debe considerarse que la cuadrilla de barrido manual debe estructurarse de tal forma que siempre existan 2 frentes de trabajo, uno por cada cuneta de la vía y para barrido mecánico se debe diseñar la microrruta de tal forma que el equipo pueda atender ambas cunetas de la vía en el mismo día y tenerse en cuenta además las siguientes recomendaciones:

- a. Sobre el plano se trazarán las posibles microrrutas. Cada microrruta será el equivalente al barrido realizado por cada cuadrilla o el equipo mecánico en un día.
- b. La microrruta debe ser continua, es decir que contenga una serie de calles sin zonas muertas o traslapadas con calles correspondientes a otras microrrutas.

- c. El barrido de vías cerradas lo deberá realizar el frente de trabajo que le corresponda, haciendo el desplazamiento desde la vía principal y por la cuneta que le corresponda hasta la última vivienda, devolviéndose por la cuneta de enfrente hasta llegar nuevamente a la vía principal, para continuar su trayecto normal.
- d. Sobre el plano y trazado de la ruta de recolección se señalarán los usos del suelo (residencial, industrial, comercial, institucional), tipo de terminado de la vía: pavimentada, sin pavimentar, y su estado, y generación promedio en toneladas por kilómetro.
- e. Con base en el tipo de vía y usos del suelo, se definirá el rendimiento de barrido y limpieza de la cuadrilla y del equipo mecánico en horas por kilómetro (h/Km) y en kilogramos por kilómetro por día (Kg/Km – día).
- f. Con base en el rendimiento de barrido, se medirá sobre la ruta proyectada la distancia que deberán barrer los operadores o el equipo mecánico en 8 horas, identificándose de esta manera la microrruta de barrido.
- g. Este procedimiento, se realizará hasta culminar la ruta proyectada, identificándose de esta manera el número de microrrutas.
- h. El total de microrrutas se dividirá en 6 días de barrido por semana, determinándose de ésta manera el número de cuadrillas que deben realizar el barrido manual y mecánico de vías y la limpieza de áreas públicas.
- i. Con base en el número de cuadrillas se identificará en el plano, el día que se prestará el servicio, los sitios de inicio y final del barrido en un día y, la identificación cada hora del sitio por donde pasará la cuadrilla.
- j. El día y horario obtenido deberán hacer parte del contrato de condiciones uniformes.
- k. En los casos de parques y áreas públicas se deberá tomar una longitud promedio realizando el siguiente análisis: la calle equivaldrá a la longitud de vía y la carrera se dividirá en tantas partes proporcionales de 6 metros. La longitud total de la cuneta a barrer equivalente, será el resultado de multiplicar las partes resultantes por la longitud de la calle.

Los lineamientos para su implementación deben estar contemplados en el PGIRS del municipio o distrito, así como la definición de frecuencias que se tendrán en la prestación del servicio.

F3.4 Cortes de césped y poda de árboles en áreas públicas

F3.4.1 Características de la Actividad

Comprende acciones de renovación, tala, poda, reposición, trasplante, reubicación, raleo o tratamientos químicos o biológicos de especies (incluye el fitosanitario, fertilización y similares) de los especímenes vegetales que se encuentran en áreas públicas, así como las que efectúan particulares al interior de sus predios. Estas acciones conllevan a la generación de varios tipos de residuos que requieren de una gestión diferenciada.

Los residuos de los diferentes insumos como agroquímicos (fertilizantes, plaguicidas, inhibidores, etc.), deben manejarse de acuerdo con las normas de residuos peligrosos.

Las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables generadas, deben reducirse de tamaño, preferiblemente en el sitio de generación o en un área operativa cercana, con el fin de optimizar las condiciones de transporte y reducir riesgos durante el desarrollo de esta actividad. Se pueden emplear diferentes equipos de corte y fraccionamiento, los cuales tienen rangos de operación dependiendo de características tales como el tamaño de las fracciones representado en su diámetro y de la tenacidad del residuo.

F3.4.2 Disposición de los Residuos Sólidos Orgánicos Biodegradables

Los residuos sólidos orgánicos biodegradables generados durante el desarrollo de las actividades descritas, deben someterse a estabilización empleando procesos de tipo biológico, fisicoquímico, térmico o combinación de los anteriores y pueden llevarse a valorización agronómica o energética.

No es posible su envío de forma directa a los rellenos sanitarios para ser dispuestos en el frente de vertido, requiriéndose para ello que el material a depositar se encuentre estabilizado para ser ingresado en el sistema o ser destinado a procesos de aprovechamiento.

Las posibilidades para efectuar su comercialización como un bien con usos potenciales diversos, por ejemplo para su uso agrícola, estarán reguladas de acuerdo con la normativa específica aplicable del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, y deben seguir las directrices establecidas en este Título en el capítulo F.5: Aprovechamiento.

F3.4.3 Frecuencia de Corte de Césped y Poda de Árboles

Se establecerá el catastro de áreas verdes localizadas dentro del perímetro urbano, indicando las especies predominantes y los requisitos para cosecha de estas especies.

TÍTULO F

TRANSPORTE DE RESIDUOS Y ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

4. TRANSPORTE DE RESIDUOS Y ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

F4.1 Alcance

En este capítulo se establecen los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los procesos involucrados con el diseño y operación de las actividades complementarias de transporte y de las estaciones de transferencia de residuos sólidos, con el fin de garantizar su seguridad, funcionalidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad.

Los municipios o distritos al elaborar el Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PGIRS), y/o la empresa operadora del servicio de aseo, deben evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental y definir la necesidad operativa y logística de utilizar estaciones de separación y aprovechamiento o de transferencia, en función de la racionalización de recursos económicos y energéticos, la disminución de los impactos ambientales y el logro de una mayor productividad de la mano de obra y del equipo utilizado.

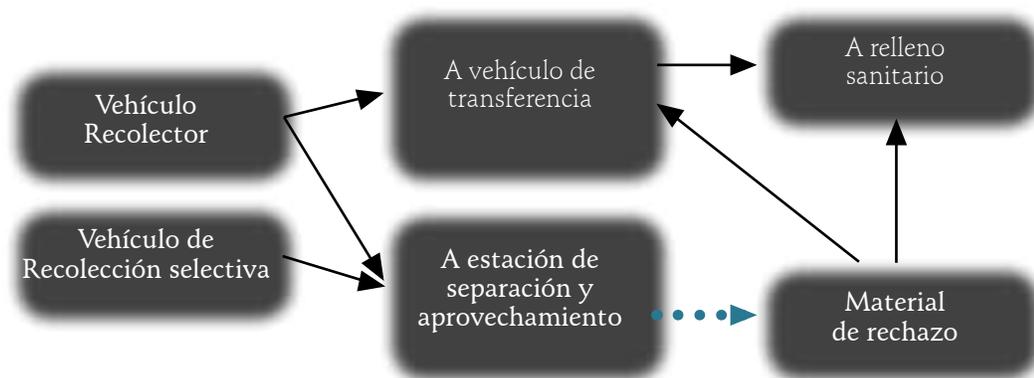
Se incluyen los aspectos que deben tenerse en cuenta para determinar las características de los vehículos recolectores involucrados en la operación y el diseño del sistema de transporte y de las estaciones de separación y aprovechamiento y de estaciones de transferencia. Todas estas como elementos funcionales para incrementar la eficiencia del servicio de recolección, lograr la economía en el sistema de transporte y como posible articulación dentro de proyectos regionales de aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos.

Los requerimientos dados en el desarrollo de este capítulo deben cumplirse en los cuatro niveles de complejidad del sistema, a excepción de los literales donde se especifique lo contrario.

F4.2 Requisitos obligatorios que se deben cumplir en la actividad de transporte

El transporte de los residuos sólidos recolectados ocurre desde donde termina la recolección domiciliaria hasta el sitio de descarga, que puede

ser una estación de transferencia de materiales, una estación de separación y aprovechamiento, un sistema de disposición final tipo relleno sanitario, o un sitio en el cual existan combinaciones de las anteriores alternativas.



Los vehículos recolectores que llegan a la estación de separación y aprovechamiento transportan residuos que han sido recogidos a partir de procesos de separación en la fuente en su respectiva ruta de recolección y transporte selectivo.

Las fracciones de residuos rechazados se trasladan a vehículos recolectores o a vehículos de transferencia para disposición final.

F4.2.1 Características de los Vehículos Recolectores de Residuos Sólidos

Los vehículos empleados en las actividades de recolección y transporte de residuos, dedicados a la prestación del servicio de aseo deberán tener, entre otras, las características definidas en el artículo 49 del Decreto 1713 de 2002 y en el artículo 10 del decreto 3695 de 2009. Adicionalmente, se realizan las siguientes sugerencias:

- En situaciones particulares y especiales, cuando por condiciones de capacidad y dimensiones de acceso o condiciones topográficas no sea posible la utilización de vehículos con las características señaladas en este literal, la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico evaluará la conveniencia de utilizar diseños o tipos de vehículos diferentes previa solicitud del municipio siguiendo los lineamientos definidos en la normativa respectiva para su evaluación, implementación y operación.
- Se recomienda que los vehículos y/o el personal operativo de aquellos municipios o distritos con más de 2500 usuarios en el servicio público

de aseo, estén provistos de equipo de comunicaciones, el cual se utilizará para la operación en los diferentes componentes del servicio, entre ellos es posible el empleo de equipos de telefonía móvil celular.

- c. Así mismo, para los municipios y distritos con más de 6.000 usuarios en el servicio público de aseo o una generación mayor a 450 Mg/mes, es recomendable que cuenten con vehículos de recolección y transporte que tengan incorporados elementos de compactación de los residuos, salvo aquellos que se destinen a la recolección de residuos separados en la fuente con destino a procesos de aprovechamiento y valorización, manejo de escombros, gestión de residuos peligrosos y otros residuos que no sean susceptibles de ser compactados o no se recomiende efectuar dicha actividad con los mismos.

F4.2.2 Características de los Vehículos de Transferencia de Residuos Sólidos hacia la Disposición Final

Los vehículos empleados en las actividades de transporte de residuos desde las estaciones de separación y aprovechamiento y de las estaciones de transferencia, deberán tener, entre otras, las siguientes características:

- a. Los vehículos de transporte deberán ser motorizados, y estar claramente identificados (color, logotipos, placa de identificación, iconos informativos, entre otras características).
- b. Los vehículos y/o el personal operativo deberán estar provistos de equipo de comunicaciones, el cual se utilizará para actividades de logística y coordinación con los otros componentes del servicio.
- c. Los vehículos de transporte podrán o no tener incorporados elementos de compactación de los residuos, lo cual dependerá de las condiciones operativas, la capacidad de la unidad de almacenamiento, las restricciones viales, las condiciones del cargue y descargue de los residuos y la naturaleza física y química de los mismos.
- d. Los vehículos deberán cumplir con las normas vigentes para emisiones atmosféricas y ajustarse a los requerimientos de tránsito incluyendo la revisión técnico - mecánica.
- e. En caso de contar con equipos de compactación, estos deberán tener un sistema de parada de emergencia que detenga totalmente y de forma inmediata la operación del mismo.
- f. Las unidades de almacenamiento de los vehículos destinados al transporte de los residuos sólidos, deberán ser estancos y permitir su cierre o cubierta,

de manera que impidan la fuga y descarga en la vía pública de las aguas resultantes durante el transporte, evitar el arrastre y la dispersión de residuos, de material particulado y de olores, y deben contar con un mecanismo automático que permita una rápida acción de descarga en el sistema de disposición final.

- g. Los equipos deberán posibilitar el cargue y el descargue de los residuos sólidos almacenados de forma tal que se evite la dispersión de estos y la emisión de partículas.
- h. Los vehículos deberán estar cubiertos durante el transporte, de manera que se reduzca el contacto con la lluvia y el viento y, se evite el esparcimiento y el impacto negativo visual y estético.
- i. Las especificaciones de los vehículos deberán corresponder a la capacidad y dimensión de las vías públicas.
- j. Deberán cumplir con las especificaciones técnicas existentes para no afectar la salud ocupacional de los conductores y operarios.
- k. Deberán estar dotados con los equipos de carretera y de atención de incendios.
- l. Deberán estar dotados de dispositivos de control de ruido.

F4.2.3 Características de los Vehículos de Recolección Selectiva

Los vehículos empleados en las actividades de transporte de residuos hacia las estaciones de separación y aprovechamiento, deberán tener, entre otras, las siguientes características:

- a. Las unidades de almacenamiento deben ser cubiertas.
- b. Pueden contar con unidades de compactación dependiendo de la naturaleza de los residuos.
- c. Los vehículos de transporte deberán ser motorizados, y estar claramente identificados (color, logotipos, placa de identificación, iconos informativos, entre otras características).
- d. Los vehículos y/o el personal operativo deberán estar provistos de equipo de comunicaciones, el cual se utilizará para actividades de logística y coordinación con los otros componentes del servicio.
- e. Los vehículos deberán cumplir con las normas vigentes para emisiones atmosféricas y ajustarse a los requerimientos de tránsito incluyendo la revisión técnico - mecánica.
- f. En caso de contar con equipos de compactación, estos deberán tener un sistema de parada de emergencia que detenga totalmente y de forma inmediata la operación del mismo.

- g. Las unidades de almacenamiento de los vehículos destinados al transporte de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables deberán ser estancos y permitir su cierre o cubierta, de manera que impidan la fuga y descarga en la vía pública de las aguas resultantes durante el transporte, el arrastre y la dispersión de residuos, de material particulado y de olores, deben contar con un mecanismo automático que permita una rápida acción de descarga.
- h. Los equipos deberán posibilitar el cargue y el descargue de los residuos sólidos almacenados de forma tal que se evite la dispersión de estos y la emisión de partículas.
- i. Los vehículos deberán estar cubiertos durante el transporte, de manera que se reduzca el contacto con la lluvia y el viento y, se evite el esparcimiento y el impacto negativo visual y estético.
- j. Las especificaciones de los vehículos deberán corresponder a la capacidad y dimensión de las vías públicas.
- k. Deberán cumplir con las especificaciones técnicas existentes para no afectar la salud ocupacional de los conductores y operarios.
- l. Deberán estar dotados con los equipos de carretera y de atención de incendios.
- m. Deberán estar dotados de dispositivos de control de ruido.

F4.2.4 Condiciones de Equipos y Accesorios para Transporte de Residuos Sólidos

Los equipos, accesorios y ayudas de que estén dotados los vehículos destinados para transporte de residuos sólidos, deberán mantenerse siempre en óptimas condiciones de funcionamiento para garantizar la continuidad de la prestación del servicio público de aseo.

F4.2.5 Lavado de los Vehículos y Equipos

Los vehículos de recolección y transporte así como los de transporte y transferencia de residuos sólidos deberán lavarse al final de la jornada diaria. El lavado debe realizarse en sitios diseñados para tal fin por las empresas prestadoras del servicio, que cuenten como mínimo con sistemas de tratamiento preliminar, tales como cribas y rejillas de retención de sólidos voluminosos, cárcamos de recolección de las aguas residuales, unidades de trampas de grasas y aceites y unidades de desarenado.

Esta actividad no puede efectuarse en áreas públicas, ni en fuentes o cuerpos de agua. Los residuos resultantes del proceso deberán someterse a procesos de acondicionamiento y retiro de humedad, con el fin de poderse disponer en el relleno sanitario.

F4.3 Utilización de estaciones de separación y aprovechamiento y de estaciones de transferencia

Cuando el municipio o distrito o la empresa prestadora del servicio de aseo considere necesario establecer estaciones de separación y aprovechamiento o estaciones de transferencia, se debe realizar el estudio de factibilidad, el cual debe incluir las evaluaciones técnica operativa, jurídica, comercial, ambiental y sociocultural, institucional, financiera, y económica.

El objetivo de las estaciones de transferencia es incrementar eficiencia en la gestión integral de residuos al optimizar costos de recolección y transporte especialmente en regiones en donde los sitios de disposición final son distantes o donde se realice aprovechamiento regional.

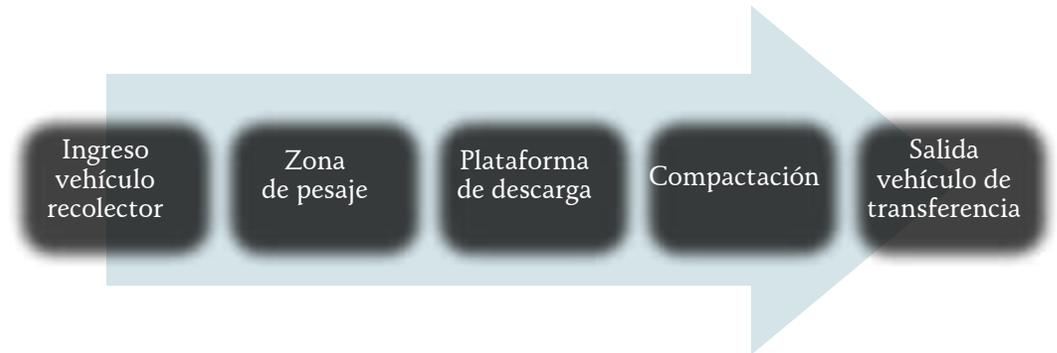
El objetivo de las estaciones de separación y aprovechamiento consiste en incrementar eficiencia en los procesos de valorización de materiales asociados con la recolección y transporte selectivo de residuos sólidos separados en la fuente. Pueden presentar economías de escala considerables si se analizan combinadamente con la disminución de costos asociados al transporte.

Las estaciones de transferencia convencional son instalaciones de construcción simple que reciben de vehículos recolectores, residuos sólidos que se trasladan a vehículos con mayor capacidad que van hacia sitios de disposición final; son la mejor alternativa con residuos de alta y media densidad (400 Kg/m^3 , promedio en los recolectores con equipos de compactación).

En estas estaciones los residuos son transferidos en su estado original, no reciben ningún procesamiento; excepto la compactación y enfardamiento. El funcionamiento de este tipo de estación, puede ser directa o indirecta según el tipo de descarga:

Directa: Los vehículos recolectores descargan los residuos directamente en vehículos de transferencia, que pueden ser de tipo volqueta o fondo móvil. Requieren la disponibilidad permanente de un vehículo de transferencia para evitar tiempos de espera del vehículo recolector.

Indirecta o almacenada: Los vehículos recolectores descargan en sitios de almacenamiento que puede ser en patios o en fosos, estos pueden ser mecanizados para aumentar la compactación y traslado por medio de correas transportadoras o puentes grúas para cargar los vehículos de transferencia.



Las estaciones de separación y aprovechamiento incorporan valor agregado a los residuos separados en fuente que van hacia procesos de aprovechamiento. Se llevan a cabo actividades de selección más detallada según el tipo de material y procesos de compactación, trituración o granulado para facilitar su transporte a plantas de aprovechamiento y valorización o venta directa.

Las estaciones de transferencia también pueden ser estaciones de separación y aprovechamiento.

F4.3.1 Requisitos obligatorios que deben cumplir las estaciones de separación y aprovechamiento y de transferencia

En su localización y construcción se deben tener en cuenta los usos del suelo definidos en el plan de ordenamiento territorial.

Los elementos mínimos a considerar deben ser:

- a. Evaluación técnica operativa. Debe determinarse de acuerdo a la frecuencia y cantidad de material recibido y los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores, así mismo, se debe evaluar el tipo de infraestructura que permita el manejo adecuado de cada una de las actividades y elementos necesarios para la operación ya sea orientada a disposición final o a procesos de aprovechamiento y valorización tales como área de pesaje y registro, zona de carga, plataformas de descarga y unidades de separación manual, mecánica o automatizada.
- b. Evaluación jurídica. Debe cumplirse la normatividad vigente para el tema en especial la relacionada con licencias, permisos, impuestos, contratación de presentarse.

- c. Evaluación comercial. Debe determinar la demanda actual y futura del proyecto, posibles esquemas de competencia, identificación de los montos a ser aplicados en la tarifa de acuerdo al esquema aprobado por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA y estrategias de divulgación. En el caso de aprovechamiento se debe establecer el esquema de comercialización considerando el mercado.
- d. Evaluación ambiental y sociocultural. Deben evaluarse los posibles impactos generados sobre el componente físico (aire, agua, suelos), el componente biótico (flora y fauna) y el componente antrópico. Debe haber participación directa de las comunidades en la determinación de los posibles impactos generados sobre la comunidad, mediante el empleo de los mecanismos establecidos en la normativa e igualmente es recomendable realizar el respectivo proceso de socialización con la comunidad asentada en el área de influencia directa del proyecto. Se debe contar con las autorizaciones ambientales por el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables que se requieran.

Como resultado de esta evaluación, se recomienda de forma complementaria, formular las medidas de protección del medio ambiente que incorpore para cada uno de los impactos que se identifiquen las correspondientes acciones para prevenirlos, mitigarlos, compensarlos y/o corregirlos, siguiendo los lineamientos establecidos en el Título I del RAS: Componente ambiental y fichas técnicas de buenas prácticas para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo.

- e. Evaluación institucional. Deben analizarse la estructura interna del proyecto, el personal que lo va a manejar y las relaciones ínter y intra institucionales que influyen en el funcionamiento del proyecto, así como la voluntad política que permita la sostenibilidad.
- f. Evaluación financiera. Se deben establecer los costos para los usuarios considerando costos de adquisición, gastos de operación incluyendo mano de obra e inversiones requeridas para la operación y mantenimiento de la infraestructura y de los vehículos de transferencia, igualmente el esquema de ingresos que el mismo generará; con el fin de identificar la rentabilidad financiera y sostenibilidad del proyecto.
- g. Evaluación económica. Se debe evaluar la contribución de la puesta en marcha de la estación de separación y aprovechamiento o estación de transferencia al bienestar económico.

Está prohibida la transferencia de los residuos sólidos en sitios diferentes a las estaciones de transferencia.

F4.3.2 Recomendaciones Generales de Diseño y Construcción de Estaciones de Separación y Aprovechamiento y Estaciones de Transferencia

Para el diseño y construcción de las estaciones de separación y aprovechamiento y estaciones transferencia, deben considerarse como mínimo los siguientes parámetros:

- a. Caracterización de los residuos a manejar, lo que incluye: cantidad, composición, frecuencia de generación, peso, volumen, densidad aparente y real.
- b. Cantidad de residuos separados en la fuente, con recolección y transporte selectivo (aplica para estaciones de transferencia con separación y adecuación de materiales o plantas de tratamiento).
- c. Flujo del proceso de los residuos hacia la estación.
- d. Cantidad, tipo y características de los vehículos recolectores a utilizar.
- e. Horarios de inicio y terminación de la jornada diaria de trabajo.
- f. Sitio de disposición final y tipo de método para la operación a utilizar: distancias efectivas, tiempos de desplazamiento y restricciones específicas de tránsito; y en lo posible, que se encuentren en la ruta al sitio de disposición final.
- g. Capacidad de la estación de separación y aprovechamiento o de la estación de transferencia.
- h. En el diseño se debe incluir zona de amortiguamiento, suficiente espacio para parqueo, zona de espera de turnos de descargas.
- i. Debe tener acometidas de servicios públicos y estar techado.
- j. Cantidad, tipo y características de los vehículos de transferencia.
- k. Capacidad de los vehículos de transferencia.
- l. Tiempo de carga de los vehículos de transferencia.
- m. Horario de llegada de los vehículos recolectores a la estación.
- n. Sistemas de tratamiento, monitoreo y control ambiental: métodos de aislamiento y retiro del entorno, de olores y emisiones fugitivas, de vertimiento de aguas residuales, de residuos, de ruido y vibraciones, de protección del suelo y aguas subterráneas, y pozos de monitoreo.
- o. Manual de diseño

F4.3.3 Manual de Operación con la Respectiva Descripción de Funciones y Perfil Operativo Requerido de Acuerdo al Flujo de Proceso. Condiciones de Localización y Funcionamiento

La localización y el funcionamiento de estaciones de separación y aprovechamiento o de estaciones transferencia de residuos sólidos deben sujetarse, como mínimo, a las siguientes condiciones:

- a. Localización de conformidad con los usos del suelo previstos por las autoridades municipales en el plan de ordenamiento territorial (POT, PBOT o EOT), así como con lo establecido en el PGIRS municipal o distrital.
- b. No estar localizadas en áreas de influencia directa de establecimientos educativos, hospitalarios y de salud, instalaciones militares, instalaciones de preparación y transformación de alimentos, instalaciones de formulación y elaboración de medicamentos y fármacos y, otros con cuyas actividades sean consideradas como incompatibles por razones de riesgo tecnológico.
- c. Disponer de vías de fácil acceso para los vehículos, minimizando potenciales afectaciones en el tráfico vehicular normal de la zona, preferiblemente incluyendo carriles de aproximación.
- d. No obstaculizar el tránsito vehicular o peatonal, ni causar problemas de valoración paisajística o afectaciones al espacio público.
- e. Operar bajo techo cubierto en las zonas de descargue y cargue de los residuos y contar con cerramientos internos que impidan fugas de partículas.
- f. Contar con un sistema definido de cargue y descargue de residuos.
- g. Disponer de un sistema alternativo para operación en casos de fallas o emergencias.
- h. Tener un sistema de pesaje y registro acorde con la capacidad operativa de la estación.
- i. Contar con un sistema de suministro de agua en cantidad suficiente para realizar actividades de lavado, limpieza y desinfección de la estación y de los vehículos.
- j. Cumplir con la normatividad ambiental vigente en lo relacionado con permisos de vertimientos, concesiones de agua, permiso de aprovechamiento forestal y emisiones atmosféricas, en caso de que se requieran debido a las características de los procesos a implementar.
- k. No generar riesgos para la salud humana ni afectaciones graves al ambiente.
- l. Disponer de comunicaciones y de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica.

- m. Contar con sistemas de suministro de aire externo y de succión del aire del interior de la estación, así como de un sistema de adsorción de gases previo al venteo, que minimice emisiones fugitivas de olores y de gases y vapores a la atmósfera.
- n. Contar con detectores de humo y fuego, red contra incendios y sistema de recolección y almacenamiento de aguas contra incendios.
- o. Implementar una barrera perimetral que minimice la interacción desde y hacia el exterior de las instalaciones.
- p. Ejecutar un programa de control de vectores.
- q. Contar con capacidades de almacenamiento temporal de al menos 3 días y máximo de 10 días, la cual se considera para utilizar en condiciones de contingencia en el servicio público de aseo.
- r. Poseer sitios definidos de depósito de los materiales separados, aprovechados y/o valorizados. Esto es aplicable solo en caso de que el aprovechamiento y/o valorización sea considerado como viable de acuerdo con los resultados de un estudio de evaluación previo.
- s. Los pisos deben estar impermeabilizados, las juntas de paredes y pisos deben ser redondeadas y permitir el fácil aseo de las superficies y deben contar con un sistema de cárcamos y drenajes que permita la captación y el transporte de las aguas residuales generadas en el proceso.
- t. Se sugiere contar con un plan de gestión ambiental (PGA) de autocontrol y autorregulación, el cual permita minimizar los impactos ambientales negativos en la zona de influencia de la estación.
- u. Obtener previamente a la realización de la actividad los permisos de vertimientos, emisiones y de concesión de aguas, aprovechamiento forestal, así como el pago de las tasas retributivas y hacer la inversión forzosa del 1% (en caso de que aplique).
- v. Las demás que indiquen las normas vigentes.

F4.3.4 Minimización de Impactos Ambientales en las Estaciones de Separación y aprovechamiento o en las Estaciones de Transferencia

Con el fin de minimizar los impactos ambientales generados por el diseño, la construcción y la operación de las estaciones de separación y aprovechamiento o de transferencia, se debe cumplir con las siguientes obligaciones, entre otras:

- a. El diseño arquitectónico de la estación de separación y aprovechamiento o de transferencia debe ser completamente cerrado en las áreas de carga y descarga de residuos.
- b. Los materiales de construcción de pisos, paredes y techos deben ser de fácil mantenimiento y limpieza.
- c. Contar con equipos de ventilación y extracción de aire, los cuales deben tener los correspondientes elementos de tratamiento.
- d. Disponer de equipos para el control de incendios.
- e. Realizar el control y llevar registro diario de la operación de acuerdo al manual de operación de la estación.
- f. Disponer, en la estación, de sistemas para el lavado, limpieza, desinfección y fumigación de los vehículos, equipos, herramientas y maquinaria.
- g. Disponer de sistemas de pretratamiento y/o tratamiento completo de las aguas residuales que genere dando cumplimiento a la normativa ambiental vigente.
- h. Deben implementarse al menos 3 pozos perimetrales a la estación para el monitoreo de posibles fugas e infiltraciones de aguas residuales, así como para el control y seguimiento de la escorrentía subsuperficial y de las aguas subterráneas. Cada uno de los pozos debe tener al menos una profundidad de 10 metros.

Para la operación de las estaciones se debe contar con los respectivos manuales de operación, de mantenimiento preventivo, de seguridad industrial y de salud ocupacional (SI&SO).

Se deberá disponer de un plan de contingencia que permita el normal funcionamiento de las operaciones de transferencia, en caso de falla o emergencia en el sistema.

F4.3.5 Vehículos de Transporte desde las Estaciones de Separación y aprovechamiento o Estaciones de Transferencia

Las personas prestadoras del servicio de aseo deben determinar el número mínimo de vehículos con la capacidad de carga y considerando las limitantes de carga máxima establecida por el Ministerio de Transporte y los requerimientos de compactación necesarios para el proceso de transferencia, de tal forma que se puedan transportar en el horario de trabajo normal todos los residuos sólidos recolectados, sin permitir que estos se acumulen de forma inapropiada, de tal forma que no se generen focos de contaminación ambiental y de perturbación del bienestar ciudadano y de la comunidad.

F4.4 Recomendaciones específicas para el diseño de estaciones de separación y aprovechamiento y estaciones de transferencia

El diseño de estaciones de separación y aprovechamiento y estaciones de transferencia debe obedecer a un estudio de volúmenes y composición de los residuos sólidos que llegarán a la estación y además su flujo y frecuencia. Entre los parámetros de diseño deben considerarse adicionalmente a los criterios climatológicos y topográficos, los siguientes:

F4.4.1 Producción y Características de los Residuos

Deben evaluarse las cantidades producidas y recolectadas en diferentes zonas de la ciudad y las proyecciones para el período de vida útil de la estación de separación y aprovechamiento o de transferencia, así como las variaciones entre invierno y verano. Las características más importantes por cuantificar son:

- a. Peso.
- b. Volumen.
- c. Humedad.
- d. Composición de los residuos sólidos.
- e. Flujo de residuos hacia la estación en la unidad de tiempo, considerando periodos críticos de baja y alta generación.
- f. Cantidad de residuos que van a disposición final y cantidad, frecuencia y tipo de residuos que van a ser tratados con fines de aprovechamiento.

F4.4.2 Servicio de Recolección

Deben conocerse las siguientes características del servicio de recolección:

- a. Cantidad de vehículos recolectores que utilizarán la estación.
- b. Tipo de vehículos recolectores.
- c. Estado operativo de los vehículos recolectores.
- d. Capacidad de carga de estos vehículos.

- e. Frecuencia de la recolección.
- f. Horarios de inicio y terminación de la jornada diaria de trabajo.
- g. Estructura de las macro y microrrutas.

F4.4.3 Sitio y Tipo de Disposición Final

La evaluación y análisis sobre los sistemas de disposición final debe suministrar información sobre la ubicación actual y futura de los sitios de disposición final y los métodos utilizados en ellos.

F4.4.4 Sistema Vial y Zonificación

Las instituciones y entidades gubernamentales competentes deberán suministrar información sobre la red vial desde la estación de separación y aprovechamiento ó de la estación de transferencia hasta el sitio de descarga o disposición final, según las alternativas de gestión que se definan para los residuos: aprovechamiento y valorización, tratamiento o disposición final, que contenga:

- a. Vías que deben recorrer los vehículos de transferencia hasta el sitio.
- b. Tipo de pavimento de las vías.
- c. Estado de conservación de las vías.
- d. Existencia de puentes, pasos a nivel, curvas horizontales y verticales.
- e. Distancia de recorrido hasta el sitio de disposición final.
- f. Tiempo de recorrido normal hasta el sitio de disposición final.
- g. Restricciones de tránsito, especiales o particulares.

F4.4.5 Ubicación de los Centros de Gravedad

La optimización de la localización de las estaciones de separación y aprovechamiento o de transferencia depende de la ubicación espacial del centro de gravedad el cual puede estar referenciado en función de: el área geográfica a atender, la distribución de los usuarios y generadores de residuos, la distribución poblacional y la localización del sistema de disposición final.

La información deberá registrarse en los planos de planta de la ciudad, que serán la principal referencia para la futura estación de separación y aprovechamiento o de transferencia. Para definir los centros de gravedad puede utilizarse cualquier método técnicamente válido, aprobado por el ICONTEC o por métodos normalizados internacionalmente.

A partir de la localización de los centros de gravedad, se establece un espacio geográfico en el cual se califica como factible la localización de la estación, el cual estará condicionado por la presencia de suelo de uso residencial o de infraestructura sensible (establecimientos educativos, hospitalarios y de salud, instalaciones militares, instalaciones de preparación y transformación de alimentos, instalaciones de formulación y elaboración de medicamentos y fármacos), la disponibilidad de accesos y conectividad vial y la disponibilidad de servicios públicos, y potencializado por la presencia de suelo de uso industrial según el plan de ordenamiento territorial (POT, PBOT o EOT).

A esto se suman los resultados de la modelación general de dispersión de contaminantes en condiciones atmosféricas adversas (estabilidad, velocidad y dirección del viento).

F4.4.6 Requerimientos Mínimos de Estaciones de Separación y aprovechamiento y Estaciones de Transferencia según el Tipo

La clasificación de las estaciones de separación y aprovechamiento o de transferencia obedece al sistema de carga empleado en el llenado de los vehículos de transferencia. Las estaciones deben cumplir con las características mínimas definidas en los numerales siguientes, de acuerdo con su tipo:

- a. Carga directa. En este tipo de estación el contenido de los vehículos recolectores se descarga directamente sobre los vehículos de transferencia y siempre debe haber un vehículo de transferencia en condiciones operativas de recibir los residuos de los vehículos recolectores que van llegando. No se deben generar filas de vehículos recolectores en las horas pico, de modo que afecten el tráfico vehicular en los alrededores de la estación de separación y aprovechamiento o transferencia. En caso de definirse la necesidad de compactación de los residuos, esta actividad se puede efectuar a través de equipos que realicen esta operación antes de cargar los vehículos de transferencia, los cuales son normalmente tractocamiones de caja abierta.
- b. Carga almacenada. En este tipo de estación, el vaciado de los residuos que entregan los vehículos recolectores se debe realizar en un foso o patio de almacenamiento, con capacidad mínima de almacenamiento de 3 días y máximo de 10 días. Los fosos pueden tener el sistema de fondo móvil con correas transportadoras que llevan los residuos sólidos a una altura que permita cargar los vehículos de transferencia o hacia los sistemas de separación implementados. Otro sistema que puede utilizarse es el de

puentes - grúas para remover los residuos del foso y cargar los vehículos de transporte o el sistema de separación implementado. Para la alternativa de descarga en patios, se pueden emplear diferentes equipos para mover los residuos y cargar los vehículos de transporte o el sistema de separación implementado.

En caso de que los vehículos de transferencia se encuentren por debajo del patio, deben utilizarse equipos y herramientas técnicamente diseñados para cumplir eficientemente con la función de carga y traslado de los residuos, considerando las condiciones de las superficies de desplazamiento, la capacidad de carga del piso, la capacidad de las unidades de recibo y el tiempo efectivo de operación.

- c. Combinada. En este tipo de estación se utilizan los sistemas de carga directa y almacenada y los requisitos son los mismos descritos para las anteriores.

La definición de compactación queda condicionada operativamente por los límites establecidos por el Ministerio de Transporte para el peso de los vehículos en carretera y por la capacidad de la unidad de almacenamiento.

F4.4.7 Capacidad de la Estación de Separación y Aprovechamiento o de Transferencia

La capacidad de la estación de separación y aprovechamiento o de transferencia debe ser tal, que los vehículos de recolección nunca llenen el patio de descarga, ni se formen líneas de espera que generen a estos vehículos tiempos improductivos muy largos que impliquen retrasos en el cumplimiento de sus rutas de recolección.

Debe realizarse un análisis económico, que permita determinar la capacidad de la estación para manejar el mayor número de cargas por hora de los vehículos de transferencia. La capacidad de la estación debe ser diseñada teniendo en cuenta economías de escala en el costo de construcción, costos de capital y costo de los vehículos de transferencia requeridos para un funcionamiento óptimo según la capacidad adoptada. En ningún caso la capacidad de almacenamiento deberá exceder el volumen de residuos de 10 días.

F4.4.8 Vehículos de Transferencia

Si la estación no tiene sistema de acumulación, la determinación del número mínimo de vehículos de transferencia se hará en función de las siguientes características:

- a. Capacidad de los vehículos de transporte.
- b. Tiempos de ida y vuelta de la estación a los sitios de disposición final.
- c. Tiempo de carga de los vehículos de transporte.
- d. Horario de llegada de los vehículos recolectores.

Si se cuenta con un sistema de acumulación de residuos en la estación, la capacidad de dicho sistema se debe determinar con base en la programación del horario de llegada de los vehículos recolectores. De igual manera, las horas de funcionamiento de la estación pueden y deben ser diferentes del horario normal de recolección, pero deben estar acordes con la programación de horarios de llegada de los recolectores. Así, el número de vehículos debe definirse en función del tiempo de carga, el tiempo de ida y vuelta al sitio de descarga o al sistema de disposición final, la capacidad del vehículo, la cantidad total de residuos sólidos a ser transportada por día y horario de funcionamiento de la estación, que puede ser hasta de 24 horas por día, y el horario de funcionamiento del sitio de descarga o disposición final, según las alternativas de gestión que se definan para los residuos: aprovechamiento, tratamiento o disposición final.

F4.4.9 Requisitos para Equipos

Los equipos de compactación y de alimentación (v. gr. silo con placa de empuje, puente grúa, bandas transportadoras) deben definirse de acuerdo con:

- a. Capacidad horaria requerida según los estudios técnicos y financieros que se realicen.
- b. Características del equipo: dimensiones, modelo, etc.
- c. Disponibilidad de servicios públicos locales.
- d. Restricciones de peso de vehículos de carga en carretera definidas por el Ministerio de Transporte.

F4.4.10 Instalaciones Auxiliares

Las estaciones de separación y aprovechamiento y las estaciones de transferencia deben contar al menos con las siguientes instalaciones auxiliares: instalaciones de mantenimiento, instalaciones de comunicación, controles de contaminación, instalación de suministro de potencia, instalaciones para el personal (unidades de aseo, servicios sanitarios, áreas de cambio de ropas, etc.) e instalaciones generales. Se presentan a continuación los requisitos que deben tener cada una de ellas:

- a. Sistema de pesaje. Toda estación debe contar con al menos una báscula para controlar la operación y tener un registro de datos significativos de la

gestión e ingeniería, así como para el control de los residuos recibidos por cada prestador del servicio; si la estación de separación y aprovechamiento o transferencia es de carácter regional, además de las básculas, el sistema de pesaje debe contar con oficina, en la cual se cuente con el sistema de registro y archivo temporal.

- b. Instalaciones de mantenimiento y lavado. Es fundamental que haya un taller de electromecánica, que cuente con equipos y herramientas para reparación de neumáticos e instalaciones para el engrase y lavado de los vehículos antes de salir de la estación.
- c. Instalaciones de comunicación. Deben existir medios de comunicación entre el patio de descarga de los camiones recolectores y el patio donde se estacionan los vehículos de transferencia. De ser necesario, deben instalarse semáforos en los sitios de descarga para indicar a los camiones recolectores su turno y posición de descarga. Debe tenerse un sistema de comunicación entre la estación y los vehículos de transferencia.
- d. Instalaciones para el control de la contaminación. Para controlar olores deben lavarse diariamente los sitios donde puedan acumularse los residuos sólidos. En la zona de descarga de los residuos sólidos deben instalarse extractores de aire en número suficiente para controlar emisiones fugitivas de gases y vapores, y de polvo (material particulado) complementados con sistemas de adsorción y contar con el permiso de emisiones atmosféricas. Si se prefiere, se pueden realizar actividades de asperjado (rociar agua) sobre los sitios donde se origina el polvo. Para evitar la mezcla de lixiviados con grasas producto del lavado de los vehículos, debe construirse el sistema de cárcamos, trampa de grasas y desarenadores, así como la implementación de rejillas y cribas.
- e. Instalación de suministro de potencia. El sistema de suministro de potencia debe suplir al menos las necesidades energía de la mitad de los equipos de la estación.
- f. Instalaciones para el personal. Los baños, comedores y vestuarios deben diseñarse de acuerdo con el número de trabajadores (operarios y empleados, así como de los conductores de los vehículos). De igual manera se requiere determinar la ubicación y diseño de talleres mecánicos, caseta de báscula, oficinas administrativas, oficina del jefe de la estación, etc.
- g. Instalaciones generales. A este grupo pertenecen las instalaciones de prevención y control de incendios e instalaciones de protección de descargas eléctricas como rayos (descargas atmosféricas) y electricidad estática. Su diseño deberá corresponder a la magnitud de la planta.
- h. Instalaciones de atención de primeros auxilios. Los establecimientos con más de 2.000 m², deben contar con un espacio físico dotado con implementos básicos de enfermería. Este espacio debe ser de fácil acceso al público; estar debidamente señalizado; contar con una adecuada iluminación, ventilación y/o aireación; los materiales utilizados para el

piso y paredes deben ser lavables; deben contar con el botiquín de primeros auxilios y con los implementos básicos de enfermería.

F4.4.11 Procesamiento de los Residuos

De acuerdo con las características de los residuos sólidos y del tipo de vehículo utilizado, los residuos pueden o no ser procesados previamente a su colocación para el transporte considerando la capacidad de la unidad de almacenamiento (vehículo de transferencia), y por ello debe evaluarse la pertinencia de realizar actividades de compactación de los residuos de acuerdo con las limitaciones de peso para vehículos de carga en carretera según los lineamientos dados por el Ministerio de Transporte.

F4.5 Recomendaciones para la operación de estaciones de separación y aprovechamiento y de estaciones de transferencia

Para la operación de las estaciones de separación y aprovechamiento y de las estaciones de transferencia, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

F4.5.1 Seguridad Industrial

Deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones para evitar riesgos asociados con un mal manejo en cuanto a la seguridad industrial de la instalación:

- a. En la zona de almacenamiento de carga de la estación, deben utilizarse tuberías superiores de riego para controlar el polvo, así como sistemas de extracción para minimizar emisiones fugitivas no controladas.
- b. Los trabajadores deberán portar protección respiratoria, máscaras media cara o cara completa, con filtros específicos de material particulado y de gases y vapores orgánicos, para evitar la aspiración de estos materiales.
- c. En estaciones de carga almacenada, los vehículos de transferencia deberán tener cabinas cerradas equipadas con aire acondicionado y unidades para filtrar el polvo.

- d. Las empresas que lleven a la estación residuos sólidos que han sido recogidos por solicitud de servicio especial por parte del usuario o generador, no podrán descargar directamente a la fosa y lo realizarán en el área interna que ha sido acondicionada para tal fin.
- e. La totalidad de la red vial al interior de la estación debe contar con señalización horizontal y vertical.

F4.5.2 Operación

Luego de un buen diseño y planificación de la estación, con todas las medidas de seguridad ambiental e industrial tomadas, el proceso de operación es fundamental para culminar con éxito la puesta en servicio de la estación.

F4.5.2.1 Manual de operación y mantenimiento

Todas las estaciones deben tener un manual de operación y mantenimiento que describa todos los procedimientos utilizados en la operación normal y las instrucciones para situaciones de contingencia y emergencia.

El contenido del manual depende del tipo de estación, de los equipos y de los vehículos empleados. Debe elaborarse siguiendo las recomendaciones de los manuales de operación y mantenimiento de equipos y vehículos suministrados por el fabricante; por tanto, será diferente para cada estación. Sin embargo, todos los manuales deben contener al menos los siguientes aspectos:

- a. Descripción de la instalación, con dibujos, esquemas y planos que describan detalladamente los sistemas hidráulicos, sanitarios, eléctricos, de evacuación y emergencia, etc.
- b. Descripción de los equipos electromecánicos, con sus especificaciones y características técnicas.
- c. Descripción de los vehículos de transporte que ingresan y de los vehículos empleados en transferencia, con sus especificaciones y características técnicas.
- d. Descripción de las actividades de acuerdo al flujo de proceso, con los procedimientos relativos a los conductores de los vehículos de recolección, los conductores de los vehículos de transferencia, los operadores de la báscula, los operadores de equipos de carga y los auxiliares encargados de ayudar en las maniobras de los camiones y de abrir y cerrar las puertas de carga de los vehículos de recolección y de transferencia.
- e. Descripción de los desplazamientos de los vehículos en el interior de la instalación y de los procedimientos para descargar y cargar los residuos sólidos en los camiones de transferencia.
- f. Resumen de los controles de operación normal de la estación.

- g. Resumen de los controles de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos electromecánicos.
- h. Descripción del personal con sus calificaciones, funciones, horarios de trabajo y encargos.
- i. Rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos electromecánicos.
- j. Rutinas para limpieza general y control de la contaminación ambiental.
- k. Instrucciones para la operación en situaciones de emergencia, tales como falta de energía eléctrica y fallas de los equipos, etc.
- l. Instrucciones para combatir incendios, incidentes y accidentes, o fugas y derrames.
- m. Métodos y procedimientos de registro y procesamiento de la información.
- n. Métodos y procedimientos del control y registro de la cantidad y calidad de los residuos que ingresan y salen del lugar.
- o. Manejo de la bitácora durante la operación, organigrama de la planta, etc.

F4.5.3 Control y Seguimiento

La persona prestadora del servicio de aseo para corroborar el buen funcionamiento operativo de la estación o posibles situaciones de falla, debe realizar los siguientes controles:

- a. Control de peso de los residuos. Se registra la cantidad de residuos sólidos que ingresa en los vehículos de recolección y la que sale en los vehículos de transferencia; con esto se establece la carga óptima de los vehículos de transferencia, a fin de determinar si no se alcanza su capacidad o si ésta es excedida. Además sirven para optimizar y equilibrar el recorrido de las rutas de recolección con respecto a las cargas transportadas y determinar las necesidades futuras de capacidad de nuevos equipos y de mano de obra.
- b. Control de tiempos de transporte y horarios. Se aplica a los vehículos de transferencia con el objetivo de verificar y evaluar los tiempos reales de recorrido (ida y vuelta) con los tiempos previstos en el diseño del sistema. Estos controles se aplican para el análisis de eventuales modificaciones en el número de vehículos de transferencia.
- c. Controles de mantenimiento preventivo. Se elaboran con base en las recomendaciones y el manual de mantenimiento preventivo entregado por el fabricante de los equipos. Los procedimientos relativos al engrase y cambio de aceite deben ser hechos por técnicos especializados. Se deben detallar el tipo de aceite y grasa utilizados, los períodos de cambio de aceite, de engrase de máquinas de limpieza y de cambio de filtros y otros elementos de desgaste, y se deben programar las fechas previstas para cada uno de los procedimientos de control y las personas responsables de realizarlos.

TÍTULO F

APROVECHAMIENTO



| 5. APROVECHAMIENTO

5.1 Alcance

Este Capítulo establece los criterios básicos y requisitos obligatorios que debe cumplir el proceso de aprovechamiento como elemento funcional constitutivo del sistema de gestión integral de residuos sólidos.

Estos requisitos corresponden a las mínimas consideraciones que deben tenerse en cuenta para que se realicen en forma óptima dentro, o articulada con, el servicio público de aseo, buscando el destino más adecuado a los residuos sólidos, desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final. Los requisitos que se mencionan en el presente capítulo deben adoptarse para los cuatro niveles de complejidad del sistema.

El enfoque de la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) incluye el desarrollo de procesos de aprovechamiento y valorización de residuos que permite disminuir el volumen de ocupación en los rellenos sanitarios y por lo tanto prolongar su vida útil, recuperar materias primas o generar subproductos nuevos en condiciones técnicas.

Se están implementando alternativas técnicas y tecnológicas así como instrumentos normativos, tanto en los procesos productivos como en procesos de separación, aprovechamiento y valorización de residuos, encaminadas al consumo responsable y el principio de responsabilidad extendida al productor por ser la gestión ambiental un compromiso del Estado, la industria, el comercio y la ciudadanía.

De acuerdo con el Decreto 1713 de 2002, el aprovechamiento en el marco del servicio público domiciliario de aseo es el conjunto de actividades dirigidas a efectuar la recolección, transporte y separación, cuando a ello haya lugar, de residuos sólidos que serán sometidos a procesos de reutilización, reciclaje o incineración con fines de generación de energía, compostaje, lombricultura o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos en el marco de la Gestión Integral de los Residuos

Los residuos aprovechables son cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo.

La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las cantidades, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente.

El aprovechamiento y valorización deben realizarse siempre y cuando sean económicamente viables, técnicamente factibles y ambientalmente convenientes. De modo tal, que las normas y acciones orientadas hacia los residuos aprovechables y valorizables deben tener en cuenta lo siguiente:

- a. Se trata de materia prima secundaria con valor comercial, considerada como insumo o subproducto para otros procesos productivos, sujeta a las condiciones de oferta y demanda del mercado.
- b. Su destino es el aprovechamiento, de manera directa o como resultado de procesos para su valorización agronómica o energética: insumo industrial, insumo para procesos agronómicos o energéticos.
- c. La determinación de los residuos aprovechables se deberá hacer en el marco de los planes de gestión de residuos sólidos (PGIRS). La calificación de residuo aprovechable debe darse teniendo en cuenta que existan tecnologías de acondicionamiento y transformación que genere valor agregado y un mercado para los productos obtenidos.
- d. El aprovechamiento de residuos debe integrar a los generadores, los transformadores y los consumidores y promover incentivos e instrumentos económicos considerando el ciclo de vida; es decir el proceso productivo en su integridad, de modo que no se distorsionen los objetivos de la gestión ambiental, que consisten no sólo en disminuir un impacto ambiental específico – asociado al postconsumo, sino también los que se generan durante el proceso de producción y consumo.
- e. Los recicladores de oficio deberán ser reconocidos y vinculados formalmente en las actividades relacionadas con el aprovechamiento y valorización de residuos.

Se considera residuo no aprovechable, aquel residuo sólido que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o incorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.

Para el servicio público de aseo y en articulación con la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, se deberán tener en cuenta como elementos esenciales en la planificación y prestación del servicio los siguientes lineamientos de actuación en orden jerárquico:

- a. Promover la cultura de consumo responsable para reducir la generación de residuos sólidos, fortaleciendo la reutilización de envases y empaques, entre otros.
- b. Promover procesos de separación en la fuente, recolección y transporte selectivo en estaciones de aprovechamiento que incorporen valor agregado a los materiales con potencial de reciclaje.
- c. Aprovechar las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables separadas en la fuente y con recolección y transporte selectivo, para valorización agronómica en la producción de acondicionadores de suelo, abonos y enmiendas orgánicas a través de su estabilización biológica o para valorización energética (biogás y combustibles alternativos).
- d. Disponer en los rellenos sanitarios la menor cantidad posible de residuos. Lo ideal es que allí se dispongan solamente los residuos realmente no aprovechables y no peligrosos.

F5.2 Requisitos obligatorios en los sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos

La normativa establece los criterios orientados a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos, en materias referentes al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios en lo referente a los sistemas de recuperación, aprovechamiento y valorización de residuos sólidos, entre otros.

F5.2.1 Propósitos del Aprovechamiento

El aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos sólidos tiene como propósitos fundamentales:

- a. Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales no renovables.
- b. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos.
- c. Reducir la cantidad de residuos sólidos que van a disposición final.
- d. Disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.

- e. Garantizar la participación de los recicladores de oficio y del sector solidario, en las actividades de recuperación, aprovechamiento y valorización, con el fin de consolidar productivamente estas actividades y mejorar sus condiciones de vida.

F5.2.1.1 Aprovechamiento en los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)

Los municipios y distritos, con prestación del servicio público de aseo a más de 8.000 usuarios, al elaborar el respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), están en la obligación de analizar y evaluar la viabilidad de realizar proyectos sostenibles de aprovechamiento y valorización de los residuos ya sea como iniciativa municipal o regional. En caso de que se demuestre la viabilidad y sostenibilidad de los proyectos, el municipio y distrito promoverá su ejecución.

F5.2.1.2 Formas de aprovechamiento y valorización

Como formas de aprovechamiento se consideran, entre otras, la reutilización, el reciclaje de residuos inorgánicos y los tratamientos para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables con fines de valorización agronómica o valorización energética.

Como formas de adecuación para incorporar valor agregado existen: el lavado, la trituración, el granulado (peletizado), el aglomerado, la compactación y fundición, la óxido-reducción térmica, entre otras opciones técnicas y tecnológicas.

F5.2.1.3 Gestión diferenciada de residuos

El aprovechamiento y valorización de residuos sólidos se puede realizar a partir de fracciones que han surtido los procesos de separación en la fuente, recolección y transporte selectivo mediante estaciones de separación y aprovechamiento o estaciones de aprovechamiento. Estas opciones deben ser identificadas, definidas, valoradas y evaluadas en el respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de cada municipio o distrito, o de forma municipal y regional.

F5.2.1.4 Características de los residuos sólidos para el aprovechamiento

En las actividades de aprovechamiento, los residuos deben cumplir por lo menos con los siguientes criterios básicos y requerimientos, para que los métodos de aprovechamiento se realicen en forma óptima:

- a. Para la reutilización y reciclaje, los residuos sólidos deben estar limpios y debidamente seleccionados por tipo de material y característica física.
- b. Para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, aquella debe ser separada en fuente, no debe estar contaminada con residuos peligrosos, residuos de metales pesados u otros materiales que imposibiliten o limiten su potencial de aprovechamiento y valorización.
- c. Para el compostaje y lombricultura no deben estar contaminados con residuos peligrosos, metales pesados, ni bifenilos policlorados.
- d. Para la generación de energía, se deben valorar parámetros tales como composición química, poder calorífico y contenido de humedad, entre otros.
- e. Con base en estudios de mercado y el potencial de comercialización, se deben definir los procesos de adecuación y transformación que van a ser llevados a cabo.

F5.2.1.5 Localización de la planta de aprovechamiento y valorización

Para la localización de la planta de aprovechamiento y valorización de materiales contenidos en los residuos sólidos, se deben considerar, entre otros, los siguientes criterios:

- a. Deben tenerse en cuenta los usos del suelo establecidos en el plan de ordenamiento territorial (POT, PBOT o EOT), así como lo definido en el PGIRS del municipio.
- b. Debe ser técnica, económica y ambientalmente viable, teniendo en cuenta las condiciones de tráfico vehicular, conectividad y vialidad, generación de ruido, emisiones de olores y material particulado, esparcimiento de materiales, vertimientos de líquidos y el control de vectores.
- c. Debe considerar las rutas y vías de acceso de tal manera que minimice el impacto generado por el tráfico.
- d. Debe contar con servicios públicos de acueducto, alcantarillado y energía. En caso de carecer de alcantarillado, debe implementarse un sistema de tratamiento de aguas residuales.
- e. Debe tenerse un retiro de mínimo 50 m de áreas residenciales cuando se efectúe la gestión de fracciones de residuos sólidos inorgánicos reciclables y su localización debe realizarse preferiblemente en áreas con uso de suelo industrial; y de 500 m de áreas residenciales cuando se efectúe la gestión de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables y preferiblemente localizarse en áreas con uso del suelo de expansión urbana, periurbano o rural.

F5.2.1.6 Diseño de edificaciones para el aprovechamiento

En el diseño de edificaciones destinadas al aprovechamiento y valorización de residuos sólidos deben considerarse, como mínimo, los siguientes aspectos constructivos:

- a. El diseño arquitectónico de toda la zona operativa y de almacenamiento de materiales debe ser cubierto y con cerramiento físico con el fin de mitigar los impactos sobre el área de influencia.
- b. Contar con el respectivo diagrama de flujo del proceso: recepción, pesaje y registro, clasificación o adecuación para procesos de transformación y almacenamiento del material recuperado. Esto debe tener en cuenta la cantidad de materia prima, el comportamiento del mercado y situaciones de contingencia.
- c. Contar con un área mínima para la recepción de los residuos a recuperar y prever la capacidad de almacenamiento de material recuperado, teniendo en cuenta las situaciones de contingencia y comportamiento del mercado.
- d. Tener vías de acceso de acuerdo al tipo de equipos de transporte a utilizar según rutas de recolección selectiva y la comercialización de los materiales aprovechados.
- e. Contar con un sistema de ventilación y extracción adecuado, que controle la emisión de olores mediante trampas y sistemas de adsorción.
- f. Contar con sistema de prevención y control de incendios.
- g. Contar con sistema de drenaje para el control de las aguas lluvias y escorrentía subsuperficial, y sistema de recolección y tratamiento de lixiviados.
- h. Contar con sistemas tendientes a la minimización y control de ruido, emisiones de olores, emisión de partículas, esparcimiento de materiales y, control de vectores.
- i. Las instalaciones deben tener impermeabilización de los pisos y paredes y deben estar construidas en materiales que permitan su aseo, desinfección periódica y mantenimiento mediante lavado.
- j. Debe contar con las siguientes áreas de operación:
 - Pesaje
 - Recepción
 - Selección y clasificación
 - Procesos para materiales aprovechables
 - Procesos para materiales de rápida biodegradación
 - Bodega o almacenamiento de materia prima y de productos procesados o reciclados.

- k. Dependiendo de la población, se recomienda para el diseño de las instalaciones de aprovechamiento, la mecanización así:
 - Menor o igual a 3,000 usuarios: Manual. No se requiere equipo mecanizado con uso de energía.
 - De 3,001 a 8,000 usuarios: Semi-mecanizado. Se requieren bandas transportadoras de separación, embaladoras mecánicas, equipos de fraccionamiento y sistemas de oxigenación dinámica o estática para los procesos de aprovechamiento de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables.
 - Mayor a 8.001 usuarios: Mecanización. Aplica para todos los procesos.
- l. Criterios de diseño para las instalaciones con relación a porcentajes de separación en la fuente y de material potencialmente reciclable:
 - Porcentaje de efectividad de separación en la fuente: mayor o igual al 70 %.
 - Porcentaje de material susceptible de ser reciclado: Mayor o igual al 20%.

F5.2.1.7 Criterios mínimos para el diseño del área de procesos de aprovechamiento de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables.

El objetivo de una planta de aprovechamiento de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, es controlar los factores que facilitan la degradación y transformación biológica de la materia orgánica.

El conjunto de acciones conforman el tratamiento por el cual se reduce el volumen y la cantidad de residuos para disposición final y comprenden el acondicionamiento mecánico para controlar la acción biológica y la emisión de lixiviados y gases.

La materia prima está constituida por fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables de origen doméstico, comercial o de cosecha, que según su procedencia se clasifican como se muestra en la tabla F.5.1.

Tipo de generador		Tipo de residuos
Naturales - forestales		Residuos de leña – ramaje - follaje
Industria agrícola	Actividades pecuarias	Residuos generados por el manejo de animales: Estiércol vacuno, caballar, gallinazas, porquinazas, pollinazas previamente estabilizados.
	Agricultura	Residuos vegetales de cosechas.
	Acondicionamiento de frutas y verduras	Bagazo Cáscara o semilla Residuos orgánicos excedentes de proceso
	Cereales y otros granos	Afrecho – Almidones – Bagazo - Borra de café
	Madera y pulpa	Viruta y aserrín • Almidón

TABLA F.5.1 Fracciones de Residuos Sólidos Orgánicos Biodegradables

Tipo de generador		Tipo de residuos
Institucional y comercial	Plazas de mercado	Residuos orgánicos frescos
	Actividades de jardinería	Residuos de poda, corte de césped y jardinería
	Plantas de tratamiento de agua residual domiciliaria	Lodos procedentes del tratamiento biológico de aguas residuales que no contienen residuos peligrosos y cumplen con los valores mínimos para ser materia prima según la NTC 5167 V.2 o aquellas que la modifiquen o sustituyan.
Doméstico		Residuos orgánicos frescos Residuos de poda, corte de césped y jardinería

No son apropiados para compostaje los residuos de mataderos, de restos de comida cocidos, carne, pescado, huesos, cáscaras de huevo, restos de plantas enfermas, heces, pañales, arena para gatos; por representar riesgos en la calidad del proceso y del producto a obtener.

El diseño debe considerar como mínimo las siguientes etapas de proceso:

- Entrega y control de residuos: selección y pesaje
- Acondicionamiento mecánico: trituración y mezcla.
- Tratamiento biológico mediante degradación aerobia / anaerobia.
- En procesos aerobios, oxigenación dinámica mediante volteo manual o mecánico o estática mediante ventilación forzada.
- Maduración.
- Empaque: tamizado y pesaje.

Desde el punto de vista operativo y logístico el sistema debe contar, entre otros, con:

- Cubierta de protección de agua lluvia.
- Piso rígido.
- Sistema de oxigenación para procesos aerobios, sea dinámico o estático.
- Estructuras de drenaje, almacenamiento y tratamiento de lixiviados.
- Sistemas de conducción y aprovechamiento de agua lluvia.
- Zona de adecuación para la trituración, homogenización y armado de pilas.
- Zona de tratamiento con el espacio necesario para volteos y el acceso para toma de datos de control de proceso.
- Zona de maduración.
- Equipos de tamizado y empaque.

- j. Registro de los parámetros básicos de control del proceso como son la temperatura, el pH, acidez, alcalinidad, humedad y el tiempo de proceso.
- k. Registro de cada lote de material con sus respectivas pruebas fitosanitarias y análisis de laboratorio.

F5.2.1.8 Almacenamiento de materiales aprovechables

El almacenamiento de los materiales aprovechables deberá realizarse de tal manera que no se deteriore su calidad ni se pierda su valor.

En el caso de las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables el almacenamiento temporal no puede superar las 48 horas sin iniciar una mínima fase de adecuación consistente en reducción de tamaño, mezcla y apilado superando 1 metro de altura con el fin de evitar malos olores y vectores.

F5.2.1.9 Recolección y transporte selectivo de materiales para el aprovechamiento y valorización

Para la recolección y transporte selectivo de materiales destinados al aprovechamiento y valorización se deberán seguir, entre otras, las siguientes especificaciones:

- a. La persona prestadora del servicio establecerá, de acuerdo con el PGIRS del municipio o distrito, frecuencias, horarios y formas de presentación para la recolección de los residuos aprovechables.
- b. La recolección puede efectuarse a partir de la acera, o de unidades y cajas de almacenamiento.
- c. El transporte debe realizarse en vehículos motorizados cerrados y debidamente adecuados para tal fin.
- d. El transporte debe realizarse en vehículos debidamente cerrados o cubiertos y adecuados para tal fin que impidan el esparcimiento de los residuos y el vertimiento de los líquidos

F5.2.1.10 Requisitos previos para la comercialización de productos obtenidos por tratamiento de las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables

La materia prima debe ser separada en fuente, con recolección y transporte selectivo, no debe estar contaminada con residuos peligrosos, residuos sanitarios, residuos de comida cocinada, residuos de metales pesados u otros materiales que imposibiliten o limiten su potencial de aprovechamiento y valorización.

El proceso a seguir debe estar estandarizado así como el producto final obtenido debe cumplir con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y de macrocontaminantes, establecidos por la normativa y por las autoridades competentes.

Los productos finales obtenidos mediante procesos de compostaje y lombricultura, para ser comercializados, deben cumplir, previamente, los requisitos de calidad exigidos por las autoridades agrícolas y de salud en cuanto a presentación, contenido de nutrientes, humedad, garantizar que no tienen sustancias y/o elementos peligrosos que puedan afectar la salud humana, el medio ambiente y obtener sus respectivos registros.

La planta de aprovechamiento de residuos orgánicos debe contar con su respectivo registro de funcionamiento y el producto final con la respectiva licencia de venta, definidos en la Resolución 0150 de 2003 del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia, o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

F5.2.1.11 Manejo de aguas residuales provenientes de la recuperación y aprovechamiento de residuos sólidos

Las aguas residuales provenientes de los procesos de aprovechamiento y valorización de residuos sólidos, deberán manejarse bajo los principios y la normativa sobre el tema, de tal manera que se eviten los posibles impactos sobre la salud humana y el ambiente.

F5.2.1.12 Participación de los recicladores

Los municipios y distritos asegurarán en la medida de lo posible la participación de los recicladores en las actividades de aprovechamiento de los residuos sólidos. Una vez se formulen, implementen y entren en ejecución los programas de aprovechamiento evaluados como viables y sostenibles en el PGIRS, se entenderá que el aprovechamiento deberá ser ejecutado en el marco de dichos programas.

F5.2.1.13 Sistemas de aprovechamiento y valorización regionales

En desarrollo del concepto de economías de escala, el municipio o distrito como responsable de asegurar la prestación del servicio público de aseo y las personas prestadoras del servicio pueden optar por establecer sistemas de aprovechamiento y valorización para los residuos de forma regional, incorporando áreas diferentes a las urbanas, corregimientos y veredas, y optando por la recepción y gestión de residuos provenientes de otros municipios.

F5.3 El aprovechamiento en la prestación del servicio público de aseo

Los programas y proyectos de aprovechamiento de residuos sólidos deberán formularse y desarrollarse en concordancia con el PGIRS del municipio o distrito y con las etapas establecidas en la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, así:

- a. Reducción en el origen: Implica cambios en el consumo para reducir la cantidad de residuos generados. Incluye acciones desde el diseño, la fabricación, hasta el envasado en materiales que faciliten su reutilización o aprovechamiento. Incluye estrategias orientadas a la producción limpia, a la reducción en la demanda de recursos naturales, a la disminución en consumos de energía y de agua y, al consumo responsable.
- b. Aprovechamiento y valorización.
- c. Disposición final controlada.

Un proyecto de aprovechamiento y valorización de residuos debe diseñarse teniendo en cuenta la viabilidad socio-económica, técnica, financiera y ambiental, para lo cual los principales factores a considerar son los siguientes:

- a. Estudio de mercado en el cual se deben evaluar como mínimo la oferta, la demanda, los precios y la frecuencia de venta.

La clasificación y cuantificación del residuo como aprovechable y valorizable debe darse teniendo en cuenta que exista un mercado para el material recuperado o transformado. Los elementos obtenidos a partir de los procesos de aprovechamiento y valorización, son materias primas, insumos secundarios o productos con valor comercial, por lo cual están sujetos a la oferta y demanda del mercado.

De acuerdo al mercado seleccionar los equipos y maquinaria requeridos para los procesos de adecuación y transformación. El aprovechamiento y valorización de los residuos puede darse de manera directa con la comercialización de los materiales sin tratamiento, o después de una serie de procesos de acondicionamiento y transformación.

- b. Viabilidad financiera y comercial, para lo cual deberá tener en cuenta los costos de separación en la fuente, recolección y transporte selectivo, adecuación y transformación en plantas de aprovechamiento y valorización, comercialización del producto (embalaje, etiquetado, transporte, etc.). El análisis deberá ser desarrollado para un periodo mínimo de diez años.
- c. Que el sitio donde se instalará la infraestructura sea compatible con los usos del suelo definidos en el plan de ordenamiento territorial (POT, PBOT o EOT).
- d. Contar con las autorizaciones ambientales a que haya lugar.

En la tabla F.5.2, se clasifican las opciones para la gestión de residuos aprovechables de acuerdo con el tipo de residuo y su viabilidad técnica.

Tabla F.5.2. Alternativas para la Gestión Integrada de Residuos Aprovechables

Residuos	Fracciones	Alternativa de Gestión				
		Valorización Agronómica: Compostaje aeróbico Compostaje anaerobio	Valorización Energética: Incineración Pirólisis / Termólisis Gasificación	Reutilización Reciclaje	Procesos de Transformación Química	Disposición Final Controlada
Residuos orgánicos crudos, residuos de poda, corte de césped y jardinería	Residuos Orgánicos Frescos	1	(*)		2	3
	Residuos Orgánicos con procesos de Cocción	2			1	3
	Estiércoles	2	(*)		1	3
	Residuos de Cosecha	1	2		3	4
Productos de papel y productos de cartón	Papel y Cartón		2 (**)	1		3
Plásticos (***)	1. PET: Tereftalato de polietileno		3	1	2	4
	2. PEBD: Polietileno de alta densidad.				2	1
	3. PVC: Cloruro de polivinilo (rígido y flexible)		2	1	3	4
	4. PEBD: Polietileno de baja densidad			1		2
	5. PP: Polipropileno					1
	6. PS: Poliestireno					1
	7. Otros: PC: Policarbonatos, Polinitrilos, PA: Poliamidas, Acetales, Nylon, Poliuretano.)			1		2
Textiles	Fibras Animales, vegetales y sintéticas			1		2
Metales ferrosos, compuestos de aluminio y otros metales no ferrosos	Recipientes de Aluminio, Materiales metálicos con Zinc, Cobre, Bronce, Hierro, Acero, Metales Preciosos, etc.			1		2
Vidrio	Colores Ámbar, Verde y Traslúcido			1		2
Otros	Madera aglomerada y tratada		2		1	3
	Caucho natural y sintético (goma)			1	2	3
	Cuero		2 (+++)			1
	Cenizas de Procesos de Combustión			2		1
	Residuos de construcción y demolición (Escombros)	NA		1		2
	Huesos				1	2
	Cerámicas, colillas, etc.					1

Orden de elegibilidad para priorizar la gestión: 1 es la alternativa más adecuada según el tipo de residuos. La disposición final es la opción técnica más viable para las fracciones no aprovechables.

Convenciones:

(*): Requiere deshidratación previa y depende del poder calorífico.

(**): Depende del contenido de Cloro y composición de las tintas.

(***): Depende del tipo de monómero y contenidos de halógenos.

(+++): Condicionado a los sistemas de control de emisiones.

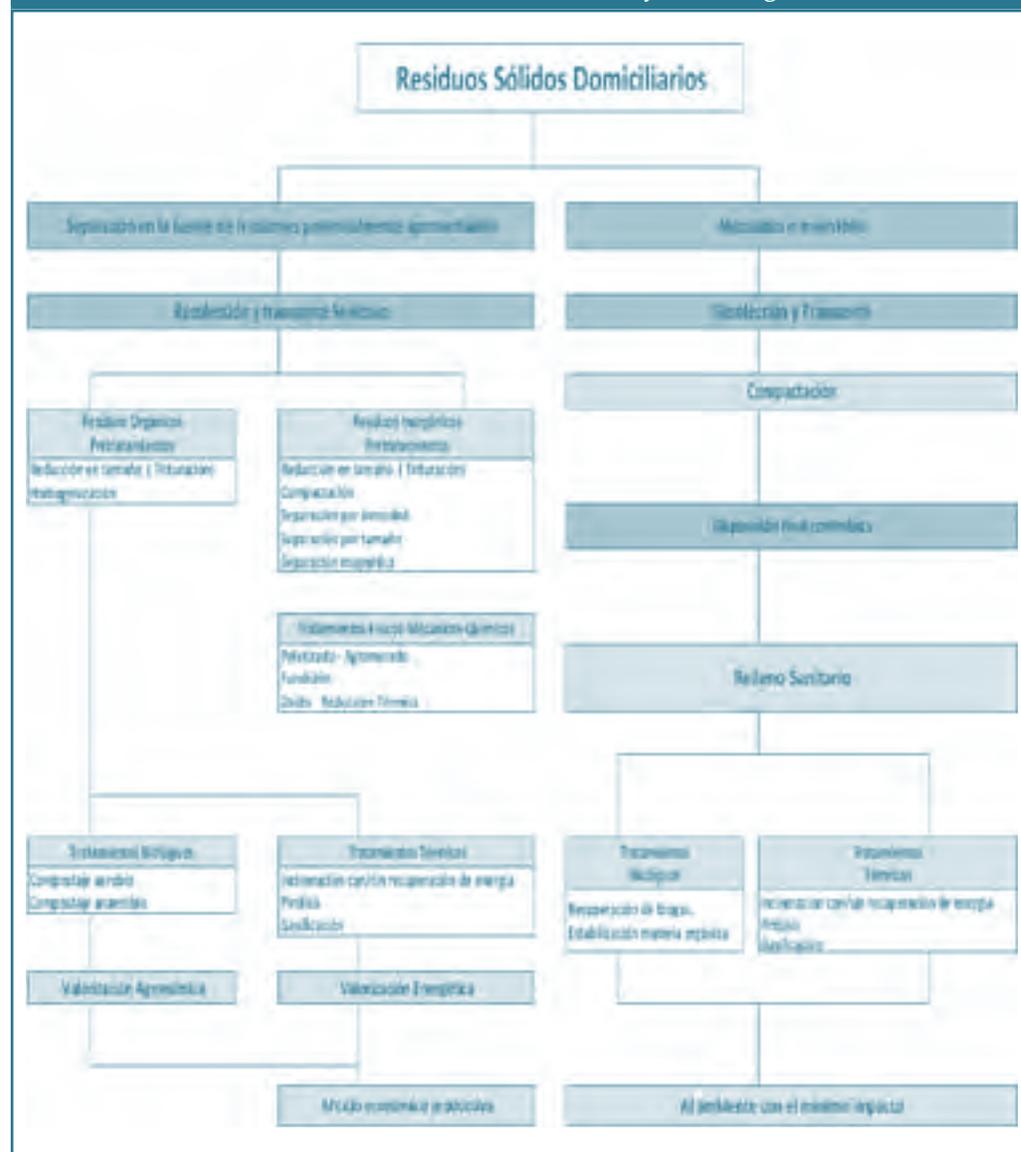
3. El proceso de reducción en la generación de residuos corresponde a los generadores. Las acciones de los prestadores corresponden a funciones de promoción y educación.

La disposición final en rellenos sanitarios actualmente es la opción técnica más viable para el manejo de las fracciones de residuos sólidos no aprovechables.

F5.3.1 Aprovechamiento

El aprovechamiento implica la gestión diferenciada de residuos según sus potencialidades de recuperación e incorporación a los ciclos productivos (Ver Figura F.5.1).

FIGURA F.5.1. Gestión Diferenciada de Residuos y Tecnologías de Tratamiento



F5.3.1.1 Potencial de materias primas secundarias con base en la caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos

Se deben determinar la cantidad y calidad de las fracciones de residuos sólidos potencialmente aprovechables de acuerdo a su potencial de aprovechamiento y a las condiciones de calidad requeridas para su tratamiento y reincorporación dentro de las cadenas productivas, recomendándose los definidos en la tabla F.5.3.

Tabla F.5.3. Residuos Susceptibles de Aprovechamiento como Materia Prima Secundaria

Material	Tipo de residuos	Condiciones de calidad
Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> - Restos de cosechas - Residuos de poda y corte, aserrín, paja, trozos de madera - Desechos de plazas de mercado, entre otros - Residuos agrícolas 	Deben ser separados de los materiales inorgánicos, para evitar su contaminación y posteriores interferencias en los tiempos y procesos fisicoquímicos de la degradación biológica.
Plásticos	<ul style="list-style-type: none"> - Potes de champú - Empaques de detergentes y otros productos de aseo personal y del hogar - Empaques de alimentos como bolsas, domos de ponqué - Envases de gaseosa no retornables - Contenedores - Cepillos - Rejillas - Partes de electrodomésticos - Tapas - Bandejas como la de carnes y frutas y vajillas desechables - Material de embalaje espumado "icopor", entre otros 	Se recomienda lavar los envases, desprender su etiqueta y separar su tapa. Los empaques plásticos deben ser alterados por algún medio (perforación, corte, etc.) antes de ser desechados, para prevenir su uso con propósitos de falsificación de los productos que originalmente contenían.
Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> - Vidrio plano - Vidrio utilizado para el envasado y distribución de productos industriales como: botellas de gaseosas, cerveza, frascos de salsas y conservas, frascos de comidas para bebés, botellas de vino, licores, además de otras comidas y bebidas envasadas 	Los envases y recipientes, deben ser lavados y separados de otros materiales como: restos de bebidas o alimentos, etiquetas de papel, tapas plásticas o metálicas, corchos y otro tipo de aditamentos que puedan presentar.
Papel y cartón	<ul style="list-style-type: none"> - El papel blanco de oficina - Periódicos y revistas - Cuadernos, libros, directorios telefónicos - Cajas de huevo - Rollo de papel higiénico - Papel de envoltorios - Publicidad, invitaciones - Tetra pack - Cajas de cartón corrugado 	Se les deben retirar objetos como anillas, clips o cintas adhesivas y mantenerse secos y separados de los residuos orgánicos para evitar su contaminación. Las cajas de cartón corrugado deben extenderse y retirarse los restos de cintas o envoltorios. Los envases de cartón compuesto con otros materiales como los envases de tetra pack, deben ser lavados y extendidos.
Metales	<ul style="list-style-type: none"> - Metales férricos como el acero y el hierro - Metales no férricos como el aluminio, el bronce, el cobre y el oro, entre otros 	<p>Este tipo de materiales deben ser separados de los demás residuos.</p> <p>No requieren procesos de acondicionamiento como el lavado, pero la reducción de volumen es útil en el caso de los recipientes y contenedores metálicos.</p> <p>La rigurosa separación por tipo de metal, es indispensable para el reciclaje de este tipo de materiales que se lleva a cabo en hornos de fundición a altas temperaturas.</p>

Fuente: Criterios Técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos. MAVDT, 2008.

Dentro de los papeles se encuentran algunos que no son reciclables, tales como el papel encerado, papel carbón, los productos sanitarios o pañuelos de papel, papel térmico para el fax, los adhesivos y el papel de plástico laminado de envoltura para comidas rápidas y las bolsas de comida para animales domésticos. Los anteriores residuos pueden ser considerados para aprovechamiento energético.

F5.3.1.2 Actividades de acondicionamiento

Independientemente de la presentación de los residuos que los usuarios realicen a la persona prestadora del servicio de aseo (presentación diferenciada o mezclados), se requerirán procesos de acondicionamiento que se llevan a cabo en sitios especializados que se denominan estaciones de separación y aprovechamiento.

F5.3.1.2.1 Separación

Para realizar esta actividad se debe contar con zonas para la recepción, el rompimiento de bolsas, bandas transportadoras y contenedores para el material segregado; puede ser manual o mecánica en la cual se utilizan equipos especiales que permiten separar por tamaño, densidad o por campos electromagnéticos.

F5.3.1.2.2 Reducción de tamaño

Es un método mecánico que busca disminuir y homogenizar los materiales para facilitar el procesamiento, tratamiento o disposición final posterior. Para la reducción de tamaño, se podrán utilizar equipos como:

- Molinos para aplastar o rasgar, sólo en caso de residuos inorgánicos (por ejemplo residuos metálicos y algunos escombros).
- Trituradoras para reducir en tamaño los residuos especialmente orgánicos, así como papel, cartón, vidrios y plásticos.
- Cribas para separación por tamaño.

F5.3.1.2.3 Compactación o densificación

Proceso que permite incrementar la densidad de los residuos sólidos, ya sea para reducir las necesidades de almacenamiento o para la reducción del volumen para el transporte. Entre los equipos más comunes se encuentran los vehículos compactadores, contenedores de acero móviles, contenedores equipados con instalaciones de compactación interna, cámaras de acero especialmente diseñadas donde el bloque compactado de residuos sólidos es sujetado antes de transportarlo, cámaras donde se compactan en un bloque y después son soltados antes de transportarlos, equipamientos de empaquetamiento y granulación (peletización).

F5.3.1.2.4 Acopio

Los residuos sólidos aprovechables seleccionados, deben almacenarse de manera que no afecten el entorno físico, la salud humana y la seguridad; por lo tanto deben controlarse los vectores, olores, explosiones y fuentes de llama o chispas que puedan generar incendios. Los lugares de almacenamiento deben salvaguardar las características físicas y químicas de los residuos sólidos allí depositados. Se deben almacenar bajo condiciones seguras dependiendo de sus características. Los materiales reciclables inorgánicos pueden almacenarse en altura. Las fracciones orgánicas biodegradables requieren iniciar de forma inmediata procesos de estabilización mediante tratamientos biológicos descritos en el siguiente numeral.

F5.3.1.2.5 Empaque, embalaje y suministro a procesadores del subproducto obtenido o bien como producto final.

La compra y venta de materias primas secundarias recuperadas o recicladas, puede efectuarse libremente de acuerdo con las exigencias del mercado.

F5.3.2 Tratamiento y Transformación en el Aprovechamiento

El tratamiento y transformación de las fracciones de residuos implica su alteración física, química o biológica. Las transformaciones utilizadas para el manejo de los residuos sólidos, generalmente son efectuadas para mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de gestión de residuos. Dentro de los procesos de transformación se tienen:

F5.3.2.1 Tratamientos biológicos

En el tratamiento biológico se llevan a cabo, en condiciones controladas y optimizadas, procesos de degradación biológica, los cuales pueden ser aeróbicos, es decir en presencia de oxígeno o anaeróbicos.

El compostaje es el tratamiento biológico más frecuentemente utilizado para la transformación de la fracción orgánica de los residuos sólidos, ocurre mediante organismos descomponedores endémicos (artrópodos y microorganismos, enzimas presentes en el medio natural), que conducen a una etapa de maduración, caracterizada por su estabilidad química y microbiológica.

El objetivo principal es la transformación de la materia orgánica en productos finales estables, seguros e inocuos.

Los principales aspectos a considerar son:

Trituración - Homogenización. El material orgánico seleccionado, se tritura con el fin de reducir el tamaño de las partículas y aumentar el área superficial de exposición para facilitar la acción de los microorganismos (este efecto no se logra con molinos de impacto o de martillo, lo recomendable es el empleo de equipos con elementos de corte) y se homogeniza mediante la mezcla del material de ingreso. Con la mezcla se busca alcanzar el contenido de humedad óptimo (se mezclan los residuos húmedos con materiales secos o estructurantes).

Necesidades de área para la transformación. Se deben establecer las necesidades de área adecuada para realizar el proceso. Como directriz general se debe tener en cuenta que para un compostaje en hileras, se requiere una hectárea por cada 50 toneladas por día, de la cual el 50% corresponde al proceso de transformación propiamente dicha y el resto a edificaciones y vías.

Control de olores, vectores y percolados. En esta fase se deberá tener en cuenta que el proceso de degradación de los residuos puede producir malos olores. Para prevenir la aparición de estos olores, se debe realizar control de las variables de proceso tales como el tamaño de partícula, la temperatura, garantizar oxigenación homogénea y evitar la presencia de plásticos y otros materiales no biodegradables o contaminantes.

En el evento de presentarse olores, deben considerarse sistemas de mitigación y control, así como prever áreas de aislamiento de olores de por lo menos 500 metros de distancia a la edificación más cercana, a menos que se demuestre, por medio de modelos de simulación, que no se generan impactos sobre la comunidad por este motivo.

El control de vectores se puede realizar mediante la implementación de trampas cilindro - cónicas acompañadas de cebos, trampas de cinta adhesiva y control biológico mediante especies parásitas. Igualmente puede hacerse control mediante fumigación biológica controlada con insumos de baja residualidad.

El desarrollo del proceso debe realizarse bajo techo y por lo tanto la incidencia de la precipitación debe ser mínima. Si se generan percolados, se deben mejorar los procesos de oxigenación y en todos los casos deberán ser conducidos a una planta de tratamiento de aguas residuales.

Remoción de residuos: Se deben remover del sistema de residuos sólidos los residuos sólidos con características de peligrosidad, o que generen mala apariencia visual, como son: residuos que aporten metales pesados como pilas gastadas, materiales férreos, baterías usadas; residuos que aporten compuestos potencialmente tóxicos como aceites usados, plaguicidas, solventes orgánicos, etc.; igualmente se removerán los residuos sólidos que interfieran en el proceso como plásticos, vidrios, envases de aluminio.

Los residuos peligrosos se manejarán conforme a la normatividad vigente sobre el tema.

Compostaje aerobio

En este proceso se llevan a cabo la degradación biológica y la maduración de la fracción orgánica. La materia orgánica es descompuesta por microorganismos propios del material orgánico, que requieren de oxígeno y de humedad adecuada. En el proceso se obtienen dióxido de carbono, agua y calor, además de un resto orgánico estable.

Los factores de degradación biológica o variables de proceso a controlar más relevantes son:

- a. **Demanda de oxígeno y control de la aireación.** El suministro continuo y homogéneo de oxígeno a través de la masa de residuos, asegura la actividad de los microorganismos y por lo tanto la estabilización del proceso. En el compostaje aerobio pueden desarrollarse las técnicas de pilas rectangulares o pilas cónicas.

Se pueden establecer dos procesos de aireación: Dinámico: aquel donde el material a compostar es puesto en contacto con el oxígeno por movimientos de la biomasa, lo cual puede ser manual, mediante el paleo, o mecánico con sistemas como el rotor o volteadoras de compost. Estático: cuando se realiza mediante tuberías y compresores o turbinas que circulan el aire a través de una tubería ramificada en la base de la pila.

De las operaciones que se realizan para estabilizar la materia orgánica, la aireación es la que requiere mayor consumo de energía o mano de obra. En el caso de la aireación forzada o estática, la inversión inicial implica la adquisición del sistema generador del flujo y la red de tuberías, luego los costos de operación son bajos, pues sólo se requieren mano de obra para la conformación de las pilas y la energía consumida durante la aireación.

En cuanto a la aireación dinámica, en el volteo la aireación es más homogénea, involucra toda la biomasa, evitando las zonas anaerobias. Puede realizarse mediante paleo, sistemas de rotor o volteadoras de compost.

La frecuencia de aireación, depende del contenido de humedad inicial de la masa, un exceso de humedad produce zonas anaerobias y en consecuencia malos olores además de la disminución de la velocidad del proceso.

El plan de aireación puede realizarse considerando las siguientes relaciones:

- Humedad entre 50-60%: volteos a intervalos de dos días con un total de 4 a 5 volteos.
- Humedad entre 40-50%: volteos a intervalos de tres días con un total de 3 a 4 volteos.

- Humedad por debajo del 40%: se debe adicionar agua o material húmedo triturado y homogenizar.
- Humedad por encima del 60%: la pila debe ser volteada todos los días hasta reducir su contenido a menos de 60% y adicionar material estructurante, triturado y homogenizar; operar luego conforme al plan de aireación.

En los procesos de aireación forzada, tales como la pila estática y en biorreactores, el requerimiento de aire y la tasa de flujo son parámetros de diseño. Para el cálculo de la cantidad de aire se utiliza la ecuación genérica de transformación (Ecuación F.5.1).



O su equivalente en peso molecular:



Ecuación con la cual se puede determinar la cantidad de oxígeno requerido en el proceso de transformación, mediante las ecuaciones:

$$\text{O}_2 = 0,5*(ny+2s+r-c) \quad (\text{F.5.3})$$

$$r = 0,5*[b-nx-3(d-nx)] \quad (\text{F.5.4})$$

$$s = a - nw \quad (\text{F.5.5})$$

La transformación completa, cumple con la siguiente ecuación:



$$\text{Tasa de respiración} = \frac{\text{mgCO}_2 - \text{C}}{\text{g compost} - \text{día}} \quad (\text{F.5.7})$$

- b. Relación carbono/nitrógeno. Este factor se relaciona con los nutrientes y es elemento limitante en el crecimiento y reproducción de los microorganismos. La relación se considera adecuada cuando está en un rango de 20 - 30. Relaciones muy altas retrasan el proceso de compostaje. Cuando se encuentra por debajo del rango adecuado, se deben agregar materiales con alto contenido de carbono y si está por encima, se deben agregar materiales con alto contenido de nitrógeno; por ejemplo: si se tiene un material de entrada con una relación C/N=10 y un peso de 500 kg, se procede a calcular los requerimientos específicos de carbono o nitrógeno, según sea el caso, mediante la siguiente ecuación y utilizando como referente de materiales potencialmente utilizables para la corrección de nutrientes en la mezcla los valores definidos en la tabla F.5.4.

$$C1 * P1 + C2 * P2 = C3 (P1 + P2) \quad (F.5.8)$$

Donde:

C1= relación C/N del material de entrada = 10

C2= relación C/N del material de mezcla = 400

C3= relación C/N óptimo del material de entrada = 25

P1= Peso del material de entrada = 500 kg.

P2= Peso del material de mezcla = X

Desarrollando los factores de la ecuación anterior se obtiene:

$$C1 * P1 + C2 * P2 - C3 * P1 - C3 * P2 = 0 \quad (F.5.9)$$

Reemplazando por los valores

$$P2 = (C3 * P1 - C1 * P1) / (C2 - C3)$$

$$P2 = (25 * 500 - 10 * 500) / (400 - 25) = 20 \text{ kg}$$

Por cada 500 Kg de este material se deben adicionar 20 kg de aserrín para obtener la relación C/N de 25.

En la tabla F.5.4 se establecen las relaciones de C/N de algunos materiales y en la tabla F.5.5 las relaciones de C/N presentes en residuos orgánicos específicos⁴.

Tabla F. 5.4. Relaciones de C/N de algunos materiales

Base Seca	C%	N%	C/N
Aserrines	40	0.1	400
Podas, tallos, maíz	45	0.3	150
Paja de caña	40	0.5	80
Hojas de árboles	40	1	40
Estiércol equino	15	0.5	30
Heno	40	2	20
Estiércol bovino	7	0.5	15
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Tabla F.5.5. Relaciones de C/N Presentes en Residuos Sólidos Orgánicos Específicos

Materiales	% N sobre peso seco	Relación C/N
Aserrín fresco	0,1	500
Componente orgánico de la basura	1,3 - 1,8	30 - 40
Desechos de cervecería	2 - 3	10 - 16
Estiércol de cerdo	1	9
Estiércol de vacuno	1 - 1,8	25-30
Estiércol de caballo	2,3	25
Fangos activados	5 - 6	6
Gallinaza	3,75 - 4	22
Hojas recién caídas	0,4 - 1	30 - 60
Corte de césped	2 - 4	12
Buchón de agua	2,2 - 2,5	20
Pulpa de café	1-2	3,8
Lodos	5,5-6,5	6-10

4. Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Presidencia de Uruguay et al. 1999. Manual para la elaboración de compost. Bases Conceptuales y procedimientos.

- c. **pH.** Considerada como una variable importante agrónomicamente dado que en buena medida la absorción de nutrientes está altamente influenciada por el pH. Los valores iniciales pueden ser muy diversos dependiendo de la naturaleza de la materia prima. Al final del proceso tiende a neutro.
- d. **Contenido de agua.** Para un óptimo proceso de degradación aeróbica es necesaria, junto al oxígeno, la disponibilidad de agua en cantidades suficientes, pues los microorganismos sólo son capaces de asimilar los nutrientes en forma disuelta. Debe tenerse en cuenta que con un suministro excesivo de agua, por ejemplo por lluvia continua, los poros de aire pueden llenarse de agua con lo cual los microorganismos no reciben el oxígeno necesario. Es necesario construir coberturas de protección mediante techado o construcción similar.

La humedad óptima en el proceso para el compostaje aerobio debe estar entre el 40 % y 60 %, y se halla por la relación:

$$\omega = \frac{W_w}{W_m} * 100 \quad (\text{F.5.10})$$

Donde:

- Ww: Peso del agua contenido en los residuos sólidos, kg.
- Wm: Peso de la mezcla, kg.
- ω: Contenido de humedad de los residuos sólidos, %.

- e. **Temperatura.** Es una de las variables más importantes, durante el proceso de degradación aeróbica, en el cual se libera energía en forma de calor y la temperatura de la pila de residuos o de los biorreactores asciende de forma directamente proporcional a la actividad de los microorganismos. A su vez, el rendimiento metabólico de los microorganismos depende de la temperatura, alcanzando un valor máximo en la fase de degradación intensiva y se presenta a los 70°C aproximadamente; una vez se alcanza esta fase, el material pasa a un periodo de maduración o post degradación, en el cual se estabiliza presentándose el comportamiento típico señalado en la figura F.5.2.

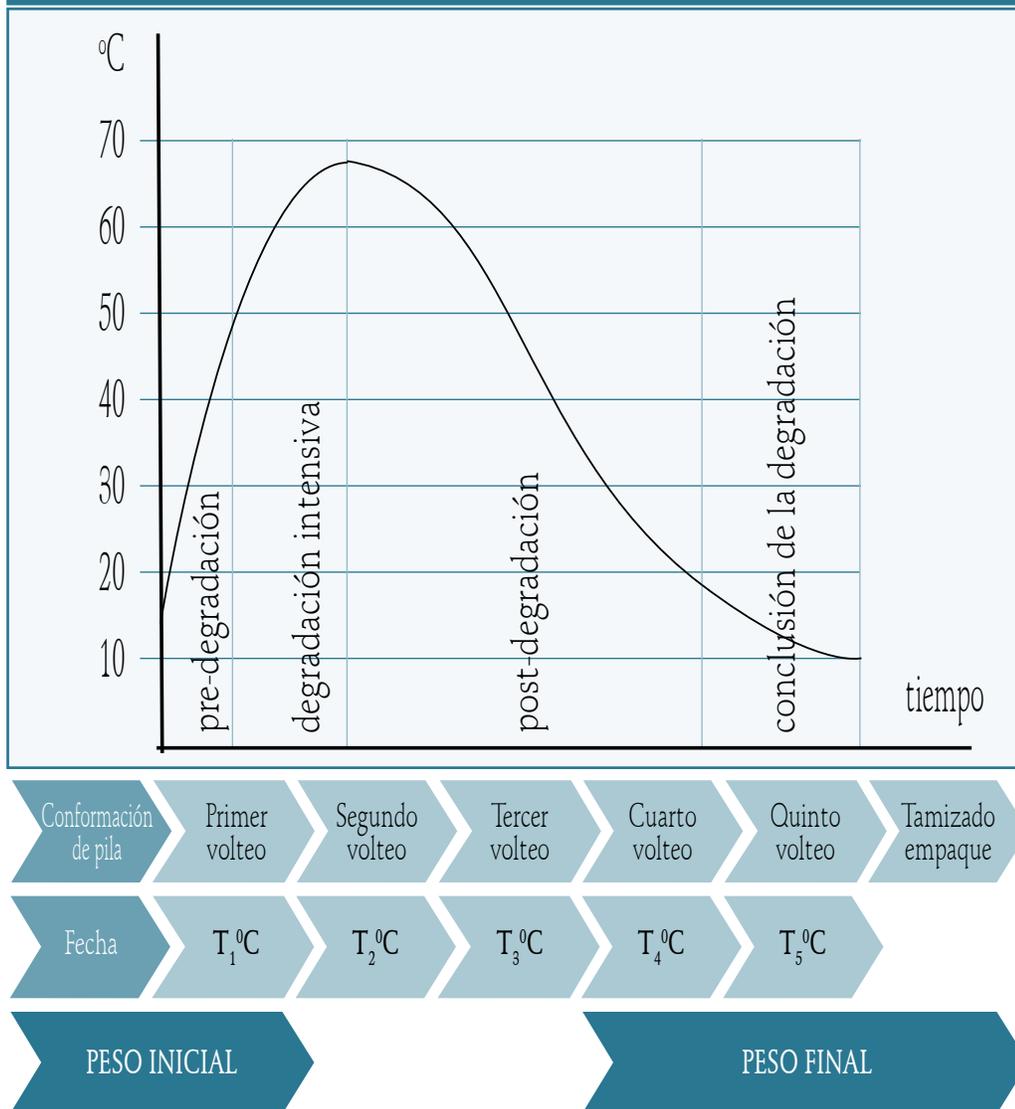
Este parámetro es el indicador de madurez del proceso dado que evidencia las etapas según la clase de microorganismos que están en capacidad de crecer en determinados rangos de temperatura.

- Fase mesófila. Se da al inicio del proceso y está comprendida entre los 20°C y 45°C.
- Fase termófila. Es subsiguiente y recibe su nombre de los microorganismos que están en capacidad de crecer por encima de los 55°C.
- Fase de enfriamiento o estabilización. Es la evidencia del agotamiento del sustrato como alimento de los organismos descomponedores, por lo tanto determina la finalización del proceso.

La temperatura se regula supervisando las mediciones de este parámetro mediante la oxigenación, variando las frecuencias de volteo o incrementado la cantidad de aire en el caso de aireación forzada.

- f. **Tiempo de proceso:** Es un factor asociado con la calidad final del producto obtenido, entre otras características de madurez. El carbono orgánico disponible define el uso como enmienda, recuperador de suelo o como abono. Debido a los procesos oxidativos el carbono orgánico disminuye rápidamente en el transcurso del proceso, transformándose en cenizas y estas a su vez sufren efectos de concentración incrementando la mineralización.

FIGURA F5.2. Rangos de Temperatura Típicos en el Compostaje Aerobio⁵



5. GTZ. 2000. ¿Tratamiento mecánico-biológico de desechos? Introducción y ayudas para la toma de decisiones relativas a su aplicación en países en desarrollo. Proyecto Sectorial "Promoción del tratamiento mecánico-biológico de desechos".

La destrucción de organismos patógenos es función del tiempo y la temperatura. A cada lote se le debe hacer seguimiento a través de formatos de control. La Temperatura debe ser tomada en el núcleo de la pila cuando es cónica; cuando es lineal se toma en puntos equidistantes, es conveniente realizar más de una lectura por metro lineal de pila y tomar el promedio aritmético entre los puntos.

Compostaje anaerobio

Debe tenerse en cuenta lo especificado para compostaje aerobio, así como los aspectos de seguridad en el manejo y utilización del gas metano, CH₄, producido. El sistema debe prohibir la presencia y el uso de equipos que produzcan chispas o puedan inducir explosiones. Debe marcarse adecuadamente la zona y restringir el acceso a personas ajenas para minimizar el riesgo de explosiones.

La calidad en la operación del compostaje sea aeróbico o anaeróbico para mitigar los impactos negativos que pueden producirse y por ende comprometer la calidad del agua, el aire, así como la salud y el bienestar público, debe considerar:

- a. **Agua:** La calidad de este recurso se ve afectada por la contaminación con lixiviado, agua de escorrentía del proceso de operación y residuos compostados. Para evitar la formación de lixiviado debe mantenerse el contenido de humedad del material por debajo del contenido de humedad óptima del compostaje. Para controlar el incremento en el contenido de humedad debe protegerse el material del contacto directo con la lluvia. El lixiviado debe recogerse, almacenarse y disponerse adecuadamente de modo que no alcance las aguas superficiales y/o subterráneas. El agua de escorrentía debe desviarse fuera del sitio mediante la construcción de diques, interceptarse, canalizarse y tratarse de ser necesario para asegurar su adecuada disposición.
- b. **Aire:** Para evitar la contaminación de este recurso, se recomienda no colocar la estación de aprovechamiento cerca de zonas habitadas. El control de olores puede lograrse en construcciones cerradas con sistemas de control de ventilación y filtros de gases y vapores.
- c. **Vectores:** Los vectores deben ser controlados teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: estación o unidad cerrada, almacenar, el menor tiempo posible, los residuos que constituyen la materia prima, reducir el tamaño y homogenizar.

Lombricultura (Vermicultivo)

Es la técnica de cultivo intensivo de lombrices de tierra en cautiverio logrando obtener su rápida y masiva reproducción y su crecimiento en espacios reducidos, y la utilización de residuos orgánicos domésticos previamente

compostados para su alimentación produciendo como resultado la transformación de éstos en lombricompostos.

Para desarrollar la técnica de lombricultura es necesario tener un banco de cría, que puede ser en trinchera o en fosa, se alimenta con estiércol vacuno enriquecido con melaza y se protege con capas de paja, con el fin de garantizar el suministro continuo de lombrices para complementar el proceso de maduración.

La temperatura del sustrato debe estar entre los 18 y 22°C, la humedad del 80% y pH de 7 aproximadamente. Para 40 m² de cultivo se requiere un total de 5 kg de lombriz pura/m², que corresponde entre 20 y 25 kg de lombriz mezclada con sustrato (lombriz comercial), lo anterior arroja un total de 200 kg de lombriz pura, el 20% de esta cantidad será entonces de 40 kg, para comenzar el cultivo y producción. Una lombriz adulta se come en un día una cantidad de alimento igual a su peso, produce un 60% en humus, el otro 40% lo utiliza para su sustento.

En un metro cuadrado de cama se pueden tener hasta 50.000 lombrices, y en un kilo se encuentran alrededor de 1.500. 200.000 lombrices pueden producir entre 30 y 50 toneladas de humus o lombricompostado, en un año.

Las dimensiones de los lechos para el cultivo de la lombriz dependerán de la cantidad de material a aprovechar y del área disponible. Estos pueden ser de forma rectangular de 1,20 a 1,60 metros de ancho y la longitud que permita el terreno, 20 metros como máximo, la altura de la cama debe ser de 30 centímetros. Las paredes de las camas deben ser móviles: tablas, guaduas, bloques de plástico o costales de fibra, dejándoles una pequeña pendiente para permitir el drenaje del agua.

Se suministra sustrato cada 8 o 15 días en capas de 10 cm de espesor, se siembran las lombrices en hileras y se tapa con material vegetal para conservar la humedad.

La aplicación de lombrices como alimento o como insumo para elaboración de concentrados proteicos para la alimentación de aves, peces y cerdos solamente puede realizarse sobre sustratos limpios, homogéneos, separados en la fuente y debidamente caracterizados.

F5.3.2.2 Controles del proceso y de producto para tratamientos biológicos

La determinación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos debe realizarse en laboratorios debidamente acreditados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. (Resolución 0176 de 2003 del IDEAM) o por el ICA cuando el producto es para uso agrícola (Resolución 00329 de 2001 del ICA). La toma de muestras para la determinación de los diferentes parámetros, debe atender las consideraciones de cadena de custodia.

Cuando el material obtenido se va a utilizar con fines agrícolas es necesario obtener los registros de planta y la licencia de venta del producto de acuerdo a lo establecido en la Resolución 150 de 2003 del ICA.

Antes de empacar un lote de producción se deben realizar:

Pruebas fitosanitarias en campo: En semillero sembrar especies de crecimiento rápido como rábano, fríjol o gramíneas para evaluar el porcentaje de germinación y la coloración. Si la germinación es inferior a 50% no se recomienda utilizar en aplicaciones al suelo, es necesario reprocesar para poder utilizarlo en actividades agrícolas u otras que impliquen su aplicación al suelo.

Igualmente, si en el desarrollo de las pruebas se observa marchitez, amarillamiento o pudrición en alguna de las partes de los individuos vegetales de la prueba, es un indicador de que el proceso no alcanzó la temperatura adecuada para controlar patógenos.

Así mismo si se presenta crecimiento de malezas en el producto obtenido a partir de semillas fértiles que persistieron al proceso de compostaje, indica que el proceso no alcanzó la temperatura adecuada.

Análisis de laboratorio: Evaluar las características físico-químicas, microbiológicas y contenido de metales pesados, atendiendo normas tales como la NTC 5167 de ICONTEC o aquellas que las complementen, modifiquen o sustituyan. El compost resultante de estos procesos debe cumplir con las especificaciones contenidas en la tabla F.5.6.

TABLA F.5.6. Valores Permisibles en la Materia Orgánica Estabilizada			
Parámetro	Valor de referencia		
Parámetros físico químicos	Categoría A	Categoría B	
Contenido de humedad (%)	≤ 20,0	≤ 25	
Contenido de cenizas (%)	< 60,0		
Contenido de carbono orgánico oxidable total (%)	> 15,0		
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	> 30,0	> 20	
Capacidad de retención de humedad (%)	> 100,0	> 100	
pH (Unidades)	4,0 < pH < 9,0		
Densidad real (g/cm ³ Base Seca)	< 0,6		
N total, P ₂ O ₅ y K ₂ O (%)	Declararlos si cada uno es > 1,0%		
Metales pesados (mg/Kg Base Seca)	USO AGRÍCOLA	OTROS USOS	
Arsénico (As)	15,0	140,0	75,0
Cadmio (Cd)	0,7	39,0	85,0
Cobre (Cu)	70,0	1.500,0	4.300,0
Cromo (Cr)	70,0	1.200,0	3.000,0

TABLA F.5.6. Valores Permisibles en la Materia Orgánica Estabilizada

Parámetro	Valor de referencia		
	Mercurio (Hg)	0,4	17,0
Níquel (Ni)	25,0	420,0	420,0
Plomo (Pb)	45,0	300,0	840,0
Selenio (Se)	15,0	36,0	100,0
Zinc (Zn)	200,0	2.800,0	7.500,0
Parámetros microbiológicos	Categoría A		Categoría B
Salmonella sp.	Ausente en 25 gramos de muestra de producto final (en base seca)		< 1,00 E(+3) UFC/g de muestra de producto final base seca
Entero bacterias totales	< 1,00 E(+3) NMP/g de producto final (En base seca)		
Huevos de helmintos	< 1 Huevo de helminto viable/4 g de muestra de producto final (en base seca)		Esencialmente no corrosivo
Coliformes fecales			< 2,00 E(+6) UFC/g de muestra de producto final base seca
Contenido de materiales inertes para las dos categorías	Tamaño de partícula		Valor de referencia (% en peso base seca)
Plástico, metal, caucho	Tamaño > 2,0 mm		< 0,20
Vidrio	2,0 mm < Tamaño < 16,0 mm		< 0,02
	Tamaño ≥ 16,0 mm		Ausente
Piedras	Tamaño > 5,0 mm		< 2,00

Adicionalmente a las especificaciones definidas anteriormente, la categoría A deberá provenir directamente de procesos de separación en la fuente cuando se destinen a uso agrícola.

De manera compilatoria, los puntos del control en la operación de estaciones de aprovechamiento de residuos orgánicos mediante estabilización biológica se muestran en la tabla F.5.7.

Tabla F.5.7. Control de Calidad del Proceso de Estabilización Biológica

Flujo de proceso	VARIABLES de control	Actividad	Instrumento
Recepción de materia prima a procesar	Verificar que es material separado en la fuente.	Se debe segregar el material para evitar el ingreso de materiales no deseables.	Una vez ingresa se registra: Cantidad de material (peso / volumen). Procedencia. Formato de control de ingreso.
Ingreso a compostaje	VARIABLES físico químicas	Balance de nutrientes (relación C/N) El rango debe ser de 20 a 30.	Ver Tablas F.5.4. y F.5.5.

Tabla F.5.7. Control de Calidad del Proceso de Estabilización Biológica

Flujo de proceso	Variables de control	Actividad	Instrumento
Ingreso a compostaje	Humedad	<p>Los valores deben estar entre el 40 y el 60%. Para el control en campo se sigue el siguiente procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tome con la mano una muestra de material. • Cierre y apriete fuerte el mismo. • Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo, se puede establecer que el material contiene más de 40% de humedad. • Si no se produce el hilo continuo y el material gotea intermitentemente, el contenido de humedad es cercano al 40%. • Si el material no gotea y al abrir el puño permanece moldeado, se estima que la humedad está entre 20 y 30%. • Finalmente si al abrir el puño el material se disgrega, se asume que el material contiene una humedad inferior al 20%. <p>Si hay necesidad de riego es conveniente hacerlo en la fase mesotérmica. El riego debe hacerse lo más homogéneo y atomizado posible para no producir cambios bruscos en la temperatura.</p>	<p>Formato de registro diario por cada pila. Ver figura F.5.2.</p> <p>Se deben considerar otros aspectos como el olor, la textura y el color registrándolos en observaciones.</p> <p>Según los registros de temperatura se establecen los ajustes en humedad y oxigenación.</p>
	Temperatura	<p>Tomar más de una lectura y registrar el promedio aritmético.</p> <p>Utilizar termómetros especialmente diseñado para este fin.</p>	
	Oxigenación	<p>En las primeras etapas el volteo es más continuo. El control de la oxigenación evita malos olores y la generación de percolados.</p>	

Tabla F.5.8. Indicadores de Calidad en el Producto Final⁶

Variable	Importancia	Comportamiento durante el proceso
Capacidad de retención de agua	Permite regular el balance hídrico. Favorece la retención de nutrientes.	Su valor debe aumentar en función del tiempo.
Conductividad eléctrica	Indica el nivel de iones en el compost. De acuerdo a este parámetro puede utilizarse para corrección de suelos de explotación intensiva.	Tiende a aumentar con respecto al valor inicial.
Cenizas	Indican el porcentaje de sustancias inorgánicas no volátiles.	Aumentan durante el proceso.
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	Es el conjunto de procesos reversibles por medio de los cuales las partículas sólidas retienen y liberan iones de la fase acuosa y simultáneamente intercambian cationes hasta equilibrar las dos fases. Esto se atribuye a la materia orgánica que funciona como intercambiador.	Es una medida de la oxidación de la materia orgánica, su valor se incrementa en función del tiempo.

6. Adaptado: Cartilla Técnica: Manejo y evaluación de la porquinaza mediante procesos de compostación 2003. Corantioquia- Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares – GIEM, Corporación Académica para el estudio de patologías tropicales. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. www.corantioquia.gov.co.

Tabla F.5.8. Indicadores de Calidad en el Producto Final⁶

Carbono orgánico oxidable	Es la variable más significativa de la calidad del producto final.	Para que el producto final sea considerado abono orgánico debe ser mayor al 15%.
Microorganismos	La caracterización microbiológica permite definir si el producto final es ambientalmente aceptable, agronómicamente seguro e inocuo. La población de patógenos debe desaparecer por la acción de la temperatura controlada.	Las poblaciones de microorganismos deben incrementarse con el tiempo, se establecen sucesiones por competencia entre microorganismos mesófilos y microorganismos termófilos hasta su estabilización.
Presencia de fitotóxicos	Define si el producto es agronómicamente adecuado.	Deben disminuir en función del tiempo.

Cuando los residuos sólidos sean separados en una estación de aprovechamiento, se deberá tener una eficiencia de separación en peso y volumen de acuerdo con lo establecido en la tabla F.5.9.

TABLA F.5.9. Valores de Eficiencia de Separación de Residuos en una Estación de Separación y de Tratamiento

Periodo de operación		Eficiencia de separación	
Etapas	Duración de la etapa (meses)	(% en peso base húmeda)	(% en volumen base húmeda)
Operación de inicio	0,0 < t < 6,0	> 75,0	> 70,0
Operación estable	6,0 < t < 18,0	> 85,0	> 80
Operación de optimización	> 18,0	> 95,0	> 90,0

F5.3.2.3 Postprocesamiento y mercadeo

Entre las prácticas recomendadas están las siguientes:

Tamizado: Debe hacerse para mejorar la uniformidad y apariencia del compost y retirar cualquier material indeseable que haya pasado la segregación inicial, tales como fragmentos de vidrio, metales, plástico, textiles, etc.

Mezcla con fertilizantes: Para mejorar las condiciones de aporte de nutrientes desde el proceso de compostaje deben realizarse estudios previos con muestras representativas de los residuos sólidos a tratar del producto obtenido, de los suelos y cultivos objeto de aplicación, de acuerdo al mercado, para así formular el compost como fertilizante orgánico. Estas mezclas pueden ser con piedra fosfórica y urea entre otras sustancias.

Para la inoculación de microorganismos se deberán seguir los procedimientos establecidos por el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dichos estudios deberán incorporar además un análisis de costo eficiencia de la transformación con y sin acelerantes

del proceso, tomando como base de cálculo un periodo no inferior a 10 años, con lo cual se tomará la decisión de utilizar o no estos productos.

F5.3.2.4 Procesos de transformación química

La transformación química incluye algunos procesos de hidrólisis, que se utilizan para recuperar compuestos tales como la glucosa, y otros procesos de conversión química para recuperar compuestos como aceite sintético, gas y acetato de celulosa. También se pueden producir alcoholes. Estos procesos pueden ser: bioquímicos como la biogeneración y el compostaje, y tratamientos fisicoquímicos.

F5.3.2.5 Procesamiento térmico

A continuación se describen los procesos más usuales para el tratamiento térmico de los residuos sólidos. El usuario debe utilizar la descripción de estos procesos como simple información en consideración a que cada una de ellos incluye instalaciones y equipos de costos variables en su adquisición y operación, requieren de un estudio cuidadoso y se presentan dificultades para su implementación en municipios de bajos recursos financieros y tecnológicos.

- a. **Incineración.** Es el proceso de reducción de los residuos sólidos (del orden de 90% en volumen y 75% en peso) a material inerte (escoria y cenizas) y a productos oxidados mediante la combustión, provoca descomposición de las sustancias por vía térmica, mediante la oxidación a temperaturas elevadas (760 °C o más) destruyendo la fracción orgánica de los residuos y reduciendo su volumen considerablemente.

El capítulo F.7 de este Título establece los principios generales y operacionales mínimos bajo los cuales debe realizarse este proceso, para el cual se recomienda realizar una evaluación detallada y efectuar su implementación cuando se tiene al menos una de las siguientes características: nivel de complejidad alto del sistema, sistemas regionales equivalentes a nivel de complejidad alto o para municipios ubicados en islas como el caso de Providencia y San Andrés o zonas aisladas.

- b. **Pirolisis / Termólisis.** Es el procesamiento térmico de residuos en ausencia total de oxígeno, este procedimiento utiliza una fuente de combustible externa para conducir las reacciones en un ambiente libre de oxígeno. El proceso de pirolisis produce tres fracciones de componentes:
 - Una corriente de gas que contiene hidrógeno, metano, monóxido de carbono y diversos gases;
 - Una fracción líquida que consiste en un flujo de alquitrán o aceite;
 - Coque inferior, que consiste en carbono casi puro.

- c. **Gasificación.** Es el procesamiento térmico en condiciones restrictivas de oxígeno y en condiciones reductivas en la cámara de reacción. es una tecnología moderna y segura; incluye instalaciones que transforman hasta en un 99% todos los residuos que producimos (urbanos, industriales) en gas de síntesis que puede ser utilizado para alimentar la instalación propiamente dicha, producir energía a ser comercializada para otras necesidades; además de gas se produce materia inerte (granulados que pueden utilizarse en la construcción o en la industria metalúrgica).

F5.3.3 Disposición final controlada de material de rechazo

Aunque el objetivo primordial del sistema de aprovechamiento con separación en la fuente, es que el 100% de los residuos que ingresen a la unidad de tratamiento sean incorporados al ciclo económico productivo, es necesario tener en cuenta que no es factible que la comunidad realice la separación de acuerdo con las calidades establecidas, situación que inevitablemente obligará a la ejecución de actividades de separación en la unidad de tratamiento produciéndose una cantidad de residuos no aprovechables. Por otro lado, una cantidad de residuos potencialmente aprovechables serán rechazados por el comprador, convirtiéndose en una fracción adicional no aprovechable o material de rechazo.

Así mismo, en un sistema de aprovechamiento sin separación en la fuente se va a encontrar que una gran cantidad de los residuos producidos en el municipio no son aprovechables o que aun siendo potencialmente aprovechables su tratamiento no es viable financieramente, situación que lo convierte en un residuo no aprovechable.

Estas situaciones hacen que necesariamente se deba implementar un sistema de disposición final a través de la técnica de relleno sanitario, para lo cual se deberá cumplir con las especificaciones definidas en este Título.

F5.4 Usos de los residuos sólidos aprovechables

Para desarrollar un sistema eficaz de gestión integral de residuos sólidos, es necesario tener información sobre las alternativas de uso de su fracción útil con el fin de separarla en las unidades de aprovechamiento, ya sea para transformarla en nuevos productos o para la recuperación de energía. Es necesario tener claro que los compradores de los residuos sólidos aprovechables van a exigir ciertos requisitos de calidad, de acuerdo a unas especificaciones que

están estrechamente ligadas al tipo de aprovechamiento que posteriormente se les va a dar.

F5.4.1 Especificaciones para Residuos Sólidos Aprovechables

Las siguientes especificaciones corresponden a los requerimientos mínimos que deben tenerse en cuenta para la utilización de los residuos sólidos en las diferentes actividades de aprovechamiento. Los compradores de los residuos sólidos aprovechables podrán solicitar especificaciones de calidad, más estrictas a las presentadas en este capítulo, que deberán tenerse en cuenta en el momento de la planificación del sistema dentro de la prestación del servicio de aseo y deben ser resultado del estudio de oferta y demanda.

F5.4.1.1 Para reutilización directa

Corresponde a la fracción de residuos sólidos separada en el origen y que por sus características puede utilizarse directamente tal como la madera, las estibas de madera, muebles y papel. Estos residuos deben tener la propiedad de ser utilizables para su función original o para una relacionada, por lo tanto deben estar limpios.

F5.4.1.2 Para reutilización y/o reciclaje

Todos los residuos sólidos deben estar limpios y homogéneos.

- a. **Aluminio.** Se recomienda que las latas sean aplastadas y empacadas. Deben estar libres de humedad y contaminación. Las especificaciones para su comercialización corresponden al tamaño de la partícula, grado de limpieza, distancia de transporte y punto de entrega.
- b. **Papel y cartón.** No deben tener contaminantes como papel quemado por el sol, metal, vidrio y residuos de comida. Dentro de las especificaciones a tener en cuenta están: fuente, calidad, sin adhesivos, contenido de humedad, cantidad, almacenamiento, punto de entrega.
- c. **Plásticos.** Deben ser clasificados de acuerdo a las categorías de uso internacional (PET/1, PE-HD/2, PVC/3, PE-LD/4, PP/5, PS/6 y Multilaminado/7), grado de limpieza y contenido de humedad.
- d. **Vidrio.** Debe clasificarse por colores, no debe contener contaminantes como piedras, cerámicas, etiquetas y/o metal, o según especificaciones del mercado, almacenamiento y punto de entrega. No se debe reciclar vidrio laminado de automóvil. Si el uso es para fabricación de fibra de vidrio, no deberá contener materiales orgánicos, metales o refractarios.
- e. **Metales férricos.** Se recomienda separar las etiquetas de papel, lavar las latas preferiblemente con detergente y aplastarlas. Las tapas de botellas y

botes pueden reciclarse junto con latas de acero. Pueden aceptarse las latas de aerosoles vacías. Dentro de las especificaciones están: fuente (residencial, comercial, industrial), peso específico, grado de limpieza, libre de estaño, aluminio y plomo, cantidad, medio de transporte y punto de entrega.

- f. **Metales no férricos.** Varían según las necesidades y los mercados.
- g. **Residuos de jardín.** Varían según el uso. Sin embargo, las especificaciones mínimas corresponden a la composición del material, tamaño de partícula y grado de contaminación.
- h. **Construcción y demolición.** Composición, grado de contaminación, designación final del uso del terreno. Varían según las necesidades y los mercados.
- i. **Madera.** Varían según las necesidades y los mercados.
- j. **Neumáticos.** Contenido energético, varía según las necesidades y los mercados.
- k. **Textiles.** Tipo de material; grado de limpieza.

F5.4.1.3 Para materia orgánica estabilizada

El producto final debe cumplir con los valores máximos permisibles enumerados en la tabla F.5.6., para las categorías A y B definidos de acuerdo con el uso final. Se define adicionalmente una categoría C, la cual presenta valores de referencia de los parámetros diferentes (superiores e inferiores en donde aplique) a los de las categorías A y B y que son considerados como no peligrosos.

De acuerdo con la calidad y cantidad de nutrientes estos productos pueden ser clasificados como enmienda orgánica utilizada para recuperar suelos, como abono orgánico o como sustrato para propagación vegetal.

F5.4.1.4 Para generación de energía

- Residuos de jardín: Deben ser requeridas por la instalación encargada del procesamiento y sus requerimientos mínimos son: composición de los residuos, disposición de tamaño, contenido de humedad y grado de contaminación.
- Fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables estabilizados: Deben ser requeridas por la instalación encargada del procesamiento según el uso final del material.

F5.4.2 Posibilidades de Reutilización y Reciclaje

El aprovechamiento de los residuos sólidos tiene como fin último su incorporación al ciclo económico productivo, por ende será necesario que en el estudio de mercado por lo menos se analicen las posibilidades de uso definidas en la tabla F.5.10.

TABLA E.5.10. Posibilidades de Reutilización y Reciclaje

Residuo	Tipo de Material	Posibilidades de Uso
Aluminio	Latas de aluminio	Reuso en nuevas materias primas luego de fundido y laminado el metal. (fábricas de elementos de aluminio).
Papel y cartón	Papel periódico	Nuevas materias primas para elaboración de cartón, papel periódico, papel higiénico, pañuelos de papel, contenedores ondulados, para construcción (cartón de yeso, material suelto de aislamiento, papel saturado de fieltro para tejados).
	Cartón ondulado	Lámina o medio para nuevas cajas de cartón.
	Papel de informática, facturas en blanco y color, libros, reproducción	Papel higiénico o de alta calidad.
	Papel mezclado	Cartón y productos prensados misceláneos, para construcción (cartón de yeso, material suelto de aislamiento, papel saturado de fieltro para tejados).
Plástico	Polietileno tereftalato PET/1 (botellas de gaseosas y jugos, recipientes para comida)	Almohadas, edredones, pijamas, ropa para clima frío, bases y fibras de moqueta, productos moldeados, tablas aislantes, películas, correas, envases de comida.
	Polietileno de alta densidad PE-HD (botellas de leche y detergentes, bolsas, etc.).	Botellas de detergentes, frascos de aceite de motor, bolsas, tuberías y productos moldeados como juguetes y señales de tránsito.
	Policloruro de vinilo PVC (recipientes domésticos y de comida, tuberías).	Recipientes que no son para comida, cortinas de baño, alfombras de plástico, tuberías para riego, materas, juguetería, tuberías de drenaje, molduras, láminas y piezas moldeadas.
	Polietileno de baja densidad PE-LD (envases de película fina y empaques).	Bolsas negras.
	Polipropileno PP (cajas para botellas, maletas, tapas y etiquetas).	Tablas de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes, vallas y baterías.
	Poliestireno PS (vasos y platos de espuma, artículos moldeados por inyección).	Tablas de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, aislamiento, juguetes y productos moldeados por inyección.
	Plásticos mezclados y multilaminados (plásticos no seleccionados).	Bancos de jardín, mesas, guardafangos, postes para vallas, vigas, pellets, estacas.
	Vidrio	Botellas y recipientes de vidrio.
Fibra de vidrio (triturado).		Fibra de vidrio.
Metales férreos	Latas de acero u hojalata	Estaño, nuevo acero.
	Electrodomésticos, automoviles y chatarra de acero.	Nuevos productos.
Metales no férreos	Muebles de jardín, baterías, electrodomésticos de cocina, herramientas, escaleras, ferretería, alambre de cobre, fontanería, etc.	Industria.

TABLA F.5.10. Posibilidades de Reutilización y Reciclaje

Residuo	Tipo de Material	Posibilidades de Uso
Residuos de jardín	Residuos de jardín	Materia orgánica estabilizada. Material de cobertura de rellenos sanitarios.
Materia orgánica estabilizada	Fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, papel, cartón, textiles, madera, residuos de jardín.	<p>Para categoría A</p> <ul style="list-style-type: none"> • En agricultura, como abonos orgánicos o acondicionadores orgánicos no húmicos de suelos en cultivos hortícolas, frutícolas, forraje, fibras y praderas para pastoreo. • Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción. • En la fabricación de encendedores y material aglomerado o comprimido (pellets) para procesos de tratamiento térmico de residuos y en procesos de oxidación térmica o reducción térmica, como combustible alternativo. • Como insumo en la obtención de materiales de construcción. • Los mismos usos que en la categoría B. <p>Para categoría B</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, secundaria y/o terciaria. • En la rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola, áreas destinadas al ornato y la recreación, jardines, parques y zonas verdes. • En la revegetalización de suelos degradados de uso no agrícola. • Como material para cobertura y revegetalización de áreas erosionadas y de minería a cielo abierto. • En plantaciones forestales. • En la fabricación de encendedores y material aglomerado o comprimido (pellets) para procesos de tratamiento térmico de residuos como combustible alternativo. • Los mismos usos que en la categoría C. <p>Para categoría C</p> <ul style="list-style-type: none"> • En las coberturas intermedias de cierre de plataformas y cobertura final de clausura en sistemas de disposición final de residuos sólidos tipo relleno sanitario, para revegetalización y paisajismo. • En la disposición conjunta con residuos sólidos en sistemas tipo relleno sanitario y en sistemas de disposición final exclusivos de biosólidos y/o materiales orgánicos estabilizados.
Construcción y demolición	Asfalto.	Capa de base para vías, material nuevo para pavimentar.
	Hormigón, ladrillo.	Nuevo hormigón.
Madera	Rechazos de fábrica, productos de madera.	Madera prensada.

F.5.4.3 Estudios de Factibilidad

Deben realizarse estudios económicos, técnicos y ambientales que determinen la factibilidad de implantar un programa de aprovechamiento y valorización.

Dichos estudios deben basarse, como mínimo, en la composición de los residuos (futuras tendencias en la composición de los residuos), las especificaciones para cada uno de los métodos de aprovechamiento y valorización, el mercado disponible y potencial de los residuos sólidos aprovechables, la legislación vigente, los costos y los beneficios económicos de implementar cualquiera de los sistemas de aprovechamiento y valorización. El análisis económico debe incluir:

F.5.4.3.1 Análisis de costos de capital

- a. Análisis de costo de capital de la construcción y montaje de la unidad de acopio y tratamiento. Deben considerarse los siguientes aspectos:
 - Actividades de preparación del sitio.
 - Servicios públicos.
 - Estructuras civiles. Accesos, edificaciones, cerramientos, etc.
 - Tamaño de la unidad de tratamiento según la capacidad de procesamiento y almacenamiento del material no procesado y procesado.
 - Costos de equipo. Deben considerarse los aspectos de adquisición, transporte, montaje, pesaje y puesta en marcha de los equipos. El equipo a utilizar debe estar en función del tamaño de la unidad.
 - Costos de elementos, equipos y maquinaria requeridos para el control ambiental: control de olores, control de vectores, control de emisiones, tratamiento de vertimientos, implementación de aislamientos e impermeabilización.
- b. Costos de diseño, incluidos el manual operativo y el reglamento operativo de la instalación.

F.5.4.3.2 Costos de operación

- a. Salarios del personal requerido para las actividades y administración de la unidad.
- b. Mantenimiento y operación.
 - Mantenimiento del equipo y de las instalaciones físicas.
 - Transporte y disposición de residuos no aprovechables.
- c. Mercadeo y publicidad

F.5.4.3.3 Venta de subproductos

Se deben tener en cuenta y analizar cuidadosamente las capacidades reales del mercado para absorber los productos generados. Debe hacerse un

análisis de sensibilidad de la rentabilidad del proyecto de acuerdo con la cantidad de subproductos que se puedan generar. Deben tenerse en cuenta claramente los costos de transporte de los subproductos a los sitios de compra de éstos.

Se deben evaluar alternativas enmarcadas en los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) en el marco de la gestión de las fracciones de residuos orgánicos biodegradables, tanto en las opciones de compostaje industrial como en la producción de biogás.

El programa de aprovechamiento de residuos sólidos debe contener los siguientes requerimientos mínimos:

- a. Determinar el método de aprovechamiento y valorización.
- b. Determinar los objetivos a corto, mediano y largo plazo.
- c. Especificar el contenido del programa y las formas de participación comunitaria.
- d. Análisis del sistema de recolección actual para fortalecer las prácticas de recolección selectivas existentes.
- e. Determinar el sistema de recolección selectiva, agentes ejecutores y medios de transporte de los residuos sólidos aprovechables, horarios y sitios de recolección.
- f. Determinar y ubicar los centros de acopio de los residuos sólidos aprovechables.
- g. Establecer acuerdos con los diferentes sectores comprometidos con el programa. Estos pueden ser los sectores productivos transformadores, la comunidad, las empresas prestadoras del servicio de recolección de basuras y los recuperadores existentes en la zona.
- h. Especificar el plan de seguimiento y evaluación del programa de aprovechamiento.
- i. Determinar los beneficios ambientales, sociales y económicos a obtener con el programa de aprovechamiento seleccionado.

F.5.5 Localización de unidades de tratamiento para potenciar el aprovechamiento

Los siguientes criterios deben considerarse en la localización de la unidad de tratamiento de residuos sólidos aprovechables y valorizables:

- a. Debe estar cerca al área y rutas de recolección.
- b. Las vías de acceso deben ser diseñadas para minimizar el impacto del tráfico en el ambiente.
- c. Debe ser técnica, económica y ambientalmente viable, teniendo en cuenta las condiciones de tráfico, ruido, olor, generación de partículas, esparcimiento de materiales, descargas líquidas y control de vectores. Deben tenerse en cuenta los usos del suelo.
- d. Debe localizarse en una zona industrial y simultáneamente debe cumplir con el requisito de aislamiento que satisfaga la aceptación de la comunidad y se puedan mantener zonas de seguridad adecuadas alrededor de la instalación.

El proceso de localización puede constituirse de las siguientes fases:

Fase I Planeamiento

- a. Identificación del problema. Reconocer el crecimiento del volumen de residuos a manejar.
- b. Diseño y estrategia de localización. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: planeamiento e integración de la comunidad, riesgos de comunicación, mitigación y actividades de evaluación.
- c. Evaluación de alternativas. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: búsqueda, debate y selección de opciones: reciclaje, reducción en la fuente, tratamiento y disposición.
- d. Criterios factibles de selección del sitio. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: estudio de densidad de población, condiciones hidrológicas y características socio-económicas.

Fase II Selección del sitio y diseño de la unidad

- a. Selección del sitio. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: áreas de acuerdo al volumen de residuos aprovechables a manejar, áreas predeterminadas en el plan de ordenamiento territorial (POT, EOT o PBOT) según sea el caso, tecnologías a desarrollar, que posea áreas de aislamiento y control ambiental, que sea de fácil acceso, que haya acuerdos con la comunidad.
- b. Diseño de la unidad. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: selección de tecnologías, dimensiones, características de seguridad, restricciones, planes de mitigación y construcción.

Fase III Implementación

- a. Operación. Formular e implementar el manual de operación y el reglamento operativo respectivo. Deben tenerse en cuenta los siguientes

aspectos: monitoreo de recepción de residuos, manejo de la disposición de residuos, control de ruido, control de olores, manejo y tratamiento de aguas residuales.

- b. **Manejo.** Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: operación de monitoreo y seguridad, ejecución de pruebas aleatorias de caracterización de residuos.
- c. **Cerramiento y uso futuro del terreno.** Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: cerramiento y aseguramiento de la unidad, decisión sobre el uso futuro del terreno y realización de monitoreo continuo.
- d. **Monitoreo de calidad ambiental.** Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: generación de olores, ruido, contaminación de aguas, aire y suelos, y riesgos asociados a la labor que se realice.

F.5.5.1 Seguridad Industrial

Debe establecerse un programa de entrenamiento en seguridad que informe a los empleados sobre las actividades de manera que se garantice su seguridad.

En la elaboración del programa deben considerarse como mínimo:

1. Potencial de problemas de salud y seguridad asociados con el sitio de trabajo y el procesamiento de los residuos sólidos aprovechables.
 - a. En las unidades donde se utilice separación manual de materiales deben seleccionarse el tipo de ropa protectora adecuada, equipo facial filtrante de aire y guantes.
 - b. También deben considerarse el uso de máscaras y la construcción de instalaciones sanitarias adecuadas. Cuando los niveles de ruido sobrepasan los permitidos, el operador debe utilizar protección auditiva.
 - c. Deben establecerse mecanismos que permitan el cumplimiento de las normas legales sobre la Seguridad en la Utilización de Productos Químicos en el Trabajo.

En la tabla F.5.11 se muestran los aspectos referentes a la salud y seguridad que deben ser considerados dependiendo del equipo que posea la unidad.

Tabla F.5.11. Aspectos Mínimos del Plan y Programa de Entrenamiento de Seguridad Industrial

Componente	Cuestión de Seguridad
Mecánico	Piezas giratorias de alta velocidad Ejes de transmisión y correas Ruidos de alta intensidad Vidrios rotos, objetos de metal afilados Peligro de explosión
Eléctrico	Cables, interruptores y controles expuestos Carencias de tomas a tierra
Arquitectónico	Escaleras de mano, escaleras, barandillas Rutas de vehículos y visibilidad Ergonomía de las cintas transportadoras de selección Iluminación Ventilación y aire acondicionado Drenaje
Operativo	Prácticas de mantenimiento Entrenamiento de seguridad Equipamiento de seguridad y primeros auxilios

2. Aspectos mínimos del plan y programa de entrenamiento de seguridad industrial

Tabla F.5.11. Aspectos Mínimos del Plan y Programa de Entrenamiento de Seguridad Industrial

Componente	Cuestión de Seguridad
Equipamiento de seguridad personal	Guantes a prueba de pinchazos e impermeables, zapatos de seguridad, uniformes, protección ocular, protección contra ruidos, protección respiratoria.

El manejo de residuos peligrosos se realizará conforme a la normatividad existente en el tema.

3. Peligros físicos inherentes a la gestión de los residuos sólidos aprovechables.

F.5.5.2 Edificación

F.5.5.2.1 Consideraciones generales

La edificación para el aprovechamiento de residuos debe incluir como mínimo los siguientes aspectos constructivos:

- a. El área mínima para la recepción, pesaje y registro de los residuos que ingresan o salen.
- b. El área mínima de almacenamiento de la materia prima debe ser la suficiente para acomodar el equivalente a 3 días de abastecimiento y el área mínima de almacenamiento para el material procesado debe tener capacidad para 2 meses.

- c. Deben utilizarse paneles anchos para lo cual deben disponerse un número mínimo de columnas interiores de manera que se presente la mínima interferencia con la circulación de los vehículos.
- d. La edificación debe tener puertas amplias de manera que no interfieran con las maniobras de los vehículos.
- e. Ventilación. El sistema de ventilación debe ser diseñado de tal forma que no haya acumulación de sustancias que interfieran con la salud y la seguridad de las personas que laboran en la unidad.
- f. La edificación debe contar con sistema contra incendios.
- g. La edificación debe contar con obras de drenaje para el control de las aguas de escorrentía e infiltración, sistema de recolección de lixiviados y planta de tratamiento, de éstos en caso de que se produzcan.

F.5.5.2.2 Consideraciones específicas para residuos sólidos orgánicos

- a. Los paneles deben tener una altura desde el piso suficiente para el acomodamiento y volteo de los residuos sólidos.
- b. Debe tener techo.
- c. La altura de la edificación debe ser suficiente para que no haya interferencia en las actividades de volteo, aireación e iluminación.
- d. El diseño de los espacios operativos entre pilas debe ser de 3 m, de forma que se pueda realizar la toma de datos.
- e. Los pisos deben tener características que no interfieran con el material del suelo: nivelado, compactado y las características de soporte que garanticen el desplazamiento seguro de equipo, maquinaria y personal.
- f. Debe contar con red de drenaje interna que minimice la infiltración de percolados y externa para el manejo de aguas lluvias y escorrentía.
- g. Contar con área de acopio de rechazos y residuos sólidos provenientes del proceso para disposición final. Se debe garantizar que los rechazos y residuos del proceso tengan tratamiento y disposición final adecuados según lo establecido en el presente título y la normativa vigente.

F.5.5.2.3 Aspectos cuantitativos a considerar en una estación de aprovechamiento de residuos orgánicos de producción de escala semi-industrial

Para fines prácticos el diseño de capacidades operativas superiores a 100 toneladas diarias de residuos orgánicos separados se considera una infraestructura

de escala industrial y por lo tanto tendrá consideraciones operativas y logísticas adicionales en lo referente a áreas operativas, requerimientos de equipos, maquinaria y personal.

Con fines ilustrativos el cálculo de requerimientos de área para un proceso con las siguientes consideraciones, se determina de la siguiente forma:

Consideraciones:

- Material de ingreso = 100 Toneladas / día de residuos orgánicos separados.
- Configuración espacial: Sistema de hileras.
- Tipo de oxigenación: Volteo mecánico.
- Densidad de la materia orgánica 0,4 Toneladas / m³ (Valor que debe ser recalculado dependiendo del material de ingreso).
- Dimensiones de la geometría 3 m ancho (de acuerdo al equipo de volteo) y 1,8 m de alto (en función del ángulo de reposo del material).

La unidad de compostaje (Uc) se obtiene con las dimensiones transversales de la hilera y el volumen diario:

$$\text{Área transversal de la hilera} = (A * h)/2 \quad (\text{F.5.11})$$

Donde: A: ancho de la hilera, m.
h: altura de la hilera, m

$$\text{Área transversal de la hilera} = (3 * 1,8)/2 = 2,7 \text{ m}^2$$

Con este dato y la cantidad de material a tratar, expresado en volumen, se procede con la determinación de la longitud diaria de la hilera a implementarse y con esto el estimado de área total requerida.

$$Uc = (Q / \rho) / \text{Área transversal de la hilera} \quad (\text{F.5.12})$$

Donde:

Uc = unidad de compostaje diaria (Longitud de la hilera, m).

ρ = densidad de los residuos orgánicos separados, kg/m³

Q = cantidad de residuos orgánicos separados, kg.

$$Uc = (100 \text{ t}/0,4 \text{ t/m}^3) / 2,7 \text{ m}^2 = 93 \text{ m}$$

Con los anteriores resultados se procede con las siguientes premisas de diseño:

- El número de unidades por mes = 30
- Al cabo de 3 meses se habrán conformado: 3*30 = 90 Uc.
- Cada Uc ocupa un área de 3m * 93 m = 279 m².

- Entre cada hilera debe existir una distancia mínima de 3 m, para permitir el correcto volteo y la toma de datos de control de proceso.
- El tiempo de diseño (3 meses) se estima incluyendo el tiempo de maduración y un factor de seguridad, sin embargo el tiempo real del proceso (deberá ser inferior al tiempo de diseño) se define una vez se estandarice la operación.

Nota: Durante el proceso de estabilización el material en cada hilera se reduce tanto en masa como en volumen y por lo tanto si se mantiene la altura de cada hilera el área a ocupar es menor. Las tasas de reducción dependen del tipo de proceso y la eficiencia del mismo y por lo tanto se hace necesario ajustar dimensiones y uso de las áreas de operación. No se recomienda mezclar hileras que se encuentren en diferente etapa de maduración, lo cual es posible sólo con hileras que tengan características de proceso similares de acuerdo a los registros de seguimiento.

Siguiendo con la estimación de requerimientos de área, se tiene:

El área total de las Uc al término de 3 meses será:

$$A_{\text{comp}} 90 \text{ Uc}_{(90 \text{ días})} = \text{número de Uc (90 días)} * \text{Área Uc} \quad (\text{F.5.13})$$

$$A_{\text{comp}} 90 \text{ Uc}_{(90 \text{ días})} = 90 * \text{Uc} * 279 \text{ m}^2 = 25.110 \text{ m}^2$$

El área de espaciamiento entre Uc depende de la ubicación dentro del lote, se conforman 90 filas de 93 m de longitud cada una.

$$A_{\text{esp}} = (\text{número de filas (No.}_{uc/fila}) - 1 * \text{esp}) * \text{Long Uc} \quad (\text{F.5.14})$$

$$A_{\text{esp}} = (90-1) * 3\text{m} * 93\text{m} = 24.831 \text{ m}^2$$

Asumiendo un mes como tiempo máximo de almacenamiento del compost producido y una densidad final de 0,6 Tonelada/m³ se tiene el volumen final para un mes de compost de:

$$V_{\text{alm}} = (1500 \text{ Ton} / 0,6 \text{ Ton/m}^3) = 2.500 \text{ m}^3 \quad (\text{F.5.15})$$

Tomando como área transversal 16 m² (8m de ancho x 2m de alto), el área de almacenamiento para un mes será de:

$$A_{\text{alm}} = (V_{\text{alm}} / A_{\text{trans}}) * (\text{Ancho}) \quad (\text{F.5.16})$$

$$A_{\text{alm}} = (2500\text{m}^3 / 16 \text{ m}^2) * 8\text{m (ancho)} = 1.250 \text{ m}^2$$

El área de oficinas y servicios equivale a 3 veces el área de almacenamiento (1250 * 3) = 3750 m². Esta área incluye almacenamiento de herramientas y maquinaria.

El área total será:

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{comp}} 90 U_{c(90 \text{ días})} + A_{\text{alm}} + A_{\text{ofic}} + A_{\text{esp}} \quad (\text{E.5.17})$$

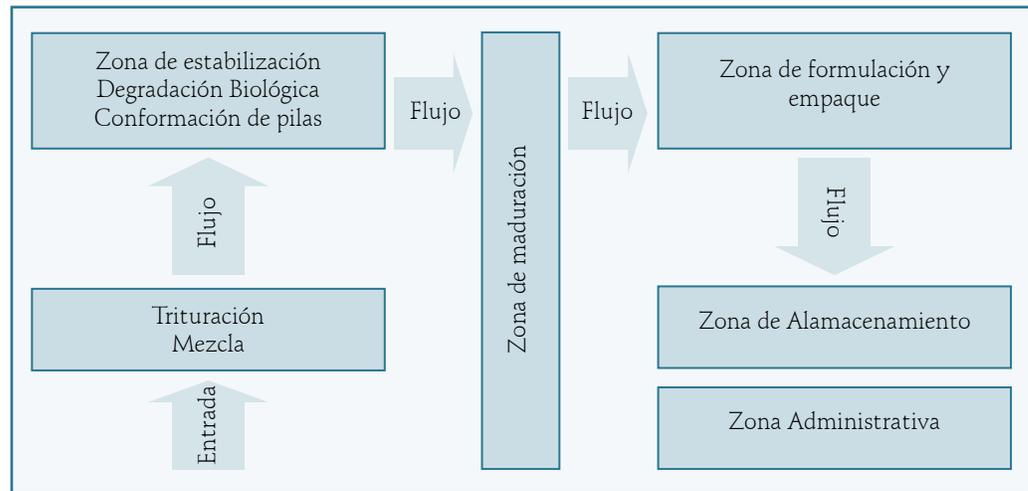
$$A_{\text{tot}} = 25.110 + 1.250 + 3.750 + 24.831 = 54.941 \text{ m}^2$$

Entonces, una planta de compostaje con capacidad para procesar 100 Toneladas/día, requiere de un área total de 54.941 m², lo cual es aproximadamente 5,5 ha.

Se deben considerar otras áreas para diferentes servicios tales como zona de parqueo, zona de aseo (baños y duchas), zonas de alimentación adicionales a la zona administrativa.

Un proceso de compostaje requiere, como esquema general, de las áreas que se presentan en la figura F.5.3.

Figura F.5.3 Requerimientos de Área⁷



7. MAVDT, 2008. GIEM – Universidad de Antioquia. Evaluación técnica de la situación actual de la prevención, minimización, el aprovechamiento y valorización de residuos plásticos y orgánicos en Antioquia. En Informe Final. Convenio de Cooperación y Cofinanciación C-0060-08. CAEM Corporación Ambiental Empresarial.



TÍTULO F

DISPOSICIÓN FINAL



6. DISPOSICIÓN FINAL

F6.1 Alcance

En este capítulo se establecen los criterios básicos necesarios y los requerimientos mínimos obligatorios para que la operación del sistema de disposición final basado en la técnica de relleno sanitario, sea planificado, diseñado, operado y monitoreado, incluyendo las etapas de clausura y postclausura, para prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales que son generados al utilizar este sistema.

Cuando las especificaciones que se mencionan en el presente capítulo no hagan referencia a una capacidad determinada en el tiempo de disposición final (diaria, mensual, anual), se entenderá que está referida a una capacidad diaria de disposición final de residuos sólidos.

F6.2 Requisitos obligatorios para la disposición final de los residuos sólidos ordinarios mediante la técnica de relleno sanitario

El Decreto 838 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establece las normas y procedimientos que deben seguir las entidades territoriales y las personas prestadoras del servicio de aseo en la actividad complementaria de disposición final mediante la técnica de rellenos sanitarios, entre los cuales se destacan:

F6.2.1 Consideraciones de Interés Social y Utilidad Pública

La construcción y operación de los rellenos sanitarios pueden declararse como proyectos de utilidad pública e interés social según lo establecido en el Artículo 56 de la Ley 142 de 1994.

En otras palabras, las áreas potenciales que la entidad territorial seleccione y determine en los planes de ordenamiento territorial (POT), planes básicos de ordenamiento territorial (PBOT) o esquemas de ordenamiento territorial (EOT), según sea el caso, como suelo de protección – zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final, mediante la utilización de la técnica de relleno sanitario, hacen parte de los proyectos que pueden declararse de utilidad pública o interés social.

F6.2.2 Procedimiento para la Localización de Áreas para Disposición Final mediante la Técnica de Relleno Sanitario

Para la localización y definición de las áreas para disposición final mediante la técnica de relleno sanitario, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

1. Las entidades territoriales en el proceso de formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), seleccionarán y establecerán las áreas potenciales para la realización de la disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario y de la infraestructura que lo compone.
2. El ente territorial realizará visitas técnicas a cada una de las áreas potenciales definidas en el PGIRS y con base en la información existente de generación de residuos sólidos de la entidad territorial, uso actual de dichas áreas, accesibilidad vial, topografía, distancia al perímetro urbano, disponibilidad de material de cobertura, distancia a cuerpos hídricos y los criterios de localización definidos, suscribirá un acta, que hará parte del expediente del POT, PBOT ó EOT, según sea el caso, en la que se dejará constancia del proceso de evaluación llevado cabo, especificando los puntajes de evaluación asignados a cada una de ellas.
3. La incorporación de las áreas potenciales para disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario en los planes de ordenamiento territorial, planes básicos de ordenamiento territorial y esquemas de ordenamiento territorial, según sea el caso, se hará durante el proceso de adopción, o en el proceso de revisión, modificación y ajustes de los mismos, y debe realizarse de acuerdo con las disposiciones establecidas en la normativa y en el Decreto 4002 del 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas que lo adicionen, modifiquen o sustituyan.
4. Una vez expedido el acto administrativo correspondiente por el ente territorial, que adopta o modifica los planes de ordenamiento territorial,

planes básicos de ordenamiento territorial y esquemas de ordenamiento territorial, según sea el caso, en los cuales se establecen las áreas potenciales para la disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario, la persona prestadora del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final, deberá surtir el proceso de licenciamiento ambiental, previsto en la Ley 99 de 1993 y su decreto reglamentario 2820 de 2010.

F6.2.3 Criterios y Metodología para la Localización de Áreas para Disposición Final de Residuos Sólidos mediante la Técnica de Relleno Sanitario

Para la localización de áreas potenciales para disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario, los entes territoriales deberán tener en cuenta los criterios y la metodología de evaluación establecida en el Decreto 838 de 2005, así como dar aplicación a las Resoluciones 1274 y 1291 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante las cuales se establecen los términos de referencia de estudio de impacto ambiental (EIA) y para la elaboración del diagnóstico ambiental de alternativas (DAA) para la construcción y operación de rellenos sanitarios, respectivamente.

F6.2.4 Prohibiciones y Restricciones en la Localización de Áreas para Disposición Final de Residuos Sólidos mediante la Técnica de Relleno Sanitario

Conforme a lo determinado en el artículo 6 del Decreto 838 de 2005, para la localización de los rellenos sanitarios existen las siguientes prohibiciones y restricciones:

1. **Prohibiciones.** Se prohíbe la localización, construcción y operación de rellenos sanitarios, en las siguientes áreas:
 - Fuentes superficiales. Dentro de la franja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, como mínimo de 30 metros de ancho o las definidas en el respectivo POT, EOT y PBOT, según sea el caso; dentro de la franja paralela al sitio de pozos de agua potable, tanto en operación como en abandono, a los manantiales y aguas arriba de cualquier sitio de captación de una fuente superficial

de abastecimiento hídrico para consumo humano, de por lo menos 500 metros; en zonas de pantanos, humedales y áreas similares.

- Fuentes subterráneas. En zonas de recarga de acuíferos.
- Hábitats naturales críticos. Zonas donde habiten especies endémicas en peligro de extinción.
- Áreas con fallas geológicas. A una distancia no menor a 60 metros de zonas de la falla geológica.
- Áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales y demás áreas de manejo especial y de ecosistemas especiales tales como humedales, páramos y manglares.
- Áreas inestables. Las áreas para disposición final de residuos sólidos, no se deben ubicar en zonas que puedan generar asentamientos que desestabilicen la integridad de la infraestructura allí instalada, como estratos de suelos altamente compresibles, sitios susceptibles de deslizamientos y aquellos donde se pueda generar fenómenos de carsismo (Kárstico).

2. **Restricciones.** Corresponden a las áreas donde si bien se pueden localizar, construir y operar rellenos sanitarios, se deben cumplir ciertas especificaciones y requisitos particulares, sin los cuales no es posible su ubicación, construcción y operación:

- Distancias al suelo urbano. Dentro de 1.000 metros de distancia horizontal, con respecto al límite del área urbana o suburbana, incluyendo zonas de expansión y crecimiento urbanístico, distancia que puede ser modificada según los resultados de los estudios ambientales específicos.
- Proximidad a aeropuertos y aeródromos. Se deberá cumplir con la normativa expedida sobre la materia por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil o por la entidad que haga sus veces.
- Fuentes subterráneas. La infraestructura instalada, deberá estar ubicada a una altura mínima de 5 metros por encima del nivel freático medido en periodo de lluvias.
- Zonas de amenaza por inestabilidad del terreno o inundación. En la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos, se deberá tener en cuenta que su ubicación no se efectúe en zonas de alta amenaza por inestabilidad del terreno o por inundación de acuerdo a la asignación del respectivo POT al área del proyecto.
- Zonas de riesgo sísmico. En la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos, se deberá tener en cuenta que su ubicación no se efectúe en zonas de alto riesgo sísmico de acuerdo a la microzonificación específica del área del proyecto.

En el evento en que por las condiciones geotécnicas, geomorfológicas e hidrológicas de la región, se deba ubicar infraestructura para la disposición final de residuos sólidos en áreas donde existen restricciones, se garantizará la seguridad y estabilidad de la infraestructura en la adopción de las respectivas medidas de control, mitigación y compensación que exija la autoridad ambiental competente e incorporando factores de seguridad adecuados en los respectivos diseños de ingeniería.

F6.2.5 Planeación

El proceso de planificación del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario, se realizará con los siguientes instrumentos:

- Los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).
- Los planes de ordenamiento territorial (POT, EOT, PBOT).
- Los planes de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCH) (Decreto 1729 de 2002)
- La licencia ambiental (Decreto 2820 de 2010).
- Reglamento técnico del sector (RAS).
- Reglamento operativo.

F6.2.6 Reglamento Operativo

Se deberá formular y desarrollar por parte del diseñador un reglamento operativo (manual de operación y mantenimiento) que incluirá:

- a. Cronograma de actividades de acuerdo con las especificaciones técnicas definidas para el sistema.
- b. Condiciones de acceso al sistema de disposición final.
- c. Cerramientos.
- d. Frentes de trabajo.
- e. Restricción e identificación de residuos.
- f. Compactación de los residuos.
- g. Material de cubierta diaria.
- h. Control del agua de infiltración y de escorrentía.
- i. Recolección y tratamiento de lixiviados.
- j. Recolección, concentración y venteo de gases.
- k. Actividades y acciones de manejo y control para la estabilidad de taludes.

- l. Equipos e instalaciones de instrumentación.
- m. Procedimientos constructivos.
- n. Calidad y cantidad de materiales a utilizar.
- o. Equipo y maquinaria requerida.
- p. Personal requerido y calidades profesionales.
- q. Procesos operativos desde la entrada de los residuos hasta su disposición final.
- r. Planos y esquemas de los procesos e instalaciones en el relleno.
- s. Actividades de control y seguimiento

F6.2.7 Plan de Trabajo y Construcción

Con base en el reglamento operativo, se deberá iniciar la ejecución de acuerdo con la secuencia programada, iniciando desde la fase de replanteo en terreno hasta el momento último de clausura y postclausura del relleno sanitario.

El responsable de la implementación del sistema deberá tener disponible en sitio una planoteca en la cual estén registrados y archivados los diferentes planos de diseño y de construcción de los diferentes frentes de trabajo y operación, así como los registros y reportes del avance de la ejecución de las diferentes obras de infraestructura y actividades conexas. Los planos mínimos son los topográficos, secuencia de llenado y estado del avance del mismo y además se deben llevar como mínimo los registros de ingreso de residuos, calidad de los lixiviados y de los vertimientos, calidad del sistema receptor (exceptuando sistemas de alcantarillado municipal), calidad de aguas subterráneas y de empleo de material de cobertura (natural y sintética).

F6.2.8 Criterios Operacionales

Se deberán garantizar, entre otras, el cumplimiento de las siguientes condiciones durante la fase de operación:

- a. Prohibición del ingreso de residuos peligrosos, si no existen celdas de seguridad en los términos de la normativa vigente.
- b. Prohibición del ingreso de residuos líquidos y lodos contaminados.
- c. Prohibición del ingreso de cenizas prendidas.
- d. Pesaje y registro de cada uno de los vehículos que ingresan y que egresan del relleno sanitario.
- e. Cubrimiento diario de los residuos.
- f. Control de vectores y roedores.
- g. Control de gases y de las concentraciones que los hacen explosivos.

- h. Control del acceso al público y prevención del tráfico vehicular no autorizado y de la descarga ilegal de residuos.
- i. Prohibición de la realización de reciclaje en los frentes de trabajo del relleno.
- j. Seguimiento a las condiciones establecidas en el permiso de vertimiento para la descarga, directa e indirecta, del efluente del sistema de tratamiento de lixiviados, en los cuerpos de agua, tanto subterráneos como superficiales.
- k. Mantenimiento del registro actualizado de las operaciones realizadas.
- l. No se recomienda tener en operación equipos con más de 5.000 horas de uso.
- m. Mantenimiento del cerramiento perimetral.
- n. Mantenimiento a vías de acceso y de circulación interna, tanto temporales como principales.
- o. Para sistemas clasificados con nivel de complejidad alto, se recomienda el monitoreo en línea y en tiempo real de los parámetros más representativos de todos los procesos y operaciones unitarias involucradas dentro de la operación del sistema.

F6.2.9 Control y Monitoreo en el Área de Disposición Final de Residuos Sólidos mediante la Técnica de Relleno Sanitario

Todo prestador del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos, deberá incluir en los diseños correspondientes la red de monitoreo de aguas subterráneas, la identificación de fuentes superficiales y los puntos donde se realizará el control y monitoreo, sin perjuicio de lo dispuesto en la licencia ambiental.

Asimismo, dicho prestador deberá incluir en los diseños correspondientes los sitios donde se realizará el control de cada actividad para los siguientes parámetros:

- Pesaje y registro de cada uno de los vehículos que ingresan al sitio para disposición final de residuos sólidos.
- Caracterización anual de los residuos sólidos de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en el capítulo F.1 de este Título F.
- Monitoreo mensual de la señalización presentada en el programa de monitoreo.
- Control de las instalaciones sanitarias anualmente.
- Control y monitoreo al sistema de compactación de acuerdo con las especificaciones técnicas definidas en el capítulo F.4 de este Título F.
- Control y monitoreo de la calidad del recurso agua, de acuerdo con los siguientes parámetros y frecuencia, como mínimo.

F6.2.9.1 Monitoreo de recurso hídrico

El monitoreo de las aguas subterráneas se efectuará de acuerdo con lo definido en la tabla F.6.1, incluyendo como mínimo los parámetros relacionados en la misma.

Tabla F.6.1 Parámetros y Frecuencias de Monitoreo de Aguas Subterráneas

Parámetros	Frecuencia	
	Mayor de 15 Mg/día	Menor o igual 15 Mg/día
pH	Semestral	Anual
Alcalinidad	Semestral	Anual
Acidez	Semestral	Anual
Conductividad eléctrica	Anual	Cada dos años
Oxígeno disuelto	Semestral	Anual
Metales pesados(1)	Semestral	Anual
DQO	Semestral	Anual
Amoniaco	Anual	Cada dos años
Nitritos	Semestral	Anual
Nitratos	Anual	Cada dos años

(1) Los establecidos como de interés sanitario en el Decreto 1594 de 1984.

Debe realizarse la determinación de la respectiva línea base ambiental de las aguas subterráneas antes de comenzar con la disposición de residuos en el sistema.

El monitoreo de los lixiviados generados, el vertimiento y el sistema receptor (exceptuando sistemas de alcantarillado municipal), se efectuará de acuerdo con lo definido en la tabla F.6.2, incluyendo como mínimo los parámetros relacionados en la misma.

TABLA F.6.2. Parámetros y Frecuencia del Monitoreo de Lixiviados, Vertimiento y Sistema Receptor (exceptuando sistemas de alcantarillado municipal)

Parámetros	Frecuencia			
	Mayor de 200,1 Mg/día ⁽²⁻³⁾	Entre 70,1 Mg/día y 200 Mg/día	Entre 15,1 Mg/día y 70 Mg/día	Menor o igual 15 Mg/día
pH	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
Oxígeno disuelto	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
Metales pesados ⁽¹⁾	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
DQO	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
DBO	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
SST	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual

(1) Establecidos como de interés sanitario en Decreto 1594 de 1984.

(2) Requiere monitoreo continuo con lectura en tiempo real.

(3) Requiere monitoreo microbiológico.

Además de las fuentes superficiales y lixiviados, se deberán caracterizar las aguas provenientes del sistema de drenaje, para corroborar que no existe contacto con lixiviados.

Adicionalmente se deberán analizar los parámetros específicos definidos para el sistema receptor en el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica (POMCH) en lo que son los objetivos de calidad.

F6.2.9.2 Monitoreo del Recurso Atmósfera

El control y monitoreo de las emisiones a la atmósfera se realiza de acuerdo con la normatividad ambiental vigente en cuanto a calidad del aire; especialmente lo establecido en la Resoluciones 909 y 910 de 2008. 601 de 2006 modificada por la Resolución 60 de 2010 y el Protocolo para el monitoreo de seguimiento de la calidad de aire adoptado por la Resolución 650 del 2010 y ajustado por la Resolución 2154 de 2010 o las que las adiciones, modifiquen o sustituyan.

Igualmente se deben considerar los criterios definidos en las metodologías establecidas por *United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC* por sus siglas en inglés.

F6.2.10 Competencia de la Persona Prestadora del Servicio Público de Aseo en la Actividad Complementaria de Disposición Final mediante la Técnica de Relleno Sanitario

La responsabilidad de la operación y funcionamiento de los rellenos sanitarios será de la persona prestadora de esta actividad complementaria del servicio público de aseo, quien deberá cumplir con las disposiciones que para el efecto se establecen en el marco normativo y en la licencia ambiental. Asimismo, deberá responder ante las autoridades ambientales y de salud, según corresponda, por los impactos ambientales y sanitarios ocasionados por el inadecuado manejo del relleno sanitario.

F6.2.11 Permisos Municipales o Distritales

En cada municipio quienes prestan el servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario, están sujetos a las normas generales sobre la planeación, las normas de circulación y tránsito, el uso del espacio público y la seguridad y tranquilidad ciudadanas, y las autoridades pueden exigirles garantías adecuadas a los riesgos que generen.

F6.3 Fomento a la regionalización de sistemas de disposición final de residuos sólidos mediante la técnica de rellenos sanitarios

El Decreto 838 de 2005 trae un capítulo sobre el fomento a la regionalización de sistemas de disposición final. En la medida en que las condiciones ambientales, topográficas, viales y distancias lo permitan, los proyectos de disposición final de residuos sólidos que vaya a formular y desarrollar cualquier entidad territorial, propenderán porque se enfoquen desde el ámbito regional, teniendo en cuenta los beneficios sociales, ambientales y económicos derivados de este nivel, en gestión conjunta con otros municipios y distritos.

En la determinación de las áreas potenciales para la localización de rellenos sanitarios, deberán considerar un horizonte de planeación no menor a 30 años, de acuerdo con los parámetros presuntivos de generación de residuos sólidos por habitante representados en la producción per cápita (PPC) e incluir las tasas de reducción por actividades de aprovechamiento de fracciones de residuos. En el diseño se debe considerar la implementación modular del sistema.

Se promoverán las actuaciones regionales e integrales relacionadas con el servicio público de aseo en las cuales confluyan de forma coordinada la iniciativa, la acción planificadora, la organización y la gestión de los entes territoriales con las políticas urbana y de saneamiento básico nacionales.

F6.4 Componente económico

Con el fin de garantizar la disponibilidad de recursos económicos para realizar el cierre, clausura y monitoreo de los rellenos sanitarios, toda persona prestadora del servicio público de aseo en la actividad de disposición final de residuos sólidos, deberá constituir y mantener una provisión que garantice la disponibilidad permanente de las sumas acumuladas durante el periodo de operación del relleno sanitario, necesarias para construir las obras de clausura y postclausura requeridas y llevar a cabo el monitoreo por el período que se determine en la licencia ambiental.

La forma de determinar los valores a provisionar es la establecida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA en la metodología tarifaria del servicio de aseo.

F6.5 Gestión de pasivos y cierre de sistemas

F6.5.1 Recuperación de Sitios de Disposición Final

Sin perjuicio de las responsabilidades establecidas en el respectivo plan de manejo ambiental, corresponde a las entidades territoriales y a las autoridades ambientales en el área de su jurisdicción en la actividad complementaria de disposición final, recuperar ambientalmente los sitios que hayan sido utilizados como botaderos a cielo abierto, enterramientos u otros sitios de disposición final no adecuada de residuos sólidos municipales o transformarlos, previo estudio, en rellenos sanitarios, de ser viable técnica económica y ambientalmente.

F6.5.2 Uso Futuro de los Sitios de Disposición Final

El uso futuro de los sitios donde se construyan y clausuren rellenos sanitarios, deberá estar considerado y determinado desde la etapa de diseño del relleno sanitario, y debe garantizarse que no se generarán riesgos para el ambiente o la salud pública de la comunidad localizada en el área de influencia del proyecto.

F6.6 Procedimiento para la ubicación de rellenos sanitarios

F6.6.1 Identificación de las Áreas para disposición final de residuos en los Planes de Ordenamiento Territorial

La implementación de rellenos sanitarios deberá realizarse en aquellas áreas definidas e incorporadas por la entidad territorial mediante acto administrativo en el POT, PBOT o EOT según sea el caso y por lo tanto, es necesario efectuar la identificación de las áreas incorporadas en él e iniciar el proceso de licenciamiento ambiental.

F6.6.2 Licencia Ambiental

La licencia ambiental es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la construcción y operación de un relleno sanitario, sujeta a los requisitos que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales de la obra o actividad autorizada.

F6.6.3 Estudios Previos

Sobre las áreas potenciales de disposición final definidas en el POT, PBOT o EOT según sea el caso, se deben realizar los siguientes estudios:

F6.6.3.1 Estudio topográfico

Se deben compatibilizar los niveles del proyecto del relleno sanitario con el levantamiento planimétrico y altimétrico y las dimensiones del terreno, de manera que se puedan seleccionar y diseñar los frentes de trabajo, establecer métodos de operación, determinar la capacidad volumétrica, ubicar el material disponible para efectuar trabajos de rellenos y de cobertura y planificar el sistema de control de contaminación ambiental. El estudio topográfico debe localizar toda servidumbre que contenga el terreno y también se debe realizar un levantamiento del área de influencia determinando fundamentalmente las vías de acceso y las características urbanísticas del entorno.

Se aceptará el uso de equipos de posicionamiento global (*GPS -Global Position System*), para la realización de esta actividad, prescindiendo así de la poligonal conformada por las bases de topografía, siempre y cuando su precisión sea la suficiente para justificar su uso en lugar de equipos convencionales.

Para que el modelo digital elaborado a partir de la nube de puntos tenga una precisión suficiente, es deseable que la distancia entre ellos no supere los 10 metros.

1. Planimetría.

$$T_A = a \cdot \sqrt{N} \quad (\text{F.6.1})$$

Donde:

TA: Tolerancia angular (error de cierre en ángulo), seg.

N: Número de vértices de la poligonal.

a: Aproximación del equipo, ángulo (seg).

- a. Todos los puntos en sus vértices deben estar referenciados a placas de referencia de nivel fijo y de ser posibles oficiales, con objeto de rehacer la poligonal cuando se requiera.
- b. La poligonal del terreno debe estar referida a un sistema de coordenadas.
- c. La poligonal del terreno en cada uno de sus vértices debe contar con ángulos internos, rumbos y azimuts.
- d. Anexar las libretas de campo.
- e. Si el trabajo tiene cierre angular, se procederá a dar el azimut de salida para el cálculo de las proyecciones.
- f. La aproximación del equipo será igual o menor a 10 segundos.
- g. Para revisión de proyecciones, se presentará la suma de proyecciones Norte – Sur (N-S) y Este – Oeste (E-O). Si el trabajo cierra, se darán las coordenadas del punto de salida y se aprobarán los cálculos.
- h. La tolerancia en la precisión será igual o mayor a 1:4.000.

2. Altimetría

- a. Los bancos de nivel deben estar referidos a bancos oficiales (placas de referencia).
- b. Las curvas de nivel se deben trazar de acuerdo con los siguientes requerimientos: en equidistancias de curvas a cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados, y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.
- c. Anexar las libretas de campo.
- d. Para el error altimétrico, el topógrafo presentará la suma de vistas V+ y V-, si el trabajo tiene cierre altimétrico se le dará la cota de la placa de salida. El máximo error permisible se dará por la ecuación F.6.2:

$$E_{\text{permisible}} = 10 * V * L \quad (\text{F.6.2})$$

Donde:

$E_{\text{permisible}}$: Error altimétrico máximo permisible, mm.

L: Distancia horizontal, Km.

V: Sumatoria de las vistas positivas (V+) y negativas (V-).

3. Secciones

- a. Se deben ubicar secciones a partir del K0+000 del camino de acceso, referenciadas a las estaciones establecidas sobre el perfil del camino.
- b. Las secciones son siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y deben abarcar 20 metros a cada lado del eje, como mínimo, con separación entre secciones cada 20 metros.

F6.6.3.2 Estudio geotécnico

1. Tipos de estudios geotécnicos

Estudio Geotécnico Preliminar - Se define como estudio geotécnico preliminar el trabajo realizado para aproximarse a las características geotécnicas de un terreno, con el fin de establecer las condiciones que limitan su aprovechamiento, los potenciales problemas que puedan presentarse, los criterios geotécnicos y parámetros generales para la elaboración de un proyecto. El estudio geotécnico preliminar no es de obligatoria ejecución; se considera conveniente en casos de proyectos de Complejidad en los que puede orientar el proceso inicial de planeamiento. Su realización no puede, en ningún caso, reemplazar al estudio geotécnico definitivo

Estudio Geotécnico Definitivo - Se define como Estudio Geotécnico Definitivo el trabajo realizado para un proyecto específico, en el cual el ingeniero geotecnista debe consignar todo lo relativo a las condiciones físico mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas, conforme a las normas contenidas en este Título F.

2. Nivel de detalle del estudio geotécnico detallado

- a. Definición. Se define el nivel de detalle como el resultado de la aplicación de dos criterios concomitantes, el uno dependiente de la cantidad de residuos a disponer y el segundo dependiente de la variabilidad del subsuelo sobre el que se apoya el relleno sanitario.
- b. Variabilidad del subsuelo. La variabilidad del subsuelo se define de acuerdo las siguientes categorías:

Variabilidad baja - Corresponden a subsuelos donde no existen variaciones importantes entre el lugar programado para una perforación y sus vecinas. Están originados en formaciones geológicas simples, presentan materiales de espesores y características mecánicas aproximadamente homogéneas, cubren grandes áreas con materiales uniformes tales como depósitos lacustres, llanuras aluviales, terrazas de ríos en sus cursos medio a bajo, depósitos de inundación, suelos residuales en zonas de pendiente baja y uniforme, y en general suelos con pendientes transversales de hasta 10%.

Variabilidad alta - Corresponde a subsuelos donde existen variaciones importantes entre una perforación y otra. Están originadas en formaciones geológicas complejas, con alternancia de capas de materiales con orígenes y espesores diferentes, heterogeneidad dentro de las mismas capas, terrenos de topografía irregular con accidentes importantes tales como depósitos de ladera, flujos de lodos y escombros, deltas de ríos

y depósitos aluviales intercalados. Se incluyen en esta categoría de variabilidad los terrenos sometidos a alteraciones por deslizamientos, movimientos de tierra, botaderos, depósitos de escombros, minas y canteras, y suelos con pendientes transversales superiores a 50%.

Variabilidad media - Se define para situaciones intermedias entre variabilidad baja y alta, tales como terrazas y llanuras aluviales en su curso medio, desembocaduras de ríos y quebradas, suelos residuales relativamente complejos, suelos con pendientes transversales desde 10% hasta 50% y, en general, los depósitos no contemplados en las categorías anteriores.

Cuando exista para una localidad el estudio de zonificación sus disposiciones primarán - en caso de conflicto aparente - sobre las descritas anteriormente.

- c. De acuerdo con esto, en el estudio geotécnico se definen los niveles de detalle I, II, III y IV, según lo señalado en la tabla F.6.4.

Cantidad de residuos dispuestos	Variabilidad del subsuelo		
	Baja	Media	Alta
Menor o igual a 15 (Mg/día)	I	II	II
Mayor a 15 (Mg/día)	II	III	IV

3. Investigación del subsuelo

- a. **Información previa.** El ingeniero geotecnista debe recopilar y evaluar los datos disponibles sobre las características del sitio y del proyecto.

- Del sitio. Esta información debe ser obtenida por el ingeniero encargado del estudio geotécnico y comprende: geología, geomorfología, hidrogeología, sismicidad, clima, vegetación, infraestructuras y estudios anteriores. El ingeniero geotecnista del proyecto, es responsable de la información contenida en los estudios geotécnicos presentados.

Además, se debe consultar y analizar la información geotécnica disponible en las entidades territoriales con influencia en el territorio, la cual puede servir como base en la definición de las demás actividades del estudio de suelos (p. ej: la cantidad, profundidad y distribución de las exploraciones, toma de muestras, los ensayos de campo y laboratorio, etc.). Toda la información recopilada, con relevancia sobre el proyecto, como zonas geotécnicamente inestables, construcciones vecinas, tuberías preexistentes, suelos problemáticos, accesibilidad al sitio, interferencias, presencia de terraplenes o canales, debe ser considerada en el estudio y en los análisis.

- Del proyecto. La siguiente información debe ser suministrada al ingeniero geotecnista: topografía, geología, geotecnia, hidrología, hidráulica y estructuras, entre otras. Aspectos técnicos para cruces y detección de interferencias con otros servicios como energía eléctrica, gas natural, acueducto, alcantarillado, así como los elementos involucrados en el entorno del estudio geotécnico, tales como vegetación, uso de la tierra y todo lo que se considere apropiado para adquirir un conocimiento global del proyecto; altura del relleno, secuencias de construcción, niveles de excavación, cargas, redes de servicio y los demás aspectos que el ingeniero geotecnista estime necesarios para la realización del estudio.
- b. **Exploración de campo.** Deben realizarse apiques, trincheras, perforaciones estáticas o dinámicas, ensayos geofísicos u otros procedimientos reconocidos en la práctica, con el fin de ejecutar pruebas directas o indirectas en el terreno y obtener muestras para ensayos de laboratorio. La exploración debe ser amplia y suficiente para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo hasta la profundidad afectada por el relleno sanitario.
- c. **Número mínimo de sondeos.** El número mínimo de sondeos de exploración se define de acuerdo con el nivel de detalle, según se señala en la tabla F.6.5.

Tabla F.6.5. Número Mínimo de Sondeos

Nivel de detalle	Número mínimo de Sondeos
I	3
II	3
III	5
IV	10

- d. **Sobre las características y distribución de los sondeos.** Las características y distribución de los sondeos deben cumplir las siguientes disposiciones:
- Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.
 - Las muestras, en tal caso, se toman en cada cambio de material o por cada 1.5 m de longitud del sondeo.
 - Los sondeos practicados dentro del desarrollo del estudio preliminar pueden incluirse como parte del estudio definitivo, siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas en este documento.
 - El número de sondeos finalmente ejecutado debe cubrir el área que ocupa el relleno sanitario.

- e. **Profundidad de los sondeos.** Por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la máxima profundidad dada por las siguientes alternativas:
- Profundidad en la que el incremento de esfuerzos causados por el relleno sanitario sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo con el terreno natural.
 - A 1,5 veces la profundidad del relleno, cuando éste sea en zanja o trinchera.
 - En los casos donde se encuentre roca firme, aglomerados rocosos o capas de suelos asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, los sondeos deben penetrar un mínimo de 5,0 m en dichos materiales. Sin embargo, el ingeniero debe evaluar las condiciones geológicas para comprobar que debajo de este material no exista un material de menor resistencia.
- f. **Ensayos de laboratorio.** Deben ensayarse muestras de tamaño representativo de manera que las pruebas no varíen en un rango amplio debido al contenido de suelo.
- Selección de muestras. Las muestras obtenidas de la exploración de campo deben ser seleccionadas por el ingeniero geotecnista, quien debe ordenar los ensayos de laboratorio que permitan conocer con claridad la clasificación, peso unitario, humedad natural, propiedades de resistencia al corte, deformación, permeabilidad, compresibilidad y capacidad portante de los diferentes materiales.
 - Tipo y número de ensayos. El tipo y número de ensayos depende de las características propias de los suelos o materiales rocosos por investigar y del criterio del ingeniero geotecnista.
 - Ensayos para suelos. Para suelos deben realizarse como mínimo ensayos de clasificación completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas, sus niveles de meteorización, su humedad natural, peso unitario y permeabilidad.
 - Ensayos para rocas. Para materiales rocosos deben realizarse como mínimo ensayos de peso específico, compresión simple, absorción, alterabilidad y permeabilidad.
- g. **Resultados del estudio geotécnico.** En todos los trabajos y ensayos requeridos se deberán caracterizar geotécnicamente el subsuelo y establecer las condiciones reinantes en el área del proyecto que permitan, al establecer el método de excavación más adecuado, evaluar la estabilidad de taludes, determinar el tipo de estructuras de contención más convenientes, seleccionar el tipo de rellenos. También establecer la solución de cimentación de tubería y estructuras que garanticen la estabilidad de todos los componentes del proyecto, y los demás requerimientos necesarios para adelantar los diseños. Por último proporcionar las recomendaciones para la etapa de construcción y operación de las obras.

F6.6.3.3 Estudio climatológico

Deben tenerse en cuenta las condiciones climatológicas locales en la evaluación de las áreas potenciales de disposición final.

En la localización, las condiciones durante el invierno afectarán el ingreso al lugar. Un periodo de lluvias que pueda afectar el ingreso al frente de trabajo del relleno sanitario, hará necesario que se prevean áreas de emergencia. La fuerza y la predominante dirección de los vientos deben considerarse cuidadosamente para minimizar impactos ambientales por olores y material particulado a la población y los recursos ubicados en las áreas aledañas al relleno sanitario.

Debe obtenerse información confiable de la zona sobre los siguientes factores climatológicos: temperatura, precipitación y vientos registrados en estaciones climatológicas cercanas al sitio, preferentemente con periodo mayor de 25 años.

F6.6.3.4 Temperatura

Debe obtenerse y analizarse la información correspondiente a la temperatura media mensual, preferentemente durante un periodo de observación de al menos 25 años.

En zonas o épocas de temperaturas altas se favorece el proceso de fermentación de los residuos llegando a producir fenómenos de autocombustión y olores desagradables que se deben evitar con el cubrimiento diario, o si es necesario, más de una vez al día.

F6.6.3.5 Precipitación

Debe determinarse la precipitación mensual media, la precipitación media diaria, correspondiente al mes más lluvioso registrado en todo el periodo de observación y la intensidad de lluvia máxima horaria media, a partir de registros que abarquen un periodo de 25 años como mínimo.

F6.6.3.6 Vientos

Se debe realizar el análisis estadístico de la dirección y velocidad de los vientos (frecuencia, distribución y estabilidad atmosférica) y su posible variación en las diferentes épocas del año, de manera que se construyan defensas que eviten la acción intensa de los vientos sobre los materiales.

F6.6.3.7 Estudio geológico

Se requieren estudios geológicos regionales y locales para evaluar las condiciones del sitio destinado para la disposición final de los residuos sólidos. Deben cumplir con las siguientes características:

1. Estudios geológicos regional y local.
2. Determinar el marco geológico regional y local con el fin de identificar las diferentes unidades litológicas, su geometría, distribución e identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas, e identificar posibles fenómenos de inestabilidad de laderas.

F6.6.3.8 Estudios hidrogeológicos

Para rellenos sanitarios proyectados con una disposición final de residuos sólidos menor o igual a 15 Mg (toneladas) por día, se deben considerar los siguientes aspectos en el estudio hidrogeológico:

1. Establecer la ubicación y distribución de todos los cuerpos de aguas subterráneas (inconfiados, semiconfinados y confiados), a escala regional y local.
2. Determinar la conductividad hidráulica, posición del nivel freático y composición físico química del agua subterránea.

Para rellenos sanitarios proyectados para una disposición final de residuos sólidos mayor a 15 Mg (toneladas) por día, se deben considerar los siguientes aspectos en el estudio hidrogeológico:

1. Establecer la ubicación y distribución de todos los cuerpos de agua, a escala regional y local.
2. Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semiconfinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero de la zona.
3. Determinar los valores de la conductividad hidráulica, carga hidráulica, porosidad efectiva en partículas del sistema de flujo y posición del nivel freático, con los cuales se definirá la dirección y velocidad del agua subterránea. Se debe analizar la composición fisicoquímica del agua subterránea empleando los parámetros representativos definidos en la normativa con el fin de calcular la línea base de la calidad del agua.

F6.6.3.9 De los residuos a disponer

Se debe determinar el esquema de clasificación según la composición física de los residuos sólidos que se van a disponer, de acuerdo con lo establecido en el capítulo F.1 de este Título.

F6.6.3.10 Generación diaria de residuos sólidos y proyecciones de población

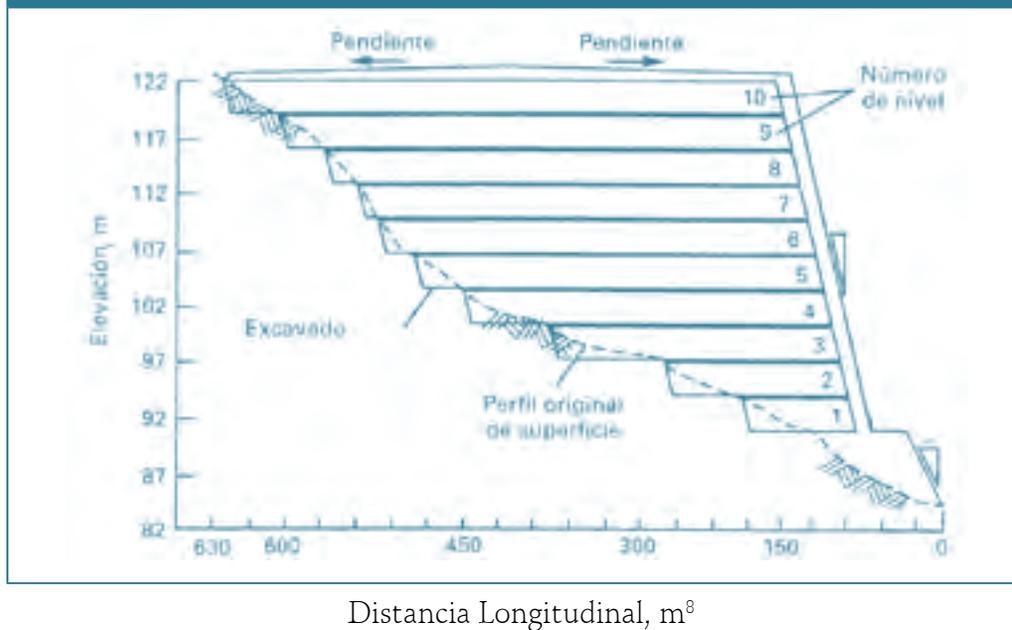
Con base en lo establecido en el capítulo F.1 de este Título, se debe estimar la cantidad de residuos sólidos generados por la población o poblaciones

que dispondrán los residuos en el relleno sanitario y realizar los cálculos de proyecciones respectivos.

F6.6.3.11 Determinación de la capacidad y la vida útil

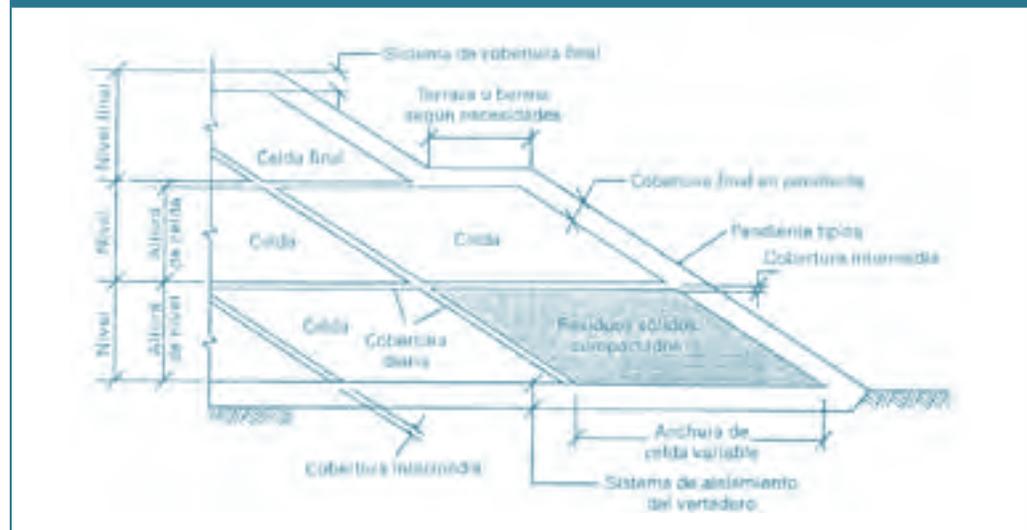
Con base en los estudios definidos en este capítulo 6, se debe calcular año a año, la cantidad total de residuos a disponer en el relleno sanitario para un periodo no inferior a 20 años y para cada una de las áreas potenciales y los estudios del Literal F.6.6.3.1, se determinará a nivel de pre-diseño, una altura para cada nivel y la elevación máxima del relleno sanitario, para lo cual se debe proceder a realizar un perfil superficial del suelo en el sitio donde se ubicará el relleno sanitario y a dibujar las cotas de excavación y los perfiles de cada uno de los niveles, hasta llegar a la elevación máxima deseada, como se ilustra en la figura F.6.1.

Figura F.6.1 Ejemplo de información mínima que debe contener un perfil del relleno sanitario



Posteriormente, se debe realizar en un plano de localización donde se encuentren señaladas las curvas de nivel finales, el contorno del relleno sanitario con lo cual se posibilitará determinar la longitud de cada uno de los niveles en forma transversal, para luego en un cuadro de áreas poder determinar el volumen para cada nivel y la capacidad total de disposición final; información que se debe cruzar finalmente con la generación anual de residuos sólidos proyectada, para así determinar la vida útil del relleno sanitario para cada área potencial.

8. Adaptado de:
GESTIÓN
INTEGRAL
DE RESIDUOS
SÓLIDOS.
Tchobanoglous,
G., Thiesen, H., y
Vigil, S. Mc Graw
Hill. 1998. Tomo I.
Páginas 410 y 554.

Figura F.6.2 Ejemplo de perfil del relleno sanitario⁹

F6.7 Parámetros de Diseño

F6.7.1 Selección del Método a Utilizar

La selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario debe realizarse con base en las condiciones topográficas, geotécnicas e hidrogeológicas del sitio seleccionado para la disposición final de los residuos. Deben establecerse el perfil estratigráfico del suelo y el nivel de acuíferos freáticos permanentes y transitorios.

F6.7.1.1 Método de zanja o trinchera

Este método se recomienda en regiones planas. El material que se extrae debe colocarse a un lado de la zanja para utilizarlo como material de cobertura.

F6.7.1.2 Método de área

Este método se recomienda en áreas relativamente planas, donde no es factible excavar trincheras para enterrar los residuos sólidos. Éstos pueden depositarse directamente sobre el suelo original, en cuyo caso el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, si es posible, puede ser extraído de la capa superficial.

9. Adaptado de:
GESTIÓN
INTEGRAL
DE RESIDUOS
SÓLIDOS.
Tchobanoglous,
G., Thiesen, H., y
Vigil, S. Mc Graw
Hill. 1998. Tomo I.
Páginas 410 y 554

Este método también se adapta para rellenar depresiones naturales o artificiales. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno, procurando que sea lo más cerca posible para evitar sobrecostos en el transporte.

F6.7.1.3 Método de rampa

Este método debe utilizarse en terrenos de pendiente moderada. Puede planearse de manera que se formen escalones, haciendo pequeñas excavaciones para obtener el material de cubierta. Puede utilizarse para formar terrazas en terrenos de pendiente pronunciada.

F6.7.1.4 Método combinado

Los métodos de área y trinchera, por poseer técnicas similares de operación, pueden combinarse para obtener un mejor aprovechamiento del terreno y del material de cobertura y rendimientos en la operación. Si las condiciones topográficas lo permiten se pueden combinar los métodos.

F6.7.2 Trama Vial

Para el diseño de la trama vial debe tenerse presente el uso definitivo del área rellenada. En el trazado deben tenerse presentes la secuencia de llenado del relleno y la tecnología a implementar de acuerdo con las condiciones climáticas, con el fin de minimizar las inversiones.

F6.7.2.1 Trama vial para los rellenos sanitarios con disposición diaria menor o igual a 15 Mg por día

Al relleno sanitario debe llegarse por una vía pública de acceso, la cual debe ser una vía principal de uso permanente y debe reunir las condiciones aceptables para el tráfico.

F6.7.2.2 Trama vial para los rellenos sanitarios con disposición final mayor a 15 Mg por día

- a. Interna. En el trazado de las vías internas deben tenerse en cuenta las dimensiones de las celdas, submódulos y módulos; la metodología operativa y las condiciones climáticas, de manera que bajo cualquier condición deben recibirse los residuos. Las vías internas deben cumplir como mínimo con las especificaciones siguientes:
 - Deben permitir la circulación en doble sentido de los vehículos recolectores o de transferencia hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.

- Deben ser temporales y no pueden presentar pendientes mayores de 5%.
 - Deben tener los radios de giro adecuados, mayores al radio de giro mínimo de un vehículo para ejecutar un giro de 180°.
 - Deben tener instalaciones de energía eléctrica que satisfagan las necesidades de iluminación en las señalizaciones exteriores e interiores.
 - La red de circulación interna debe contar con la demarcación vertical y horizontal (portátil y permanente) necesaria para las distintas etapas del relleno.
- b. Externa. Las vías externas deben cumplir como mínimo con las siguientes especificaciones:
- El acceso al relleno sanitario debe ser por una vía pública.
 - Deben ser de trazado permanente.
 - Deben garantizar el tránsito en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.

F6.7.3 Sistema de Impermeabilización

Todo relleno sanitario debe tener un sistema de impermeabilización en el fondo. El sistema de impermeabilización debe constar como mínimo de una capa de arcilla GCL (en inglés: geosintetic clay liners) y estar acompañado de una geomembrana.

Los requisitos mínimos que deben cumplir los elementos constitutivos del sistema de impermeabilización son los siguientes:

1. **Preparación de la sub-rasante.** La superficie del estrato de suelo compactado debe ser plana y fuerte para que proporcione un soporte continuo a las capas de arcilla y a la geomembrana. Esta superficie debe estar libre de rocas, raíces y exceso de agua. En superficies donde no se pueda tener uniformidad por presencia de materiales punzantes, deberá colocarse un geotextil no tejido como medida de protección de la geomembrana. Para establecer el contenido de humedad óptimo y el peso unitario seco máximo se recomienda compactar el suelo con energías de compactación adecuadas, representadas por la energía promedio y alta de compactación. Se recomienda utilizar el ensayo de Proctor estándar o Proctor modificado para las energías promedio o alta, respectivamente. Deben compactarse las capas de suelo hasta lograr como mínimo el 95% de la densidad máxima del Proctor estándar o el 90% de la densidad máxima del Proctor modificado.
2. **Capas de arcilla.** Construidas de materiales de suelos naturales, aunque la capa puede contener materiales procesados como bentonita o materiales sintéticos. Esta capa debe tener un espesor mínimo que garantice velocidades de infiltración tan bajas que el tiempo transcurrido para que

una gota de fluido atraviese la capa impermeable sea mayor a 20 años. En caso de proponerse la utilización de espesores menores, estos deben estar debidamente soportados técnicamente y su empleo debe ser aprobado por la Autoridad Ambiental competente.

- a. Requisitos de compactación y permeabilidad. Debe lograrse una masa homogénea con una conductividad hidráulica menor o igual a 1×10^{-6} cm/s, compactando el suelo con un contenido de humedad de 2 % a 3 % por encima de la humedad óptima y con un alto nivel de energía de compactación.
- b. Materiales. Los siguientes son los requisitos mínimos para lograr la conductividad hidráulica requerida:
 - Porcentaje de finos ≥ 20 %
 - Índice de plasticidad ≥ 20 %
 - Porcentaje de suelo grueso ≤ 30 %
 - Tamaño máximo de partícula en el rango de 25 mm a 50 mm

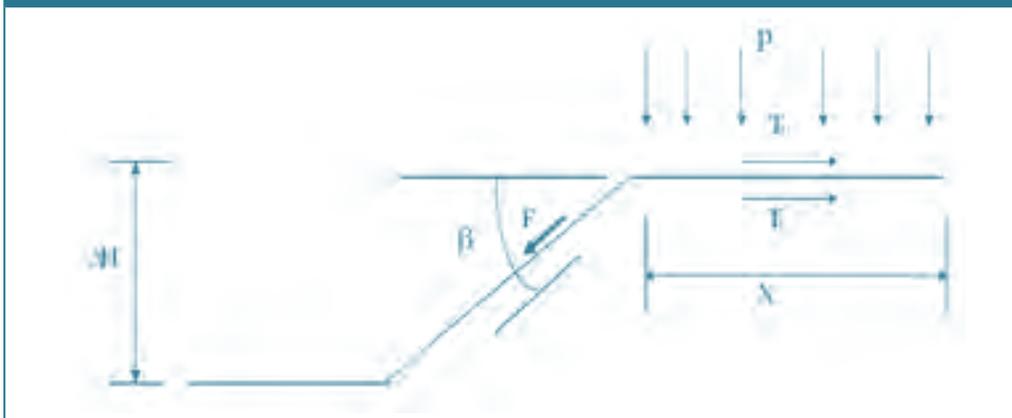
Si la capa de suelo no logra la permeabilidad requerida, se pueden utilizar aditivos como bentonita, caolinita, etc. No se recomienda utilizar aditivos con altos índices de plasticidad ($I_p > 30$ %), por la dificultad que presentan en el trabajo en campo.

- c. Construcción
 - Procesamiento. Para que la hidratación o deshidratación del suelo sea uniforme se requiere de 1 a 3 días. Cuando se utilizan aditivos como la bentonita, deben mezclarse los componentes extendiendo una capa de suelo de espesor de 0,10 m a 0,15 m; y sobre ésta se coloca el aditivo para mezclar los materiales.
 - Preparación de la superficie. La superficie de la capa compactada debe ser áspera; de lo contrario, debe ser escarificada 2 cm a 3 cm con un disco o cualquier aparato disponible.
 - Colocación del suelo. Si se utilizan estacas para controlar el espesor de la capa de suelo, una vez removidas las estacas deben sellarse las perforaciones. Después de colocado el suelo, debe añadirse una pequeña cantidad de agua para compensar la pérdida por evaporación.
 - Compactación. Se recomiendan las siguientes especificaciones para el equipo de compactación:
 - Peso mínimo de 1,800 kg.
 - Longitud mínima del pie en el rango de 180 mm a 200 mm.
 - El diseño de la actividad de compactación debe demostrar el logro de la compactación mínima exigida. El equipo debe ser aprobado y verificado por la interventoría para obtener la densidad de diseño.

- Protección. Para evitar la desecación del suelo después del proceso de compactación, se recomienda:
 - Cubrir la capa compactada temporalmente con plástico, cuidando que no se caliente excesivamente y seque la arcilla.
 - La superficie puede ser allanada con rodillo para formar una capa relativamente impermeable en la superficie.
 - Humedecer periódicamente el suelo.
 - Las anteriores recomendaciones deben aplicarse a cada sección de capa compactada y a la última capa terminada.
 - Pruebas de control de calidad. Para controlar la calidad de la construcción de la capa, debe verificarse que los materiales de construcción son los adecuados y se deben realizar pruebas y observaciones para verificar que el proceso de compactación es adecuado.
3. **Geomembranas.** Los siguientes factores deben ser considerados en el diseño e instalación de la geomembrana:
- a. Propiedades y materiales. Deben tener excelente resistencia química y juntas confiables. El diseñador debe asegurarse de que el material seleccionado para la geomembrana cumpla con los requisitos de compatibilidad química entre el lixiviado y la geomembrana en el corto y en el largo plazo, de tal forma que no sufra deterioro en sus características mecánicas por reacciones con el líquido que la inhabiliten para cumplir su función. En la selección del material debe tener en cuenta los esfuerzos residuales que se generan durante el proceso de unión y sellado del material.
 - b. Transporte, almacenamiento y colocación de la geomembrana. La geomembrana debe ser transportada en rollos al sitio de trabajo, en su almacenamiento debe evitarse el contacto directo con el terreno y debe ser protegida de la exposición excesiva al polvo, agua y calor.
 - c. Pruebas y juntas de la geomembrana. Si las juntas de la geomembrana se llevan a cabo por procesos térmicos, se requieren buenas condiciones climáticas y superficies completamente limpias. La junta debe efectuarse cuando la temperatura ambiente está entre 5 °C y 40 °C y debe existir un buen control del polvo durante el proceso. Debe establecerse un programa de pruebas de juntas para el control de calidad, el cual puede basarse en las Normas ASTM específicas relacionadas en este Título.
 - d. Seguridad de la calidad en la construcción. Debe establecerse un programa de seguridad de la calidad en la construcción para la instalación de la geomembrana. El programa debe consistir en un sistema planeado de actividades, realizado para asegurar que la construcción sea igual a la que se especifica en el diseño. El programa debe ser desarrollado durante la etapa de diseño del relleno sanitario y se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- Personal calificado. La inspección debe ser realizada por personal con experiencia y conocimiento.
 - Actividades de inspección. en el programa se deben definir con claridad las pruebas y los criterios de aceptación, especificando la frecuencia de las pruebas a ser realizadas en el suelo compactado y la geomembrana. El inspector debe exigir los resultados de los ensayos de los materiales.
 - Estrategias de muestreo. Las pruebas deben realizarse mediante la estrategia de muestreo estadístico.
- e. Requisitos de diseño de geomembranas. Las geomembranas deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes criterios y el factor de seguridad para las propiedades admisibles debe simular el comportamiento *in situ* del material¹⁰.
- Espesor

FIGURA F.6.3 Diseño del espesor debido al doblamiento



$$t_{req} = \frac{p}{\cos \beta} * \frac{x}{\sigma_{adm}} * (\tan \delta_{ti} + \tan \delta_{tj}) \quad (F.6.3)$$

Donde:

- t_{req} : Espesor requerido de la geomembrana (m)
- γ_s : Peso unitario del suelo de cobertura (kN/m³)
- H_{cs} : Espesor de la capa de suelo de cobertura (m)
- p : Presión movilizadora (= $\gamma_s * H_{cs}$) (peso total del residuo) - (kN/m²)
- x : Distancia de movilización del anclaje (m)
- σ_{adm} : Esfuerzo admisible de la geomembrana (kN/m²)

10. Qian, Xuede, Koerner, Robert M. y Gray, Donald H. GEOTECHNICAL ASPECT OF LANDFILL DESIGN AND CONSTRUCTION. Editorial Prentice Hall. USA. 2002. ISBN: 0-13-012506-7

- δ_U : Ángulo de fricción de la geomembrana con el suelo superior con respecto a la horizontal (grados)
- δ_L : Ángulo de fricción de la geomembrana con respecto el suelo inferior con respecto a la horizontal (grados)
- β : Ángulo de la pendiente con respecto a la horizontal (grados)

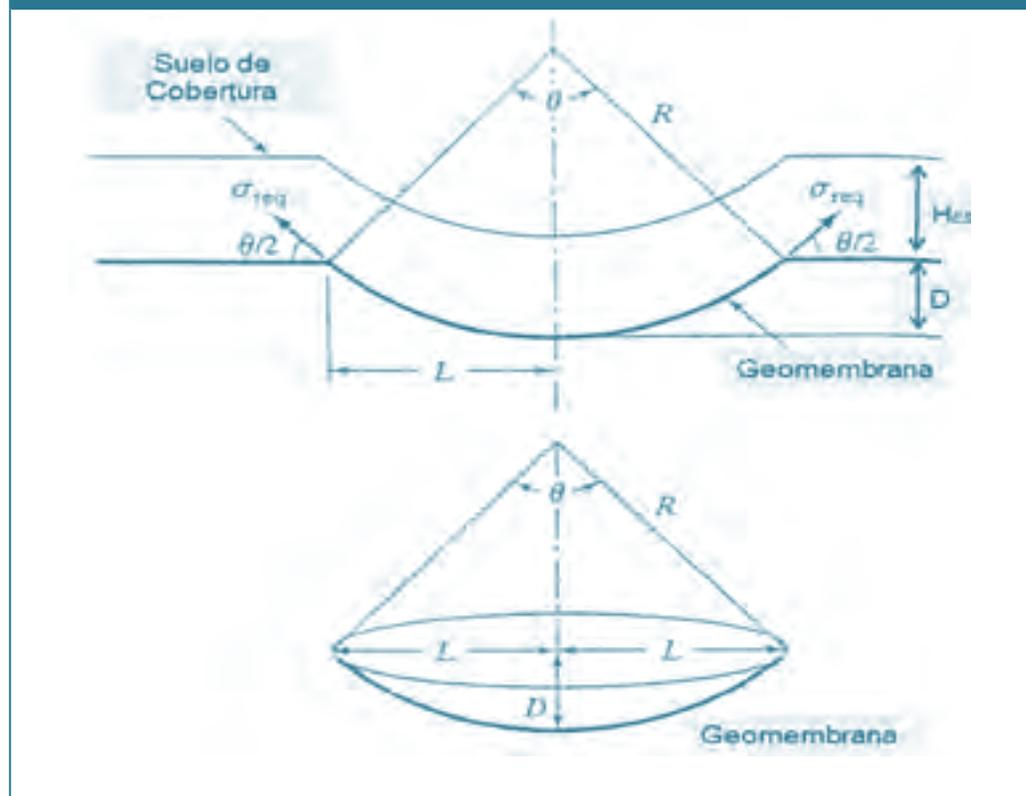
$$FS = \frac{t_{act}}{t_{req}} \quad (F.6.4)$$

Donde:

- t_{req} : Espesor requerido de la geomembrana (cm)
- t_{act} : Espesor actual de la geomembrana (cm)
- FS: Factor de seguridad

- Esfuerzo de subsidencia

FIGURA F.6.4 Diseño de la resistencia debido a la subsidencia



$$\sigma_{req} = \frac{2 * D * L^2 * \gamma_s * H_{cs}}{3 * t * (D^2 + L^2)} \quad (F.6.5)$$

Donde:

- σ_{req} : Esfuerzo de tensión requerido de la geomembrana causado por subsidencia (kN/m^2)
- γ_s : Peso unitario del suelo de cobertura (kN/m^3)
- H_{cs} : Espesor de la capa de suelo de cobertura (m)
- P: Presión movilizadora ($= \gamma_s * H_{cs}$) (peso total del residuo) - (kN/m^2)
- t: Espesor de la geomembrana (m)
- R: Radio del esferoide causado por la subsidencia (m)
- D: Profundidad de la subsidencia (m)
- L: Distancia entre los ejes simétricos y borde superior de la subsidencia (m)
- C: Circunferencia de el borde superior de la subsidencia (m)

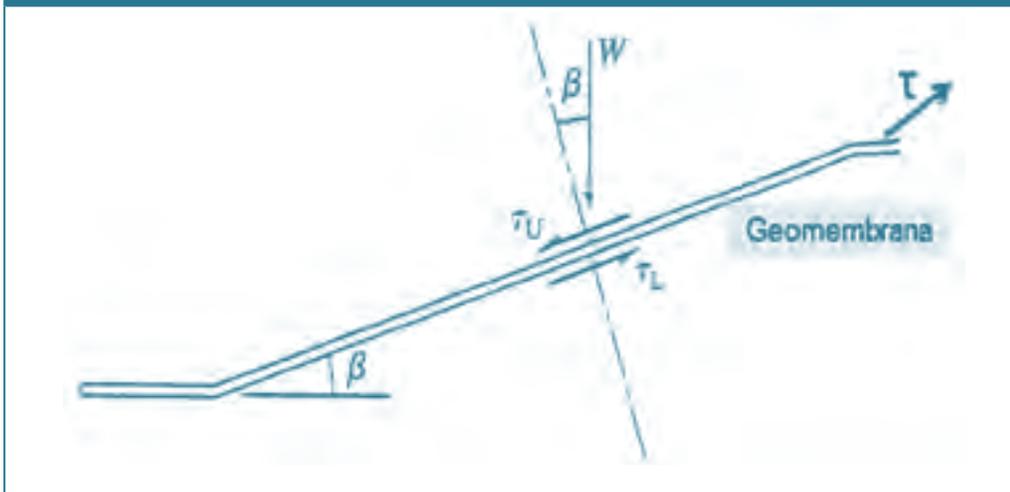
$$FS = \frac{\sigma_{req}}{\sigma_{act}} \quad (F.6.6)$$

Donde:

- σ_{req} : Esfuerzo requerido de la geomembrana (kN/m^2)
- σ_{act} : Esfuerzo actual de la geomembrana (kN/m^2)
- FS: Factor de Seguridad

- Esfuerzo de tensión

FIGURA F.6.5 Diseño de la resistencia debido al cortante no balanceado



$$T_{req} = [(C_{act} - C_{ul}) + \gamma_s * H * \cos \beta * (\tan \delta_w - \tan \delta_L)] * L \quad (F.6.7)$$

Donde:

T_{req} : Resistencia de tensión por unidad de ancho requerida de la geomembrana (kN/m)

CaU : Valor de adhesión de la geomembrana con el suelo superior con respecto a la horizontal (kN/m²)

CaL : Valor de adhesión de la geomembrana con el suelo inferior con respecto a la horizontal (kN/m²)

β : Angulo de la pendiente (grados)

P : Presión movilizadora ($=\gamma_s * H$) (peso total del residuo) - (kN/m²)

ω : Ancho de la membrana (m)

δU : Ángulos de fricción entre la geomembrana y el suelo superior con respecto a la horizontal (grados)

δL : Ángulos de fricción entre la geomembrana y el suelo inferior con respecto a la horizontal (grados)

L : Longitud de la geomembrana (m)

W : Peso total actuante sobre la geomembrana (kN)

$$FS = \frac{T_{act}}{T_{req}} \quad (E.6.8)$$

Donde:

T_{req} : Resistencia requerida por unidad de ancho de la geomembrana (kN/m)

T_{act} : Resistencia actual por unidad de ancho de la geomembrana (kN/m)

FS : Factor de seguridad

- Anclaje

FIGURA F.6.6 Diseño del espesor debido al anclaje

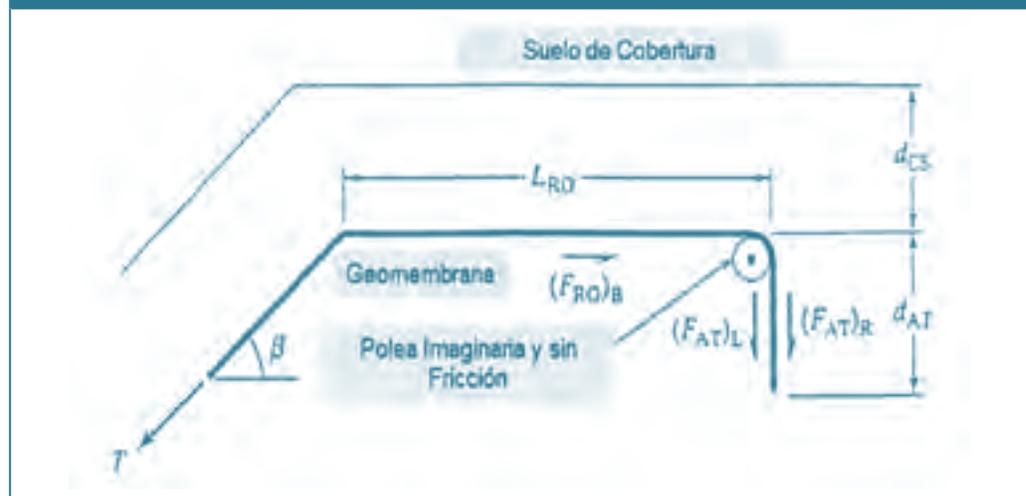
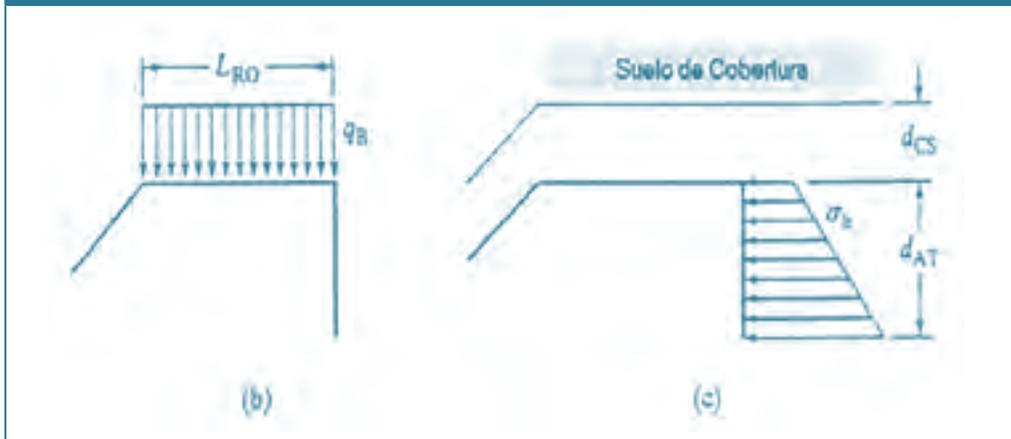


FIGURA F.6.6 Diseño del espesor debido al anclaje



$$T = \frac{(q_B * L_{RO} * \tan \delta_c + (K_0 * (\sigma_v)_{prom}) * d_{AT} * (\tan \delta_c + \tan \delta_f))}{\cos \beta - \sin \beta * \tan \delta_c} \quad (F.6.9)$$

Donde:

- T: Fuerza de tensión de la geomembrana por unidad de longitud (kN/m)
- P: Presión movilizadora (= $\gamma_s * H$) (peso total del residuo) - (kg/m²)
- (σ_v)_{prom}: Esfuerzo horizontal promedio por unidad de longitud de zanja de anclaje (kN/m²)
- δ_c : Angulo de fricción entre la membrana y el suelo subyacente (grados)
- δ_f : Angulo de fricción entre la membrana y el suelo superior de lleno (grados)
- L_{RO}: Longitud de la trinchera de anclaje (m)
- K₀: Coeficiente de presión atmosférica estática terrestre
- d_{AT}: Profundidad de la zanja de anclaje (m)
- q_B: Presión del suelo de lleno a lo largo de la longitud (kN/m) (= $\gamma_s * d_{CS}$)
- d_{CS}: Espesor del suelo de cobertura (m)
- γ_s : Peso unitario del suelo de cobertura y el suelo de lleno (kN/m³)
- β : Ángulo de la pendiente con respecto a la horizontal (grados)
- (F_{RO})_B: Fuerza de fricción debajo de la geomembrana.
- (F_{AT})_L: Fuerza de fricción entre el envés de la geomembrana y el material de la zanja de anclaje.
- (F_{AT})_R: Fuerza de fricción entre el ves de la geomembrana y el material de lleno de la zanja de anclaje.

- Ensayos: Las siguientes propiedades deben verificarse en el diseño de capas de geomembranas. En la tabla F.6.6 se recomiendan las normas ASTM, que pueden consultarse para evaluar las propiedades físicas y mecánicas y la resistencia química.

Tabla F.6.6. Normas ASTM para Geomembranas	
PROPIEDADES	NORMA ASTM
FÍSICAS	
Espesor	ASTM D5199-01 (2006)
MECÁNICAS	
Resistencia	ASTM D4885-01 (2006)
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833-7 ó D5494-93 (2006)
Fricción en la interfase entre la geomembrana y otro geosintético o suelo	ASTM D5321-08
Agrietamiento	ASTM D5397-07
RESISTENCIA QUÍMICA	
Resistencia a los líquidos	ASTM D5747-08
Resistencia al lixiviado	US EPA Método 9090 ó ASTM D5747-08

F6.7.4 Sistemas de Drenaje

Todo relleno sanitario debe contar con sistemas de recolección y evacuación de aguas de escorrentía y de lixiviados.

F6.7.4.1 Aguas de escorrentía

El objetivo del sistema de drenaje es interceptar y desviar las aguas lluvias que caen o penetran al predio del relleno, hacia el cuerpo receptor más cercano. La absorción debe ser mínima o nula en áreas rellenadas.

1. Drenaje de aguas lluvias para rellenos sanitarios con disposición final de residuos sólidos menor o igual a 15 toneladas por día. Debe interceptarse y desviarse el escurrimiento del agua lluvia fuera del relleno sanitario mediante la construcción de canales en tierra o suelo cemento de forma trapezoidal que deben ser dimensionados de acuerdo con las condiciones de precipitación local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía. El canal debe ser trazado por la curva de nivel máximo a que llegará el relleno y debe garantizar una velocidad máxima media de 0,5 m/s y con un número de Froude menor de 0,9 y deberá cumplir con fuerza tractiva.
2. Drenaje de aguas lluvias para rellenos sanitarios con disposición final de residuos sólidos mayor a 15 toneladas por día. El drenaje de aguas lluvias debe asegurar su permanente evacuación a los cauces naturales, manteniendo una dinámica acorde con las distintas etapas del relleno sanitario.

Las obras de drenaje deben ser permanentes y temporales. Las obras de drenaje permanentes deben construirse en los límites del relleno para captar el escurrimiento de aguas arriba; los canales deben revestirse con material apropiado. La velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0,30 m/s. Los canales de las obras de drenaje temporal deben construirse con taludes 3:1 (H:V), rellenos de grava de 5 cm de tamaño máximo para evitar socavaciones. Los canales permanentes y los temporales se dimensionan de acuerdo con:

- a. Condiciones de precipitación. Para las condiciones de precipitación local deben conocerse los valores máximos anuales de las lluvias para distintas duraciones, entre 5 minutos y 24 horas en una estación representativa de la zona.
- b. Red de escurrimiento natural. Con base en el estudio topográfico y los planos publicados por organismos competentes que contengan las líneas de nivel suficientemente detalladas en relación al tamaño de la cuenca, deben establecerse los parámetros necesarios tales como límites, área, forma, pendiente media de la cuenca y longitud del cauce principal.
- c. Coeficiente de escorrentía. Debe estimarse el coeficiente de escorrentía considerando los siguientes factores: topografía, tipo de suelo, tamaño de la cuenca, pendientes y saturación del suelo.

F6.7.4.2 Lixiviados

El sistema de recolección de lixiviados debe diseñarse teniendo en cuenta el caudal máximo de lixiviado y el de agua de escorrentía.

1. Drenaje de lixiviados para rellenos sanitarios con disposición final de residuos sólidos menor o igual a 15 Mg por día. Después de realizar la impermeabilización del fondo y de las paredes laterales, debe construirse un sistema de drenaje en el terreno, que sirva de base al relleno sanitario antes del depósito de los residuos sólidos. También deben construirse drenajes en todas las bases de los taludes interiores y exteriores de las terrazas o niveles que conforman el relleno sanitario.

Construcción del sistema de drenaje. El sistema de drenaje debe ser una red horizontal de zanjas en grava gruesa. Para la construcción de los drenes, debe realizarse el trazado donde se ubica el drenaje en el terreno, similar al de un sistema de alcantarillado. La pendiente del fondo es del 2 %. Deben llenarse las zanjas con piedra de 10 cm a 15 cm, que permitan más espacios libres, y eviten su rápida colmatación. Se recomienda colocar a continuación un material que permita infiltrar los líquidos y retener las partículas finas que lo puedan colmatar tal como un geotextil no tejido. Este sistema puede ser sustituido por un geosistema de dimensiones hidráulicas que permitan el óptimo manejo del caudal de lixiviados.

Cuando ocurran periodos de lluvias fuertes, y la cantidad de lixiviados exceda la capacidad de los drenajes en el interior del relleno, se recomienda

prolongar y orientar el sistema de drenaje de las mismas características y conformar, por fuera del relleno, un campo de infiltración que permita almacenar líquido durante estos días.

En regiones con condiciones extremas de precipitación pluvial, mayor de 3.000 mm/año, donde resulta difícil el manejo debido a la gran cantidad de lixiviado que se puede generar cuando la lluvia cae directamente sobre el área rellenada, se recomienda:

- a. Se debe dimensionar el sistema de drenaje a construir en el terreno, considerando tiempos de retorno de la precipitación mayores al considerado para el diseño del resto del sistema.
 - b. Construir el relleno de manera que se tengan áreas de trabajo descubiertas reducidas. Esto se logra con el avance más en altura que en área del frente de vertido.
 - c. Introducir en las operaciones de rutina diaria, el cubrimiento de las celdas y áreas terminadas temporalmente, con material plástico, a fin de impedir la infiltración del agua de lluvias a través de los residuos sólidos.
 - d. Aplicar la cobertura final y de inmediato sembrar grama sobre las áreas terminadas del relleno.
2. Drenaje de lixiviados para rellenos sanitarios con disposición final de residuos sólidos mayor a 15 toneladas por día. Después de realizarse la impermeabilización debe construirse el sistema de recolección de lixiviados, el cual debe asegurar que se acumule menos de 0,30 m de lixiviado sobre el estrato compuesto de impermeabilización para minimizar la posible contaminación del agua subterránea. En este sistema se deben considerar los siguientes componentes:
- a. Área recolectora. El área recolectora cubre la superficie del área impermeabilizada y recoge el lixiviado. Consiste de un estrato de arena de 0,30 m de espesor con una permeabilidad mínima de 10-2 cm/s, localizado en el fondo del relleno.
 - b. Recolectores laterales. Se requieren para mantener la cabeza de 0,30 m, para lo cual los recolectores laterales deben ser tubos perforados, de manera que el lixiviado sea conducido a los sumideros para ser removido del relleno sanitario. La pendiente de los recolectores laterales debe ser mayor de 2% y su espaciamiento es calculado por las siguientes ecuaciones¹¹:

Método de Moore – 1980 (Ver Figura F.7.6.a):

$$h_{max} = \frac{t\sqrt{(r/k)}}{2} \left[\frac{S^2}{(r/k)} + 1 - \frac{S}{(r/k)} \sqrt{S^2 + (r/k)} \right] \quad (F.7.10)$$

11. Qian, Xuede, Koerner, Robert M. y Gray, Donald H. GEOTECHNICAL ASPECT OF LANDFILL DESIGN AND CONSTRUCTION. Editorial Prentice Hall. USA. 2002. ISBN: 0-13-012506-7

Método de Moore – 1983 (Ver Figura F.7.6.a):

$$h_{\text{max}} = L * [\sqrt{((r/k) + S^2)} - S]$$

Método de Giroud – 1992 (Ver Figura F.7.6.a):

$$h_{\text{max}} = \frac{j * L * [\sqrt{(4 * (r/k) + S^2)} - S]}{2 * \cos \alpha}$$

Y j es igual a:

$$j = 1 - 0,12 * e^{\left| \ln \left(1 + \frac{4}{2} \right) \right|}$$

Método de McEnroe -1993 (Ver Figura F.7.6.b):

$$R = \frac{\left(\frac{r}{k} \right)}{\text{Sen}^2 \alpha}$$

$$A = \sqrt{(1 - 4 * R)}$$

$$B = \sqrt{(4 * R - 1)}$$

Si $R < 1/4$: (Ver Figura F.7.6.b)

$$h_{\text{max}} = L * S * \left(\sqrt{(R - R * S + R^2 * S^2)} \right) * \left\{ \frac{[(1 - A - 2 * R) * (1 + A - 2 * R * S)]}{[(1 + A - 2 * R) * (1 - A - 2 * R * S)]} \right\}^{\frac{1}{2k}}$$

Si $R = 1/4$:

$$h_{\text{max}} = L * S * R * \frac{(1 - 2 * R * S)}{(1 - 2 * R)} * e^{\left\{ \frac{(2 * R * S - 1)}{[(1 - 2 * R * S) * (1 - 2 * R)]} \right\}}$$

Si $R > 1/4$

$$h_{\text{max}} = L * S * \left(\sqrt{(R - R * S + R^2 * S^2)} \right) * e^{\left\{ \left(\frac{1 - 2 * R * S - 1}{R} \right) \left(\frac{1 - 2 * R * S}{R} \right) \right\}}$$

Donde:

h_{max} : Cabeza máxima de líquido en la barrera del relleno sanitario (mm)

L : Distancia horizontal entre drenajes (mm)

c : ($=r/k$)

r : Tasa de entrada del flujo dentro de la capa de drenaje por unidad horizontal de área (mm/s)

k : Conductividad hidráulica de la capa de drenaje (mm/s)

S : Pendiente de la capa de drenaje ($=\tan \alpha$)

α : Angulo de la capa de drenaje medido con respecto a la horizontal (grados)

Siendo recomendable el empleo de los métodos de Giroud -1992 y el de McEnroe-1993.

FIGURA E.7.6.a Sistema de recolección de lixiviado

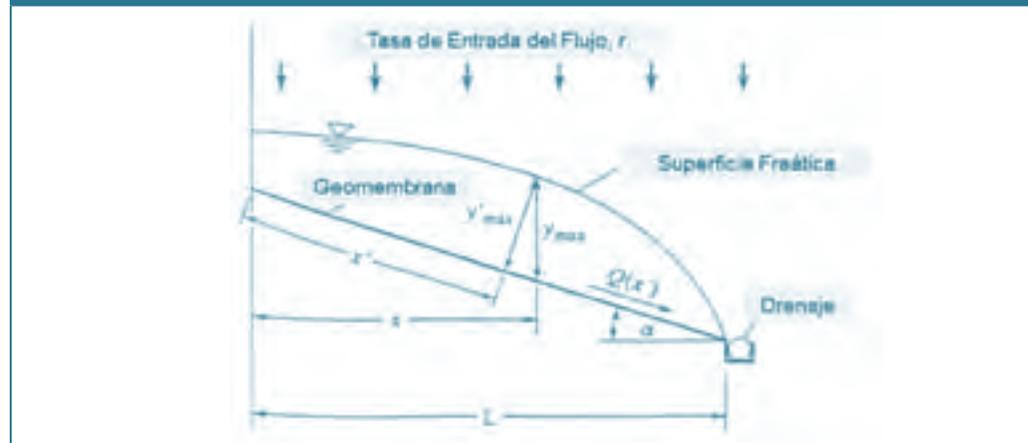
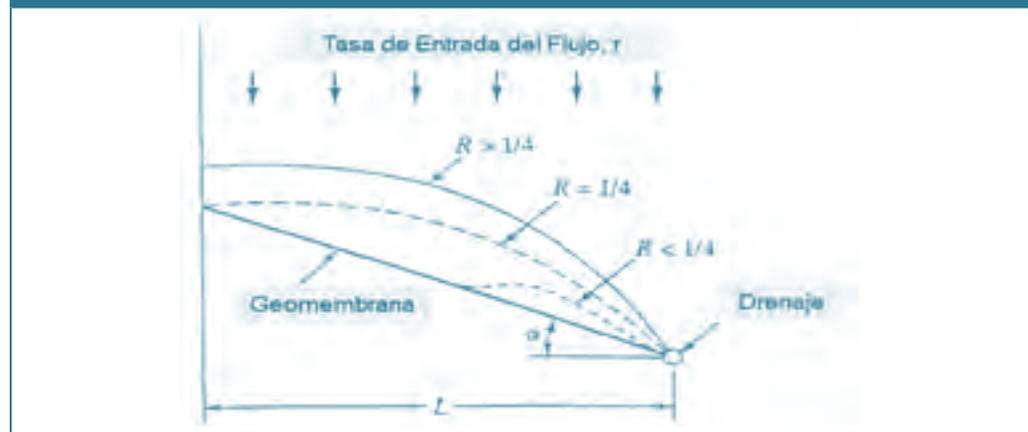


FIGURA E.7.6.b Sistema de recolección de lixiviado



- c. Sumideros. Los sumideros deben ubicarse en los puntos bajos del estrato construido para recolectar el lixiviado.
 - d. El diseñador está en libertad de usar Geotextiles no Tejidos o el Geocompuesto para la retención de finos o no, sin embargo debe asegurar que éstos no se obstruyan ni se atasquen debido a las características incrustantes del lixiviado.
 - e. En caso de que se use suelo de protección sobre la capa de arena drenante, éste suelo debe tener conductividad hidráulica superior a la de la capa drenante que protege. Bajo ningún motivo se debe utilizar suelo de protección con características limosas o arcillosas.
 - f. Sumideros. Los sumideros deben ubicarse en los puntos bajos del estrato construido para recolectar el lixiviado.
 - g. El diseñador está en libertad de usar geotextiles no tejidos o el geocompuesto para la retención de finos o no, sin embargo debe asegurar que éstos no se obstruyan ni se atasquen debido a las características incrustantes del lixiviado.
 - h. En caso de que se use suelo de protección sobre la capa de arena drenante, este suelo debe tener conductividad hidráulica superior a la de la capa drenante que protege. Bajo ningún motivo se debe utilizar suelo de protección con características limosas o arcillosas.
3. Cálculo de la cantidad de lixiviados. En todo relleno sanitario se deberá conocer la cantidad aproximada de lixiviados que se producirán, para lo cual se deben tener en cuenta: la producción diaria de residuos sólidos a disponer, el método de disposición final a utilizar, el peso específico de los residuos y del material de cobertura, la capacidad de campo del relleno sanitario, el contenido de humedad, la distribución de los materiales orgánicos (descomposición rápida y lenta), las dimensiones de las celdas, la relación residuos / material de cobertura intermedia, el número de niveles, la producción de gases, la producción de agua como vapor de agua, el peso específico del gas y, la precipitación, para lo cual se deben considerar las siguientes especificaciones:

Descripción de los componentes del balance de agua para una celda del relleno sanitario. Se deben establecer los componentes y acciones que producen líquidos en la respectiva celda, tales como el agua proveniente de la precipitación que cae directamente sobre la celda, agua proveniente de las capas de residuo sólido superior, humedad de los residuos sólidos, humedad del material de cobertura, humedad de lodos cuando estos se disponen en forma conjunta, el agua necesaria para la formación de gases en el relleno sanitario, el vapor de agua saturado en el gas del relleno sanitario y el lixiviado que finalmente sale por gravedad.

- a. Agua proveniente de la precipitación – P. Se deberá calcular la cantidad de agua que entra al relleno sanitario, la cual depende de las condiciones hidrológicas locales, del diseño de la cobertura, de su pendiente final y del

tipo de vegetación utilizada en el diseño paisajístico. Cuando se use como cobertura final material impermeable como geomembranas o GCL, la cantidad de agua que ingresa al relleno sanitario será igual a cero.

En el evento de que no se utilice este tipo de membranas, se debe calcular la filtración del agua lluvia, utilizando modelos de simulación hidráulica como el HELP (Evaluación hidráulica de rendimiento de rellenos sanitarios) o utilizando un balance hidrológico estándar con la siguiente ecuación:

$$\Delta S_{LC} = P - R - ET - PER_{sw} \quad (F.6.11)$$

Donde:

- ΔS_{LC} : Cambio en la cantidad de agua almacenada en unidad de volumen de cobertura del relleno sanitario (m)
- P: Cantidad de precipitación atmosférica por unidad de área (m, kg)
- R: Radio de influencia de los pozos de extracción de gas (m)
- ET: Cantidad de agua perdida por evapotranspiración por unidad de área (m)
- PER_{sw} : Cantidad de agua que filtra a través de la unidad de área de la cobertura del relleno sanitario y que entra en los residuos sólidos (m)
- b. Agua aportada por el material de cobertura - W_{MC} . Cuando se utilicen arcillas o mezclas de arcilla con arenas y limos (tipo recebo), la cantidad de agua que entra al relleno sanitario por este material, dependerá de la estación del año. La cantidad máxima de humedad que el material de cobertura puede contener se define como capacidad de campo del material, o sea, el líquido que queda en el espacio de los poros, sometido a la gravedad. Los valores para suelo varían entre el 6 % al 12 % para arena y del 31 % al 39 % para arcilla.
- c. Agua aportada por los residuos sólidos - $W_M * \omega$. La cantidad de agua que entra al relleno sanitario por los residuos sólidos, corresponde al agua intrínseca de los residuos. Se ha estimado que el contenido de humedad de los residuos es aproximadamente del 20 %. Para rellenos sanitarios con disposición final de residuos sólidos menor o igual a 15 toneladas por día, se puede determinar el contenido de humedad de acuerdo con los valores presentados en la tabla F.1.5, para rellenos sanitarios con disposición final mayor a 15) toneladas es necesario que se realicen ensayos durante periodos húmedos y secos a fin de corroborar dichos valores, de acuerdo con la ecuación F.1.1.
- d. Agua consumida en la formación de gas en el relleno sanitario - W_{AG} . La cantidad de agua consumida en las reacciones de descomposición se puede estimar con base en las ecuaciones F.6.17 y F.6.18, obteniendo la siguiente ecuación:

$$W_{AG} \text{ (Agua consumida)} = ((4a-b-2c+3d)/4)/(C_a H_b O_c N_d) \text{ (kg H}_2\text{O/kg de residuos sólidos volátiles biodegradables(RSVB))} \quad (\text{F.6.12})$$

$$W_{AG} \text{ (Agua consumida)} = ((4a-b-2c+3d)/4)/((C_a H_b O_c N_d) * \gamma_{RSVB}) \text{ en kg H}_2\text{O/m}^3 \quad (\text{F.6.13})$$

Donde:

W_{AG} : Peso del agua consumida por la formación de gas (kg)

- e. Agua perdida como vapor de agua - W_E . Para determinar el valor numérico de la masa de vapor de agua contenida por litro de gas en un relleno sanitario, se utilizarán las ecuaciones F.6.14 y F.6.15:

$$n \text{ (moles)} = (p_v * V)/(RT) \quad (\text{F.6.14})$$

Donde:

p_v : Presión de vapor de agua a una temperatura (atm)

V: Volumen (L)

R: Constante universal de gases (0,082) (atm*L/K)

T: Temperatura del gas en el relleno sanitario (K)

$$W_E = n \text{ (moles)} * 16 \text{ (gr/mol de H}_2\text{O)} \quad (\text{F.6.15})$$

Donde:

W_E : Peso del agua que sale por evaporación (kg)

- f. Agua aportada por lodos dispuestos en rellenos sanitarios - W_{LO} . En el evento de que el relleno sanitario reciba para su disposición lodos de las plantas de tratamiento de aguas municipales, deberán definirse su objetivo y las condiciones de humedad sobre las cuales se deben recibir los lodos. Si el objetivo es incrementar la producción de metano es aconsejable la disposición final de los lodos con alto contenido de humedad (entre 60 %-80 %), si es para la disposición final exclusivamente, se deberá procurar que estos tengan la menor cantidad de humedad o definir de acuerdo con la relación residuos sólidos / lodos, el aumento de lixiviados que se presenten y por consiguiente las necesidades del aumento de la capacidad de la planta de tratamiento de lixiviados.
- g. Lixiviado. Es la cantidad de agua que finalmente sale por el fondo del relleno sanitario, lo cual está determinado por la ecuación:

$$W_L = (W_M * \omega - W_{AG} + P + W_{LO} - W_E) - (W_S - W_G + W_{AG}) * CC$$

(F.6.16)

Donde:

- W_L : Peso de lixiviados que salen del relleno sanitario (kg)
- W_M : Peso de la mezcla (kg)
- ω : Contenido de humedad de los residuos sólidos (%)
- W_{AG} : Peso del agua consumida por la formación de gas (kg)
- P: Cantidad de precipitación atmosférica por unidad de área (m, kg)
- W_E : Peso del agua que sale por evaporación (kg)
- W_{LO} : Peso del agua contenido en lodos de tratamiento de aguas residuales domésticas (kg)
- W_S : Peso de la muestra después de secarse a 105 °C (kg)
- W_G : Peso del gas formado en el relleno sanitario (kg)
- W_{AG} : Peso del agua consumida por la formación de gas (kg)
- CC: Concentración corregida (mg/m³)

4. Gestión de lixiviados

Determinada la cantidad de lixiviados que se generarán en la operación del relleno sanitario, se deberán establecer por parte del diseñador, las actividades pertinentes a fin de dar cumplimiento a las normas de vertimiento, para lo cual se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Reciclaje de lixiviados. Cuando se establezca la recuperación de gas del relleno sanitario y las condiciones de humedad de los residuos sólidos compactados son menores al 60%, el reciclaje de los lixiviados es una opción que debe ser analizada por parte del diseñador, ya que los ácidos orgánicos sencillos presentes en el lixiviado se convertirán en CH₄ y CO₂. A su vez, el reciclaje de los lixiviados al interior del relleno sanitario permitirá la precipitación de los metales quedando retenidos en el relleno sanitario, efecto que sucede con la subida de pH dentro del relleno sanitario y la consecuente producción de CH₄.

Los lixiviados que finalmente se presenten luego de la recirculación, contendrán menores cantidades de DBO₅, DQO, nutrientes y metales, pudiendo ser su tratamiento económico.

- b. Evaporación de lixiviados. Para rellenos sanitarios con una disposición final menor a 15 toneladas por día y cuando la evaporación anual sea mayor que la precipitación anual, se podrá realizar éste con el objeto de que los lixiviados se sometan al proceso de evaporación.

Los lixiviados que se generen en época de lluvia podrán ser conducidos y almacenados a estanques para luego, en época de verano, someterlos al proceso de evaporación y/o ser bombeados y regados sobre el relleno sanitario para que suceda el proceso de evaporación. En todo caso cuando se defina por el diseñador la implementación de este proceso, se deberá realizar el balance de aguas.

- c. Tratamiento de lixiviados. Todo el líquido contaminante generado en el relleno sanitario debe tratarse antes de ser vertido en un cuerpo de agua, superficial o subterráneo, utilizando procesos de tratamiento de reconocida viabilidad técnica, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
- Toxicidad a microorganismos en caso de usarse procesos biológicos de tratamiento.
 - Formación de precipitados en tuberías, canales, válvulas, bombas, tanques y, en general, en toda la obra. Debe preverse la operación considerando que se van a formar dichas incrustaciones. Debe considerarse la posibilidad de remover los iones incrustantes.
 - Formación de espumas. Se deben prever la forma de operación y el rendimiento para que, aun en el caso de que se formen, se garantice el cumplimiento de calidad en el efluente.
 - Variabilidad de las características del lixiviado en el tiempo. Debe preverse que las características físico-químicas y biológicas del lixiviado cambian extremadamente durante la vida útil de la planta. Se debe prever la flexibilidad de operación y rendimiento para todo el período de diseño y cerramiento del relleno sanitario.
 - El proceso debe cumplir con las calidades del agua al verter de tal forma que se garanticen los usos del agua, en el cuerpo receptor, que han sido asignados para éste. Las normas de calidad para el cuerpo receptor de acuerdo a los usos, son las estipuladas por el Decreto 1594 de 1984 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos o la norma que lo modifique o sustituya. Igualmente se debe cumplir con los objetivos de calidad del agua del cuerpo receptor definidos por la Autoridad Ambiental competente en el respectivo plan de ordenamiento de la cuenca hidrográfica (POMCH).

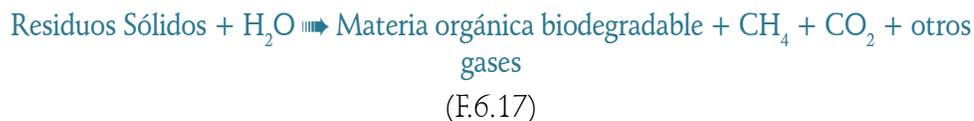
F6.7.4.3 Deflexiones en tuberías

Las deflexiones en las tuberías utilizadas por motivo de las presiones internas en el relleno, deben cumplir con los requisitos exigidos en el Título G: Aspectos Complementarios, del RAS.

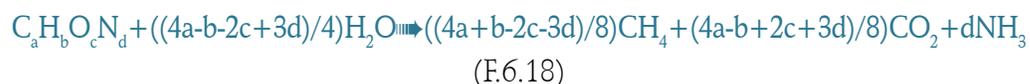
F6.7.4.4 Drenaje de gases

1. Cálculo de volumen generado de gases.

En el proceso de descomposición de los residuos sólidos orgánicos se consume agua, para lo cual se establece la reacción generalizada para descomposición anaerobia de los residuos sólidos mediante la ecuación:



El volumen de gases emitidos durante la descomposición anaerobia se calcula utilizando la ecuación:



Los valores de a, b, c, d, corresponden a la composición molar y se obtienen del análisis elemental del porcentaje para carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, así como de la composición de los residuos sólidos, su humedad y el peso específico del CH_4 y CO_2 . Las masas atómicas de los elementos esenciales, corresponden a las definidas en la tabla F.6.7.

TABLA F.6.7. Masa Atómica en g/mol		
Elemento	Símbolo	Masa Atómica
Carbono	C	12,011
Hidrógeno	H	1,008
Oxígeno	O	15,999
Nitrógeno	N	14,007
Azufre	S	32,064

$$a = W_s * \text{porcentaje de carbono de los residuos sólidos} \quad (\text{F.6.19})$$

$$b = W_s * \text{porcentaje de hidrógeno de los residuos sólidos} \quad (\text{F.6.20})$$

$$c = W_s * \text{porcentaje de oxígeno de los residuos sólidos} \quad (\text{F.6.21})$$

$$d = W_s * \text{porcentaje de nitrógeno de los residuos sólidos} \quad (\text{F.6.22})$$

$$e = W_s * \text{porcentaje de azufre de los residuos sólidos} \quad (\text{F.6.23})$$

Donde:

W_s : Peso de la muestra después de secarse a 105 °C (kg)

Los porcentajes para cada uno de los elementos se establecen en el capítulo F.1. Para determinar la cantidad de metano y dióxido de carbono para los residuos con rápida y lenta descomposición se podrán utilizar las siguientes ecuaciones:

Metano

$$((4a+b-2c-3d)/8) \text{CH}_4 * W_M / (C_a H_b O_c N) * \gamma \text{CH}_4 \quad (\text{F.6.24})$$

Dióxido de carbono

$$((4a-b+2c+3d)/8) \text{CO}_2 * W_M / (C_a H_b O_c N) * \gamma \text{CO}_2 \quad (\text{F.6.25})$$

Donde:

W_M : Peso de la mezcla (kg)

γCH_4 : Peso específico del metano (kg/cm³)

γCO_2 : Peso específico del dióxido de carbono (kg/cm³)

Para determinar la cantidad total de gas generado por unidad en peso seco de la materia – W_C se podrá utilizar la siguiente ecuación:

$$W_C \text{ cantidad total de gas (Vol/kg)} = (\text{VolMetano} + \text{VolDióxido de carbono}) / W_M \quad (\text{F.6.26})$$

Donde:

W_C = peso del gas formado en el relleno sanitario (kg)

W_M = peso de la mezcla (kg)

Para determinar el peso de los residuos sólidos, se deberán tener en cuenta la composición y la biodegradabilidad, los cuales se distribuyen de acuerdo con la tabla F.6.8, para lo cual se tendrá en cuenta que los residuos sólidos con una descomposición lenta se realiza entre los 5 y los 50 años y los de descomposición rápida, entre los 3 meses a 5 años.

TABLA F.6.8. Constituyentes Orgánicos con Rápida y Lenta Biodegradabilidad

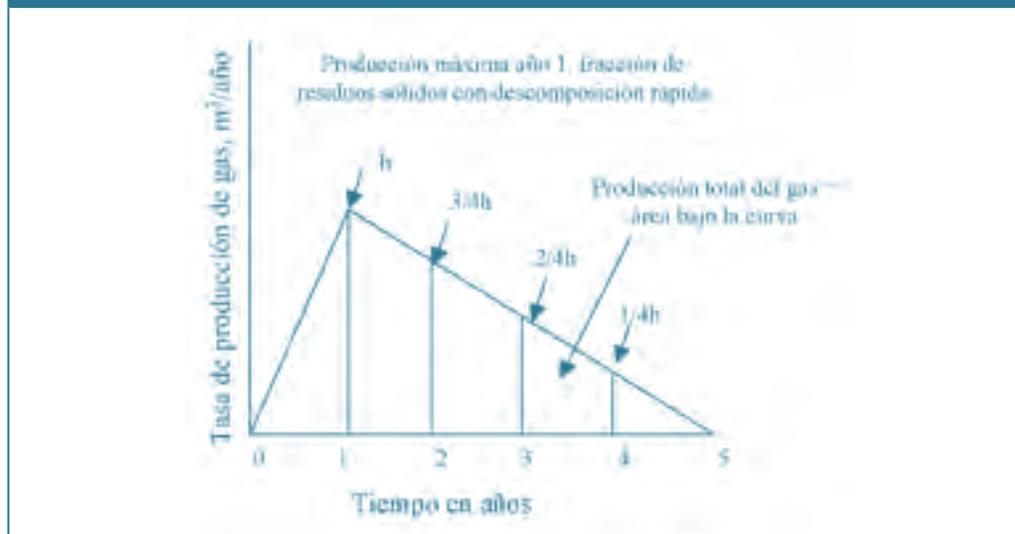
COMPONENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN BIODEGRADABILIDAD

RÁPIDA	LENTA
Residuos de comida	
Periódicos	
Papel de oficina	
Cartón	
	Textiles
	Goma
	Cuero
Residuos de jardín (hojas y césped)	Residuos de jardín (porciones leñosas)
	Madera
	Orgánicos misceláneos
Los plásticos se consideran generalmente como no biodegradables	

Para determinar la producción año a año de la fracción de residuos sólidos de descomposición lenta, se podrá utilizar un modelo triangular de producción de gas mediante el cual se distribuirá la producción de gas obtenida por la ecuación F.6.26, para el periodo que se determine de biodegradabilidad tomando un periodo de 15 años, con producción máxima en el quinto año, el contenido de humedad de los residuos se encuentra entre el 60 % y 70 % y que se haya establecido para la fase de operación la destrucción previa de las bolsas, y de 50 años con producción máxima en el décimo año si no se efectúa la destrucción de las bolsas que contienen los residuos sólidos.

Para la fracción de descomposición rápida, se realiza el mismo procedimiento que para la fracción lenta, con la diferencia de que la producción de gas obtenida para la fracción rápida por la ecuación F.6.26, se distribuye en 5 años con producción máxima en el primer año y el contenido de humedad de los residuos se encuentra entre el 60 % y 70 % y que se haya establecido para la fase de operación la destrucción previa de las bolsas, y de 15 años con producción máxima en el quinto año si no se efectúa la destrucción de las bolsas que contienen los residuos sólidos (Figura F.6.7.)

FIGURA F.6.7. Modelo Triangular para la Determinación de la Cantidad de Gas Producida Anualmente, Durante el Tiempo de Descomposición



Para determinar la producción total por año, se debe sumar la producción de la fracción lenta con la producción de la fracción rápida.

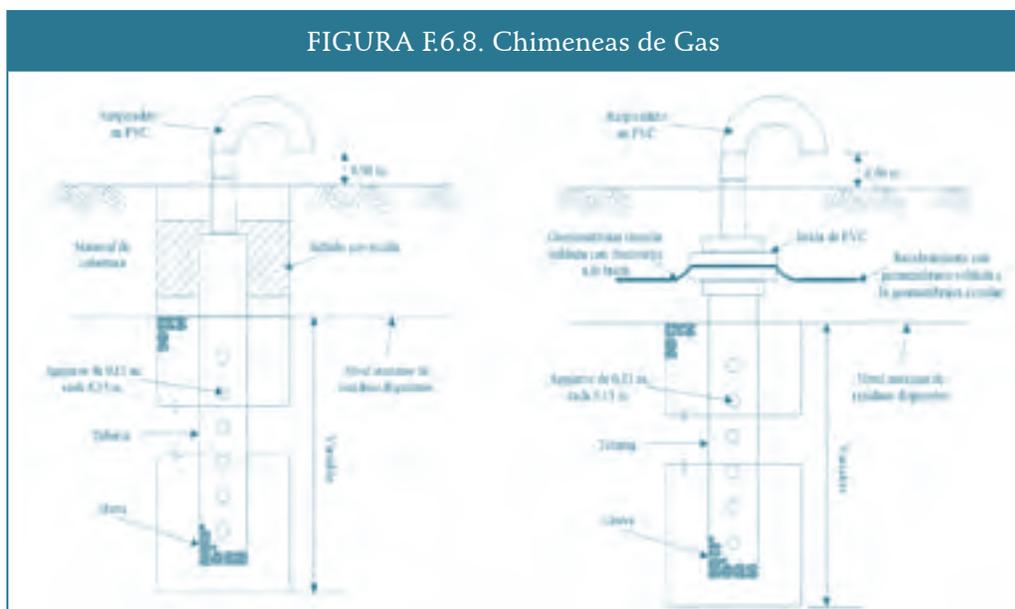
2. Drenaje de gases para los rellenos sanitarios con disposición final menor o igual a 15 toneladas por día

El drenaje de gases debe estar constituido por un sistema de ventilación en piedra o tubería perforada revestida en piedra, que funcionen como

chimeneas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie. Las chimeneas deben estar construidas verticalmente a medida que avanza el relleno, logrando una buena compactación a su alrededor. Se recomienda instalarlas a una distancia máxima de 50 m entre ellas, con un diámetro entre 0,30 y 0,50 m cada una. Deben interconectarse los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario.

Cuando se tenga previsto finalizar la última celda, deben colocarse dos tubos de concreto: el primero, perforado y revestido en piedra para facilitar la captación y salida de gases y evitar la obstrucción de los orificios ya sea por los residuos sólidos o por el material de cobertura. La segunda tubería no es perforada, a fin de coleccionar el gas y quemarlo, eliminando los olores producidos por otros gases.

FIGURA F.6.8. Chimeneas de Gas



3. Drenaje de gases para los rellenos sanitarios con una disposición mayor a 15 toneladas y menor o igual a 200 toneladas por día

La eliminación de los gases puede realizarse mediante los siguientes procedimientos:

- Para permitir la libre evacuación de los gases de la masa de residuos de cada módulo, deben colocarse chimeneas, mínimo 4 por hectárea y no menos de una por módulo. Deben ubicarse en la mayor cota final del módulo relleno y cubierto. Este procedimiento debe realizarse para rellenos tipo área. Para rellenos tipo trinchera, las chimeneas deben ubicarse a una distancia que oscila en el rango de 20 m a 50 m.

- b. Cuando sea necesario evitar que el gas se difunda lateralmente a través del terreno y pueda llegar a zonas cercanas deben interponerse barreras de venteo lateral entre la zona de relleno y aquellas que deben protegerse, estableciendo un sector de mayor permeabilidad que el terreno por donde el gas pueda evacuarse hacia la atmósfera con facilidad, mediante zanjas longitudinales de profundidad igual a la del relleno sanitario, hechas en el terreno natural y ubicadas perimetralmente al relleno. El ancho debe ser de 0,6 m; las zanjas se rellenan con grava, piedra partida o material similar y se cubren con una capa de tierra de 0,30 m de espesor. Deben colocarse tuberías de al menos 0.15 m de diámetro con orificios laterales, que penetren 1,50 m en la masa de piedra partida y el manto de cobertura; se colocarán cada 20 m y deben sobresalir 2,0 m sobre la superficie del terreno llevando en su extremo superior una pieza en forma de T de 0,15 m de diámetro. En la superficie lateral de la zanja opuesta a la zona del relleno, cuando el coeficiente de permeabilidad es mayor que 10^{-6} cm/s, se colocará una película de polietileno (200 - 250 micrones).

4. Drenaje de gases para los rellenos sanitarios con una disposición mayor a 200 toneladas por día

Para los proyectos en que se defina disponer una cantidad de residuos sólidos superior a 200 toneladas por día, se deberá evaluar la factibilidad técnica y financiera de realizar un control activo de gases para la recuperación del gas. Será obligatorio que las personas prestadoras del servicio de aseo en la actividad complementaria de disposición final, incorporen la infraestructura interna necesaria en el relleno sanitario en caso de que haya viabilidad financiera, de tal forma que a un futuro se pueda realizar la extracción del gas sin sobre costos.

Para rellenos sanitarios existentes o clausurados en donde se pretenda realizar extracción de gases, se deberán realizar pruebas de extracción y estimación de generación de gas a largo plazo (15 años) y corto plazo (5 años).

- a. Chimeneas verticales para la extracción del gas. Se puede instalar una chimenea de extracción junto con sondas de gas a distancias regulares de las chimeneas, midiendo el vacío dentro del relleno mientras se aplica la succión a la chimenea de extracción. Se recomienda utilizar un espaciamiento uniforme de las chimeneas y controlar la zona de influencia de éstas ajustando el vacío en la cabecera de cada chimenea. En rellenos sanitarios profundos con cobertura mixta (arcilla, suelo geomembrana), la separación de las chimeneas debe estar en el rango de 50 a 65 metros.

Cuando la cobertura sea en arcilla y/o suelo, la separación de las chimeneas deberá estar entre 2040 metros. La chimenea de extracción

- b. Chimeneas horizontales para la extracción del gas. Se podrán diseñar chimeneas horizontales, las cuales se deberán instalar a partir del segundo nivel, en donde se deben realizar excavaciones en los residuos sólidos, conformando zanjas con base de 0,60 m y altura de 1,20 m. Las zanjas serán rellenas de grava hasta la mitad, para instalar posteriormente la tubería perforada de 0,25 m de diámetro, y sobre ésta más grava hasta llenar la zanja, para luego continuar con la disposición de residuos sólidos. Será optativo del diseñador la colocación de un geotextil no tejido o un geocompuesto en la zanja antes de instalar la grava y la tubería, lo cual dependerá de la compactación realizada a los residuos sólidos y las características de los mismos.

Las juntas de la tubería deberán ser abiertas, lo que le permitirá un adecuado funcionamiento, aun cuando se presenten asentamientos, las zanjas se colocarán en intervalos verticales de 20 metros y en intervalos horizontales cada 60 metros.

Las tuberías ubicadas en las zanjas se conectarán a un tubo colector de gas que será instalado en el límite del relleno sanitario adyacente a las paredes del nivel del suelo existente.

- c. Chimeneas perimetrales al relleno sanitario para extracción de gas y control de olores. Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 8 m. Las chimeneas verticales se localizan dentro o en el borde del relleno sanitario. Cada chimenea se conecta a un tubo colector común que debe estar conectado a un soplador centrífugo de manera que conduzca una presión negativa en el colector y en las chimeneas individuales. La pendiente del colector es del 3 % para permitir el movimiento del condensado hasta las trampas de recolección. Debe ventilarse o quemar el gas extraído del relleno de forma controlada, en la estación del soplador. La chimenea consistirá de una tubería de 0,10 m a 0,16 m, colocada en una perforación de 0,45 m a 0,90 m. Del tercio a la mitad inferior se perfora y se coloca en un relleno de tierra o, en su defecto, de residuos sólidos. Para prevenir la entrada de aire, las chimeneas deben ser equipadas con tomas para el muestreo de gas y válvulas para controlar el flujo.
- d. Zanjas perimetrales al relleno sanitario para la extracción del gas. El sistema de zanjas se recomienda en rellenos con profundidades menores de 8 m. Estas zanjas son instaladas en el suelo original adyacente al perímetro del relleno; están llenas de grava y tuberías perforadas conectadas lateralmente a un colector y compresor centrífugo de extracción. Las zanjas pueden extenderse verticalmente desde la superficie del relleno hasta la profundidad total de los residuos, sellándose en la superficie. Se pueden utilizar válvulas de control para el caudal.

- e. Chimeneas perimetrales al relleno con inyección de aire. En este sistema deben instalarse chimeneas verticales en el suelo original entre los límites del relleno y las instalaciones que deben protegerse contra la intrusión del gas. Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 7 m, en zonas de suelo inalterado entre el relleno y las propiedades potencialmente afectadas.

5. Consideraciones de diseño del sistema activo

Los siguientes aspectos deben considerarse en el sistema activo de extracción de gas generado en el relleno sanitario:

- a. Los pozos de extracción deben ser profundos y espaciarse de manera que su zona de influencia se traslape. El espaciamiento está dado por la siguiente ecuación:

$$S = \left[2 - \frac{T}{100} \right] * R \quad (\text{F.6.27})$$

Donde:

S = espaciamiento de los pozos de extracción (m)

T = traslapo requerido (%)

R = radio de influencia de los pozos de extracción de gas (m)

- b. La zona de influencia del sistema de extracción de gas debe determinarse con un estudio de campo, instalando un pozo de extracción con piezómetros de gas a distancias regulares del pozo. El muestreo debe realizarse a largo plazo para los propósitos de recuperación. El pozo debe ser bombeado por un tiempo mínimo de 48 horas y posteriormente debe monitorearse la presión por 3 días consecutivos y como mínimo 2 veces al día. El radio de influencia corresponde al radio en el cual la presión negativa es cercana a cero.
- c. El gas puede ser liberado directamente a la atmósfera si cumple con la reglamentación ambiental vigente y los resultados del estudio de impacto ambiental lo permiten. En caso contrario deben tomarse las medidas para mitigar los impactos.
- d. Para conectar los pozos de extracción al soplador debe instalarse tubería plástica no perforada de 0,15 m a 0,20 m de diámetro. Deben protegerse las tuberías contra aplastamiento y asentamientos diferenciales.
- e. El soplador debe ser instalado a una altura ligeramente superior del final de la tubería plástica no perforada para facilitar la remoción del condensado.
- f. El condensado necesita removerse antes de que el gas entre al soplador. Las trampas de condensado se colocan de forma espaciada entre 150

metros a 200 metros. Si los parámetros en el condensado exceden las concentraciones permitidas, debe tratarse de acuerdo a la legislación vigente para vertimiento de aguas.

- g. Para destruir los contaminantes potencialmente peligrosos, el quemador debe tener una temperatura de operación y un tiempo de residencia de 815 °C a 900 °C y de 0,3 s a 0,5 s, respectivamente.

6. Tratamiento del gas

El gas debe ser tratado cuando es recolectado en un sistema activo. Los métodos recomendados son los siguientes:

- a. Quemado. Este método de combustión controlada se recomienda cuando hay suficiente gas metano presente en el gas. Los quemadores deben diseñarse cerrados, de manera que permitan tiempos de residencias mayores, temperaturas elevadas de combustión. En este sistema la salida del soplador debe contener instrumentos para verificar la temperatura, la presencia de la llama y un arrestallamas. Igualmente, se debe instalar un detector de llama de manera que paralice la válvula y se prevenga el escape a la atmósfera. Este método debe incluir los siguientes sistemas mínimos de seguridad: arrestallamas, pilas termoelectricas, válvulas y sensores paralizadores.
- b. Procesamiento de gas y recuperación de energía: El gas puede ser conducido directamente a una tubería para utilizarlo como gas natural, siempre y cuando no existan otros gases malolientes o tóxicos que interfieran con su uso final, o afecten las condiciones de operación de los sistemas de gas natural.

F6.7.5 Diseño de Celdas

F6.7.5.1 Dimensionamiento

La celda diaria corresponde al área donde se esparcen y compactan los residuos sólidos durante un día para cubrirlos al final del mismo. Por lo tanto, el diseñador, con base en la producción diaria de residuos, el método de disposición final y el sistema de compactación de los residuos sólidos, deberá definir la altura, ancho, profundidad, longitud y pendiente de cada celda diaria en el sitio de disposición, de tal forma que se prevea la cantidad de material de cobertura necesario para ser cubierta al final de cada día de operación.

Para rellenos sanitarios con compactación manual, la altura de la celda diaria (incluidos residuos sólidos a disponer y cobertura diaria) no deberá ser mayor de 1,80 m y para rellenos con compactación mecánica de 3,30 m.

El talud de la celda diaria para rellenos sanitarios con compactación manual debe ser 3:1 (H:V). Para los rellenos sanitarios donde se realice

compactación mecánica, la inclinación de la celda diaria requiere del análisis de estabilidad de taludes.

F6.7.5.2 Colocación de los residuos

Los residuos sólidos depositados por los vehículos de recolección, deberán ser esparcidos en capas de 0,30 m en rellenos sanitarios con compactación manual y de 0,45 m en rellenos sanitarios con compactación mecánica, los cuales deben ser compactados antes de ser colocadas capas sucesivas de residuos sólidos o su correspondiente cobertura intermedia o final, según sea el caso.

F6.7.5.3 Compactación

La compactación manual, solo se podrá realizar en rellenos sanitarios con una disposición diaria igual o menor a 15 toneladas por día, empleando rodillos, y las superficies laterales deberán ser compactadas por medio de pisones de mano hasta darles uniformidad. El esparcimiento y compactación deben realizarse en capas inclinadas con una pendiente 1:3 (V:H), lo cual proporcionará mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra y mejor estabilidad del relleno. La superficie final debe tener una pendiente comprendida entre el 2 % y el 3 %.

En rellenos sanitarios con una disposición final mayor a 15) toneladas por día, la compactación deberá realizarse con equipo pesado y en concordancia con las especificaciones definidas por el diseñador y con un número mínimo de pasadas de tres a cuatro por capa hasta alcanzar densidades de mínimo 0,85 Kg/m³.

F6.7.5.4 Material de cobertura intermedia

Luego de realizada la compactación de la celda diaria, debe cubrirse con material sintético o con una capa de material pétreo de espesor mínimo de 0,15 m, esparcida y compactada con rodillo y pisones de mano, en rellenos sanitarios con compactación manual.

En rellenos sanitarios con compactación mecánica, el espesor mínimo cuando se utilice material pétreo deberá ser de 0,30 m.

La cobertura tanto para la compactación manual como para la mecánica, debe aplicarse como mínimo una vez cada día de operación de manera que no quede ningún residuo sólido expuesto al final del día. La capa compactada de cobertura debe tener una pendiente comprendida entre el 2 % y el 3 %, para que una vez producido el asentamiento la misma no sea menor de 1 %.

Cuando se utilice material sintético como cobertura diaria, ésta deberá ser retirada antes de proceder a la instalación de la celda superior, cuando se utilice material entre celdas, se debe evitar que dicho material sea impermeable,

sin embargo, en caso de que el material a utilizar sea limoso o arcilloso deben hacerse filtros longitudinales pasantes en grava gruesa que conecten un nivel con el siguiente de tal forma que se permita el flujo de lixiviados de forma vertical entre niveles.

F6.7.6 Suelo de Soporte

La adecuación del terreno mejora las condiciones y facilita las operaciones de ingreso de los residuos sólidos, la construcción de las celdas y las operaciones del relleno sanitario. Por lo anterior deben realizarse las siguientes actividades:

F6.7.6.1 Modificación del drenaje natural existente

Debe realizarse la modificación del sistema de drenaje natural, de tal forma que se permita la canalización de la escorrentía fuera del sitio de disposición final.

F6.7.6.2 Limpieza y desmonte

Debe prepararse un área que sirva de base o suelo de soporte al relleno, realizando la limpieza y el desmonte. Esta actividad debe hacerse por etapas, de acuerdo con el avance de la obra, para evitar la erosión del terreno.

F6.7.6.3 Tratamiento del suelo de soporte

Las primeras capas de suelo deben removerse dependiendo de la cantidad de material de cobertura disponible. El movimiento de tierras para la nivelación del suelo de soporte y los cortes de los taludes deben realizarse por etapas; con el fin de que la lluvia no cause erosión ni se pierda material que pueda emplearse como material de cobertura. Las actividades de nivelación, apertura de zanjas, construcción de vías internas, extracción y almacenamiento de material de cobertura deben realizarse con equipo pesado para que sean eficientes y con base en las especificaciones dadas por el diseñador.

F6.7.7 Estabilidad del Relleno Sanitario

La estabilidad de los taludes que conforman el relleno sanitario debe ser verificada teniendo en cuenta los parámetros que se enuncian a continuación. Se deben hacer los análisis en términos de esfuerzos efectivos y se debe tener un factor de seguridad mínimo de 1,5 en condiciones estáticas y de 1.0 en condiciones pseudoestáticas con sismo, además se deben analizar mecanismos tanto de falla de cuerpo en los residuos, como de fondo o intermedios en las interfaces que haya con geotextiles, geomembranas o drenajes.

F6.7.7.1 Caracterización de los residuos

El comportamiento mecánico del residuo es caracterizado por los parámetros de fricción Φ_a y cohesión C_a , los cuales deben ser definidos en pruebas de laboratorio o de campo, asumiendo un factor de seguridad mínimo de 1,5.

1. **Composición del residuo.** El peso unitario del residuo debe calcularse teniendo en cuenta como mínimo los siguientes componentes: compactabilidad, contribución de la cubierta diaria y humedad de absorción del residuo.
2. **Resistencia cortante del residuo.** El criterio de falla modificado de Coulomb puede emplearse para caracterizar la resistencia cortante del residuo, considerando un ángulo de fricción, Φ_a , y una cohesión, C_a .

Deben ensayarse muestras de tamaño representativo de manera que las pruebas no varíen en un rango amplio debido al contenido de suelo. Si el residuo llega a saturarse con el tiempo en el relleno, las pruebas para estabilidad deben estar basadas en muestras saturadas. Los valores del ángulo de resistencia al corte y la cohesión deben apoyarse en pruebas de laboratorio.

F6.7.7.2 Cortante a lo largo de las interfaces

La estabilidad será expresada en términos del factor de seguridad contra deslizamiento a lo largo de la interfaz, de las capas y cubiertas formadas por geomembranas, geotextiles y drenaje usadas en conjunto con materiales térreos. El ángulo de fricción en la interfaz, δ , depende del tipo de materiales situados en ambos lados de la interfaz, tipo de resina, textura de la superficie, rigidez del geotextil o la geomembrana, y otros factores relacionados con la colocación en campo y calidad de control.

Debe ensayarse el material para evaluar el ángulo de fricción en la interfaz. Si las características de fricción en la interfaz no son adecuadas para asegurar la estabilidad, la cubierta de suelos puede ser reforzada con geotextiles o geomallas de alta resistencia.

F6.7.7.3 Métodos de análisis de estabilidad

La evaluación de la estabilidad del relleno sanitario debe definirse en términos del factor de seguridad, expresado como:

$$FS = \frac{\text{Resistencia disponible en la superficie falla}}{\text{Fuerzas motoras en la superficie falla}} \quad (\text{F.6.28})$$

Para evaluar el factor de seguridad puede utilizarse *software* para estabilidad de taludes.

El análisis de estabilidad debe involucrar la evaluación de las propiedades del residuo y las propiedades del suelo, la capacidad de campo del relleno sanitario, los niveles de lixiviado y la determinación del tipo de análisis requerido.

1. En el estudio de estabilidad de taludes se debe realizar un análisis a largo plazo. Los rellenos sanitarios con una capacidad de disposición final mayor de 15 toneladas por día, deben considerar las presiones generadas por el gas.
2. Consideraciones sísmicas. Debe realizarse el análisis de estabilidad de taludes teniendo en cuenta la aceleración máxima presentada en roca (Aa) en el sitio según las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 y los análisis con sismo, incluyendo amplificaciones y coeficientes sísmicos se harán siguiendo el Título H de dicha Norma o aquellas que las adicionen, modifiquen o sustituyan. Para el caso de análisis en los propios residuos se aceptan espectros de aceleraciones hasta con un máximo de 15% de amortiguamiento.

F6.7.8 Obras Complementarias

1. Las siguientes son las obras complementarias que se requieren para los rellenos sanitarios con una disposición menor o igual a 15 toneladas por día:
 - a. **Cerco perimetral.** Debe construirse una cerca de alambre de púas de 1,50 m de altura, como mínimo. Se debe impedir el libre acceso del ganado al interior del relleno. Es necesaria la conformación de un cerco vivo de árboles que sirva como barrera natural. Se recomienda sembrar árboles de rápido crecimiento.
 - b. **Área de aislamiento.** Debe destinarse una franja perimetral donde se establecerán plantaciones arbóreas de talla y follaje suficiente para reducir la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la operación. La longitud mínima de la franja deberá ser de 10 metros. El área de aislamiento deberá ser preparada antes de iniciar la disposición final de residuos sólidos.
 - c. **Caseta de vigilancia.** Se requiere la construcción de una caseta con un área aproximada de 10 m² a 15 m². Esta obra se utiliza como portería, lugar para guardar las herramientas y la ropa de los trabajadores e instalaciones sanitarias. Una caseta prefabricada también puede ser adaptada y empleada para estas funciones.
 - d. **Estación de pesaje.** Debe ubicarse de tal manera que permita realizar las funciones eficientemente durante toda la operación del relleno. La dimensión de la caseta de pesaje debe ser como mínimo de 10 m². Debe tener una superficie de dimensiones suficientes y una capacidad acorde para dar servicios a la unidad recolectora o de transferencia de

mayor volumen de carga. Debe preverse una zona de espera para pesaje, ubicada dentro del cerco perimetral, ante las eventuales demoras que puedan producirse en la estación de pesaje por arribos simultáneos de vehículos recolectores que deben estacionarse ordenadamente.

- e. **Instalaciones sanitarias.** Debe contarse con instalaciones mínimas que aseguren la comodidad y bienestar de los trabajadores.
 - f. **Patio de maniobras.** Debe prepararse una zona de aproximadamente 200 m² para que los vehículos recolectores puedan maniobrar y descargar los residuos sólidos en el frente de trabajo.
 - g. **Valla publicitaria.** Es necesario colocar un cartel de presentación de la obra en construcción. Debe contener una breve descripción del proyecto y una leyenda cívica.
2. Las obras complementarias para los rellenos sanitarios con una disposición mayor a 15 toneladas por día:
- a. **Trama vial circundante.** Deben realizarse las modificaciones necesarias que permitan el normal desplazamiento de los vehículos recolectores. Debe iluminarse la trama vial circundante y su señalización puede ser de tipo móvil o fijo, acorde con el uso final, de manera que puedan ser utilizadas durante el periodo de ejecución del relleno y su posterior integración al destino final que se dará al sitio.
 - b. **Cerco perimetral.** Debe construirse un cerco perimetral a toda la superficie donde se ejecuta la obra con el fin de controlar el acceso al relleno sanitario. Las características de construcción deben satisfacer las condiciones estéticas del entorno. Se puede utilizar alambre tejido de 1,80 m de altura y colocarse en la parte superior hilos de alambre de púas. Los portones de acceso y egreso pueden tener características de construcción similares.
 - c. **Área de aislamiento.** Debe destinarse una franja perimetral donde se establecerán plantaciones arbóreas de talla y follaje suficiente para reducir la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la operación. La longitud mínima de la franja deberá ser de 50 metros. El área de aislamiento deberá ser preparada antes de iniciar la disposición final de residuos sólidos.
 - d. **Caseta de vigilancia.** A la entrada del relleno sanitario debe instalarse una caseta con un área aproximada de 10 a 15 m². Desde este puesto debe controlarse el ingreso de los vehículos y verificarse la calidad del material a descargar. Debe realizarse un registro de entradas y salidas. Las características de construcción de esta instalación deben reunir condiciones estéticas y de confort adecuados, tanto para el personal que desempeña funciones en ella como para el que debe ingresar para descargar materiales.

- e. **Estación de pesaje.** Debe ubicarse de tal manera que permita realizar las funciones eficientemente durante toda la operación del relleno. La dimensión de la caseta de pesaje debe ser como mínimo de 10 m². Debe tener una superficie de dimensiones suficientes y una capacidad acorde para dar servicios a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga. Debe preverse una zona de espera para pesaje, ubicada dentro del cerco perimetral, ante las eventuales demoras que puedan producirse en la estación de pesaje por arribos simultáneos de vehículos recolectores que deben estacionarse ordenadamente. Deben instalarse al menos 2 básculas que puedan funcionar simultánea o alternadamente.
- f. **Almacén y oficinas.** Debe construirse un almacén para guardar equipos, herramientas y materiales; su tamaño depende del equipo del que se disponga. El frente debe tener un patio de maniobras lo suficientemente grande para poder recibir los vehículos que descargarán los materiales, y contar con un área adicional destinada para el mantenimiento y limpieza de los equipos. Igualmente debe disponerse de un espacio para oficinas con instalaciones sanitarias y elementos necesarios para desarrollar las actividades con eficiencia.
- g. **Patio de maniobras.** Debe prepararse una zona de aproximadamente 200 m² para que los vehículos recolectores puedan maniobrar y descargar los residuos sólidos en el frente de trabajo, la zona de trabajo será provisional y se instalará en forma progresiva al avance de disposición final y a las condiciones topográficas.
- h. **Área de emergencia.** Esta área debe destinarse para la recepción de los residuos municipales, cuando las condiciones climatológicas no permitan la operación en el frente de trabajo. Debe contar con lonas plásticas para cubrir los residuos. Su capacidad debe ser suficiente para operar de manera ininterrumpida durante 3 meses. El terreno del área de emergencia debe estar impermeabilizado y en su protección deben realizarse, por lo menos, obras de drenaje pluvial temporal.
- i. **Servicios de obra.** Deben resolverse las necesidades de provisión de servicios públicos, tarea que debe compatibilizarse con el uso futuro del sitio.
- j. **Valla publicitaria.** Es necesario colocar un cartel de presentación de la obra en construcción. Este cartel debe contener una breve descripción del proyecto y una leyenda cívica.

F6.7.9 Cierre y Uso Final del Sitio

Los siguientes componentes deben ser considerados en el cierre del relleno sanitario o de un sector parcial:

F6.7.9.1 Cobertura final

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

- a. Debe minimizar la infiltración y percolación de líquidos al relleno sanitario durante todo el periodo de postclausura.
- b. Debe aislar del medio ambiente los residuos sólidos rellenos.
- c. Debe conducir el agua de escorrentía de manera que no desarrolle cárcavas debidas a la erosión.
- d. Debe limitar la salida incontrolada de gases del relleno sanitario.
- e. Debe limitar el potencial de incendios.
- f. En la construcción del sistema de cubierta se debe tener en cuenta el asentamiento debido a la compresión de los residuos, del suelo de soporte, y el causado por salida de gases, y debe mantenerse la integridad de la capa impermeable durante los periodos de clausura y postclausura.
- g. Debe proporcionar una superficie apta para la revegetación del lugar.
- h. Debe servir como elemento central de recuperación del lugar.
- i. Debe tener estabilidad suficiente frente a hundimientos, fisuras y deslizamientos.
- j. Debe resistir el deterioro de operaciones de vertido, tales como sobrecargas ocasionadas por el paso de maquinaria utilizada en el relleno sanitario.
- k. Debe soportar el crecimiento de la vegetación o soportar otras posibles utilizaciones.

F6.7.9.2 Perfil de la cobertura

El perfil mínimo de cubierta requerido debe constar de una capa de control de infiltración y de erosión, en rellenos sanitarios que dispongan 15 toneladas por día o menos.

En rellenos sanitarios con una disposición final mayor a 15 toneladas por día, el perfil de cobertura debe contener la capa de control de infiltración, la capa de control de erosión y una capa de drenaje.

En rellenos sanitarios con una disposición final mayor de 200 toneladas por día, se debe incluir como parte del perfil de cobertura, el sistema de recolección de gases.

- a. **Capa o barrera de control de infiltración.** Si la impermeabilización del relleno sanitario está constituida por el suelo natural (in situ), la capa de control de infiltración debe consistir de un estrato de suelo compactado de un espesor mínimo de 0,45 m y una permeabilidad máxima de 1×10^{-5} cm/s en zonas de baja precipitación y, de espesor mínimo de 0,60 m y permeabilidad máxima de 1×10^{-6} cm/s en zonas de alta precipitación.

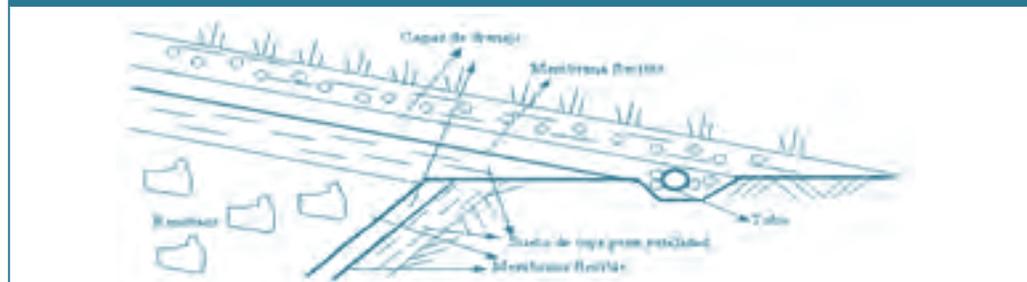
Si en el diseño de la impermeabilización del relleno sanitario se utiliza un sistema de estrato compuesto, debe instalarse una geomembrana sobre el estrato de suelo compactado (de permeabilidad máxima de $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$). Se puede aprobar la utilización de un sistema alternativo con infiltración equivalente o menor que el sistema descrito. El material de la geomembrana usado para la cobertura final debe ser de larga duración y debe tolerar deformaciones inducidas por la subsidencia.

- b. **Capa de control de erosión.** El espesor mínimo requerido de la capa de erosión es de 0,15 m. El espesor de esta capa debe ser evaluado usando un análisis de balance hídrico y debe proporcionar la humedad disponible para las plantas durante periodos prolongados de sequía. Las pendientes requeridas serán menores que 4:1 (H:V). La erosión hídrica puede ser controlada también por endurecimiento de la superficie de la cubierta mediante colocación de material triturado empaquetado (riprap) o bolsas con mezcla de suelo y cemento o de arena y cemento.
- c. **Capa de drenaje.** Debe localizarse en algunas partes del sistema de cubierta con pendientes mayores que la relación 5:1 (H:V). Esta capa debe retener la humedad que se infiltra de la capa de control de erosión y que se acumula sobre la capa de infiltración, evitando el deslizamiento de la capa de control de erosión por presiones excesivas de poros.

El material de esta capa debe ser un agregado limpio de tamaño uniforme y debe cumplir con los siguientes requisitos: $D_{85} < 4D_{15}$ y $D_2 < 0,25 \text{ cm}$. Esta capa debe diseñarse y construirse de manera que la descarga del flujo vaya en dirección lateral, para minimizar la cabeza hidrostática en la capa permeable y establecer un recorrido de los líquidos infiltrados para salir del sistema de cubierta.

Los tubos de drenaje necesarios para controlar la cabeza hidrostática deben localizarse dentro de la capa de drenaje e instalarse a una distancia que asegure que la cabeza hidrostática sobre la capa impermeable no exceda el espesor de la capa de drenaje durante una tormenta de 24 horas en 25 años. Una grava gruesa debe rodear al tubo de drenaje para minimizar el movimiento de partículas de suelo dentro de la tubería.

FIGURA F.6.11. Capa de Drenaje



d. **Sistema de recolección de gas.** En el sistema de venteo de gas pueden utilizarse pozos verticales de gravas, colchones recolectores, drenes de grava en trinchera para recolectar los gases del relleno. Los gases deben ser dirigidos a la cubierta a través de tubos de venteo. Esta capa debe localizarse directamente bajo el estrato impermeable y sobre el residuo compactado.

1. Estabilidad de la pendiente de la cubierta. La pendiente de la cubierta del relleno debe ser estable para mantener la infiltración y la escorrentía de una tormenta de 24 horas en 25 años. Para pendientes mayores de 5:1 (H:V), debe asegurarse que el estrato de drenaje constituya parte de la cobertura final, también debe asegurarse que la fricción en la interfase de los estratos adyacentes que forman la cubierta sea suficiente para prevenir la falla por deslizamiento. Deben realizarse pruebas de fricción en la interfase para determinar una pendiente máxima aceptable para la cubierta del relleno, la cual corresponde a la mínima pendiente obtenida durante las pruebas.

La pendiente final mínima de la cubierta después de que hayan ocurrido los asentamientos y la subsidencia debe ser de 3%.

2. Revegetalización y paisajismo. Todo relleno sanitario, debe contemplar en sus diseños, el uso final, el cual deberá estar acorde con el entorno natural. El diseño del uso final del relleno sanitario, debe incluir: la estabilización de la superficie, reducción de la erosión, determinación del uso final específico, restauración estética del entorno, aumento de la fertilidad del suelo y, selección de las plantas apropiadas de acuerdo al clima y el entorno.

Los suelos que se utilicen para el cultivo de plantas, deben ser de buena calidad y deberán tener una capa final de 0,60 m, se recomiendan los siguientes procedimientos:

- a. La mezcla con enmiendas de suelo (biosólidos producto del tratamiento de aguas residuales municipales, compost producto de la transformación de la fracción orgánica de los residuos sólidos).
- b. El suelo de cobertura debe esparcirse cuando está seco, para evitar una compactación excesiva.
- c. El equipo utilizado para esparcir el suelo debe ser aquel con el cual se minimice la compactación del suelo o la mezcla.

La selección de las plantas dependerá del uso final elegido para el lugar, si el objetivo es restaurar a las condiciones iniciales, lo más aconsejable es emplear plantas autóctonas - nativas. Si el objetivo es establecer zonas para deporte (parques) las plantas deberán ser seleccionadas por profesionales expertos que determinen a su vez la adaptabilidad de dichas especies a las condiciones del suelo.

En todo caso en el proceso de selección de plantas leñosas para la revegetalización del relleno sanitario se deben tener en cuenta, la

velocidad del crecimiento, el tamaño del árbol, la profundidad de las raíces, la tolerancia a inundaciones, los hongos micorrizoides y la resistencia a enfermedades.

Los diseños del uso final deben ser plasmados en planos y serán parte integral de las actividades que se deben realizar en los procesos de construcción, operación y clausura del relleno sanitario.

F6.7.9.3 Efectos de subsidencia

La subsidencia local en el relleno sanitario puede producir depresiones en la cubierta, las cuales pueden ocasionar excesivas deformaciones de tensión en los estratos de la cubierta y conducir al almacenamiento de agua. Este impacto puede ser minimizado usando una geomembrana con características de alta resistencia a deformaciones biaxiales. Debe evitarse el almacenamiento de agua para que no cause la destrucción de la vegetación ni la expansión del agua en la cubierta.

F6.7.9.4 Efectos climáticos

La cubierta debe ser capaz de resistir condiciones climáticas extremas y debe permanecer en constante funcionamiento con un mínimo de mantenimiento.

F6.7.9.5 Cuidados después del cierre del relleno sanitario

Después de cerrar el relleno e instalar la cubierta final, se deben realizar el monitoreo y el mantenimiento para asegurar que el relleno permanezca seguro y estable. Los cuidados de postclausura y monitoreo deben realizarse durante el tiempo en el cual se garantice la estabilidad de los residuos. Debe prepararse un plan de mantenimiento de postclausura y monitoreo, el cual debe incluir:

1. Fechas de iniciación y terminación del periodo de postclausura.
2. Descripción del plan de monitoreo.
3. Descripción del programa de mantenimiento
4. Personal del relleno en caso de emergencias.
5. Descripción del uso final del sitio.

En las actividades de mantenimiento de postclausura se deben incluir las siguientes:

- a. Mantenimiento de la integridad de la cobertura y control de erosión. El control de erosión incluye mantenimiento rutinario de la vegetación, reparación de los efectos de la subsidencia y, control de aguas de infiltración y de escorrentía.

- b. Monitoreo de la producción de lixiviados. Deben tenerse registros semanales de medición de caudales. Disminuciones excesivas de los caudales de lixiviado con respecto a la tendencia observada deben investigarse cuidadosamente para determinar su causa. En caso de obedecer a una obstrucción del sistema de drenaje deben tomarse las acciones necesarias para evitar la acumulación de líquidos dentro del relleno. El programa de monitoreo y control de biogás y lixiviados debe extenderse hasta un periodo en el cual se garantice que los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario se han estabilizado, asegurando que todos los contaminantes generados en este tiempo sean controlados.
- c. Inspección del sistema de venteo de gas y reparación inmediata en caso de daños.
- d. Monitoreo de aguas subterráneas. Debe constituirse en una rutina básica.

El cierre del relleno sanitario al final de su vida útil, debe diseñarse tomando en cuenta su conformación final, estabilidad de taludes, mantenimiento, monitoreo y control de contaminantes, así como su uso último.

La forma final a dar a los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario debe contemplar las restricciones relacionadas con el uso último que se dará al sitio, estabilidad de taludes, límites del predio, características de la cubierta final y drenajes superficiales.

El diseño de cierre del relleno sanitario debe incluir el uso final del sitio, es decir, el aprovechamiento del sitio una vez concluida su vida útil. Dicho diseño debe estar acorde con el uso permitido del suelo.

F6.8 Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

Deben aplicarse los criterios y directrices establecidas en el decreto 2820 de 2010, o aquel que lo modifique o sustituya, y la Resolución 1274 de 2006 del MAVDT o aquella que lo modifique o sustituya.

F6.9 Reglamento operativo del relleno sanitario

Antes de dar inicio a la operación de un relleno sanitario, el prestador del servicio debe contar con el reglamento operativo del mismo, el cual debe

ser concordante con el estudio de impacto ambiental (EIA), cumpliendo los siguientes requisitos:

F6.9.1 Cronograma de Actividades

El cronograma de las actividades debe cumplir con las especificaciones definidas en este Título.

F6.9.2 Condiciones de Acceso al Sistema de disposición final

En todo relleno sanitario, se deben establecer las condiciones de acceso al sistema para que un usuario pueda acceder al servicio de la actividad complementaria de disposición final, tal como está definido en el Decreto 2436 de 2008 por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 101 de la Ley 1151 de 2007. Se deben incluir como mínimo los siguientes requisitos:

1. Por el usuario
 - a. Solicitud de acceso al servicio por parte de la persona prestadora del servicio de aseo en la actividad de recolección y transporte del municipio donde presta dicho servicio.
 - b. Convenio de disposición final entre entidades territoriales para disponer en las áreas definidas en sus respectivos POT, PBOT, EOT según sea el caso, definidas en el numeral F.6.2.2 Procedimiento para la Localización de Áreas para Disposición Final Mediante la Técnica de Relleno Sanitario y en el artículo 4 del Decreto 838 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
 - c. Origen de los residuos sólidos.
 - d. Caracterización y cantidad de residuos sólidos a entregar al prestador del servicio de la actividad complementaria de disposición final.
 - e. Horario de entrega de los residuos.
2. Por el prestador del servicio

El prestador del servicio de aseo en la actividad complementaria de disposición final deberá mantener la siguiente información.

 - f. Capacidad operativa instalada. Se refiere a la capacidad máxima de equipos y mano de obra con que cuenta el operador del servicio la cual debe determinarse en toneladas por día y deberá estar reflejada en función del rendimiento de los equipos y/o mano de obra.
 - g. Capacidad operativa ocupada. Se refiere a la capacidad ocupada en toneladas por día que, a la fecha de solicitud de acceso al servicio,

tiene el operador en el proceso de disposición final de residuos sólidos de los usuarios que tienen acceso al servicio. Se deben indicar clase y rendimiento de equipos o mano de obra.

- h. Capacidad operativa adicional. Se refiere a la capacidad en toneladas por día, que el operador del servicio está en capacidad de instalar en un tiempo no mayor a 15 días para poder dar el servicio a nuevos usuarios. Se deben indicar clase y rendimiento de equipos a instalar y/o mano de obra a contratar.
- i. Flujo promedio diario de residuos sólidos en toneladas por día, que se están disponiendo en el relleno sanitario, al momento de la solicitud de acceso al servicio.

Con base en la información de los numerales 1 y 2, la persona prestadora del servicio en la actividad complementaria de disposición final, deberá realizar la evaluación de acceso al servicio para lo cual determinará:

- j. Flujo promedio diario de residuos sólidos en toneladas por día, que se están disponiendo en el relleno sanitario sumado a la cantidad de residuos sólidos adicionales requeridos por el usuario solicitante del servicio de relleno sanitario.
- k. Capacidad, en toneladas por día, de las áreas de disposición final incorporadas por las entidades territoriales al POT, PBOT o EOT respectivo, según sea el caso, de los municipios a los cuales se les presta actualmente el servicio de disposición final y del solicitante.
- l. Capacidad operativa requerida para disponer, tanto los residuos que se vienen disponiendo, como los residuos para los cuales potencialmente se solicite acceso al servicio.

Para que exista aceptación de acceso al servicio se debe cumplir que la cantidad diaria de residuos sólidos adicionales requeridos por el usuario solicitante del servicio es inferior al 50% del flujo promedio diario de los residuos que se disponen en el relleno sanitario y que el operador de disposición final cuente con capacidad operativa instalada y capacidad operativa adicional que supere la capacidad operativa requerida y se cuente con el convenio de reciprocidad entre las partes.

F6.9.3 Frente de Trabajo y Restricciones e Identificación de Residuos

1. Frente de trabajo

El ingreso al relleno sanitario debe estar indicado y enunciado con carteles diagramados; Así como las barreras y casillas de control de ingreso y vigilancia.

La operatividad del frente de trabajo debe ser continua en cualquier época del año. En los casos de operación nocturna el frente debe estar iluminado en su totalidad.

2. Restricciones e identificación de residuos

a. Exclusión de residuos peligrosos y líquidos

Los residuos peligrosos deben ser excluidos del relleno sanitario de residuos sólidos municipales para proteger las aguas subterráneas de la contaminación, por incompatibilidad con otros materiales del relleno y por constituir un impacto negativo para el tratamiento del lixiviado. La gestión y el manejo de dichos residuos deben hacerse de acuerdo a lo especificado en la normatividad vigente. Los siguientes métodos pueden ser empleados para excluir los residuos peligrosos del relleno sanitario:

- Inspecciones aleatorias. Puede realizarse una inspección simple en la que el operador lleva a cabo una inspección visual de los residuos contenidos en el vehículo recolector. Si algunos materiales no son aceptados, por ser residuos peligrosos o por ser residuos no conocidos, lo que constituye un nivel de riesgo, deben ser rechazados y manejados con las técnicas apropiadas.
- Control en la fuente. Si se realizan las inspecciones en la fuente, los residuos recibidos provendrán sólo de las fuentes permitidas; de esta manera pueden identificarse las características de los residuos antes de ser dispuestos en el sitio. Este método se recomienda para rellenos sanitarios con una disposición diaria mayor a 15 toneladas por día.

b. Separación de residuos peligrosos

Si se considera que algún residuo no debe aceptarse, el operador puede rechazarlo hasta que se determine que es apto para su disposición en el relleno sanitario; de lo contrario, el operador es responsable si se realiza la disposición. El almacenamiento temporal de los residuos no aceptados puede hacerse hasta por 90 días y deben ser marcados como residuos peligrosos, restringiendo el área en que se hallan sólo para personal autorizado.

c. Notificación y observación del registro

Si se encuentran residuos que son rechazados, ya sea en el sitio o durante las inspecciones, el operador debe registrar toda la información y notificarla a la entidad encargada. Este registro debe incluir fecha y hora en que el residuo fue recibido, nombre y firma del conductor, fuente del residuo y observaciones y resultados de la inspección.

F6.9.4 Compactación de los Residuos

1. Rellenos sanitarios con disposición diaria menor o igual a 15 toneladas por día
Los residuos sólidos deben ser descargados en el frente de trabajo y deben esparcirlos sobre el talud de las celdas ya terminadas en capas sucesivas empleando herramienta menor. La superficie superior debe nivelarse y compactarse con rodillo. Las superficies laterales deben compactarse con pisonos de mano.
2. Rellenos sanitarios con disposición diaria mayor a 15 toneladas por día
Para lograr una mejor compactación se recomienda descargar los residuos sólidos en la celda y comenzar la compactación en forma uniforme para evitar la construcción de rampas para el desplazamiento de la maquinaria. Igualmente, trabajar en pendiente con el fin de lograr una compactación adecuada. La compactación debe efectuarse con capas máximas de 30 cm de espesor y con un número mínimo de pasadas de tres a cuatro por capa. La pendiente debe ser 3:1 (H:V) para máquina de cadenas y 4:1 (H:V) para equipo compactador.

F6.9.5 Material de Cubierta Diaria

Este material debe colocarse diariamente sobre los residuos para controlar vectores, pájaros y olores; evitar el contacto del agua lluvia con los residuos, el efecto visual de los residuos descubiertos, la dispersión por efecto del viento de los elementos livianos y crear una barrera cortafuego que evite que se extienda por todo el relleno. Este material se coloca después de la compactación de los residuos y debe cumplir con los requisitos enunciados en el diseño de celdas.

F6.9.6 Control del Agua de Infiltración y de Escorrentía

F6.9.6.1 Control del agua de infiltración

Debe prevenirse el flujo de agua que corre hacia el relleno y evitarse los problemas de erosión que puedan presentarse. Para cumplir con este requisito se requiere un sistema de control, del cual se deben determinar el tamaño de las cunetas y alcantarillas.

F6.9.6.2 Control del agua de escorrentía

Debe prevenirse el escape de contaminantes y evitar la erosión del sistema de cubierta, mediante canales perimetrales, bermas o canales de sedimentación.

1. Canales perimetrales. Deben ubicarse gradiente arriba del relleno sanitario para evitar que el agua de escorrentía entre a la unidad, y gradiente abajo para recoger el agua de escorrentía de las partes cubiertas del relleno.
2. Bermas. Pueden utilizarse bermas temporales dentro del relleno para controlar el agua de escorrentía. Las bermas pueden estar construidas en tierra con alturas de 0,30 m o 0,60 m.
3. Cuencas de sedimentación. Esta área debe almacenar el agua y permitir la sedimentación. La cuenca debe dragarse periódicamente para remover sedimentos y evitar el crecimiento de plantas acuáticas.

F6.9.7 Recolección y Tratamiento de Lixiviados

F6.9.7.1 Recolección de lixiviados

En el reglamento operativo del relleno sanitario deben establecerse: el procedimiento de localización, las especificaciones técnicas del material utilizado y, los métodos constructivos del sistema de drenaje de lixiviados, estableciendo de igual forma y de acuerdo con el avance del relleno sanitario, la cantidad de lixiviados previstos y los sitios de monitoreo. Se deben determinar las fechas tentativas de instalación del sistema de drenaje de lixiviados, lo cual deberá plasmarse en un plano.

Se incorporarán los métodos de control y seguimiento, que permitan identificar anomalías y procedimientos de corrección.

F6.9.7.2 Tratamiento de lixiviados

Se deberá incluir en el reglamento técnico operativo el sistema de tratamiento de lixiviados a utilizar, indicando calidades de material utilizado para su construcción, procesos de tratamiento, cantidad de lixiviado a tratar, porcentaje de remoción esperada y, calidad del vertimiento. Se deberán incluir las fechas de realización de las caracterizaciones de acuerdo con lo establecido en este Título, así como los métodos de control y seguimiento y los procedimientos de corrección en caso de anomalías.

F6.9.8 Recolección, Concentración y Venteo de Gases

F6.9.8.1 Recolección de gases

Deben establecerse el procedimiento de localización, las especificaciones técnicas del material utilizado y los métodos constructivos del sistema de drenaje de gases, estableciendo de igual forma de acuerdo con el avance del relleno sanitario, la cantidad de gases previstos y los sitios de monitoreo. Se deben determinar las fechas tentativas de instalación del sistema de drenaje de gases, lo cual deberá plasmarse en planos.

Se incorporarán los métodos de control y seguimiento, que permitan identificar anomalías y procedimientos de corrección.

F6.9.8.2 Concentración y venteo de gases

Cuando se utilicen sistemas de concentración de gases, el operador debe incluir en el reglamento técnico, la técnica utilizada, estableciendo los procedimientos constructivos, calidades de material a utilizar, sistema de medición y caracterización de gases de acuerdo con los parámetros y frecuencias establecidas en este Título. Se incluirá un cronograma estableciendo las fechas de entrada en operación de los sistemas de venteo.

F6.9.9 Actividades y Acciones de Manejo y Control para la Estabilidad de Taludes

Se deberán describir cada una de las actividades previstas para la estabilidad de taludes, indicando los procedimientos y periodicidad para obtener con ayuda del laboratorio la resistencia al corte y la cohesión de los residuos luego de su compactación, así como la ubicación y manejo de la instrumentación instalada para determinar posibles movimientos.

Se indicarán de igual forma los procedimientos de posibles soluciones en caso de falla de alguno de los taludes.

F6.9.10 Equipos e Instalaciones de Instrumentación

La persona prestadora del servicio de aseo en la actividad complementaria de disposición final, debe indicar en el reglamento operativo los equipos con los cuales realizará el proceso de instrumentación.

Los rellenos sanitarios con una disposición mayor a 15 toneladas por día, deben ser instrumentados con piezómetros, inclinómetros y construcción de una malla topográfica, para medir presiones de poros y deformaciones. Su número y localización debe ser determinado por el diseñador y monitoreados por la interventoría.

F6.9.11 Procedimientos Constructivos, Calidad y Cantidad de Materiales a Utilizar

En todo relleno sanitario se deberán incorporar en el reglamento operativo, los procedimientos constructivos a utilizar en la ejecución de la

infraestructura a instalar, indicando las especificaciones técnicas de construcción y de los materiales a utilizar, estableciendo la calidad y cantidad de los mismos.

F6.9.12 Procesos Operativos desde la Entrada de los Residuos al Relleno Sanitario hasta su Disposición Final

Se deberán indicar en forma clara y secuencial cada uno de los procesos que se deben realizar en la disposición final de residuos, detallando los distintos elementos que la componen, materiales, equipos a ser empleados y forma de construcción. Si se utilizan materiales provenientes del interior del terreno que va a rellenarse debe indicarse la metodología de extracción, acopio y transporte.

Como mínimo se deben incluir especificaciones con respecto a:

- a. Horarios para el recibo de residuos sólidos.
- b. Recepción e ingreso.
- c. Pesaje.
- d. Registro.
- e. Plan de descarga de residuos sólidos, indicando las celdas diarias a ocupar en forma secuencial.
- f. Procesos de descarga, acumulación y compactación de residuos (se deberán indicar los tipos de maquinaria a utilizar y para el compactador previsto se debe describir el número de pasadas mínimas).
- g. Procesos de cobertura diaria y/o final de cada celda (se deben indicar: material utilizado, procedencia, sitios de acopio, espesor cuando sea material natural y/o calibre cuando sea material sintético y clase de equipos y maquinaria a utilizar).
- h. Archivo de las cantidades y tipo de residuos dispuestos.
- i. Inspección de carga para residuos peligrosos cuando existan celdas de seguridad, indicando procedimiento de separación, estabilización, solidificación y disposición final a emplear.
- j. Inspección y almacenamiento de residuos peligrosos cuando no existan celdas de seguridad, identificando protocolos para su envío a los sitios de tratamiento especiales.

F6.9.13 Planos y Esquemas de los Procesos e Instalaciones en el Relleno

Se deberán presentar planos y esquemas de cada uno de los procesos e instalaciones del relleno sanitario, de acuerdo con las especificaciones definidas en el literal A.6. del Título A

F6.9.14 Equipo y Maquinaria Requerida

Se debe establecer el listado de los equipos y maquinaria requerida en las fases de construcción y operación del relleno sanitario, indicando clase, rendimiento, capacidad y periodo de vida.

F6.9.15 Personal Requerido y Calidades Profesionales

Se identificarán la cantidad de mano de obra requerida y los requerimientos de calidad de los profesionales que se encargarán de los procesos constructivos, operativos y de supervisión del relleno sanitario, en los distintos horarios en que funcionará el centro de disposición.

F6.9.16 Programa de Seguridad Industrial a Aplicar en la Construcción y Operación del Relleno Sanitario

Se deberá establecer un programa de seguridad industrial y salud ocupacional, en cumplimiento de la legislación laboral vigente, con el fin de garantizar la ausencia de accidentes y/o incidentes durante la ejecución de la obra y problemas de salubridad para los trabajadores, el programa deberá incluir:

- a. La forma de difusión a los trabajadores del panorama de los factores de riesgo por cada actividad y del conjunto del proyecto.
- b. Inducción para el uso adecuado de los elementos de protección personal, acordes con el panorama de los factores de riesgo.
- c. Información y capacitación sobre la aplicación de los planes de emergencia y de evacuación de los sitios de trabajo.
- d. Difusión de las políticas de control de alcohol, tabaquismo y drogadicción entre los trabajadores del proyecto.
- e. Capacitación en aspectos relacionados con primeros auxilios y control de incendios.
- f. Soporte de entrenamiento y capacitación de una aseguradora de riesgos profesionales (ARP).

F6.9.17 Criterios Operacionales

La persona prestadora del servicio de aseo en la actividad complementaria de disposición final, deberá establecer criterios operacionales en el reglamento operativo del relleno sanitario, garantizando por lo menos los definidos en el literal F.7.2.8.

F6.10 Cronograma de actividades y plan de trabajo

F6.10.1 Cronograma de Actividades

Debe elaborarse un programa de ejecución de la obra que contenga desagregadas todas las actividades, para permitir una rápida y permanente actualización durante la construcción.

Deben establecerse con toda precisión las precedencias inmediatas para cada una de las actividades que se enuncian y el comienzo y la terminación de cada una de ellas en concordancia con lo definido en el plan de trabajo y debe limitarse por acontecimientos perfectamente identificables en obra, para permitir la adecuación de los distintos tiempos de la programación durante el desarrollo de la obra.

Es conveniente dividir la obra según la secuencia de relleno y determinar su secuencia de construcción. Para cada unidad establecida debe fijarse el orden de trabajo en cada una de las celdas, las necesidades de avance de la infraestructura operativa, la preparación de las superficies portantes, los periodos de relleno, la construcción de los mantos de cobertura definitiva y la evolución del sistema de drenajes.

Debe existir un periodo de avance en la preparación de los módulos para prevenir contingencias y asegurar la continuidad del servicio de disposición final. Se recomienda mantener módulos preparados para recibir materiales equivalentes a 6 meses de operación.

F6.10.1.1 Plan de trabajo

Se deberá cumplir con las indicaciones establecidas en este Título, por lo cual deberán especificar los tipos de material utilizados, equipos a emplear en cada uno de los frentes de trabajo, especificar cada una de las tareas ejecutadas y el personal responsable de cada una de ellas.

El plan debe actualizarse diariamente conforme al avance que se registre en obra y atendiendo las prioridades de continuidad del servicio de disposición final de residuos. El plan de trabajo debe complementarse con informes diarios que detallen los resultados reales obtenidos, el equipo utilizado y las condiciones climáticas registradas, de manera que puedan evaluarse los trabajos que se ejecutan y verificar el rendimiento de la maquinaria.

F6.10.1.2 Control de gestión

Debe realizarse seguimiento de todas las actividades por parte de la entidad encargada, con el fin de que la ejecución de la obra satisfaga el servicio y salvaguarde la salud pública.

TÍTULO F

PROCESOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

7 PROCESOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

F7.1 Alcance

El capítulo sobre procesos de tratamiento térmico de residuos establece los principios generales y operacionales mínimos bajo los cuales deben realizarse éstos, con el fin de reducir el volumen de los residuos, potencializar la obtención de energía y subproductos, minimizar la potencial contaminación producida por la emisión y los subproductos (cenizas, escorias, aguas residuales y residuos sólidos), así como los riesgos sobre la salud pública, la seguridad del personal y el ambiente.

De acuerdo con el poder calorífico de los materiales (contenido de carbono y porcentaje de humedad así como el contenido de metales) es posible implementar alternativas de gestión hacia la valorización energética de los residuos los cuales pueden ser biomasa estabilizada, fracciones de plásticos, celulosa (papel, cartón madera), lodos biológicos estabilizados; así como textiles, caucho (incluyendo llantas) y cuero.

El propietario de la instalación puede implementar otras alternativas diferentes, demostrando ante las autoridades ambientales que los sistemas alternativos cumplen con las condiciones establecidas en la normativa específica.

Los procesos térmicos de tratamiento, dentro del servicio público domiciliario de aseo pueden usarse siempre y cuando se demuestre la auto-sostenibilidad técnica, económica, financiera y ambiental del proyecto a partir de la comercialización de subproductos, energía y varios, y la aplicación del esquema tarifario aprobado para los municipios que hacen parte del proyecto, correlacionado con las eficiencias en el recaudo y gestión de la cartera. Igualmente es necesario incluir los costos ambientales derivados de su implementación y referidos a los activos y pasivos ambientales de cada una de las alternativas.

Los procesos aquí tratados, se constituyen en una opción de tratamiento para minimizar los residuos sólidos que finalmente llegan para disposición final.

F7.2 Requisitos obligatorios del sistema

F7.2.1 Límites Generales de Emisión de Contaminantes

Las instalaciones de tratamiento y eliminación térmica de residuos sólidos deberán cumplir con los requerimientos definidos por la normativa de acuerdo con el proceso específico: incineración (incluido el coprocesamiento), gasificación, pirólisis – termólisis.

Para el caso específico de incineración, se aplica lo siguiente:

F7.2.1.1 Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para instalaciones donde se realice tratamiento térmico mediante incineración de residuos no peligrosos

- Temperaturas de operación. La temperatura de la cámara de combustión en las instalaciones de incineración de residuos no peligrosos debe ser mínimo de 800 °C y la temperatura de la cámara de postcombustión debe ser mínimo de 1200 °C.
- Tiempo de retención en la cámara de post-combustión. El tiempo de retención en la cámara de post-combustión para las instalaciones de incineración de residuos no peligrosos debe ser igual o superior a 2 segundos.
- Estándares de emisión admisibles de contaminantes para instalaciones de incineración de residuos no peligrosos. En la tabla F.7.1 se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes para instalaciones de incineración de residuos no peligrosos a condiciones de referencia con oxígeno de referencia del 11%, de acuerdo con la Resolución 909 de 2008 o aquella que la modifique, adicione o sustituya.

Tabla F.7.1. Estándares de Emisión Admisibles de Contaminantes al Aire para Instalaciones de Incineración de Residuos no Peligrosos a Condiciones de Referencia (25 °C, 760 mm Hg) con Oxígeno de Referencia del 11 %

Instalaciones de incineración de residuos no peligrosos	Promedio	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³)							
		MP	SO ₂	NO _x	CO	HCl	HF	Hg	HCT
Instalaciones de incineración con capacidad igual o mayor a 500 kg/hora	Promedio diario	10	50	200	50	10	1	0,03	10
	Promedio horario	20	200	400	100	40	4	0,05	20
Instalaciones de incineración con capacidad menor a 500 kg/hora	Promedio diario	15	50	200	50	15	1	0,05	10
	Promedio horario	30	200	400	100	60	4	0,1	20

MP: Material particulado

HCT: Hidrocarburos totales

El estándar de emisión admisible para dioxinas y furanos es de 0,5 (ng - TEQ/m³) a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11% y su cumplimiento se debe verificar de acuerdo con lo establecido en la normativa.

- **Estándares de emisión admisibles de metales pesados en instalaciones de incineración de residuos no peligrosos.** Las instalaciones de incineración de residuos no peligrosos deben cumplir un estándar de emisión admisible para la sumatoria de cadmio (Cd), talio (Tl) y sus compuestos de 0,05 mg/m³ y para la sumatoria de metales de 0,5 mg/m³, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg).

Para la determinación de metales se debe contemplar la sumatoria de los siguientes metales y sus compuestos: arsénico (As), plomo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), vanadio (V), cobre (Cu), manganeso (Mn), antimonio (Sb) y, estaño (Sn).

- **Temperatura de los gases de salida en la cámara de post combustión.** Todas las instalaciones de incineración de residuos no peligrosos deben contar con un sistema que registre de forma automática la temperatura de los gases de salida en la cámara de post combustión, esta temperatura debe ser inferior a 250 °C. Si el registro de dicha temperatura está por encima de este valor se debe instalar un sistema de enfriamiento que reduzca la temperatura como máximo hasta 250 °C.

F7.2.1.2 Estándares de emisión admisibles para instalaciones que traten y eliminen residuos no peligrosos con deficiencia de oxígeno (pirólisis o termólisis).

Las instalaciones que procesen residuos no peligrosos con deficiencia de oxígeno (pirólisis o termólisis) deben realizar la corrección de oxígeno, posteriormente a la medición, al 3% de oxígeno y deben cumplir con los estándares de emisión admisibles establecidos en la tabla F.7.1.

Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$C (3\%) = (18 \% / 10 \%) * C (11 \%) \quad (F.7.1)$$

Donde:

C (3%): Límite de concentración del contaminante a emitir basado en la nueva concentración de oxígeno de referencia al 3% en la salida de los gases.

C (11%): Límite de concentración del contaminante de referencia al 11% de la tabla F.7.1.

F7.2.1.3 Tratamiento térmico de residuos no peligrosos en hornos cementeros

Se permitirá el tratamiento y eliminación térmica de residuos no peligrosos en hornos cementeros que realicen coprocesamiento, siempre y cuando cumplan con los estándares de emisión establecidos en la tabla F.7.1.

F7.2.2 Características Técnicas Generales de las Plantas de Tratamiento Térmico

Todas las plantas de tratamiento térmico deben cumplir con las siguientes características de diseño para su operación:

- a. Mínimo 2 cámaras de procesamiento y reacción (óxido reducción).
- b. Garantizar condiciones de tiempo de residencia, turbulencia y temperatura de reacción de los gases en la cámara de postcombustión.
- c. Cada una de las cámaras de procesamiento debe operar con su propio e independiente sistema de suministro de energía (calor) y poseer control automático de temperatura.
- d. La planta debe tener registros automáticos de la temperatura de operación en ambas cámaras.
- e. El suministro de los reactantes debe hacerse de forma gradual y programada, considerando la composición, caracterización y poder calorífico de los residuos a ser procesados.
- f. La planta debe poseer sistemas de cargue y alimentación semiautomáticos o automáticos, con sistemas de compuertas que permitan mantener las condiciones internas de reacción y su aislamiento del entorno, reduciendo el contacto entre el operario y la cámara de reacción. Igualmente, debe poseer un sistema de extracción semiautomático o automático de las escorias y cenizas.
- g. Los residuos solamente pueden alimentarse al interior del sistema de reacción si las condiciones operativas son las requeridas. Si durante la operación la temperatura disminuye, la alimentación debe ser suspendida hasta alcanzar nuevamente las temperaturas indicadas. Para verificar en forma permanente esta condición, deberá dotarse de un sistema de control y registro automático de temperatura. La planta debe poseer un control automático que impida la alimentación o cargue de los residuos a la cámara de combustión, en caso de que las temperaturas desciendan por debajo de las requeridas.
- h. La planta debe poseer sistemas redundantes en el control y de respaldo en la operación.
- i. Los combustibles a usarse pueden ser gas natural, gas propano, gas licuado de petróleo (GPL /LPG), fuel oil, carbón o cualquier otro material aceptado por la normativa ambiental.

- j. La planta debe poseer sistemas de control de emisiones fugitivas.
- k. La planta debe dar cumplimiento a los estándares de emisión establecidos en la normativa, implementando para ello diferentes sistemas de prevención, reducción, control y tratamiento de emisiones.
- l. La planta debe tener implementados, de forma específica, controles y tratamientos para las emisiones de gases y vapores ácidos, material particulado, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, dioxinas y furanos y compuestos orgánicos volátiles (VOC).

F7.2.3 Manual de Operación y Mantenimiento

Toda planta deberá poseer un manual de operación y mantenimiento. Este debe incluir y desarrollar los requisitos de operación que se estipulan en este capítulo, las medidas de contingencia a tomar en el caso de fallas tanto de la planta como en cualquiera de los equipos del sistema de tratamiento de emisiones, vertimientos y residuos sólidos. Igualmente debe incluir los equipos y medidas a tomar en caso de contingencias en la totalidad de la planta. Debe incluir los esquemas y planos específicos y relacionados con las áreas y sistemas existentes en la planta.

F7.2.4 Requisitos para la Operación y Mantenimiento

Todas las plantas deben contar con las siguientes características para su operación y mantenimiento:

- a. No deben presentar salidas de gases o llamas por las puertas de carga, ni por la puerta de extracción de cenizas.
- b. No deben presentar salida de llamas por la chimenea. Por ninguna razón operarán sistemas de escape de gases alternos diferentes a la chimenea del sistema.
- c. Las paredes metálicas exteriores no deben llegar a 100°C aun en trabajo continuo.
- d. Para el mantenimiento de la planta o cualquiera de sus equipos de control, a fin de proteger la salud de los trabajadores que lo realizarán, éstos deberán ser equipados de tal forma que durante la operación y el mantenimiento de los equipos se garantice la seguridad industrial y la salud ocupacional, de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de la Protección Social.
- e. El polvo seco encontrado en el sitio donde se hará el mantenimiento debe ser removido con aspiradoras tipo G.
- f. El área contaminada y la de descontaminación deben ser de uso restringido. Es decir, solo para personal autorizado con uso de medidas SI&SO.

- g. En caso de emergencia por fuego en el área contaminada y/o en la de descontaminación, apagar el fuego con CO₂, para lo cual las áreas deben estar provistas con extintores de este tipo.
- h. Las plantas en las cuales se presenten problemas de olores ofensivos deberán, de acuerdo a su diseño, implementar los mecanismos y/o sistemas necesarios para su control.

F7.2.5 Evaluación de la Calidad y Características de las Plantas

Todos los fabricantes de plantas deberán certificar las condiciones de las mismas ante los entes certificadores debidamente acreditados para el país y obtener una certificación de producto. El ente certificador debe ser reconocido por el Organismo Nacional de Certificación, de acuerdo con los procedimientos definidos en el Decreto 2269 de 1993, por el cual se organiza el sistema nacional de normalización, certificación y metrología, o la norma que lo modifique, adicione o sustituya y demás disposiciones legales pertinentes, que se establezcan. Para que los entes certificadores puedan entregar los certificados requeridos, debe surtirse ante la Superintendencia de Industria y Comercio, un trabajo técnico y administrativo por parte del fabricante.

En todo caso, cualquier fabricante de planta deberá entregar a su cliente, como parte de la garantía contractual, una certificación en la cual se estipule el cumplimiento de cada una de las características de los equipos aquí requeridos, acompañada de los sustentos (incluidos planos, características, garantías, manuales, cálculos, etc.) para cada uno de los elementos que lo soportan, de tal forma que puedan ser posteriormente verificados por parte de las entidades de control.

F7.2.6 Control de Cenizas, Escorias y Material Particulado de los Sistemas de Control y Tratamiento de Emisiones

Para el control del proceso de reacción se realizará, sobre las cenizas resultantes de la oxidoreducción de los residuos, la prueba de pérdida por ignición (pérdida de material volátil de las cenizas), cuyo valor deberá ser siempre menor al 8 %.

Este ensayo deberá realizarse como máximo cada 15 días. Valores mayores al estipulado muestran una combustión incompleta y son señal de una inadecuada operación de la planta relacionada con la alimentación o sobrecarga del equipo.

Las cenizas provenientes de la cámara de reacción y del mantenimiento de las cámaras, el material particulado removido por el sistema de tratamiento de gases y los lodos secos provenientes del tratamiento de aguas residuales (si existen procesos húmedos), al igual que los productos de reacción, deben ser neutralizadas y encapsuladas herméticamente y dispuestas en celdas destinadas para tal fin.

Antes de efectuar la disposición final de las mismas, cuando sea necesario el encapsulamiento, deberá efectuarse un análisis de (TCLP: en inglés, Toxicity Characteristic Leaching Procedure), para comprobar que el encapsulamiento efectuado no lixivía.

Con el informe de seguimiento enviado a la Autoridad Ambiental, se deberá entregar una relación de la cantidad de cenizas, lodos o productos dispuestos (en forma separada), el sitio de disposición y el convenio o contrato mediante el cual se hace la recolección y disposición, con los comprobantes de entrega y recibo de los mismos, así como los análisis realizados por pérdida por ignición. El transporte de las cenizas, mientras no se haya realizado el encapsulamiento se someterá a lo establecido en el Decreto 1609 de 2002 del Ministerio de Transporte o la norma que lo modifique, complemente o sustituya.

No obstante, si mediante monitoreos y análisis establecidos por la Autoridad Ambiental competente, y realizados por el operador, se demuestra que los inquemados y/o cenizas volantes no tienen característica de residuo peligroso, estos podrán ser reutilizados, aprovechados, transportados y dispuestos directamente en rellenos sanitarios.

F7.2.7 Ubicación de Plantas

Todas las plantas de tratamiento térmico de residuos deben ubicarse de acuerdo al plan de ordenamiento territorial del municipio.

La implementación de plantas de tratamiento térmico deben tener en cuenta los niveles límites de emisión del área prevista para evitar que se generen emisiones que afecten la calidad del aire existente.

F7.3 Generalidades

F7.3.1 Definición

El tratamiento térmico de los residuos sólidos se efectúa mediante la oxidorreducción de los reactantes, mediante el empleo de diversos insumos. Los productos finales pueden incluir de acuerdo al proceso específico: residuos sólidos como escorias, cenizas y material particulado, gas de síntesis, compuestos en

fase gas como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles, gases ácidos, metales volátiles, vapor de agua y materiales combustibles ya sean gaseosos ó líquidos y gaseosos.

En situaciones particulares para la evaluación de factibilidad, así como en la implementación y operación del sistema de tratamiento térmico, se considera como posible la utilización de las cantidades de residuos que se encuentren dispuestos en rellenos sanitarios, en celdas para la disposición final transitoria de residuos, en botaderos a cielo abierto o en enterramientos, de tal forma que se puede realizar el cierre del balance energético y el balance de flujo de materiales del sistema, garantizándose la capacidad calorífica mínima requerida en el flujo de materiales y el flujo mínimo de materiales (residuos) a alimentarse.

Las operaciones básicas implicadas en el proceso son las siguientes:

- a. Pesaje de los residuos.
- b. Descarga de los residuos sólidos desde vehículos de recogida, en un foso de almacenamiento.
- c. Cálculo de las tasas de alimentación de residuos al sistema.
- d. Cargue de los residuos por lotes en el conducto de alimentación que dirige los residuos al reactor.
- e. Introducción de los residuos sólidos al reactor, donde son sometidos a reacción.
- f. Introducción de agentes oxidantes, reductores y ayudantes de proceso, los cuales permiten controlar la velocidad de oxidorreducción y la temperatura del sistema.
- g. Transformación de los gases emitidos desde el reactor como resultado de la inestabilidad térmica de los residuos.
- h. Recuperación y utilización del calor generado por el proceso.
- i. Control y tratamiento de emisiones.
- j. Tratamiento de productos de la combustión: escorias, cenizas y material particulado, vertimientos y residuos sólidos generados durante el proceso.

F7.3.2 Localización de la Planta de Tratamiento Térmico

Entre los criterios de localización que deben tenerse en cuenta están:

- a. Cumplimiento del plan de ordenamiento territorial.
- b. La planta debe ubicarse en una zona donde se disponga de la infraestructura vial necesaria para facilitar el acceso permanente a la misma.
- c. Es necesario localizar las plantas en lugares donde se puedan mantener zonas adecuadas de seguridad alrededor de la instalación. Para tal fin se recomienda la localización de las plantas en zonas o áreas de uso industrial, o en los alrededores de las ciudades.

- d. Las condiciones climatológicas, los factores ambientales y los factores socioeconómicos deben tenerse en cuenta como criterios importantes de localización para determinar las direcciones de dispersión de los contaminantes, los impactos que se van a generar sobre el ambiente y la salud de las personas y finalmente ver la factibilidad económica o no de localizar la planta en un determinado lugar. Se pueden utilizar los modelos de dispersión aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US EPA Appendix W, 40 CFR, Part 51).

La localización de la planta en zona rural o urbana debe regirse por lo establecido en la normativa específica.

F7.3.3 Selección de los Residuos a Tratar y Eliminar

De acuerdo con el esquema de clasificación de los residuos sólidos, los residuos que pueden ser aptos para tratamiento y eliminación térmica son:

- Residuos de comida y de jardín, sometidos de forma previa a procesos de estabilización.
- Productos celulósicos siempre y cuando no hayan sufrido un tratamiento previo en el cual se haya utilizado o incorporado algún tipo de sustancia tóxica.
- Residuos poliméricos, siempre que en su estructura no incorporen materiales halógenos.
- Residuos sólidos mezclados.

Los parámetros prioritarios que deben analizarse de los residuos son:

- Contenido de energía (poder calorífico de los residuos).
- Análisis de material volátil, carbón fijo, cenizas y punto de fusión de las cenizas.
- Determinación de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre y cenizas.
- Contenido de humedad.

F7.3.4 Reducción de la Cantidad de Residuos

Como resultado del proceso, debe lograrse, como mínimo, una reducción en volumen de los residuos del 90%.

F7.3.5 Generación de Calor

Debe realizarse un estudio técnico económico previo para ver la factibilidad de establecer un sistema de recuperación del calor producido por el

proceso. Los parámetros técnicos importantes que deben tenerse en cuenta al realizar este tipo de estudios son fundamentalmente el contenido de humedad y el contenido de energía (poder calorífico).

F7.3.6 Emisiones de los Contaminantes del Proceso

La altura mínima de la chimenea de la planta debe estar de acuerdo con lo establecido en la normativa.

Debe realizarse un análisis de riesgo para determinar los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes. Para la estimación de las emisiones se recomienda utilizar los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US EPA Ap-42).

Los valores de concentración de los diversos parámetros no deberán sobrepasar los establecidos en la tabla F.7.1.

El cálculo de la concentración corregida a un contenido de 11% de oxígeno en volumen, debe hacerse mediante la siguiente ecuación:

$$CC = CM * \frac{10\%}{21\% - Y} \quad (F.7.2)$$

Donde:

CC: = concentración corregida, (mg/m³)

CM: = concentración media, (mg/m³)

Y: = concentración del oxígeno en la chimenea, (%)

Una vez definidos los niveles máximos permisibles es obligatorio implementar, por parte del propietario de la planta, sistemas de remoción de material particulado, gases y vapores, si las concentraciones de las emisiones de la planta son mayores que los niveles máximos establecidos.

F7.3.7 Residuos de la Planta

Las cenizas residuales, el material particulado del sistema de remoción y los gases residuales del sistema de remoción en forma de líquidos o sólidos, deben ser eliminados, reutilizados o reciclados por el propietario de la planta mediante métodos avalados por la Autoridad Ambiental, de tal forma que no afecten al ambiente, los recursos naturales renovables ni la salud de las personas.

F7.4 Planta de tratamiento y eliminación térmica

F7.4.1 Parámetros de Operación

Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta en el funcionamiento de la planta son:

F7.4.1.1 Temperatura de los gases de reacción al interior del reactor

La temperatura de los gases de combustión debe ser como mínimo de 850 °C, y como máximo el punto de fusión de las cenizas.

F7.4.1.2 Tiempo de residencia de los gases de reacción

Para asegurar la transformación completa de los residuos, la planta debe trabajar con un tiempo mínimo de residencia en la cámara de reacción, que para el caso de incineración es de al menos 2 segundos.

F7.4.1.3 Combustible auxiliar

Toda planta debe equiparse con un sistema de suministro de combustible auxiliar (combustibles limpios como el gas natural o el gas propano sin azufre) para utilizarse en los siguientes casos:

- a. Cuando la temperatura de los gases de reacción sea inferior a la temperatura mínima requerida para lograr la transformación completa de los residuos.
- b. Durante la iniciación del proceso con el fin de alcanzar en el menor tiempo posible la temperatura mínima de reacción.
- c. Durante la finalización del proceso para asegurar que no quede ningún residuo sin transformación en la cámara de reacción.

F7.4.2 Parámetros de Diseño

Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta en el diseño de la planta son:

F7.4.2.1 Sistema de descarga y almacenamiento de los residuos

En el diseño y funcionamiento de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- a. El volumen del tanque o foso de almacenamiento debe ser, como mínimo, equivalente al volumen de residuos que la planta maneja en 10 días con el fin de darle un factor de seguridad a la planta para subsanar problemas de averías o detenciones de la misma.
- b. El foso o tanque de almacenamiento debe protegerse con un sistema impermeable para evitar el paso de lixiviados de los residuos al suelo o al subsuelo. De igual forma debe construirse una trampa de líquidos alrededor del foso, así como un sistema de recolección de lixiviados de los residuos almacenados.
- c. Es necesario que el foso o tanque de almacenamiento sea cerrado para evitar la mezcla del agua lluvia con los residuos y para evitar la fuga de olores y polvos provenientes de los residuos.
- d. Debe contarse con una buena red de agua y drenaje para limpieza del foso de almacenamiento y la plataforma de descargue de los residuos.
- e. El propietario de la planta debe diseñar un plan de contingencia para evitar los incendios y las explosiones ocasionales que puedan ocurrir en el tanque de almacenamiento.
- f. El área dispuesta para el foso de almacenamiento debe estar claramente demarcada y señalizada.

F7.4.2.2 Sistema de entrada de los residuos

En el funcionamiento de este sistema se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se recomienda utilizar un puente grúa o una cadena transportadora para cargar los residuos en el conducto de alimentación.
- Es necesario refrigerar el conducto de alimentación de residuos en su parte inferior para evitar que el calor irradiado por el horno destruya el material con el que está construido y para evitar que los residuos se sequen prematuramente y entren en ignición.

En el caso de utilizar un sistema de parrillas para la entrada de los residuos al reactor deben tenerse en cuenta los siguientes factores en la operación y selección de las mismas:

- a. El área que ocuparán las parrillas en la planta debe calcularse como la relación entre la masa por unidad de tiempo de residuos procesados dividido entre la masa por unidad de área y de tiempo de capacidad de las parrillas (kg/h de residuos quemados / $\text{kg/m}^2/\text{h}$ de capacidad de las parrillas). Para este último parámetro se recomienda utilizar un rango entre 240 y 340 $\text{kg/m}^2/\text{h}$ como el rango medio de capacidad de los diferentes tipos de parrillas.
- b. Aptitud de la capa de combustible incandescente para recibir y transformar una masa importante y variable de residuos.

- c. Aptitud de las parrillas para absorber el calor transmitido por radiación.
- d. Caudal, temperatura del aire y exceso del aire controlables.
- e. Tiempo de estancia controlable, según la naturaleza del combustible.
- f. Altura de la capa de residuos ajustable.
- g. Suministro controlable del combustible auxiliar.
- h. Refrigeración controlable de las cenizas.
- i. Temperatura ajustable de los humos a la entrada de las superficies de calentamiento que trabajan por radiación.
- j. Aptitud de la cámara de reacción para funcionar sin perturbaciones.

Se recomienda el uso de alguno de los siguientes tipos de parrillas para un proceso efectivo:

- Parrillas de alimentación a impulsos horizontales (tipo Alberti)
- Parrillas retro (tipo Martín)
- Parrillas a tambores (tipo Durr)
- Parrillas a sectores basculantes (tipo Flinn)
- Parrilla Babcock & Wilcox
- Parrilla Combustion Engineering
- Parrillas Circulares

F7.4.2.3 Sistema de entrada del aire al reactor

En el caso de utilizar un sistema de parrillas y que el sistema funcione con suministro de aire, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Es necesario utilizar entre el 2 % y el 30 % del área ocupada por las parrillas en el reactor como el área de entrada de aire al reactor.
- b. Se requiere introducir aire desde la parte superior de las parrillas para proveer el sistema con la turbulencia necesaria y completar la reacción de gases volátiles.
- c. Se requiere introducir un rango entre el 25 % y el 100 % del aire total requerido para la reacción, desde la parte inferior de las parrillas para controlar el proceso de combustión, mantener las parrillas refrigeradas y evitar que haya una gran cantidad de material particulado en los gases que se emiten.

F7.4.2.4 Cámara de reacción

En el funcionamiento de esta parte del sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe controlarse la calidad de los ladrillos refractarios y aislantes empleados en la construcción de la cámara de reacción.
2. Los parámetros o propiedades de los ladrillos refractarios que deben tenerse en cuenta en la selección de los mismos para el buen funcionamiento de la cámara de reacción son:
 - a. Resistencia química.
 - b. Dureza.
 - c. Fuerza o resistencia física.
 - d. Conductividad térmica.
 - e. Porosidad.
 - f. Características de expansión térmica.
3. En la cámara de reacción es obligatorio controlar los siguientes aspectos, ya que pueden causar la destrucción de los ladrillos refractarios:
 - a. Altas temperaturas.
 - b. Choques térmicos.
 - c. Abrasión.
 - d. Excoriación.
 - e. Astillamientos.
 - f. Choques de los refractarios contra la llama.

Se recomienda el uso de los tipos de ladrillos refractarios señalados en la tabla F.7.2.

TABLA F.7.2. Tipos de Ladrillos Refractarios

TIPO DE LADRILLO REFRACTARIO	DENSIDAD (kg/m ³)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
Plástico pegado con un 85 % de fosfato de aluminio	276	94
Plástico pegado con un 90 % de fosfato de aluminio	285	107
Ladrillos de arcillas inflamables superelaborados ¹² (incinerados)	237	70
Ladrillos pegados con un 75 % de fosfato de aluminio (incinerados)	280	98
Ladrillos pegados con un 85 % de fosfato de aluminio (incinerados)	295	246

F7.4.2.5 Sistema de recuperación de calor

Si el estudio técnico económico que debe realizarse para ver la factibilidad de implementar un sistema de recuperación de calor muestra resultados positivos, es obligatoria la implementación del mismo.

12. Trabajo realizado con maquinaria industrial sofisticada.

En el funcionamiento e implementación de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La energía calorífica recuperada podrá ser utilizada en las instalaciones de la planta o cedida a terceros.
2. En caso de que la energía térmica producida no sea utilizada en las propias instalaciones, o no sea cedida a terceros y tenga la capacidad de producir 0,5 MW, se debe utilizar para generación de energía eléctrica.
3. Si se genera energía a partir del calor recuperado, debe medirse la eficiencia global de la conversión en términos de la tasa de calor, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Tasa de calor (kJ/kWh)} = \frac{\text{Calor suministrado por los residuos (kJ)}}{\text{Energía generada (kWh)}} \quad (\text{E.7.3})$$

4. El calor recuperado en forma de agua caliente puede ser utilizado para aplicaciones industriales o para calefacción.
5. El calor recuperado en forma de vapor se recomienda para calefacción y generación de energía.
6. Se recomienda la utilización de los siguientes sistemas para la recuperación del calor:
 - a) Cámara de reacción con pantalla de agua. Si se utiliza este sistema deben monitorearse, controlarse y tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
 - Material de las paredes de la cámara de combustión.
 - Temperaturas excesivas.
 - Abrasión mecánica.
 - b) Caldera de calor residual. Si se utiliza este sistema deben monitorearse, controlarse y tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
 - Material de las paredes de la caldera.
 - Cantidad de calor recuperado.
 - Cantidad de vapor producido por cantidad de residuos incinerados.
 - c) Utilización del calor residual. Si se utiliza el calor recuperado para generación de energía, se recomienda el empleo de alguno de los siguientes sistemas para tal fin:
 - Sistemas con turbina de vapor.
 - Sistemas de generador con turbina de gas.
 - Sistemas con motor de combustión interna.
 - Sistemas de cogeneración.

F7.4.2.6 Sistema de remoción de partículas

En el funcionamiento, control e implementación de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La eficiencia de remoción del sistema debe medirse mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{W_{\text{ENTRADA}} - W_{\text{SALIDA}}}{W_{\text{ENTRADA}}} \times 100\% \quad (\text{F.7.4})$$

W_{entrada} : peso a la entrada del contaminante

E: eficiencia de la remoción (%)

W_{salida} : peso a la salida del contaminante

2. La eficiencia de remoción debe ser tal que cumpla la norma permisible de emisión de partículas establecida.
3. Las partículas finas menores de 10 micrones se pueden controlar utilizando alguno de los siguientes sistemas:
 - a. Precipitadores electrostáticos. En la utilización de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
 - La eficiencia del sistema depende de las características de los gases de reacción (temperatura y humedad) y de la resistencia eléctrica de las partículas.
 - Para un funcionamiento eficiente del sistema las partículas deben tener una resistividad entre 1×10^4 y 2×10^{10} ohm/cm.
 - b. Filtro de mangas. En la utilización de este sistema deben tenerse en cuenta parámetros de diseño como:
 - El área.
 - El material.
 - Método de limpieza del filtro.

Para utilizar con éxito este sistema es necesario utilizar filtros de materiales compatibles con el gas y las partículas.
 - c. Depuradores húmedos. En el uso de este sistema se requiere tratar el agua utilizada por el sistema para que cumpla con los requerimientos establecidos por las autoridades ambientales. Por otro lado, para el uso de este sistema es necesario contar con un sistema de suministro continuo de agua que cubra las cantidades que el equipo requiere.

4. Las partículas mayores de 10 micrones pueden controlarse utilizando alguno de los siguientes sistemas:
 - a. Separadores ciclónicos. Se recomienda el uso de este sistema para lograr una remoción a un bajo costo. Por otro lado, debe vaciarse permanentemente la tolva sobre la cual caen las partículas removidas.
 - b. Cámaras de sedimentación. Deben utilizarse áreas de terreno grandes para asegurar la remoción de las partículas más pequeñas.

F7.4.2.7 Sistema de remoción de gases

En el funcionamiento, control e implementación de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La eficiencia de remoción del sistema debe ser tal que cumpla con las normas de emisión establecidas antes para los gases. Dicha eficiencia debe medirse mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{C_{\text{entrada}} - C_{\text{salida}}}{C_{\text{entrada}}} \times 100\% \quad (\text{F.7.5})$$

Donde:

- C_{ENTRADA} : concentración a la entrada del contaminante (mg/m^3)
 C_{SALIDA} : concentración a la salida del contaminante (mg/m^3)
 E: eficiencia de la remoción (%)

2. Si se requiere controlar óxidos de nitrógeno debe hacerse mediante controles en la combustión y tratamiento de los gases de combustión. Los controles de combustión que deben utilizarse son:
 - Recirculación del gas de combustión.
 - Trabajar con bajas cantidades de aire en exceso e incineración por etapas.

Las tecnologías que deben utilizarse para tratar los gases de combustión son:

- a) Reducción catalítica selectiva. En el funcionamiento adecuado de esta tecnología, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - Se inyecta amoníaco en los gases de chimenea, a una temperatura que debe estar entre 280°C y 340°C , para que se produzca la reacción catalítica.
 - Se pueden emplear como catalizadores metales como cobre, hierro, cromo, níquel, molibdeno, cobalto y vanadio en diversas formas (granulares, cilíndricas, mallas etc.)

- Si los residuos a tratar y eliminar tienen un alto contenido de plomo y una alta producción de partículas, no se debe utilizar este sistema.
- b) Reducción no catalítica selectiva. Para el buen funcionamiento de la tecnología es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:
- Se inyecta amoníaco al reactor a una temperatura entre 700 °C y 1.200 °C.
 - Se necesita inyectar hidrógeno gaseoso a una temperatura mínima del reactor de 870 °C.
 - Se debe controlar que la temperatura del reactor no supere los 1.200°C para evitar la producción adicional de óxido nitroso.
 - Se recomienda la instalación de inyectoros múltiples de pared en el reactor para el control de la temperatura.
3. Si se requiere controlar gases ácidos y óxidos de azufre, es necesario utilizar alguno de los siguientes métodos:
- a) Separación en el origen. En la utilización de esta metodología deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
- Se puede utilizar para controlar las emisiones de ácido clorhídrico (HCl), dióxido de azufre (SO₂).
 - Deben separarse los residuos que contienen grandes cantidades de cloro y azufre.
- b) Depuración húmeda. Es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos para el uso de este método:
- Se pueden utilizar para controlar las emisiones de ácido clorhídrico (HCl), dióxido de azufre (SO₂) y ácido fluorhídrico (HF).
 - Debe controlarse el funcionamiento del intercambiador de calor ya que de éste depende la eficacia de la operación de depuración.
- c) Depuración seca. En el funcionamiento de este método deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
- Se pueden utilizar para controlar las emisiones de ácido clorhídrico (HCl), dióxido de azufre (SO₂) y ácido fluorhídrico (HF).
 - Se puede utilizar alguna de las dos técnicas existentes de depuración seca que son:
 - * El secado de rocío, teniendo en cuenta que se debe controlar el bombeo de las disoluciones de cal y carbonato de sodio (Na₂CO₃) y utilizar el sistema en conjunto con un filtro de mangas para separar las partículas sólidas, así como las cenizas volantes.
 - * Inyección en seco, teniendo en cuenta que: debe controlarse el rocío de la solución de cal en la cámara de reacción; es pertinente adicionar un agente aglomerante para ayudar a la coagulación de las partículas muy finas; se debe utilizar el sistema en conjunto

con un filtro de mangas para separar las partículas sólidas, así como las cenizas volantes.

4. Si se requiere controlar hidrocarburos y monóxido de carbono, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - a. Verificar continuamente que no haya sobrecarga de residuos en el reactor que generen un proceso incompleto de los mismos y, por lo tanto, la producción de contaminantes producto de reacciones parciales y secundarias.
 - b. Debe controlarse que el contenido de humedad en los residuos no sea demasiado alto, de modo que cause una disminución en la temperatura de reacción de los residuos y por tanto un proceso incompleto de los mismos.

El equilibrio de estos factores se recomienda llevarlo a cabo mediante la supervisión continua de las emisiones de los constituyentes del gas de reacción (CO , CO_2 , NO_x , HC y O_2). Las lecturas de monóxido de carbono y oxígeno deben utilizarse para equilibrar las condiciones operativas y se pueden utilizar las lecturas de temperatura en el reactor para ayudar al control.

5. Si se requiere controlar dioxinas, furanos y metales, debe utilizarse alguna de las siguientes metodologías:
 - a. Separación en origen. Es conveniente la separación de los residuos que tengan alto contenido de cloro y metales.
 - b. Controles de combustión. Para controlar las emisiones de dioxinas y furanos se recomienda trabajar con especificaciones adecuadas de temperatura y tiempo de residencia, siguiendo los lineamientos establecidos en la normativa. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta en el uso de esta metodología es la utilización de los controles de reacción para el monóxido de carbono, presentados anteriormente como una herramienta de control de dioxinas y furanos.
 - c. Remoción. Debe usarse la metodología utilizada para el control del dióxido de azufre.

F7.4.2.8 Sistema de descarga y almacenamiento de cenizas residuales

En el diseño y funcionamiento de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe diseñarse un foso de almacenamiento para recoger las cenizas residuales descargadas del proceso de tratamiento y eliminación cuyo volumen sea como mínimo equivalente al volumen de cenizas residuales producidas en una semana en la planta.

2. El foso de almacenamiento de las cenizas residuales debe ser cubierto para evitar la fuga de las cenizas residuales a la atmósfera, que puedan ser perjudiciales para los trabajadores de la planta y el ambiente circundante.
3. El foso diseñado debe protegerse con una membrana impermeable para evitar la entrada de agua (lluvia o subterránea) u otros líquidos al foso, o para evitar la salida de lixiviados, ya que bajo ciertas condiciones las cenizas se convierten en lixiviados. De igual forma debe construirse una trampa para recolectar líquidos alrededor del foso.
4. La zona de descarga y almacenamiento de cenizas residuales debe estar claramente demarcada y señalizada.

F7.4.2.9 Chimenea

Para el adecuado funcionamiento y diseño de la chimenea deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La altura mínima de la chimenea de la planta debe estar acorde con lo establecido en la normativa.
2. Es obligatoria la instalación de plataformas o puntos de muestreo en la chimenea, los cuales deben ser suficientemente amplios, fáciles de transitar y haber sido acondicionados y elegidos de modo que garanticen mediciones representativas y confiables.
3. Debe verificarse y controlarse que la chimenea esté construida de láminas de acero no alineado, de láminas de acero alineado refractario o de materiales completamente refractarios. De igual forma es obligatorio que la chimenea tenga doble pared para resistir los problemas de corrosión, resultado del proceso de condensación.
4. De acuerdo con la altura y el diámetro de la chimenea se puede calcular su tiro natural para permitir el movimiento de los gases a través de la cámara de reacción, según la siguiente relación:

$$D_T = 3,4 * 10^{-3} * P_b * H_s \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right) \quad (F.7.6)$$

Donde:

D_T :	Tiro teórico (atm)
H_s	Altura de la chimenea (m)
P_b	Presión barométrica (atm)
T_o	Temperatura ambiente (K)
T_s	Temperatura media a la entrada de la chimenea (K)

F7.4.3 Parámetros de Control

Adicionalmente a los controles que deben realizar los propietarios de las plantas, establecidos en este capítulo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones y el control a los siguientes parámetros o elementos para una adecuada operación:

1. Cantidad de los residuos. Debe controlarse el peso total y el volumen (la capacidad de los camiones que descarguen puede ser utilizada para este propósito) de los residuos recibidos durante cada turno, día o jornada de trabajo de la planta, incluidos el número de cargas recibidas y la fuente y naturaleza de los residuos recibidos.
2. Calidad de los residuos. Debe controlarse la calidad de los residuos.
3. Temperatura de los gases de combustión. Es obligatorio controlar que este parámetro esté dentro de los rangos establecidos con el fin de lograr la reacción completa de los residuos y evitar fallas en los equipos utilizados, que causen una detención en el funcionamiento de la planta.
4. Cantidad de aire utilizado en la combustión para el caso de la incineración. Es obligatorio controlar que la planta siempre trabaje bajo condiciones de aire en exceso con el fin de lograr la combustión completa de los residuos y evitar la producción de gases y sustancias indeseadas tales como monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC).
5. Presión dentro de la cámara de reacción. Es de vital importancia controlar este parámetro con el fin de evitar problemas operacionales (explosiones principalmente).
6. Cantidad de cenizas residuales. Debe registrarse la cantidad de cenizas producidas por la planta en intervalos de tiempo que no afecten las condiciones normales de operación de la planta. El registro debe incluir el porcentaje estimado de residuos no transformados en las cenizas.
7. Cantidad de agua utilizada. Debe registrarse la cantidad de agua utilizada por la planta en cada turno, día o jornada de trabajo para las labores de enfriamiento de las cenizas o para los procesos de depuración cuando estos se efectúen. Deben recogerse y analizarse muestras representativas de las aguas procesadas.
8. Energía generada y utilizada. Si la planta cuenta con un sistema de recuperación de calor deben registrarse y controlarse el calor generado y el utilizado en cada turno, día o jornada de trabajo. Si la planta produce vapor deben registrarse la cantidad producida, la calidad y las tasas de consumo del mismo, si se utiliza.
9. Combustible auxiliar. Deben registrarse y controlarse las cantidades de combustible utilizadas y el tipo de combustible auxiliar utilizado.
10. Funcionamiento del sistema de recuperación de calor. Debe controlarse que el uso de este sistema cumpla con los aspectos considerados en este

capítulo. El propietario de la planta debe controlar periódicamente el funcionamiento del sistema. Se recomienda realizar controles al sistema por lo menos una vez por trimestre en conjunto con los otros sistemas de la planta.

11. Funcionamiento del sistema de remoción de partículas. Debe controlarse que el uso de este sistema cumpla con los aspectos mostrados en este capítulo. Debe controlarse periódicamente el funcionamiento del sistema, preferiblemente de forma trimestral, en conjunto con los otros sistemas de la planta.
12. Funcionamiento del sistema de remoción de gases. Debe controlarse que el uso de este sistema cumpla con los aspectos mostrados en este capítulo. Se recomienda realizar controles en conjunto con los otros sistemas de la planta preferiblemente de forma trimestral.

F7.5 Manejo de los residuos del tratamiento térmico

en el manejo de los residuos del proceso deben tenerse en cuenta las cenizas residuales (cenizas de fondo o escorias), las partículas residuales (cenizas volantes), los productos de tratamiento de emisiones y los vertimientos de aguas residuales.

F7.5.1 Cenizas Residuales (cenizas de fondo o escorias)

Las buenas prácticas de ingeniería que debe seguirse para el manejo de las cenizas residuales procedentes de los procesos se pueden resumir de la siguiente forma:

F7.5.1.1 Análisis

Deben determinarse las características de las cenizas residuales, ya sea mediante la implementación en la planta de un laboratorio de análisis o mediante análisis realizados en laboratorios acreditados. Así mismo, debe analizarse la cantidad de materia orgánica no quemada, que es una medida del rendimiento de la planta, mediante el índice de quemado de cenizas.

$$ABI = \left[1 - \frac{(A - B)}{A} \right] * 100\% \quad (E.7.7)$$

Donde:

ABI: Índice de residualidad de quemado de las cenizas

A: Peso original de las muestras de ceniza (g)

B: Peso de las muestras de cenizas después de quemarlas en un horno mufla (g)

F7.5.1.2 Manipulación

Deben manipularse correctamente las cenizas para que no se produzcan emisiones fugitivas de polvo.

F7.5.1.3 Transporte

Los contenedores de los vehículos en que se transporten las cenizas deben estar cubiertos y ser a prueba de fugas.

F7.5.1.4 Disposición

En la disposición deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Pueden disponerse las cenizas residuales en rellenos sanitarios previamente encapsuladas o mediante su reutilización en procesos tales como el mantenimiento de diques, la construcción de capas base en las carreteras o en la fabricación de bloques de construcción.
2. Pueden recuperarse los metales y otros materiales a partir de las cenizas residuales mediante separación electromagnética, equipos que operen con corrientes electromagnéticas o cribado.
3. Debe valorarse el potencial de lixiviado en las cenizas, ya que bajo ciertas condiciones, al verter las cenizas a los rellenos, estas pueden lixiviarse a las aguas subterráneas y si contienen trazas de metales pesados y orgánicos pueden convertirse en un riesgo de contaminación y de impacto ambiental negativo.

F7.5.2 Partículas Residuales (cenizas volantes)

Para el manejo de las partículas residuales o cenizas volantes, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

F7.5.2.1 Análisis

Deben determinarse las características de las partículas residuales o cenizas volantes, ya sea mediante la implementación en la planta de un laboratorio de análisis o mediante análisis realizados en laboratorios certificados por las autoridades ambientales.

F7.5.2.2 Manipulación

Como las cenizas volantes están compuestas por partículas micrónicas y submicrónicas deben manejarse con mucho cuidado para evitar emisiones fugitivas de polvo. Para tal fin deben separarse de los dispositivos de control de la contaminación atmosférica mediante bandas transportadoras automáticas.

F7.5.2.3 Transporte

Los contenedores de los vehículos en que se transporten las cenizas deben estar cubiertos y ser a prueba de fugas.

F7.5.2.4 Disposición

En la disposición deben utilizarse algunas de las siguientes metodologías:

1. Disposición de las cenizas volantes en rellenos sanitarios previamente encapsuladas, o su reutilización en procesos como la fabricación de bloques de construcción al mezclar cenizas volantes con cenizas de fondo, cal hidratada y cemento Portland. Para este caso es necesario demostrar, ante las autoridades ambientales, que se tiene el mercado para estos materiales y que no se generan impactos negativos por su utilización.
2. Disposición en rellenos sanitarios cuando han sido previamente humedecidas, combinadas con cenizas residuales y encapsuladas.
3. Debe valorarse el potencial de lixiviado en las cenizas, ya que bajo ciertas condiciones, al verter las cenizas a los rellenos, estas pueden lixiviarse a las aguas subterráneas y si contienen trazas de metales pesados y orgánicos pueden convertirse en un riesgo de contaminación y de impacto ambiental negativo.

F7.5.3 Productos de Depuración

El manejo de los lodos producidos en el proceso de depuración húmeda debe incluir la deshidratación para reducir el volumen de los mismos y

la evacuación subsiguiente de los lodos en forma de un residuo sólido (se puede aplicar la misma metodología que para una ceniza residual) y del sobrenadante como un agua residual.

F7.5.4 Vertimientos de Aguas Residuales

Los vertimientos de aguas residuales resultantes del proceso tienen varios orígenes y por lo tanto cada uno de estos debe manejarse de forma diferente.

F7.5.4.1 Aguas residuales de la separación de cenizas

Deben analizarse con el fin de ver si cumplen con las normas de vertimiento a fuentes de agua o al alcantarillado. De lo contrario deben pre-tratarse antes de ser vertidas.

F7.5.4.2 Efluente de la depuración húmeda

Los tratamientos que pueden hacerse a las aguas residuales de depuración húmeda son:

1. Neutralización
2. Precipitación
3. Sedimentación

F7.5.4.3 Aguas residuales de sellado y mantenimiento en general

El agua utilizada para sellar y enfriar bombas y otros equipos, así como la utilizada para la limpieza de las zonas de descarga, debe sedimentarse antes de ser vertida a las alcantarillas o a las fuentes de agua. Esto con el fin de eliminar el contenido de grasas, aceites y compuestos orgánicos presentes en éstas.

F7.5.4.4 Aguas residuales de aguas de alimentación

El sistema típico de tratamiento de las aguas residuales resultantes de las aguas utilizadas en los sistemas de turbina de vapor, puede ser una combinación de las siguientes unidades:

1. Unidades de ablandamiento
2. Unidades de intercambio iónico
3. Unidades de precipitación
4. Unidades de ósmosis inversa

F7.5.4.5 Purgas de torres enfriadoras

Si se utiliza un sistema de producción de energía con turbinas de vapor, el agua residual de las torres de enfriamiento (purga) debe pre-tratarse antes de ser vertida al sistema de alcantarillado o a una fuente hídrica, para reducir el alto contenido de sólidos disueltos, biocidas y sales de cromo típicos de estas aguas.

F7.6 Seguridad industrial y salud ocupacional

Las plantas deben diseñarse, operarse y mantenerse de modo que protejan la salud y la seguridad del personal asociado a la operación de la planta.

F7.6.1 Procedimientos de Diseño y Operación

Los procedimientos que deben aplicarse para el diseño y operación de la planta bajo unas condiciones adecuadas de seguridad industrial y salud ocupacional son:

- a. La planta debe poseer un sistema completo de control de incendios.
- b. Debe prestarse atención a la salud de los operadores de la planta y de los vehículos a través de la provisión de mecanismos y dispositivos de seguridad.
- c. La planta debe disponer de métodos y/o equipos para la movilización de personal herido.
- d. Deben desarrollarse procedimientos detallados, por parte de la gerencia de la planta, para la atención de situaciones de emergencia, tales como fallas de energía, fallas en el suministro de agua y aire, daños, incendios y explosiones en los equipos, etc. Estos procedimientos deben darse a conocer a todo el personal y fijarse en lugares visibles para que los empleen en el caso que se necesiten. Estos procedimientos deben actualizarse y revisarse periódicamente.
- e. Las vías y áreas internas de la planta deben ser pavimentadas para evitar la producción de polvo.
- f. Respiradores apropiados o aparatos de autocontención de la respiración deben localizarse en lugares visibles para los trabajadores en toda la planta. El personal de la planta debe verificar periódicamente que estos funcionen. Debe capacitarse a los empleados en el funcionamiento de este tipo de equipos y deben elaborarse sus respectivos manuales de funcionamiento.

- g. Los propietarios de la planta deben entrenar al personal en prácticas de primeros auxilios y en procedimientos de emergencia.
- h. El personal que labora en la planta debe dotarse con equipos de seguridad tales como botas de seguridad (con puntera reforzada), guantes, gafas de seguridad y casco.
- i. El personal de la planta debe someterse a exámenes periódicos de control con el fin de evitar enfermedades infectocontagiosas o transmisibles así como ocupacionales.
- j. Los propietarios de la planta deben identificar y controlar los riesgos físicos, químicos, biológicos, mecánicos, eléctricos, etc., relacionados con las actividades de la planta.
- k. Es obligatorio establecer, por parte de los propietarios de la planta, regulaciones técnicas y administrativas destinadas a proteger, conservar y mejorar la salud de los trabajadores.
- l. Se debe elaborar un manual de operación para la planta, donde se describan las tareas desarrolladas, los procedimientos de operación y las precauciones de seguridad para las diversas áreas de la planta. El manual debe estar a disposición del personal y debe escribirse de modo que sea entendible para todos.
- m. Deben establecerse señales audibles con el fin de alertar al personal de operación en una situación de emergencia.
- n. Deben controlarse desviaciones peligrosas en las variables del proceso mediante la implementación de sistemas adecuados de instrumentación y control, además de buenas prácticas de operación y manejo.

F7.7 Mantenimiento

Las actividades de mantenimiento que se ejecuten en la planta para controlar y prevenir daños, o para corregir estos cuando se hayan producido, deben dividirse en actividades de mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

El equipo humano encargado de realizar las actividades de mantenimiento deben estar conformado por personal responsable, con probada capacidad técnica, experiencia y conocimientos para cumplir con la labor de mantenimiento que permita que la planta tenga una mayor eficiencia y que los costos se vean reducidos.

Para el desarrollo de las actividades de mantenimiento deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe desarrollarse un manual de operación y mantenimiento, en lo posible para todas las partes, unidades, sistemas y equipos de la planta. El manual debe incluir los planos, las partes y el sistema de funcionamiento.

2. Deben asegurarse los recursos financieros necesarios para realizar las actividades de mantenimiento dentro del presupuesto de funcionamiento de la planta.
3. Debe establecerse un cronograma de mantenimiento preventivo anual para la planta de modo que se vea afectada lo menos posible la operación de la planta. Dicho cronograma debe establecer actividades de:
 - a. Limpieza de los sistemas de almacenamiento de residuos y cenizas de la planta, de la cámara de reacción, del sistema de entrada de los residuos al reactor, del sistema de remoción de partículas, del sistema de remoción de gases y del sistema de recuperación de calor.
 - b. Verificación del funcionamiento y control de los sistemas de almacenamiento de residuos y cenizas de la planta, de la cámara de reacción (principalmente el estado del material refractario), del sistema de entrada de los residuos al reactor, del sistema de remoción de partículas, del sistema de remoción de gases y del sistema de recuperación de calor. Dentro de las actividades de verificación y control que deben desarrollarse en cada uno de los sistemas están:
 - Control de vibraciones y ruidos.
 - Revisión de conexiones entre equipos.
 - Actividades de lubricación y limpieza.
 - Revisión de motores, compresores, etc.
 - Control y revisión de partes eléctricas.
 - Control de fugas.
 - Control de corrosión mediante aplicación de pinturas anticorrosivas o mediante la utilización de ánodos de sacrificio o corriente impresa.
 - Revisión de instrumentos y controladores.
 - Pruebas de aislamientos en motores, medidores, etc.
4. Debe capacitarse permanentemente al personal de mantenimiento de la planta por medio de personal de la misma planta o personal contratado para tal fin.
5. Deben establecerse procedimientos de operación alternos en la medida de lo posible, para que cuando haya necesidad de realizar mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, se vea afectada lo menos posible la actividad de la planta.
6. Debe llevarse un registro de las actividades de mantenimiento realizadas, tanto preventivas como correctivas, que permita hacer más eficiente la labor desarrollada. El registro de mantenimiento debe contener como mínimo los siguientes parámetros:
 - Actividad desarrollada (mantenimiento preventivo o correctivo).
 - Unidad, equipo o sistema analizado.
 - Problemas encontrados. (Si los hay o no).

- Acciones desarrolladas. (Arreglos, cambios de partes, etc.)
 - Tiempo empleado.
 - Conclusiones y recomendaciones si las hay.
7. Debe contarse con una cantidad suficiente de materiales en bodega, herramientas, etc. para poder llevar a cabo las operaciones de mantenimiento dentro de la planta. Para tal fin, se exigirá:
- Tener un inventario detallado de las existencias de equipos, herramientas, materiales y todos los elementos que se encuentren en la bodega de almacenamiento.
 - Una señalización adecuada en la bodega que permita ubicar fácilmente lo que se necesite usar.
 - Personal responsable a cargo de estos elementos.
 - Tener un control de entradas y salidas de los elementos utilizados día a día.
 - Mantener al día las solicitudes de elementos a medida que estos se vayan utilizando.

TÍTULO F

ANEXOS

F0.1 SISTEMAS DE UNIDADES

atm	atmósfera
año	año
°C	grado centígrado
cm ²	centímetro cuadrado
cm ³	centímetro cúbico
día	día
g	gramo
h	hora
ha	hectárea
hab	habitante
K	grado kelvin
kg	kilogramo
kJ	kilojulio
km	kilómetro
km ²	kilómetro cuadrado
kN	kilonewton
kPa	kilopascal
kV	kilovoltio
kWh	kilovatio hora
L	litro
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
mg	miligramo
Mg	millones de gramos (equivalente a una 1tonelada métrica)
min	minuto
μ m	micrómetro
mm	milímetro
mm ²	milímetro cuadrado
mm ³	milímetro cúbico
MPa	Megapascal
MW	Megavatio
mol	Mol
N	Newton
Nm ³	metros cúbicos normales (25 °C y 101.325 KPa)
Ω	Ohmio
Pa	Pascal
rad	radián
s	segundo
t	tonelada
W	Vatio

F0.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES

Medidas de Longitud		
Multiplicar	por	para obtener
Centímetros	0,3937008	Pulgadas
Centímetros	0,010	Metros
Centímetros	10	Milímetros
Metros	100	Centímetros
Metros	39,37008	Pulgadas
Metros	3,28084	Pies
Kilómetros	1.000	Metros
Kilómetros	0,621371	Millas
Yardas	0,914402	Metros
Yardas	3	Pies
Millas	1,6093404	Kilómetros
Millas	1.609,3404	Metros
Pies	30,48006	Centímetros
Pies	12	Pulgadas
Pulgadas	2,540005	Centímetros
Pulgadas	0,08333	Pies
Medidas de Peso		
Multiplicar	por	para obtener
Toneladas métricas	1.000	Kilogramos
Toneladas métricas	2.204,62	Libras
Toneladas métricas	1,10231	Toneladas cortas
Toneladas métricas	0,98421	Toneladas largas
Kilogramos	9,81	Newtons
Kilogramos	2,2046224	Libras
Kilogramos	1.000	Gramos
Libras	16	Onzas
Libras	0,4535924	Kilogramos
Onzas	28,349523	Gramos
Medidas de Volumen		
Multiplicar	por	para obtener
Metros cúbicos	1.000	Litros
Metros cúbicos	61.023,192	Pulgadas cúbicas
Metros cúbicos	35,31467	Pies cúbicos
Metros cúbicos	1,307951	Yardas cúbicas
Metros cúbicos	264,2	Galones americanos

F0.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES

Medidas de Volumen		
Multiplicar	por	para obtener
Centímetros cúbicos	0,061023	Pulgadas cúbicos
Centímetros cúbicos	0,000035	Pies cúbicos
Yardas cúbicos	764.555,555	Centímetros cúbicos
Yardas cúbicos	0,7645555	Metros cúbicos
Yardas cúbicos	46.656	Pulgadas cúbicos
Yardas cúbicos	27	Pies cúbicos
Yardas cúbicos	202,01	Galones americanos
Pies cúbicos	0,02831685	Metros cúbicos
Pies cúbicos	1.728	Pulgadas cúbicos
Pies cúbicos	0,037	Yardas cúbicos
Pies cúbicos	7,48052	Galones americanos
Pulgadas cúbicos	16,387064	Centímetros cúbicos
Medidas de Líquidos		
Multiplicar	por	para obtener
Galones americanos	230,9735	Pulgadas cúbicos
Galones americanos	0,1387	Pies cúbicos
Galones americanos	3.785,306	Centímetros cúbicos
Galones americanos	0,0037853	Metros cúbicos
Galones americanos	3,7853	Litros
Litros	0,264172	Galones americanos
Litros	0,03531	Pies cúbicos
Medidas de superficie		
Multiplicar	por	para obtener
Centímetros cuadrados	0,154918	Pulgadas cuadradas
Metros cuadrados	10.000	Centímetros cuadrados
Metros cuadrados	1.549,99375	Pulgadas cuadradas
Hectáreas	10.000	Metros cuadrados
Pulgadas cuadradas	6,4516254	Centímetros cuadrados
Kilómetros cuadrados	1.000.000	Metros cuadrados

ABREVIATURAS

ASTM	<i>American Society of Testing Material</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CEN	<i>European Committee for Standardization</i>
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DAA	Diagnóstico ambiental de alternativas
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DQO	Demanda química de oxígeno
EIA	Estudios de impacto ambiental
EOT	Esquema básico de ordenamiento territorial
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GIRS	Gestión integral de residuos sólidos
GTC	Guía técnica colombiana
GCL	Acrónimo en inglés de geosintéticos de arcilla interior (geosintetic clay liners).
GLP	Gas licuado de petróleo (LPG)
GPS	Acrónimo en inglés de sistema de posicionamiento global (global position system)
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
NSR-10	Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente
NTC	Norma técnica colombiana
OCDE	Organización para Cooperación y Desarrollo Económicos (OECD, sigla en inglés)
OD	Oxígeno disuelto
PBOT	Plan básico de ordenamiento territorial
PCDD	Policlorodibenzo-p-dioxinas
PCDF	Policlorodibenzofuranos
PGA	Plan de gestión ambiental
PGIRS	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos
POMCH	Plan de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas
POT	Plan de ordenamiento territorial
PPC	Producción per cápita
RAS	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico
SI&SO	Seguridad industrial y de salud ocupacional
SS	Sólidos suspendidos
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
VAS	Viceministerio de Agua y Saneamiento
VOC	Acrónimo en inglés de compuestos orgánicos volátiles (volatile organic compounds)
USCS	Acrónimo en inglés del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas, expedidas tanto por el ICONTEC, como por la *AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION -AWWA*, por la *AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIAL -ASTM* y otras entidades internacionales a las cuales se hace referencia en este capítulo. En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en las normas técnicas colombianas del presente documento. Así mismo en ausencia de norma colombiana específica, se recomienda recurrir a las normas de organismos de reconocimiento internacional existentes, verificando su aplicación en el país.

GUÍAS TÉCNICAS COLOMBIANAS

GTC 24	Gestión ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la separación en la fuente.
GTC 30	Gestión ambiental. Suelos. Guía para el monitoreo de aguas subterráneas.
GTC 35	Gestión ambiental. Guía para la recolección selectiva de residuos sólidos.
GTC 53-2	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos plásticos.
GTC 53-3	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de envases de vidrio.
GTC 53-4	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el reciclaje de papel y cartón.
GTC 53-5	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos metálicos.
GTC 53-6	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de residuos de papel y cartón compuestos con otros materiales.
GTC 53-7	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no peligrosos.
GTC 53-8	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la minimización de los impactos ambientales de los residuos de envases y embalajes.
GTC 86	Medio ambiente. Protección de la salud. Seguridad. Guía para la implementación de la gestión integral de residuos (GIR).

NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES

ISO 17556:2003	<i>Plastics - Determination of the ultimate aerobic biodegradability in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved.</i>
ISO 14855-1:2005	<i>Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions -- Method by analysis of evolved carbon dioxide - Part 1: General method.</i>
ISO 14855-2:2007	<i>Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions -- Method by analysis of evolved carbon dioxide - Part 2: Gravimetric measurement of carbon dioxide evolved in a laboratory-scale test.</i>
ISO 16929:2002	<i>Plastics -- Determination of the degree of disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot - scale test.</i>
ISO 20200:2004	<i>Plastics -- Determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory-scale test.</i>
ISO 14853:2005	<i>Plastics - Determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials in an aqueous system - Method by measurement of biogas production.</i>
ISO 15985:2004	<i>Plastics - Determination of the ultimate anaerobic biodegradation and disintegration under high - solids anaerobic - digestion conditions -- Method by analysis of released biogas.</i>

NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES	
ISO 14851:1999	<i>Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium - Method by measuring the oxygen demand in a closed respirometer.</i>
ISO 14852:1999.	<i>Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium - Method by analysis of evolved carbon dioxide.</i>
ASTM D6776 – 02.	<i>Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradability of Radiolabeled Plastic Materials in a Laboratory-Scale Simulated Landfill Environment.</i>
ASTM D883 – 08.	<i>Standard Terminology Relating to Plastics.</i>
ASTM D6400 – 04.	<i>Standard Specification for Compostable Plastics.</i>
CEN EN 13432.	<i>Packaging - Requirements for Packaging Recoverable Through Composting and Biodegradation - Test Scheme and Evaluation Criteria for the Final Acceptance of Packaging.</i>
DIN V 54900-3.	<i>Testing of the compostability of plastics - Part 3: Testing under practice-relevant conditions and testing of quality of the composts.</i>

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	
Higiene y seguridad	
NTC 3400	Higiene y seguridad. Medio ambiente. Determinación del índice de polución de un gas ácido en el aire.
NTC 3857	Higiene industrial. Determinación de plomo en muestras ambientales. Método de espectrofotometría de absorción atómica con sistema de horno de grafito.
NTC 3863	Higiene industrial. Evaluación de contaminantes químicos. Determinación de cobalto y compuestos de cobalto en muestras ambientales. Técnica NIOSH 7027/84.
NTC 3864	Higiene industrial. Evaluación de contaminantes químicos. Determinación de arsénico y compuestos de arsénico en muestras ambientales. Técnica NIOSH 7013/84.
NTC 3885	Higiene industrial. Evaluación de contaminantes químicos. Determinación de plomo en muestras ambientales métodos de espectrofotometría de absorción atómica con sistema de llama.
Gestión ambiental	
NTC 1927	Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones. Clasificación y fuentes de materias primas.
NTC 3656	Gestión ambiental. Suelo. Toma de muestras de suelo para determinar la contaminación.
NTC 3662	Gestión ambiental. Aire. Recolección y medición de partículas de polvo sedimentable.
NTC 3704	Gestión ambiental. Aire ambiente. Determinación de la concentración de partículas suspendidas en el aire.
NTC 3746	Gestión ambiental. Aire ambiente. Método de ensayo para el monóxido de carbono en el aire ambiente (medición continua mediante espectrometría infrarroja no dispersiva).
NTC 3888	Gestión ambiental. Calidad del Suelo. Extracción de elementos traza solubles en agua regia.
NTC 3934	Gestión ambiental. Calidad del Suelo. Determinación del contenido de cadmio, cromo, cobalto, cobre, plomo, magnesio, níquel y cinc. Métodos de espectroscopia de absorción atómica por llama y electrotérmica.

NTC 3935	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Pretratamiento de muestras para la determinación de contaminantes orgánicos.
NTC 3948	Gestión ambiental. Suelos. Especificaciones técnicas para la construcción de un pozo de monitoreo para aguas subterráneas.
NTC 3957	Gestión ambiental. Calidad de suelos. Determinación de la característica de agua no saturada. Método de evaporación de Wind.
NTC 4113-1	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para el diseño de programas de muestreo.
NTC 4113-2	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo.
NTC 4113-3	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre seguridad.
NTC 4113-4	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para los procedimientos de investigación de sitios naturales, casi naturales y cultivados.
NTC 4113-6	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para la recolección, manejo y almacenamiento de suelo para evaluación de procesos microbianos aeróbicos en el laboratorio.
NTC 4437	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Vocabulario. Términos y definiciones relacionados con la protección y contaminación del suelo.
NTC 4508	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Determinación de los efectos de contaminantes sobre la flora del suelo. Efectos de productos químicos sobre la germinación y el crecimiento de las plantas superiores.
NTC 4509	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Determinación de los efectos de contaminantes sobre la flora del suelo. Método para medir la inhibición del crecimiento de raíces.
NTC 4510	Gestión ambiental. Calidad de suelo. Efectos de contaminantes en lombrices de tierra (<i>Eisenia Foetida</i>). Determinación de la toxicidad aguda usando un sustrato de suelo artificial.
NTC 5167	Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo.
NTC-ISO 5667-6	Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de ríos y corrientes.
NTC-ISO 5667-11	Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas.
NTC-ISO 6767	Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Método de tetracloromercurato (TCM) pararrosanilina.
NTC-ISO 6768	Gestión ambiental. Aire. Ambiente. Determinación de la concentración másica de dióxido de nitrógeno. Método de modificado de Griess - Saltzman.
NTC-ISO 7934	Gestión ambiental. Aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Método de peróxido de hidrogeno/perclorato de bario/thorina.
NTC-ISO 7996	Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración másica de óxidos de nitrógeno. Métodos de quimioluminiscencia.
NTC-ISO 11464	Gestión ambiental. Calidad del suelo. Pretratamiento de las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos.
Ingeniería Civil y Arquitectura	
NTC 1493	Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)
NTC 1494	Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. (ASTM D 4318)
NTC 1495	Suelo. Ensayo para determinar el contenido de humedad.

Ingeniería Civil y Arquitectura	
NTC 1503	Suelos. Ensayo para determinar los factores de contracción. ASTM D 427)
NTC 1504	Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería. (ASTM D 2487)
NTC 1527	Suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfiada. (ASTM D 2166)
NTC 1528	Suelos. Ensayo para determinar la masa unitaria en el terreno. Método del balón de caucho. (ASTM D2167)
NTC 1667	Determinación de la masa unitaria en el terreno por el método del cono de arena. (ASTM D 1556)
NTC 1886	Ingeniería civil y arquitectura. Suelos. Determinación de humedad, cenizas y materia orgánica.
NTC 1917	Suelos. Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (CD). (ASTM D 3080)
NTC 1936	Suelos. Determinación de la resistencia en rocas. Método de la compresión triaxial. (ASTM D2664)
NTC 1967	Suelos. Determinación de las propiedades de consolidación unidimensional. (ASTM D 2435)
NTC 1974	Suelos. Determinación de la densidad relativa de los sólidos (ASTM D854)
NTC 2041	Suelos cohesivos. Determinación de la resistencia. Método de compresión triaxial. (ASTM D 2850)
NTC 2121 -	Suelos. Obtención de muestras para probetas de ensayo. Método para tubos de pared delgada. (ASTM D1587)
NTC 2122 -	Suelos. Ensayo de la relación de soporte. Suelos compactados. (ASTM D1833)

NORMAS TÉCNICAS ASTM	
D5057-90 (2006)	<i>Standard test method for screening apparent specific gravity and bulk density of waste.</i>
D5199-01 (2006)	<i>Standard test method for measuring nominal thickness of geosynthetics.</i>
D4833-07	<i>Standard test method for index punctures resistance of geomembranes and related products.</i>
D5494-93 (2006)	<i>Standard test method for the determination of pyramid punctures resistance of unprotected and protected geomembranes.</i>
D5321-08	<i>Standard test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic or geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method.</i>
D5397-07	<i>Standard test method for evaluation of stress crack resistance of polyolefin geomembranes using notched constant tensile load test.</i>
D4885-01 (2006)	<i>Standard test method for determining performance strength of geomembranes by the wide strip tensile method.</i>
D5884-04a	<i>Standard test method for determining tearing strength of internally reinforced geomembranes.</i>
D5747-08	<i>Standard practice for test to evaluate the chemical resistance of geomembranes to liquids.</i>
D4437-08	<i>Standard practice for non-destructive testing (NDT) for determining the integrity of seams used in joining flexible polymeric sheet geomembranes.</i>
D4545-86 (1999)	<i>Standard practice for determining the integrity of factory seams used in joining manufactured flexible sheet geomembranes.</i>
D5820-95 (2006)	<i>Standard practice for pressurized air channel evaluation of dual seamed geomembranes.</i>

NORMAS TÉCNICAS ASTM	
D5468-02 (2007)	<i>Standard test method for gross calorific and ash value of waste materials.</i>
E778-08	<i>Standard test method for nitrogen in the analysis sample of refuse-derived fuel.</i>
E726-01 (2006)	<i>Standard test method for particle size distribution of granular carriers and granular pesticides.</i>
E1279-89 (2008)	<i>Standard test method for biodegradation by a shake-flash die-away method.</i>
NORMAS TÉCNICAS DE US EPA	
AP – 42.	<i>Compilation of air pollutant emission factors</i>
Appendix A 40 CFR Part 60.	<i>Standard of performance for new stationary sources. Test methods.</i>
Appendix B 40 CFR Part 61.	<i>Standard of performance for new stationary sources. Performance specifications.</i>
Appendix W 40 CFR Part 51.	<i>Guideline on air quality model.</i>
EPA SW-846.	<i>Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods</i>
Appendix II to part 261 40 CFR.	<i>Method 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).</i>

Políticas y documentos CONPES

Los siguientes documentos aplican a los residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo. Este título no considera lo relacionado con residuos con características de peligrosidad; su manejo y gestión debe realizarse de acuerdo con las normas y regulaciones específicas vigentes emitidas por el Gobierno Nacional y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y otras autoridades competentes.	
	Política para la Gestión Integral de Residuos. 1998.
	Política Nacional de Producción más Limpia – PNPL. 1997.
	Política de Gestión Ambiental Urbana. 2008.
CONPES 3577.	Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario.
CONPES 3031.	Plan para el sector de agua potable y saneamiento básico.
CONPES 3177.	Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales.
CONPES 3530.	Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos.
CONPES 3375.	Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias.

Normativa Aplicable

Las siguientes son las leyes, decretos y resoluciones aplicables al servicio público de aseo. Se reitera que este título no considera lo relacionado con residuos peligrosos; su manejo debe realizarse de acuerdo con las normas y regulaciones específicas vigentes dadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y demás autoridades competentes.

Marco Jurídico

A continuación se enuncian las disposiciones más relevantes que deben cumplirse en la prestación del servicio público domiciliario de aseo	
Decreto – Ley 2811 de 1974	“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”
Ley 99 de 1993.	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA – y se dictan otras disposiciones, y sus modificatorias.

CUADRO 1. RESIDUOS SÓLIDOS

Norma	Título
Resolución 541 de 1994	Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.
Decreto 1713 de 2002 y sus modificaciones en especial el Decreto 1140 de 2003, el Decreto 1505 de 2003, y el Decreto 838 de 2005	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 del 2003, en relación con la gestión integral de residuos sólidos.
Decreto 1609 de 2002	Ministerio de Transporte. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
Resolución 1390 del 2005	Por la cual se establecen directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el artículo 31 de la Resolución 1045 del 2003 del Ministerio de Medio Ambiente que no cumplan las obligaciones indicadas en el término establecido en la misma y sus modificaciones en especial la Resolución 1684 de 2008.
Resolución 1274 de 2006	Por la cual se establecen los términos de referencia del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de rellenos sanitarios.

CUADRO 2. EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Norma	Título
Decreto 948 de 1995 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta parcialmente, la Ley 23 de 1973; los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire, y sus modificaciones.
Resolución 0601 de 2006	Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia y sus modificaciones en especial la Resolución 610 de 2010. Modificada por la resolución 610 de 2010.
	Ministerio de Transporte. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
Resolución 909 de 2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes fijas. Modificada por la resolución 1309 de 2010.
Resolución 910 de 2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.

CUADRO 3. APROVECHAMIENTO FORESTAL Y AGUA

Norma	Título
Decreto 1791 de 1996	Por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal
Decreto 3930 de 2010 y sus modificatorios	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"

CUADRO 4. ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Norma	Título
Ley 388 de 1997 y sus modificaciones	Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones
Ley 400 de 1997	Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes.
Decreto 1504 de 1998	Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial
Decreto 3600 de 2007 modificado por el Decreto 4066 de 2008	Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 1469 de 2010 y sus modificaciones	Por el cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos; a la legalización de asentamientos humanos constituidos por viviendas de Interés Social, y se expiden otras disposiciones
Decreto 926 de 2010.	Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10

CUADRO 5. SANCIONATORIO Y LICENCIAMIENTO AMBIENTAL

Norma	Título
Ley 1333 de 2009	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental
Decreto 2820 de 2010	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales

CUADRO 6. OTRAS NORMAS RELACIONADAS CON EL SERVICIO DE ASEO

Norma	Título
Ley 142 de 1994 y sus modificatorias	Por la cual se establece la regulación de los servicios públicos domiciliarios y sus modificatorias en especial la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001.
Decreto 605 de 1996	Capítulo I del Título IV. Por el cual se establecen las prohibiciones y sanciones en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo.
Decreto 891 de 2002	Por medio del cual se reglamenta el artículo 9 de la Ley 632 de 2000 sobre los esquemas de prestación del servicio público domiciliario de aseo
Decreto 2436 de 2008	Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 101 de la Ley 1151 de 2007.

Resolución 120 de 2000 Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico	Por la cual se reglamenta la realización de aforos de residuos sólidos a los usuarios grandes productores por parte de las entidades prestadoras del servicio público domiciliario ordinario de aseo.
Resolución 1096 de 2000 y sus modificaciones en especial, las Resoluciones 424 de 2001, 668 de 2003, 1447 de 2005, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009 Ministerio de Desarrollo Económico- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Adopta el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento – RAS
Resolución 3152 de 2004. AERONÁUTICA CIVIL.	Por la cual se adoptan normas relativas al peligro aviario como obstáculo para la seguridad de la aviación y se adicionan a la Parte Sexta de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia.
Resolución 351 de 2005 Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico	Por la cual se establecen los regímenes de regulación tarifaria a los que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo y la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio de aseo de residuos ordinarios y se dictan otras disposiciones.
Resolución 352 de 2005. Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico.	Por la cual se definen los parámetros para la estimación del consumo en el marco de la prestación del servicio público domiciliario de aseo y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1291 de 2006. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por la que se establecen los términos de referencia para la elaboración del diagnóstico ambiental de alternativas – DAA para la construcción y operación de rellenos sanitarios.
Resolución 2009- 40000-15085 de 2009. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD	Por la cual se unifica en un solo acto administrativo la normativa expedida en el sector de agua potable y saneamiento básico para el cargue de la información al sistema único de información (SUI).

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	NOMBRE	Pág.
Tabla F.1.1.	Valores Indicativos de la Producción per Cápita para Municipios Colombianos (Kg./hab - día)	58
Tabla F.1.2.	Métodos de Cálculo Permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema	59
Tabla F.1.3.	Tipo de Caracterización Física, Química y Biológica de los Residuos Sólidos para Sistemas de Aseo sin Aprovechamiento	60
Tabla F.1.4.	Tipo de Caracterización Física, Química y Biológica de los Residuos Sólidos para Sistemas de Aseo con Aprovechamiento	60
Tabla F.1.5.	Peso Específico y Contenido de Humedad para Residuos Sólidos	61
Tabla F.1.6.	Análisis Elemental de los Componentes Combustibles de los Residuos Sólidos	64
Tabla F.1.7.	Valores Típicos de Rechazos Inertes y Contenido Energético de Residuos Sólidos	64
Tabla F.1.8.	Nutrientes Esenciales	65
Tabla F.1.9.	Datos sobre la Fracción Biodegradable de Residuos Sólidos Orgánicos de Componentes Seleccionados de Residuos basados en Contenido de Lignina	66
Tabla F.1.10.	Unidades de Expresión Recomendadas para las Cantidades de Residuos Sólidos	68
Tabla F.3.1	Requisitos Obligatorios en Relación con la Recolección de los Residuos Sólidos: Decreto 1713 de 2002	77
Tabla F.3.2	Frecuencias de Recolección Mínima	79
Tabla F.3.3.	Frecuencias de Recolección Mínimas de las Fracciones de Residuos Sólidos Aprovechables	81
Tabla F.5.1	Fracciones de Residuos Sólidos Orgánicos Biodegradables	110
Tabla F.5.2.	Alternativas para la Gestión Integrada de Residuos Aprovechables	114
Tabla F.5.3.	Residuos Susceptibles de Aprovechamiento y Valorización como Materia Prima Secundaria	116
Tabla F.5.4.	Relaciones de C/N de algunos materiales	121
Tabla F.5.5.	Relaciones de C/N Presentes en Residuos Sólidos Orgánicos Específicos	121
Tabla F.5.6.	Valores Permisibles en la Materia Orgánica Estabilizada	125
Tabla F.5.7.	Control de Calidad del Proceso de Estabilización Biológica	127
Tabla F.5.8.	Indicadores de Calidad en el Producto Final	128
Tabla F.5.9.	Valores de Eficiencia de Separación de Residuos en una Estación de Separación y de Tratamiento	128
Tabla F.5.10.	Posibilidades de Reutilización y Reciclaje	132
Tabla F.5.11.	Aspectos Mínimos del Plan y Programa de Entrenamiento de Seguridad Industrial	136
Tabla F.6.1.	Parámetros y Frecuencia de Monitoreo de Aguas Subterráneas	147
Tabla F.6.2.	Parámetros y Frecuencia del Monitoreo de Lixiviados, Vertimiento y Sistema Receptor (exceptuando sistemas de alcantarillado municipal)	147
Tabla F.6.3.	Parámetros y Frecuencia de Monitoreo de Emisiones	148
Tabla F.6.4.	Definición del Nivel de Detalle del Estudio Geotécnico	151
Tabla F.6.5.	Número Mínimo de Sondeos	152
Tabla F.6.6.	Normas ASTM para Geomembranas	165
Tabla F.6.7.	Masa Atómica en g/mol	172
Tabla F.6.8.	Constituyentes Orgánicos con Rápida y Lenta Biodegradabilidad	173
Tabla F.7.1.	Estándares de Emisión Admisibles de Contaminantes al Aire para Instalaciones de Incineración de Residuos no Peligrosos a Condiciones de Referencia (25 °C, 760 mm Hg) con Oxígeno de Referencia del 11 %	199
Tabla F.7.2.	Tipos de Ladrillos Refractarios	208

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	NOMBRE	Pág.
Figura F5.1.	Gestión Diferenciada de Residuos Aprovechables y No Aprovechables	115
Figura F5.2.	Rangos de Temperatura Típicos en el Compostaje Aerobio	122
Figura F5.3	Requerimientos de Área	140
Figura F6.1.	Ejemplo de información mínima que debe contener un perfil del relleno sanitario en el índice de figuras	155
Figura F6.2.	Diseño del Espesor debido al Doblamiento	163
Figura F6.3.	Diseño de la Resistencia debido a la Subsistencia	164
Figura F6.4.	Diseño de la Resistencia debido al Cortante no Balanceado	164
Figura F6.5	Diseño del Espesor debido al Empotramiento	164
Figura F6.6	Sistema de Recolección de Lixiviado	167
Figura F6.7.	Modelo Triangular para la Determinación de la Cantidad de Gas Producida Anualmente, Durante el Tiempo de Descomposición	173
Figura F6.8.	Chimeneas de Gas	174
Figura F6.9.	Chimeneas de Gas con Extracción Forzada	176
Figura F6.10.	Chimenea Vertical para Extracción de Gas	176
Figura F6.11.	Capa de Drenaje	185

BIBLIOGRAFÍA

- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). INFORME ANUAL DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO 2007
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). INFORME ANUAL DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO 2008
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). SITUACIÓN DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COLOMBIA.2008
- Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Presidencia de Uruguay et al. Manual para la elaboración de compost. Bases Conceptuales y procedimientos. 1999.
- GTZ. ¿Tratamiento mecánico-biológico de desechos? Introducción y ayudas para la toma de decisiones relativas a su aplicación en países en desarrollo. Proyecto Sectorial “Promoción del tratamiento mecánico-biológico de desechos”. 2000.
- CORANTIOQUIA- Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares – GIEM, Corporación Académica para el estudio de patologías tropicales. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. www.corantioquia.gov.co. Cartilla Técnica: Manejo y evaluación de la porquinaza mediante procesos de compostación 2003.
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, GIEM – Universidad de Antioquia. Evaluación técnica de la situación actual de la prevención, minimización, el aprovechamiento y valorización de residuos plásticos y orgánicos en Antioquia. En Informe Final. Convenio de Cooperación y Cofinanciación C-0060-08. CAEM – Corporación Ambiental Empresarial. 2008.
- Tchobanoglous, G., Thiesen, H., y Vigil, S. Mc Graw Hill. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. 1998.