



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

PERÚ
LIMPIO

GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

SERIE GUÍAS TÉCNICAS



GUÍA PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Ministerio del Ambiente

Viceministerio de Gestión Ambiental

Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos

Editado por:

© Ministerio del Ambiente

Av. Antonio Miroquesada 425, Magdalena del Mar

Lima-Perú

Cita sugerida: MINAM. (2019). Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales

Actualización de contenidos:

Milton Miranda

Diseño y diagramación:

Apollo Studio

2 de mayo 1830 San Isidro

Ilustraciones:

N°01, 03, 04, 07, 08, 09, 14 a 20, 29: Fábrica de Ideas (adaptación del Manual de construcción y operación de rellenos sanitarios en Honduras. Tegucigalpa, GIZ / Cooperación Triangular en Chile. (MMA, 2014))

N°02, 05, 06, 10, 11, 12, 13, 21 a 28: Apollo Studio

N°05, 06: Dirección General de Residuos Sólidos, Lima (MINAM, sf).

N°07: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Lima, CEPIS/ OPS (Jaramillo, J. 2002).

Primera edición. Abril de 2020.

Documento digital

Todos los derechos reservados

Permitida la reproducción total o parcial por cualquier medio siempre y cuando se cite la fuente.

La elaboración de este documento contó con el apoyo de la cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, a través del programa Contribución a las Metas Ambientales del Perú (ProAmbiente II).

GUÍA PARA
EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE
INFRAESTRUCTURAS
PARA DISPOSICIÓN
FINAL DE
RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 PRESENTACIÓN Pág. 6	2 OBJETIVO Pág. 8	11 PROCEDIMIENTOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO Pág. 113	12 CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO Pág. 117
3 ¿A QUIÉN ESTÁ DIRIGIDA LA GUÍA? Pág. 8	4 ¿EN QUÉ CONSISTE LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES? Pág. 9	13 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL RELLENO SANITARIO Pág. 144	14 CIERRE Y POST CIERRE Pág. 196
5 GENERALIDADES Pág. 9	6 ESTUDIOS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO Pág. 21	15 BIBLIOGRAFIA Pág. 209	16 ACRÓNIMOS Y SIGLAS Pág. 210
7 ESTUDIOS DE CAMPO PARA LA EJECUCIÓN DEL RELLENO SANITARIO Pág. 37	8 DIMENSIONAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO Pág. 51	17 GLOSARIO Pág. 211	18 ANEXOS Pág. 216
9 DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO Pág. 70	10 OBRAS AUXILIARES Pág. 100		

1.

PRESENTACIÓN



La gestión y manejo integral de residuos sólidos debe ser desde la generación hasta la disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada, para prevenir los riesgos a la salud de la población y el deterioro de la calidad ambiental. Sin embargo, el déficit en el servicio de limpieza pública y la ausencia de infraestructuras para la disposición final de los residuos sólidos municipales han originado la aparición de áreas degradadas por residuos sólidos.

La disposición final de residuos sólidos no reaprovechables se realiza en rellenos sanitarios, constituyendo una alternativa técnica y económica para la adecuada disposición final de los residuos sólidos municipales. Esta técnica para la disposición final consiste en el confinamiento de los residuos sólidos municipales en celdas previamente acondicionadas, donde los residuos son compactados reduciendo su volumen al mínimo, para luego ser cubiertos con tierra con la frecuencia necesaria para evitar la exposición de los residuos a la intemperie.

El relleno sanitario, como toda obra de ingeniería, tiene que ser planeado y diseñado previamente para asegurar su correcta construcción y posterior operación; para lo cual deben considerarse acciones de control requeridas para el adecuado manejo de los gases y lixiviados, con la finalidad de evitar la contaminación del suelo, agua y aire.

A pesar de las ventajas del relleno sanitario, en la gran mayoría de ciudades del país, no se ha logrado la habilitación de estas infraestructuras, entre otras razones por falta de orientación técnica.

La presente guía brinda toda la información básica necesaria para que los técnicos municipales y proyectistas, consideren los aspectos técnicos, ambientales, legales, económicos y sociales necesarios para la implementación del proceso de disposición final. En ese sentido, se espera que sean de utilidad para las autoridades y los actores sociales comprometidos en la mejora de la gestión de residuos sólidos en el país.

Con el objeto de que los gobiernos municipales diseñen, construyan, operen sus rellenos sanitarios, el Ministerio de Medio Ambiente, a través del Viceministerio de Gestión Ambiental y su Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, ha elaborado la **"Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales"**.

2. OBJETIVO



Brindar las pautas técnicas necesarias para la selección de áreas para la ubicación, diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales, para facilitar su correcta implementación y adecuada operación y mantenimiento.

3. ¿A QUIÉN ESTÁ DIRIGIDA LA GUÍA?



Servidores (as) civiles de municipalidades responsables y participan en los procesos de la gestión y manejo de los residuos sólidos municipales.



Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EO-RS) que realizan el desarrollo de las operaciones vinculadas al manejo de residuos sólidos municipales.



Especialistas en gestión y manejo de residuos sólidos municipales.



Otras instituciones.

4. ¿EN QUÉ CONSISTE LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES?



La disposición final de residuos sólidos municipales se realiza en rellenos sanitarios, los mismos que son implementados por las municipalidades o EO-RS.

El proceso de disposición final mediante rellenos sanitarios consiste en el confinamiento de los residuos sólidos municipales. Asimismo, comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos sobre un lecho impermeable; y, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, para evitar la exposición a la intemperie y realizar el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

Cabe precisar que, el relleno sanitario constituye un lugar controlado y se opera en base a un proyecto de ingeniería.

5. GENERALIDADES

5.1. RELLENO SANITARIO

De acuerdo a la definición del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), el relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura.

A su vez, en el Informe de la “Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe” (2010), de la Organización Panamericana de Salud (OPS), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), se realiza una descripción más amplia de la operación y las condiciones para su funcionamiento, precisando la siguiente definición:

“Técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos sobre un lecho impermeable, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, para el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población. El relleno sanitario cuenta con proyecto de ingeniería, control de ingreso en la puerta, pesaje y no existen segregadores en el sitio”.

5.2. INSTALACIONES DEL RELLENO SANITARIO



Las instalaciones del relleno sanitario deben cumplir como mínimo con lo siguiente¹:

- Impermeabilización de la base y los taludes del relleno para evitar la contaminación ambiental por lixiviados ($k \leq 1 \times 10^{-6}$ cm/s y en un espesor mínimo de 0,40 m); salvo que se cuente con una barrera geológica natural para dichos fines, lo cual estará sustentado técnicamente.
- De no cumplir con las condiciones antes descritas, la impermeabilización de la base y los taludes del relleno deben considerar el uso de geomembrana con un espesor mínimo de 1,2 mm y el uso de geotextil entre la geomembrana.
- Sistema de drenes para lixiviados con pozas para almacenamiento temporal, planta de tratamiento o sistema de recirculación interna de los mismos.
- Sistema de drenes verticales y conexiones laterales para manejo de gases.

- Canales perimétricos para interceptar y evacuar flujos de agua de escurrimiento superficial.
- Barrera sanitaria, que pueden ser barreras naturales o artificiales que contribuyan a reducir los impactos negativos y proteger a la población de posibles riesgos sanitarios y ambientales.
- Pozos para el monitoreo de agua subterránea, en caso corresponda.
- Sistemas de monitoreo y control de gases y lixiviados.
- Señalización y letreros de información conforme a la normativa sobre seguridad y salud en el trabajo.
- Sistema de registro y pesaje de vehículos.
- Control de vectores y roedores.

Asimismo, entre las instalaciones complementarias se deben considerar: la caseta de control, oficinas administrativas, almacén, servicios higiénicos, vestuario, comedor, etc.

Por otro lado, para el caso de rellenos sanitarios que manejen más de 200 toneladas de residuos sólidos diarios, se debe implementar progresivamente la captura y quema centralizada de gases, a efectos de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En caso de que sean menores a las 200 toneladas diarias, deben implementarse captura y quema convencional de gases u otra medida orientada a la mitigación de gases de efecto invernadero. Del mismo modo, podrán incluir actividades de valorización energética a través del uso de la biomasa para la generación de energía.

1. Conforme a lo establecido en el artículo 114 del Decreto Supremo N°014-2017-MINAM que aprueba el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales.

5.3. CLASIFICACIÓN DE LOS RELLENOS SANITARIOS

El tipo de infraestructura a diseñar se determina en función de la cantidad de residuos sólidos generados al día, para ello se deberán de considerar distintos criterios².

Cuadro N°01. Clasificación de los rellenos sanitarios

CRITERIO	MANUAL	SEMIMECANIZADO	MECANIZADO
Capacidad de disposición de residuos sólidos municipales	Hasta 6 t/día	Superior a 6 hasta 50 t/día	Más de 50 t/día
Características de la operación	Las actividades de disposición final de residuos se realizan en forma manual y con empleo de herramientas manuales. Requiere empleo de maquinaria solo para corte y acopio de tierra para cobertura de residuos en área cercana a la destinada a disposición final de residuos.	Las actividades de disposición final de residuos se realizan necesariamente con equipo multiusos (Por ejemplo: Mini-cargador o Retroexcavadora) asignado para utilización exclusiva del relleno sanitario. Para trabajos de acopio o traslado de tierra se considera disponer de cargador frontal y camión volquete.	Las actividades de disposición final de residuos se realizan necesariamente con maquinaria pesada, la que debe estar asignada para uso exclusivo del relleno sanitario. La maquinaria pesada y sus características estarán en relación con la cantidad de residuos que se dispongan, el tipo predominante del suelo de la zona y las condiciones climáticas. El equipamiento mecánico mínimo deberá estar constituido por un tractor de orugas D6D o equivalente, cargador frontal 950 o equivalente y volquete de 14 m³.
Periodicidad del uso de maquinaria	Esporádica, cuando se necesita por ejemplo para acopio de tierra para cobertura.	Frecuente, según la cantidad de residuos que se disponga diariamente, disponibilidad de tierra para cobertura y condiciones climáticas.	Permanente.

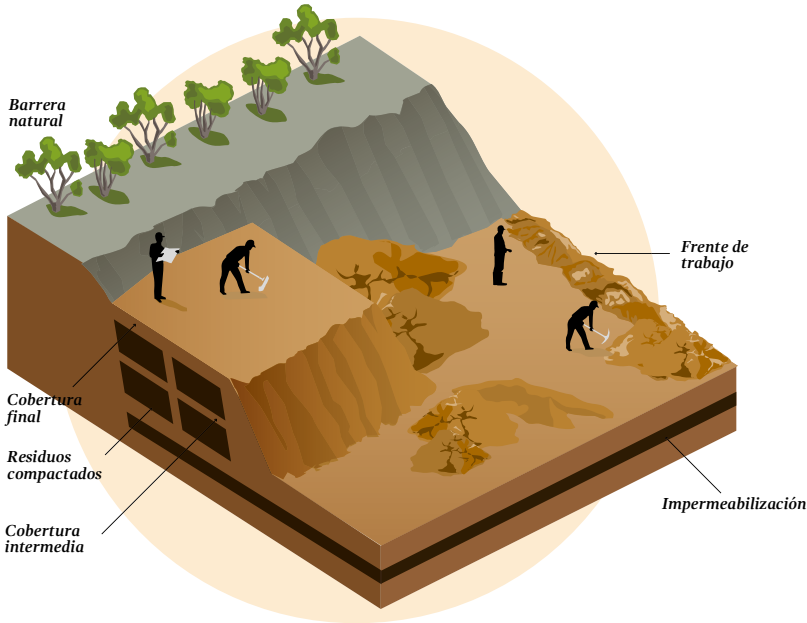
2. Al respecto pueden consultarse las publicaciones de la Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos: Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Lima, MINAM, 2011; y Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado. Lima, MINAM, 2011.

RELLENO SANITARIO MANUAL

Es una tecnología que se aplica cuando la mano de obra está más disponible que la maquinaria que haría el mismo trabajo. Asimismo, está diseñado para dar disposición final a los residuos sólidos de poblaciones que producen hasta seis (6) toneladas diarias (t/día) de residuos sólidos. La característica principal de este tipo de relleno, es que las operaciones diarias tales como el esparcido, compactación y cubrimiento de los residuos se realizan por operarios que utilizan herramientas simples como rastrillos, lampas, carretillas, picos, rodillo de compactación manual, entre otros.

Esta técnica solo requiere equipo pesado para la adecuación del sitio, es decir, para la construcción de la(s) vía(s) interna(s), la preparación de la base de soporte o la excavación de zanjas y la extracción de material de cobertura de acuerdo con el avance y método de relleno. Los demás trabajos pueden realizarse con los propios trabajadores, lo que permite a las pequeñas comunidades de escasos recursos, que no cuentan con la capacidad para adquirir y mantener en forma permanente un tractor de orugas o una retroexcavadora, disponer adecuadamente la reducida cantidad de residuos sólidos generados.

Ilustración N°01. Relleno sanitario manual

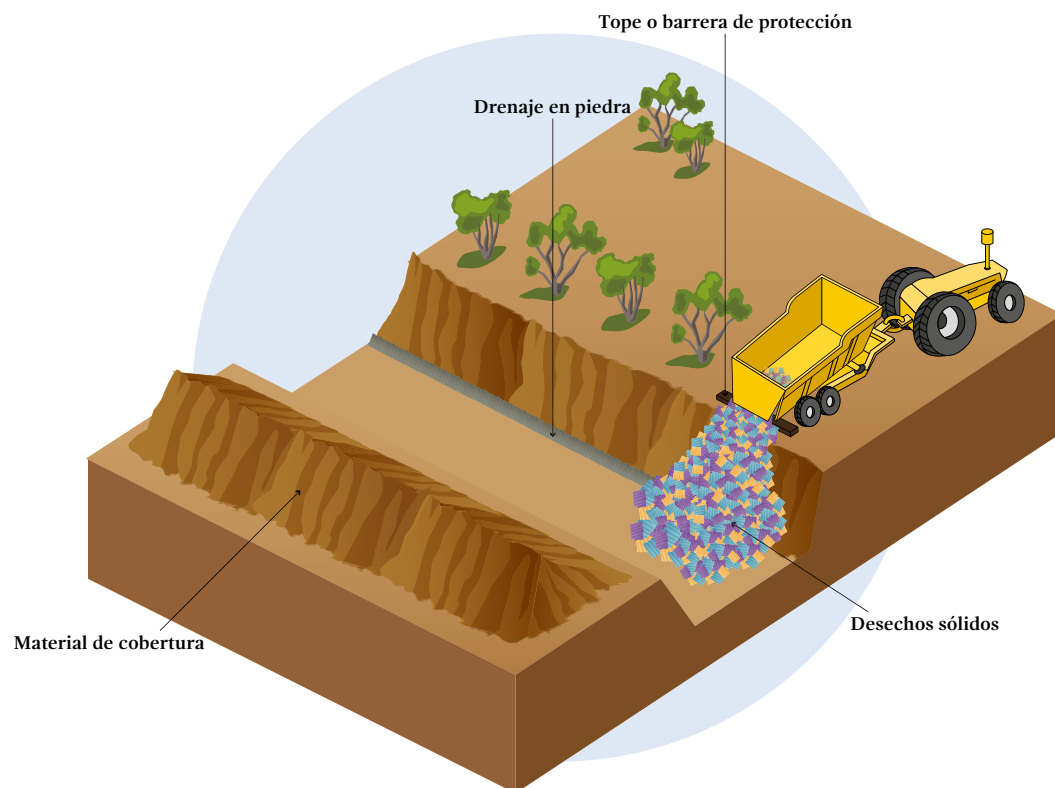


RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO

Es una tecnología que se aplica para dar disposición final a los residuos sólidos de poblaciones que producen más de seis (6) t/días hasta los cincuenta (50) t/día.

La característica principal de este tipo de relleno, es que las operaciones diarias tales como el esparcido, compactación y cubrimiento de los residuos sólidos se realiza empleando equipo mecánico (tractor de orugas, cargador frontal sobre neumáticos u otro), siendo posible el empleo de herramientas manuales para trabajos complementarios relacionados con la disposición final de residuos.

Ilustración N°02. Relleno sanitario semimecanizado

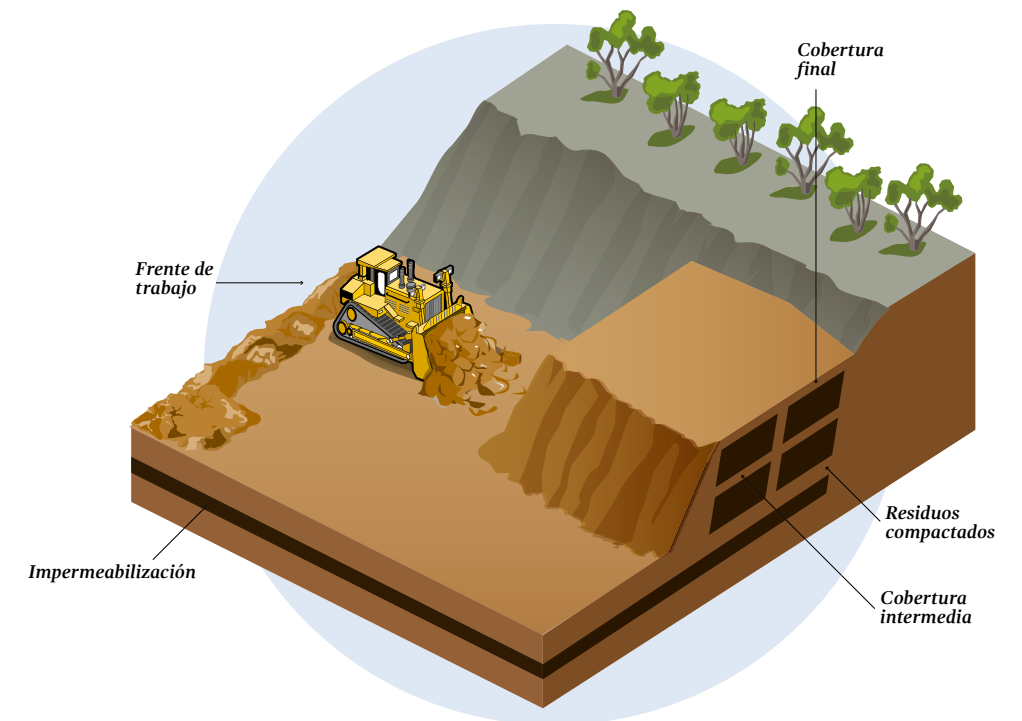


RELLENO SANITARIO MECANIZADO

Es una tecnología que se aplica para dar disposición final a los residuos sólidos de poblaciones que producen más de cincuenta (50) t/día de residuos sólidos.

La característica principal de este tipo de relleno, es que las operaciones diarias tales como el esparcido, compactación, suministro de tierra para cobertura y cubrimiento de los residuos, se realiza con equipos mecánicos tales como tractor de orugas, cargador forntal, volquete, motoniveladoras, etc.

Ilustración N°03. Relleno sanitario mecanizado



5.4. SECUENCIA DE HABILITACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

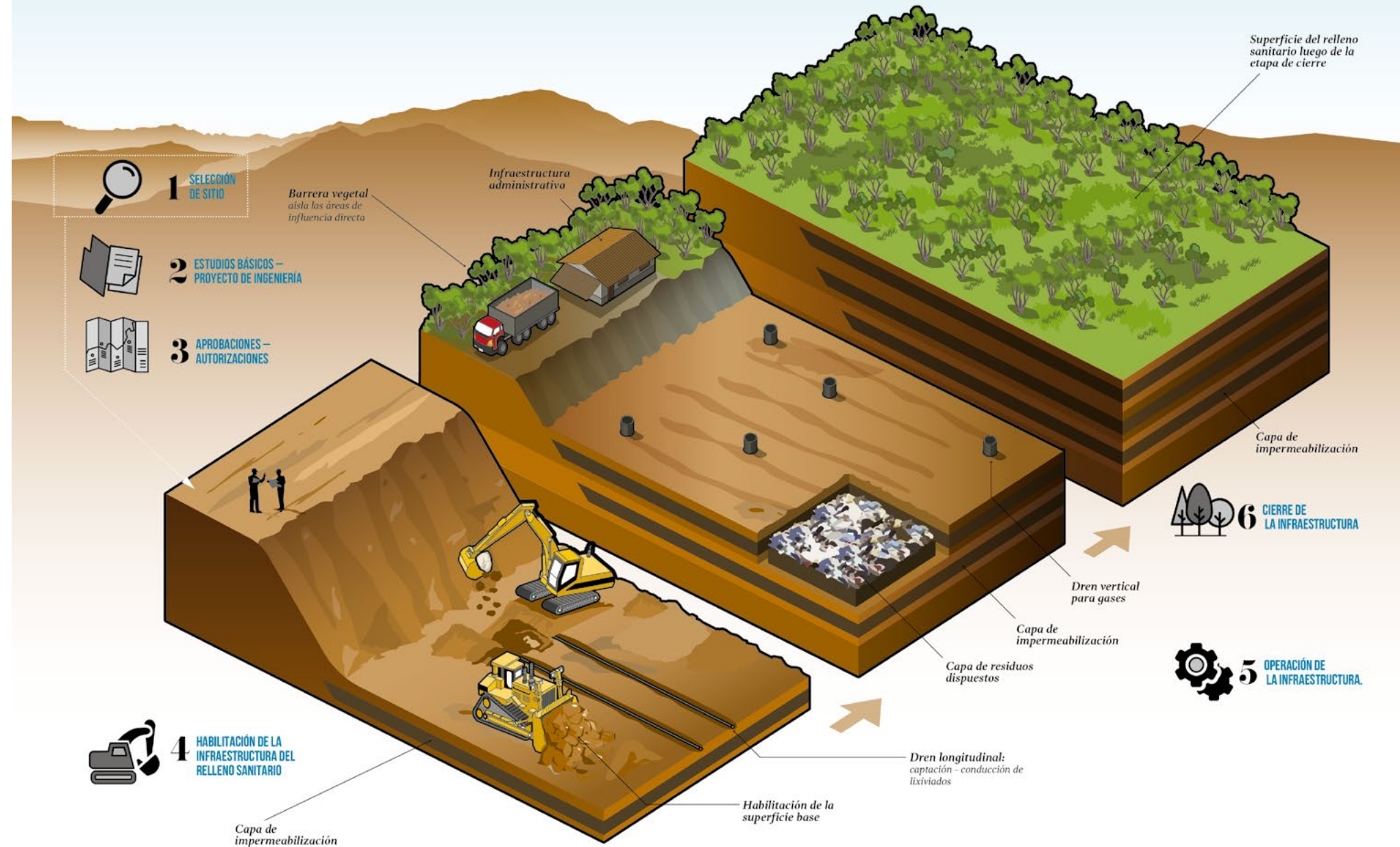
La implementación de un relleno sanitario está comprendida por cuatro (4) etapas:

1. Selección de área.
2. Realización de los estudios básicos – proyecto de ingeniería, las cuales se utilizarán para la elaboración del Instrumento de Gestión Ambiental así como del expediente técnico.
3. Gestión administrativa para aprobaciones y autorizaciones tal como la licencia de funcionamiento.
4. Habilitación de la infraestructura.

Asimismo, después de la habilitación se deben contemplar dos (2) etapas importantes:

5. Operación y mantenimiento del relleno sanitario.
6. Cierre y post cierre del relleno sanitario.

Ilustración N°04. Secuencia de implementación de un relleno sanitario



5.5. CONSTRUCCIÓN Y MÉTODOS DE OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

Los rellenos sanitarios (manual, semimecanizado o mecanizado) pueden construirse siguiendo los métodos de trinchera o zanja, área o la combinación de ambos métodos. La selección del método dependerá de las condiciones topográficas, características del suelo, nivel freático y disponibilidad de material de cobertura, condiciones climáticas de la zona, etc.

A continuación, se muestra las características de cada método:

Cuadro N°02. Características por métodos de construcción

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS
MÉTODO DE TRINCHERA O ZANJA	Consiste en realizar excavaciones de trincheras o zanjas con determinadas dimensiones y profundidades, en función a las características de cada zona. Para ello, se requiere emplear maquinaria pesada como excavadora o tractor de orugas.
	Los residuos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera o zanja para luego compactarlos y cubrirlos con material apropiado que cumpla con las características establecidas.
	Se utiliza en terrenos planos y ondulados, evitando terrenos con nivel freático alto o próximo a la superficie por el riesgo de contaminar el acuífero, así como suelos rocosos a fin evitar dificultades durante la excavación.
	En períodos de alta precipitación pluvial se debe tener especial cuidado en el manejo de las aguas de escorrentía, ya que pueden inundar las zanjas. Para atenuar estas contingencias, se debe construir canales perimetrales para captarlas y desviarlas hacia zanjas para almacenamiento temporal.
	En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada. Sus taludes o paredes deben estar cortados de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS
MÉTODO DE ÁREA	La secuencia en la habilitación de las excavaciones debe obedecer a una planificación de forma que posibilite disponer de material de cobertura procedente de las propias excavaciones y disponible en áreas colindantes a la excavación. También es posible utilizar material procedente de las excavaciones realizadas en la explotación de canteras.
	Consiste en depositar los residuos sólidos directamente sobre la superficie del terreno, previamente impermeabilizado, formando plataformas que alcanzarán alturas variables. En estos casos, se debe tener identificada la fuente de donde se extraerá la tierra para cobertura según las características de las plataformas proyectadas y volúmenes de residuos.
	Se utiliza en terrenos planos, donde no sea factible excavar zanjas o trincheras para disponer y confinar los residuos. El material de cobertura a utilizar deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial del terreno.
	También puede utilizarse para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas, previamente acondicionadas. El material de cobertura se extrae de las laderas del terreno o, en su defecto, lo más cerca posible para evitar encarecer los costos de transporte.
	El suelo natural dependiendo de sus características y permeabilidad debe ser acondicionado y nivelado previo a la disposición de residuos.

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS
COMBINACIÓN DE AMBOS MÉTODOS	Los métodos de trinchera y área tienen técnicas similares de disposición final de residuos, por lo que pueden combinarse logrando un mejor aprovechamiento del terreno y del material de cobertura, y mayor rendimiento de la operación. La disposición final de los residuos abarcará inicialmente los volúmenes habilitados por debajo de la superficie original del suelo (método de trinchera), para luego ir creciendo verticalmente sobre la superficie original del suelo mediante la formación de sucesivas capas o plataformas (método de área) hasta alcanzar las alturas proyectadas. Desde el punto de vista del método de operación se considera: Método de trinchera hasta ocupar el volumen habilitado entre la superficie de la base del relleno sanitario y la coronación del dique perimetral o alcanzar la cota del borde superior de la excavación. Método de área, cuando se ocupa el volumen proyectado desde la coronación del dique perimetral, o el borde superior de la excavación, hasta alcanzar la cota o la altura proyectada para la disposición final de residuos.

Fuente: Adaptación de la Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales (CEPIS - 2002)

6. ESTUDIOS REQUERIDOS PARA LA UBICACIÓN Y EL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO



6.1. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

El estudio de caracterización de residuos sólidos municipales es una herramienta que permite obtener información primaria relacionada a las características de los residuos, en un determinado ámbito geográfico. Esta información permite la planificación de las actividades relacionadas con el manejo de los residuos sólidos, así como la planificación administrativa y financiera, ya que sabiendo cuánto de residuos sólidos se genera en las viviendas y actividades económicas y comerciales de la jurisdicción, se puede calcular la tasa para cobro de arbitrios.

Como tal representa un insumo fundamental para elaborar una serie de instrumentos de gestión ambiental de residuos sólidos, así como proyectos de inversión pública referidos a gestión de residuos sólidos y otros que permitan tomar decisiones en la gestión integral de residuos sólidos a corto, mediano y largo plazo.

El estudio de caracterización de residuos sólidos municipales para fines de diseño no debe tener una antigüedad mayor a 5 años, y podrá ser utilizado siempre y cuando cumpla con el procedimiento y contenido establecido en la Resolución Ministerial N°457-2018-MINAM, que aprueba la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales.

6.2. ESTUDIO DE SELECCIÓN DE ÁREA

6.2.1. Generalidades



La selección de área para las infraestructuras de disposición final consiste en la identificación de los espacios geográficos, lo cual se realizará en coordinación entre la municipalidad provincial y distrital³ teniendo en cuenta lo siguiente:

- La compatibilidad con el uso del suelo y los planes de expansión urbana.
- La minimización y prevención de los impactos sociales, sanitarios y ambientales negativos, que se puedan originar por la construcción, operación y cierre de las infraestructuras.
- Los factores climáticos, topográficos, geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, entre otros.
- Disponibilidad de material de cobertura.
- La preservación del patrimonio cultural.
- La preservación de áreas naturales protegidas por el Estado.
- La vulnerabilidad del área ante desastres naturales.
- El patrimonio nacional forestal y de fauna silvestre, según las normativas de la materia.
- Otros que establezca la normatividad sobre la materia.

Adicionalmente, para la ubicación de infraestructuras para disposición final se deben cumplir las siguientes condiciones⁴:

³ En caso de discrepancia entre dos o más municipalidades provinciales, el Gobierno Regional define la ubicación y selección de áreas para la implementación de infraestructuras de residuos sólidos, en concordancia con el literal g) del artículo 21 del Decreto Legislativo N°1278.

⁴ Conforme a lo establecido en el artículo N°110 del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos aprobado mediante Decreto Supremo N°014-2017-MINAM.

- Ubicarse a una distancia no menor a 500 metros de poblaciones, así como de granjas porcinas, avícolas⁵, entre otras. Por excepción, y de acuerdo a lo que se establezca en el IGA, la autoridad ambiental podrá permitir su ubicación a distancias menores sobre la base de los potenciales riesgos para la salud o la seguridad de la población.

- No estar ubicadas a distancias menores de 500 metros de fuentes de aguas superficiales. Por excepción y de acuerdo a lo que establezca en el IGA, la autoridad ambiental podrá permitir su ubicación a distancias menores, considerando la delimitación de la faja marginal conforme a la normativa vigente de la materia.

- No estar ubicada en zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos en la zona de emplazamiento del proyecto.

- No estar ubicada en zonas con presencia de fallas geológicas.

- No estar ubicada en zonas donde se puedan generar asentamientos o deslizamientos que desestabilicen la integridad de la infraestructura de residuos sólidos;

- Otros que establezca la normatividad sobre la materia.

Cabe precisar que, el desarrollo de las consideraciones técnicas, legales y sociales para la selección de áreas para infraestructuras de disposición final se detallan en el Anexo 1. Contenidos mínimos para la selección de áreas.

6.2.2. Contenido mínimo del estudio para la selección de área

6.2.2.1. Relación del área propuesta con infraestructura existente

Ni la celda transitoria, el relleno sanitario y el relleno seco podrán ubicarse dentro de las áreas de influencia de obras de infraestructura civil, tales como embalses, represas, instalaciones hidroeléctricas, entre otras.

La distancia de la infraestructura para disposición final de residuos incluyendo una celda transitoria no será menor de 13 000 m. respecto de aeropuertos o pistas de aterrizajes, las mismas que podrán variar en función de lo establecido en las normas vigentes.

⁵ Se debe considerar las distancias establecidas en el artículo 52°, del Reglamento del Sistema Sanitario Avícola, aprobado por Decreto Supremo N° 029-2007-AG.

6.2.2.2. Extensión del terreno y vida útil

Debido a la complejidad que resulta ubicar áreas adecuadas para infraestructuras de disposición final de residuos sólidos, la búsqueda y selección de áreas adecuadas debe realizarse en estricto cumplimiento de los criterios de selección establecidos en artículo N° 110 del Reglamento de Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos aprobado mediante Decreto Supremo N° 014 – 2017 – MINAM.

La adecuada selección del terreno hará posible la construcción de una celda transitoria y la posterior habilitación de infraestructura para disposición final de residuos con la mayor vida útil posible, así como también un relleno seco.

Los periodos de vida útil a considerar son:

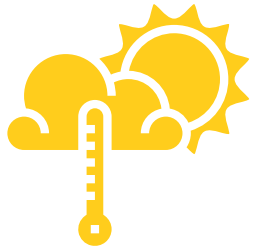


Cuadro N°03. Superficies de terreno referenciales para celda transitoria y relleno sanitario

	CELDA TRANSITORIA Y RELLENO SANITARIO MANUAL (*)	CELDA TRANSITORIA Y RELLENO SANITARIO SEMI MECANIZADO (*)	CELDA TRANSITORIA, RELLENO SANITARIO MECANIZADO (*)Y RELLENO SECO.
	(6t/día)	(50 t/día)	(100 t/día) (800 t/día)
Superficie de terreno para vida útil de 3 años (celda transitoria)	0,25 ha	1,45 ha	3,00 has (15,00 ha)
Superficie de terreno para vida útil de 10 años (Relleno sanitario)	0,75 ha	3,30 ha	(10,00has) (25,00 ha)
Vías, campamento, áreas libres, infraestructura diversa	4,00 ha	5,25 ha	(10,00 has)(10,00 ha)
Superficie mínima recomendable:	5,00 ha	10,00 ha	(23,00 ha) (50,00 ha)

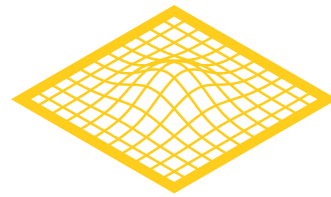
(*) Se estima superficies requeridas con cantidad máxima diaria de residuos para casos de relleno sanitario manual y semimecanizado, variables 100 y 800 t/día para relleno sanitario mecanizado y relleno seco.

6.2.2.3. Factores climáticos, suelo y relieve de la superficie, aspectos geológicos, geomorfológico, hidrogeología, entre otros



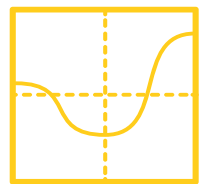
Climáticos:

La intensidad de precipitaciones pluviales, dirección predominante de los vientos, temperatura y horas de sol durante el día.



Suelo y relieve de la superficie:

Las características principales y clasificación de suelos.



Relieve de la superficie:

Terrenos llanos a ondulados (Hasta 30° de inclinación son adecuados para habilitación de infraestructura para disposición final de residuos).

Terrenos accidentados y elevaciones rocosas son inadecuadas, de ahí la necesidad de evitar estas características durante la selección del área.



La geología y geotecnia:

Relacionada con estratigrafía, por lo tanto con las características mecánicas del suelo local. La clasificación de suelos: areno arcillosas, capacidad de infiltración de líquido en el suelo, permeabilidad.



Geomorfología:

Describe los posibles cambios que debido a condiciones climáticas o antrópicas, podrían generar movimientos en el terreno, interviene la gravedad y otros factores naturales como litológicos, climáticos antrópicos, entre otros.

En esta tipología se pueden ver los riesgos en la erosión, los desprendimientos y deslizamientos.



Hidrogeología:

La presencia o ausencia de acuífero en el subsuelo, es uno de los factores básicos que influyen en la selección del área para la habilitación de una celda transitoria y/o una infraestructura para disposición final de residuos sólidos (relleno sanitario y relleno seco).

Es importante conocer la existencia de acuíferos subsuperficiales, la profundidad a la que se encuentran, la dirección y la velocidad del escurrimiento o flujo de la misma.

El diseño de la celda transitoria, relleno sanitario y relleno seco, deberá considerar esta información en el diseño de la impermeabilización para evitar contaminar el acuífero.



Hidrología superficial:

Uno de los problemas en la disposición final de residuos en zonas con precipitaciones pluviales significativas es el escurrimiento de agua superficial que pueda llegar hasta la celda transitoria y/o relleno sanitario.

La adecuada selección del área desde el punto de vista de la hidrología superficial, debe considerar:

- El área seleccionada debe estar apartada de cauces o cuerpos receptores de agua.
- Proyectar infraestructura de drenaje para controlar escurrimiento de aguas superficiales y de precipitaciones pluviales y desviarlos fuera del terreno destinado al proyecto.

6.2.2.4. Material para cobertura

El lugar seleccionado debe contener, en toda la superficie (o en parte de ella), la suficiente cantidad de tierra que pueda ser extraída sin dificultad y a costos razonables, para cubrir la demanda necesaria para la conformación de diques, cobertura y sellado de la celda transitoria, relleno sanitario y relleno seco, a lo largo de la vida útil de la infraestructura.

Los suelos con estratos areno limosos y areno arcillosos y otros con granulometría bien distribuida (tipo afirmado) son los adecuados.

Para evitar deterioro de las superficies del terreno con buen potencial de volumen de tierra, debe considerarse la habilitación planificada de la infraestructura y la secuencia de ocupación del área, para optimizar la explotación de la tierra adecuada.

Debe evitarse terrenos con las características siguientes:



Suelo rocoso



Suelo con pendientes pronunciadas y elevaciones rocosas.



Evitar en lo posible extraer la tierra en cantera externa, por los costos colaterales a que conlleva:
Compra de tierra, carguío en cantera y traslado hasta la infraestructura.

6.2.2.5. Barrera sanitaria y aislamiento paisajístico

Es ideal que el área destinada a una celda transitoria y/o infraestructura para disposición final de residuos (relleno sanitario y relleno seco), tenga una barrera natural respecto al entorno. Esta barrera por lo general la constituyen cerros o elevaciones naturales que posibilitan un buen aislamiento.

Es claro que la barrera natural debe ser complementada con un cerco perimetral en el lindero sin barrera natural. Este cerco perimetral, se complementara con un cerco vivo interior y paralelo, de preferencia con especies nativas de la zona.

En la zona de costa, que se caracteriza por ser desértica y con escasez de agua, los trabajos de cerco vivo o arborización que se puedan plantear desarrollar a lo largo de la vida útil, deben ser conservadores y focalizados a superficies donde sea posible habilitar infraestructura para riego y abastecimiento de agua. De ninguna manera considerar la arborización de las superficies acabadas de la celda transitoria, relleno sanitario y relleno seco.

La barrera natural y el cerco vivo, complementados con la dirección de los vientos, evitarán que las partículas y polvo que inevitablemente se genera en la actividad, lleguen a la población más cercana.

6.2.2.6. Vías de acceso

El lugar seleccionado para una celda transitoria y/o relleno sanitario, deberá considerar una distancia razonable de acuerdo a los volúmenes de residuos que se estima se dispondrán. Se priorizara su conexión con la red vial existente, evitando grandes recorridos.

Como referencia se podría indicar:

- Distancia referencial máxima de aproximadamente 30 km desde el centro de la ciudad (para celdas transitorias, rellenos sanitarios semimecanizados y mecanizados, y relleno seco).
- Distancia referencial máxima de aproximadamente 10 kilómetros desde el centro de la ciudad (para celdas transitorias y/o rellenos sanitarios manuales).

6.2.2.7. Compatibilización con el uso de suelo y planes de expansión urbana

El área destinada a un proyecto de celda transitoria, relleno sanitario y relleno seco, se tiene que elegir tomando en cuenta la proyección para la expansión urbana tenga planificada por la municipalidad involucrada.

Verificar en los planes de desarrollo urbano distrital o el plan de acondicionamiento territorial de los gobiernos provinciales.

6.2.2.8. Opinión pública



Es determinante que el área de terreno seleccionada tenga la aprobación de la población beneficiaria, así como de la población colindante al terreno, para evitar posibles conflictos sociales a corto o largo plazo. Aplicar la Ley N° 29785, ley de derecho a la consulta previa. Esta información se verificará mediante documentos que certifiquen la opinión favorable de la población (Actas, encuestas, etc.).

6.2.2.9. Preservación de las áreas naturales protegidas por el Estado

El terreno no debe estar ubicado en un área natural protegida por el Estado, por ello, se deberá contar con el certificado de no afectación de áreas naturales protegidas emitido por el SERNANP.

De ser inevitable que el terreno a seleccionar se ubique en área natural protegida o su área de amortiguamiento, se debe contar con la opinión técnica favorable del SERNANP.

6.2.2.10. Preservación del patrimonio cultural

El terreno no debe estar ubicado en zona arqueológica, arquitectónica, histórica o patrimonial, de ser así, es un criterio de restricción de ubicación.

El sitio proyectado para la infraestructura de disposición final debe contar con el certificado de inexistencia de restos arqueológicos (CIRA), con excepción de los lugares ya intervenidos.

6.2.2.11. Saneamiento físico legal del terreno

El terreno destinado para el relleno sanitario debe estar inscrito en la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP) a nombre del gobierno local que implementará la infraestructura de disposición final relleno sanitario y/o seco). Para el caso de una celda transitoria de residuos sólidos, se deberá contar como mínimo con la cesión en uso del terreno.

Los aspectos arriba mencionados contribuyen al cumplimiento del Decreto Legislativo N° 1278 (que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos), del cual, en su reglamento (Decreto Supremo N°014-2017-MINAM), en el artículo 109, inciso b, se establece: “la minimización y prevención de los impactos sociales, sanitarios y ambientales negativos, que se puedan originar por la construcción, operación y cierre de las infraestructuras”.

Cuadro N°04. Resumen de los criterios de selección de área para
infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	DL N° 1278 Y SU REGLAMENTO DS N° 014 -2017
1	Distancia a la Población más cercana (m)	>500(*)
2	Distancia a granja de crianza de animales (m)	>500(*)
3	Distancia a fuentes de agua superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m)	>500(*) >500(*)
4	Distancia a fallas geológicas	
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)	
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros)	
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	>13 000(*)
8	Área del terreno (m²)	
9	Vida útil	
10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)	3 ó 10 años(**) Mínimo 15 años (***)
11	Pendiente del terreno (topografía)	
12	Geología del suelo (permeabilidad)	
13	Profundidad de la napa freática (m)	

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	DL N° 1278 Y SU REGLAMENTO DS N° 014 -2017
14	Posibilidad del material de cobertura	
15	Cuenta con barrera sanitaria natural	
16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km)	
17	Uso actual del suelo y del área de influencia	
18	Opinión pública	
19	Área natural protegida por el Estado	
20	Área arqueológica	
21	Propiedad del terreno	

(*) Por excepción, la autoridad competente podrá permitir su ubicación a distancias menores.

(**) 03 años para celda transitoria
≥ 10 años para relleno sanitario

(***) mínimo 15 años para relleno seco

6.2.2.12. Matriz de calificación para la selección de área

En base a los criterios antes mencionados se ha elaborado la siguiente matriz que servirá para seleccionar adecuadamente el área donde se ubicará la infraestructura de disposición final. Para calificar cada una de las áreas debemos verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos, según los atributos o defectos de cada terreno, para lo cual se asignará un puntaje a cada criterio, este puntaje va desde regular (1 punto), moderado (3 puntos) y bueno (5 puntos).

Cuadro N°05. Criterios de Calificación para la selección de área: Asignación de puntaje por cada criterio

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	DL N° 1278 Y SU REGLAMENTO DS N° 014 -2017	PUNTAJE (A)	
			ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1	Distancia a la Población más cercana (m)	>500(*)		
2	Distancia a granjas crianza de animales (m) ⁶	>500(*)		
3	Distancia a fuentes de agua superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m)	>500(*)		
4	Distancia a fallas geológicas	>500(*)		
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)			
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros)			
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	>13 000(*)		
8	Área del terreno (m²)			
9	Vida útil	3 ó 10 años(**) Mínimo 15 años (***)		
10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)			

6 Se debe considerar las distancias establecidas en el artículo 52°, del Reglamento del Sistema Sanitario Avícola, aprobado por Decreto Supremo N° 029-2007-AG.

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	LEY DL N° 1278 Y SU REGLAMENTO DS N° 014 -2017	PUNTAJE (A)	
			ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
11	Pendiente del terreno (Topografía)			
12	Geología del suelo (permeabilidad)			
13	Profundidad de la napa freática (m)			
14	Posibilidad del material de cobertura			
15	Cuenta con barrera sanitaria natural			
16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km)			
17	Uso actual del suelo y del área de influencia			
18	Opinión Pública			
19	Área natural protegida por el Estado			
20	Área arqueológica			
21	Propiedad del terreno			

(*) Por excepción y de acuerdo a lo que establezca en el IGA, la autoridad ambiental podrá permitir su ubicación a distancias menores, considerando la delimitación de la faja marginal conforme a la normativa vigente de la materia.

(***) Mínimo 15 años para relleno seco.

**	Grados	Puntaje
	Regular	1
	Moderado	3
	Bueno	5

Una vez asignado el puntaje a cada criterio según los parámetros establecidos se procede a multiplicar el puntaje asignado por el ponderado (B) para cada alternativa (ver siguiente cuadro).

Cuadro N°06. Criterios de Calificación para la selección de área:
Calificación por cada criterio

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	PONDERADO (B)	CALIFICACIÓN AxB	
			ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1	Distancia a la población más cercana (m)	6		
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	6		
3	Distancia a fuentes de agua superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m)	6		
4	Distancia a fallas geológicas	6		
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos, entre otros)	6		
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros)	5		
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	5		
8	Área del terreno (m²)	5		
9	Vida útil	5		
10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)	4		
11	Pendiente del terreno (Topografía)	4		
12	Geología del suelo (permeabilidad)	4		
13	Profundidad de la napa freática (m)	4		
14	Posibilidad del material de cobertura	3		
15	Cuenta con barrera sanitaria natural	4		
16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km)	4		
17	Uso actual del suelo y del área de influencia	4		
18	Opinión pública	5		
19	Área natural protegida por el Estado	5		
20	Área arqueológica	5		
21	Propiedad del terreno	5		
	TOTAL	100		

En base a la suma de los valores obtenidos en cada criterio se obtiene el valor final para cada una de las alternativas, la alternativa seleccionada será la de mayor puntaje; además debe estar dentro del rango aceptable o aceptable de primera opción según el siguiente cuadro:

PUNTAJE PONDERADO TOTAL	CALIFICACIÓN
0-195	Terreno no aceptable - Regular (*)
195-355	Terreno aceptable – Moderado
355 a más	Terreno aceptable de primera opción – Bueno

(*) La alternativa a seleccionar debe caer en el puntaje correspondiente a “moderado” o “bueno”.

7. ESTUDIOS DE CAMPO PARA LA EJECUCIÓN DEL RELLENO SANITARIO



Los estudios y trabajos de campo detallados en el presente capítulo se realizan en el área seleccionada para la habilitación de la infraestructura para disposición final de residuos sólidos.

7.1. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

El estudio topográfico comprende el levantamiento topográfico que involucra todas las actividades que deben realizarse para obtener la representación real del relieve de una determinada extensión de terreno, con todos los detalles naturales o artificiales que se puedan encontrar dentro de los linderos que delimitan la superficie a ser levantada.

Un levantamiento topográfico para desarrollar un proyecto de infraestructura para disposición final de residuos debe considerar y contener, como mínimo, los aspectos que se indican a continuación:

- Materialización de puntos de control geodésico (mínimo 2 puntos), para que el plano topográfico resultante esté graficado en proyección UTM y cotas absolutas.
- Inicio necesariamente en los puntos de control geodésico previamente materializados en lugares seguros de la zona y posibilidad de aumentar el número de puntos dependiendo de la extensión y del relieve del terreno.
- Densidad de puntos de relleno topográfico suficiente para obtener la representación real del relieve de la superficie del terreno.
- Orientación del norte magnético.
- Graficado en proyección UTM y Datum WGS 84.
- Curvas de nivel con equidistancia de 1 m (zonas de relieve ondulado y accidentado) y equidistancia de 0,5 m (zonas onduladas a llanas).
- Poligonal perimétrica y toda infraestructura existente (trochas, senderos y detalles importantes que se observen en el lugar).

7.2. ESTUDIO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA



El contenido mínimo del estudio geofísico de resistividad eléctrica (SEV) es:

- Generalidades.
- Introducción.
- Ubicación del área de estudio.
- Objetivos.
- Actividades.
- Método aplicado al estudio.
- Características del estudio en campo.
- Características del estudio en gabinete.
- Resultados e interpretación.
- Conclusiones.

7.3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA

El contenido mínimo que debe considerar un estudio de mecánica de suelos debe ser:

- Generalidades.
- Investigaciones geotécnicas.
- Estratigrafía e identificación de suelos.
- Resultados de los ensayos de campo.
- Ensayos de laboratorio.
- Caracterización de suelos por sector.
- Condiciones de cimentación.
- Agresión del suelo al concreto de la cimentación.
- Material de cantera.
- Acondicionamiento del área que ocupará el relleno sanitario.

Estudio de canteras

Se deberá garantizar la disponibilidad de tierra para cobertura en todas las etapas del proyecto, por lo que se deberá considerar un plano de canteras para tal fin siempre que el material esté disponible cerca al terreno, de lo contrario se especificará su fuente de provisión.

Por ello, el diseño del relleno sanitario debe considerar la explotación ordenada y secuencial de las canteras, con base en un estudio que incluya, entre otra información, lo siguiente:

- Plano de localización con cuadro de datos técnicos indicando superficie y volumen estimado de tierra para cobertura.
- Información geotécnica que considere calicatas, toma de muestras y análisis en laboratorio, con los resultados de las características de la tierra disponible. Considerar también Sondajes Electricos Verticales (SEV).
- Volumen de tierra del que se dispondrá como resultado de los trabajos de movimiento de tierras realizados en la fase de habilitación de la infraestructura.

El diseño deberá indicar localización, acceso, propietario, volumen, tipo de material y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) del material de las canteras, el cual deberá asegurar el recubrimiento diario de los residuos sólidos. Las consideraciones antes indicadas se deberán realizar en los aspectos siguientes:

- Tierra para cobertura diaria. La tierra para cobertura diaria, debe tener granulometría distribuida, de forma que proporcione estabilidad a las superficies de residuos cubiertas con esta tierra.
- Tierra para cobertura final o sellado, debe tener de preferencia características impermeables, para evitar infiltración de agua de precipitaciones pluviales a la masa de residuos dispuestos.
- Tierra vegetal, para los casos de rellenos sanitarios que consideren revegetación de la superficie.
- Material para lastrado. La cantera para material de lastrado que se utilizará para el mejoramiento de la superficie de rodadura de las vías tipo trocha carrozable, deberá tener buenas características de capacidad de soporte CBR, de manera que se pueda utilizar en su estado natural.

7.4. ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO, HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEODINÁMICO

El contenido mínimo que debe considerar un estudio geológico, geomorfológico, hidrológico, hidrogeológico y geodinámico debe ser:

• Introducción

• Antecedentes

- Objetivos.
- Ubicación y accesibilidad.
- Aspectos socioeconómicos.
- Aspectos geográficos.
- Ambiente biológico.

• Geología

- Geología regional.
- Geología local.
- Geología estructural.

• Geomorfología

- Geomorfología regional.
- Geomorfología local.

- **Hidrología e hidrogeología**
 - Hidrología superficial e hidráulica.
 - Hidrología subterránea.
- **Geodinámica**
 - Geodinámica externa.
 - Geodinámica interna.
- **Conclusiones y recomendaciones**

7.5. ASPECTOS TÉCNICOS QUE DEFINIRÁN LAS
CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA PROYECTADA

El método constructivo lo determinarán principalmente el relieve del terreno y las condiciones geológicas e hidrogeológicas del terreno, para lo cual se debe considerar:

- **Topografía del terreno:** el levantamiento topográfico permite conocer el relieve de la superficie del terreno.
- **Características geotécnicas:** el estudio de suelos, además de revelar el tipo y las características del suelo, permite establecer la presencia de roca madre, lo que ofrece un criterio para elegir entre el método de trinchera o de plataforma mixta.

UBICACIÓN	Provincia de Huarochirí	
COTA	2850 m.s.n.m.	
NIVEL FREÁTICO	No presenta	
COORDENADA	Este	Norte
Observación: sin presencia de posible nivel freático debe corroborarse con el sondaje eléctrico vertical.		

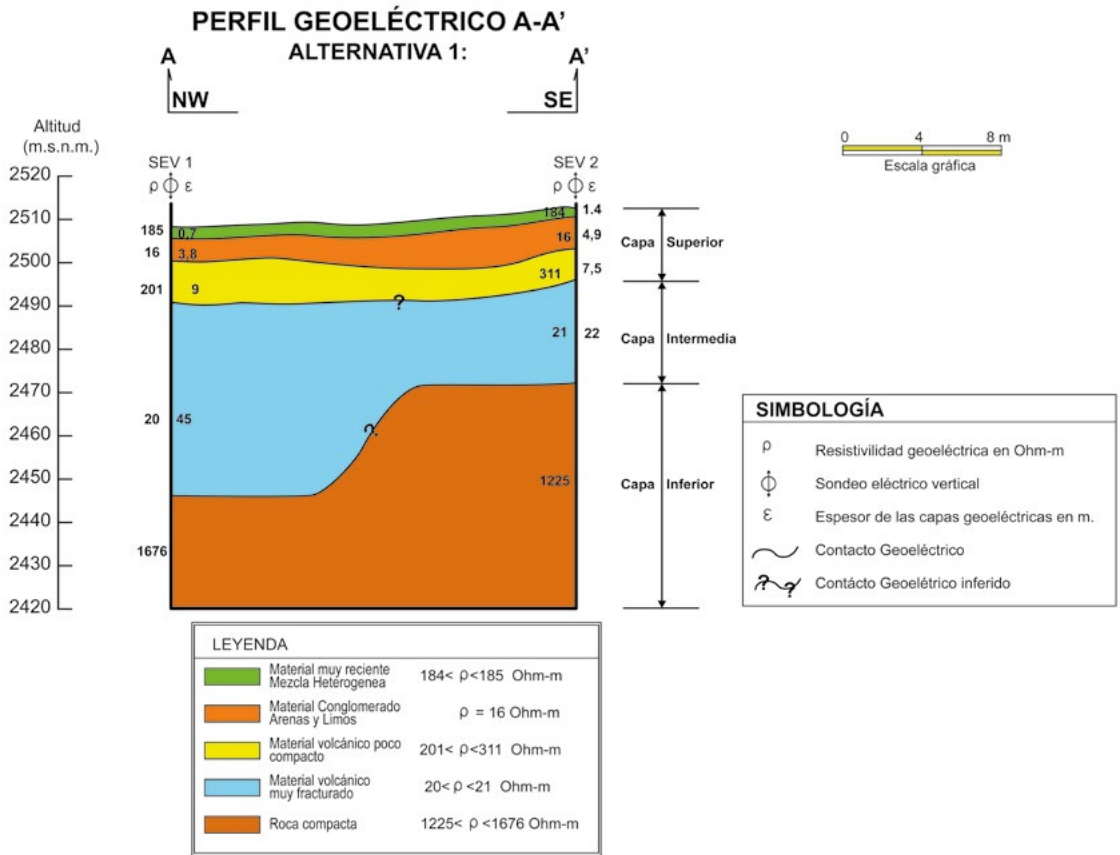


Ilustración N°05. Estudio de suelos: perfil estratigráfico

REGISTRO DE EXCAVACIÓN				
EXCAVACIÓN: C-2			UBICACIÓN: Nom. provincia, Nom. región	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN: CALICATA			LUGAR: Nom. provincia, Nom. región	
PROFUNDIDAD: 2.00 m			NIVEL FREÁTICO: No se encontró	
REGISTRADO POR: C.A.E.R.			INICIADA: (Fecha de inicio)	
FECHA: 15-02-2014			TERMINADA: (Fecha de culminación)	
PROFUNDIDAD	MUESTRA N°	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL: COLOR, HUMEDAD NATURAL, PLASTICIDAD, ESTADO NATURAL DE COMPACIDAD, FORMA DE LAS PARTICULAS
				TAMAÑO MÁXIMO DE ROCAS, PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA, ETC
				SUELO DE CULTIVO CON COBERTURA VEGETAL COLOR MARRÓN
				Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava arena y arcila
OBSERVACIONES:				

Fuente: Elaboración propia DGRS/MINAM.

Ilustración N°06. Sondaje eléctrico vertical: perfil geoelectrico



Fuente: Elaboración propia DGRS/MINAM.

A partir del análisis que se realice con la información anteriormente descrita se optará por la elección de alguno de los siguientes métodos: de trinchera o zanja, de área o plataforma, o combinado.

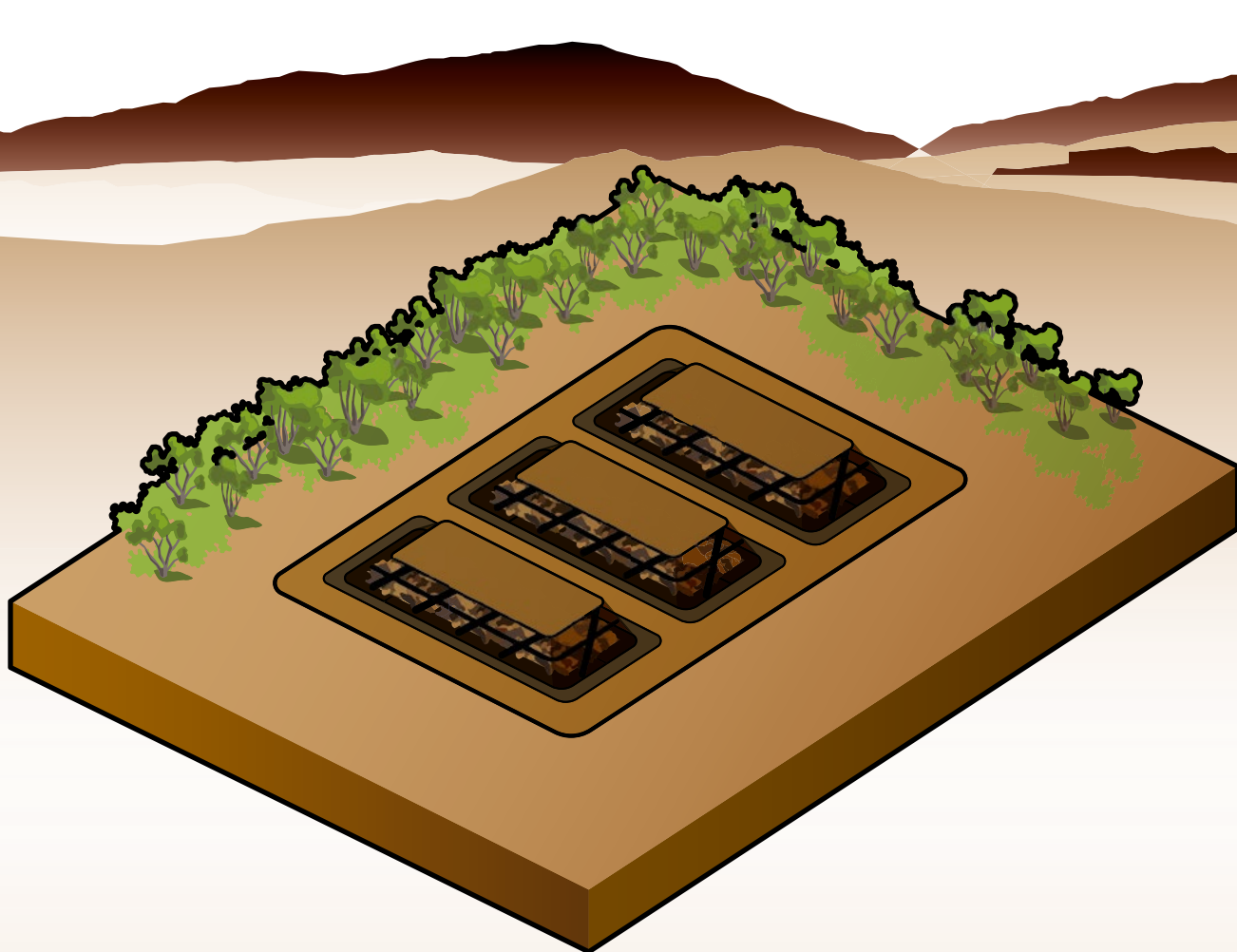
Cuadro N°07. Rellenos sanitarios: métodos de diseño

MÉTODO DE DISPOSICIÓN FINAL	CARACTERÍSTICAS
MÉTODO DE TRINCHERA O ZANJA	1. Se utiliza cuando se dispone de terrenos planos y ondulados, consiste en realizar excavaciones de dimensiones y profundidades variables en función a las características de cada zona. También es posible utilizar con previa adecuación las celdas generadas en la explotación de canteras de agregados. 2. La secuencia en la habilitación de las excavaciones debe obedecer a una planificación de forma que posibilite disponer de material de cobertura procedente de las propias excavaciones y disponible en áreas colindantes a la excavación. 3. La operación de las trincheras debe prevenir medidas que impidan el ingreso de aguas de escurrimiento pluvial mediante la habilitación de zanjas perimetrales o de pequeños diques. (también aplica para el método de trincheras y el método combinado). 4 Debe evitarse la habilitación de trincheras en zonas donde el nivel freático esté próximo a la superficie, o en aquellas en las que, por las características del suelo, sea complicado excavar (por ejemplo, suelo rocoso). También aplica para el método de trincheras y el método combinado.

MÉTODO DE DISPOSICIÓN FINAL	CARACTERÍSTICAS
MÉTODO DE ÁREA	1. Consiste en utilizar el nivel original del suelo, o profundidad cercana a la superficie, formando plataformas que alcanzarán alturas diversas. En caso se requieran taludes de soporte, esto se deberá justificar. 2. Este método se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas, previamente acondicionadas. El material de cobertura se extrae de las laderas del terreno o, en su defecto, se debe procurar lo más cerca posible para evitar encarecer los costos de transporte. 3. La disposición final de los residuos se realiza apoyando las celdas en la superficie del terreno acondicionado a la pendiente del terreno y mediante la conformación de taludes.
COMBINACIÓN DE AMBOS MÉTODOS	1. Los métodos de trinchera y área tienen técnicas similares de disposición final de residuos, por lo que pueden combinarse logrando un mejor aprovechamiento del terreno y del material de cobertura y mayor rendimiento de la operación. 2. La disposición final de los residuos abarcará inicialmente los volúmenes habilitados por debajo de la superficie original del suelo (método de trinchera), para luego ir creciendo verticalmente sobre la superficie original del suelo mediante la formación de sucesivas capas o plataformas (método de área) hasta alcanzar las alturas proyectadas. 3. Desde el punto de vista del método de operación se considera: • Método de trinchera, hasta ocupar el volumen habilitado entre la superficie de la base del relleno sanitario y la coronación del dique perimetral o alcanzar la cota del borde superior de la excavación. • Método de área, cuando se ocupa el volumen proyectado desde la coronación del dique perimetral, o el borde superior de la excavación, hasta alcanzar la cota o la altura proyectada para la disposición final de residuos.

Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales (CEPIS - 2002).

**Ilustración N°07. Métodos de disposición final:
de trinchera o zanja, para relleno manual
o semimecanizado**



**Ilustración N°08. Métodos de disposición final:
combinado, para relleno manual,
semimecanizado o mecanizado**

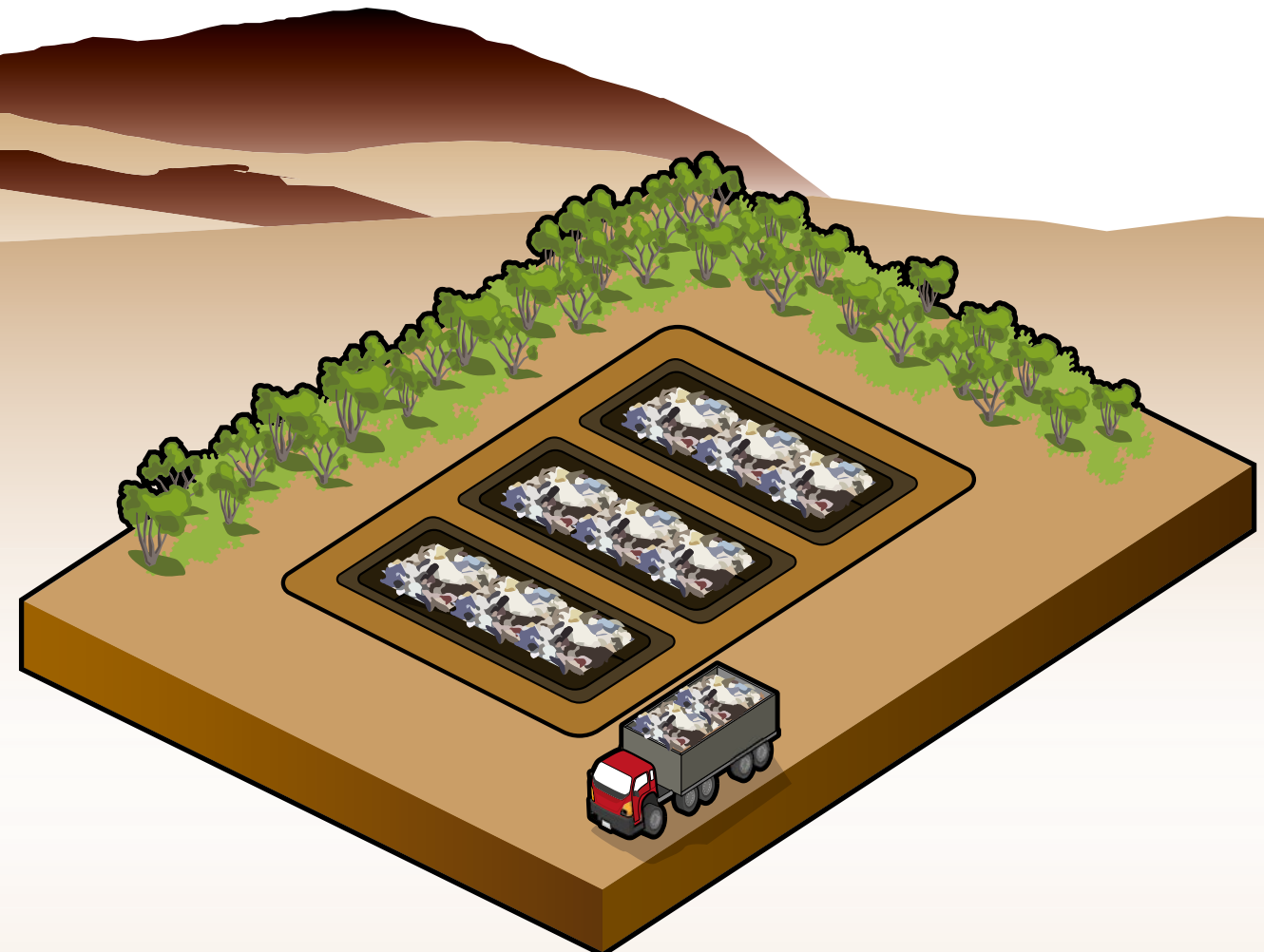
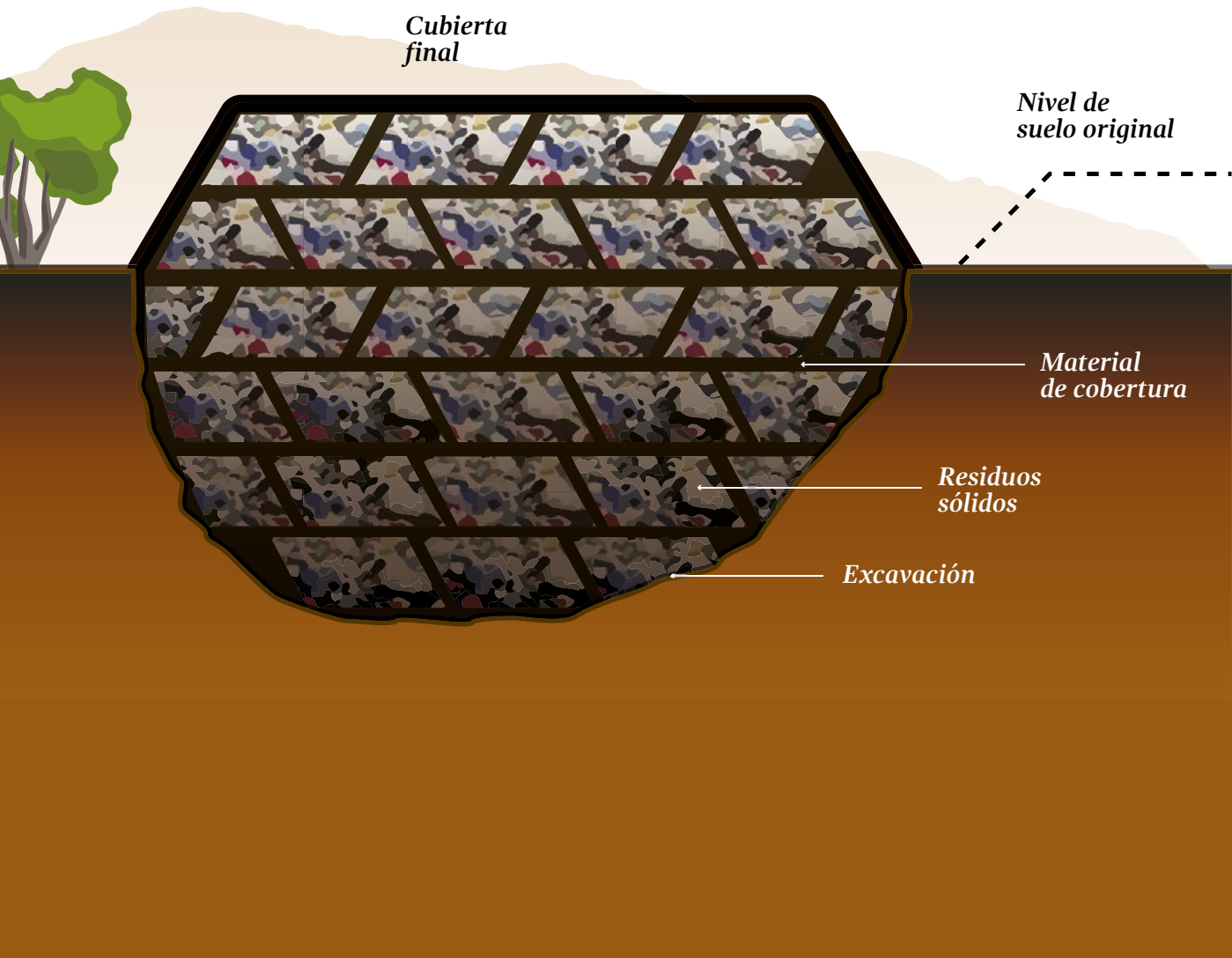


Ilustración N°09. Métodos de disposición final: combinado, para relleno manual, semimecanizado o mecanizado



8. DIMENSIONAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO



8.1. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Para definir la cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario es necesario conocer:

- La información demográfica de la población a la cual servirá el proyecto, en particular el número de habitantes y la tasa de crecimiento poblacional.
- La generación per cápita de residuos por habitante/día y la generación de residuos sólidos no domiciliarios asimilables a residuos sólidos municipales, que provienen del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales. Esta información permiten establecer la tasa de crecimiento anual de la generación per cápita de residuos sólidos.

Ejemplo de cálculo de la cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario

El ejemplo hace referencia a una población inicial de 22 879 habitantes, para la que se debe construir un relleno sanitario cuyo volumen se calculará con la información básica que se muestra en cuadro siguiente.

Cuadro N°08. Población

PARÁMETROS	VALOR
Población del ámbito de estudio al 2016 (hab.).	22 879
Generación per cápita de residuos sólidos al 2016 (kg/hab.).	0,391
Tasa de crecimiento anual de la generación per cápita de residuos sólidos (%).	1,00
Tasa de crecimiento anual de la población (%).	4,87

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°09. Residuos sólidos municipales:
ejemplo de cálculo de cantidad de residuos a disponer

Número de años	Año	GENERACIÓN MUNICIPAL					
		Residuos sólidos domiciliar	Residuos sólidos no domiciliarios (t/día)	Almacena- miento (t/día)	Barrido (t/día)	Residuos sólidos municipales (t/día)	Residuos sólidos municipales (t/año)
0	1	2	3	4	5	6	7
1	2016	8,95	1,03	0,08	0,12	10,18	3715,70
2	2017	9,48	1,04	0,08	0,13	10,73	3916,45
3	2018	10,04	1,05	0,08	0,14	11,31	4128,15
4	2019	10,64	1,06	0,09	0,14	11,93	4354,45
5	2020	11,27	1,07	0,09	0,15	12,58	4591,70
6	2021	11,94	1,08	0,09	0,16	13,27	4843,55
7	2022	12,64	1,09	0,10	0,17	14,00	5110,00
8	2023	13,39	1,10	0,10	0,18	14,77	5391,05
9	2024	14,19	1,11	0,10	0,19	15,59	5690,35
10	2025	15,03	1,13	0,11	0,20	16,47	6011,55

Fuente: Elaboración propia

El cuadro se ha calculado de la siguiente manera: (ver Cuadro N° 09).

- **Columna (0).** Representa el número de orden de los años considerados para el cálculo.
- **Columna (1).** Los años calendario para los que se va a determinar el área del relleno.
- **Columna (2).** Generación diaria de residuos sólidos domiciliarios. Año base: 2016.
- **Columna (3).** Generación diaria de residuos no domiciliarios constituidos por los residuos que se generan en instituciones educativas, mercados, instituciones públicas, bodegas, restaurantes, hoteles y similares cuyos residuos puedan ser asimilables a un residuo de tipo municipal. Año base: 2016.
- **Columna (4).** Cantidad de residuos sólidos almacenados en papeleras y similares en vías y espacios públicos. Año base: 2016.
- **Columna (5).** Cantidad de residuos sólidos que son barridos en vías y espacios públicos pavimentados o asfaltados. Año base: 2016.
- **Columna (6).** Generación diaria de residuos sólidos municipales, el cual resulta de sumar las columnas (2), (3), (4) y (5). Año base: 2016.
- **Columna (7).** Generación de residuos sólidos municipales por año, calculado por el producto de la columna (5) multiplicado por 365 días.

El estudio de caracterización de residuos sólidos municipales, proporcionará información sobre la cantidad de residuos sólidos domiciliarios, no domiciliarios, almacenamiento y barrido.

Para la proyección al año 10 de la población, se trabaja con la tasa de crecimiento que se determine para cada ciudad según la información del INEI.

En el ejemplo, al inicio de actividades del relleno la cantidad de residuos sólidos generados es 3,715.70 t/año y al momento del cierre (al decimo año de operación o culminada la vida útil) es de 6,011.55 t/año⁷.

7. Para mayor detalle del cálculo y la proyección de la población y la generación de residuos sólidos es recomendable revisar las guías de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios manuales y mecanizados mencionados.

Si la municipalidad del ejemplo, en el marco del cumplimiento de la ley, promueve la segregación de residuos sólidos en la fuente de generación, se podría reducir la cantidad de residuos que se destinan al relleno sanitario y si se suma a ello un proyecto para la valorización de residuos orgánicos, se reduciría aún más y solo llegaría al relleno sanitario aquel residuo que no tiene valor comercial, en cuyo caso la cantidad de residuos sólidos confinados variaría. En el marco de alcanzar un desarrollo sostenible, la tendencia del país es minimizar la cantidad de residuos que se destinen al relleno sanitario, con lo cual se aprovecharían por más tiempo los espacios destinados a estas infraestructuras al ampliar su vida útil proyectada.

Para determinar el volumen de residuos (m³) que se requerirá disponer en forma diaria, mensual, anual o a lo largo de la vida útil de la infraestructura para disposición final de residuos, es necesario relacionar la cantidad de toneladas a disponer (t/día, t/mes, t/año, etc) con la densidad mínima proyectada como refencia en la presente guía (0,50, 0,60 y 0,70 t/m³) que deberían alcanzar los residuos dispuestos en rellenos sanitarios manuales, semimecanizados y mecanizados respectivamente.

**VOLUMEN DE RESIDUOS
SÓLIDOS =**

$$\frac{3715.70 \text{ t/año}}{0.50 \text{ t/m}^3}$$

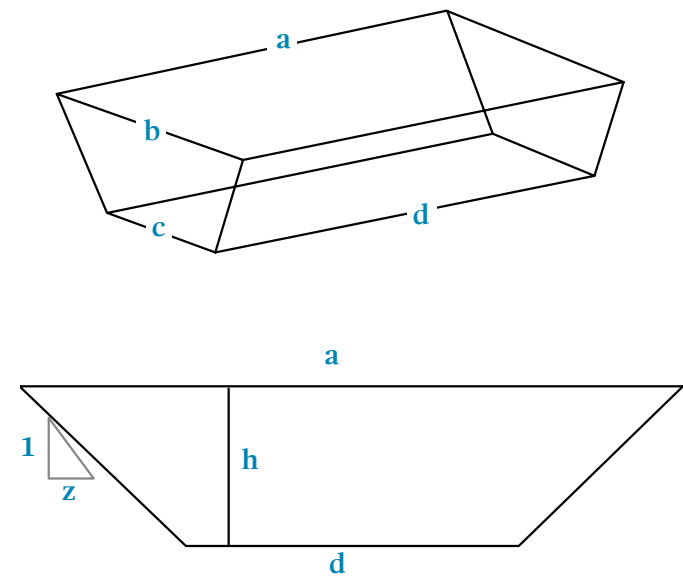
=7431.40 m³/año

Ejemplo: cálculo de volúmenes de residuos en trinchera o plataforma.

VOLUMEN DE RECEPCIÓN DE LA(S) TRINCHERAS Y/O LA(S) PLATAFORMA(S)

El objetivo principal del diseño es calcular el volumen de recepción por cada trinchera y/o plataforma considerada, las cuales deberán satisfacer el volumen a recibir en el relleno sanitario.

Ilustración N°09. Trinchera:
parámetros para el cálculo del volumen de recepción



Fuente: Elaboración propia

El cálculo del volumen se realiza mediante el método de áreas promedio y altura, según la fórmula siguiente:

$$\text{VOLUMEN} = \frac{1}{3} H(A \times B + C \times D + \sqrt{(A \times B) \times (C \times D)})$$

Donde:

- a = Largo de base mayor
- b = Ancho de base mayor
- c = Ancho de base menor
- d = Largo de base menor
- h = Altura

Cuadro N°10. Ejemplo práctico

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES					VOLUMEN (M³)
	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	H (m)	
Trinchera N.1	42,00	5,00	5,00	40,20	1,80	301,80
Trinchera N.2	32,00	5,00	5,00	30,20	1,80	228,59
Trinchera N.3	25,00	5,00	5,00	23,20	1,80	177,34
Plataforma (Terraplén N.1)	42,00	23,75	23,75	30,00	2,00	1568,13
VOLUMEN TOTAL EN METROS CÚBICOS						2275,87

Fuente: Elaboración propia

8.2. CÁLCULO DEL ÁREA REQUERIDA PARA EL
RELLENO SANITARIO

8.2.1. Dimensionamiento de la celda diaria

Para el dimensionamiento de la celda diaria se requiere conocer:

- Cantidad de residuos de que se dispone diariamente.
- Horas punta de llegada de las unidades que transportan residuos, características y capacidad de las unidades de transporte.



- Equipamiento mecánico disponible.
- Modalidad de operación. Se considera situación crítica: método de área.

La dimensión de los frentes de trabajo o celdas diarias a ser ocupados por los residuos dispuestos es resultado de relacionar el volumen de residuos que se dispondrá diariamente, con el largo del frente de trabajo, y la altura promedio que alcanzara la capa de residuos. De esta evaluación resulta que solo el frente transversal tendrá una extensión variable.

A modo de ejemplos, con propósito ilustrativo del procedimiento, los cuadros N°37, N°38 y N°39, muestran el dimensionamiento de las celdas diarias, para cada tipo de relleno, bajo los siguientes supuestos:

- Las cantidades de residuos de los que se dispongan diariamente serán, en promedio, las mismas a lo largo de un año (A). Dichas cantidades aumentarán anualmente de acuerdo a la tasa de crecimiento de la generación per cápita (varían por tipo de relleno). En nuestro ejemplo, para el primer año son 5,00, 40,50 y 706,53 toneladas diarias para rellenos sanitarios manual, semimecanizado y mecanizado respectivamente.
- La densidad inicial promedio de residuos dispuestos (B) será un dato proporcionado por el operador. Como referencia se puede asumir densidades de 0,50, 0,60 y 0,70 t/m³, para rellenos sanitarios manual, semimecanizado y mecanizado respectivamente.
- El volumen de celda requerido (C) será el resultado de dividir la cantidad promedio de residuos sólidos a disponerse entre la densidad inicial promedio de residuos dispuestos (A / B).
- La altura promedio de las capas de residuos (D) con la que se plantea la disposición final de los residuos se asume de acuerdo con el tipo de relleno sanitario. En este caso 0,60, 1,00 y 2,50 m, respectivamente.
- La superficie promedio demandada (E) será el resultado de dividir el volumen de celda requerido entre la altura promedio de la capa de residuos (C / D).
- La longitud del frente de descarga (F) será un dato dado por el operador. En este caso, 5, 15 y 30 m, según el tipo de relleno.

- La longitud de avance transversal (G) será el resultado de dividir la superficie promedio requerida entre la longitud del frente de descarga (E / F).
- Las dimensiones de los frentes de trabajo o las celdas diarias (largo y ancho) se han establecido con el estimado de unidades de recolección que, de acuerdo con los horarios de recolección en la jurisdicción, podrían llegar a los rellenos sanitarios en forma simultánea. Por ejemplo, 2 unidades para rellenos sanitarios manuales, entre 3 a 4 unidades en rellenos sanitarios semimecanizados y hasta 10 unidades en rellenos sanitarios mecanizados.

8.2.2. Cálculo de la capacidad útil requerida

La capacidad útil requerida del relleno sanitario se calcula considerando el volumen anual y total de residuos sólidos a disponer, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- La cantidad total de residuos sólidos municipales a disponer.
- La densidad de los residuos sólidos estabilizados en el relleno sanitario. Los residuos dispuestos bajo el método de relleno sanitario adquieren diversos valores de densidad y, fundamentalmente, están en función de la modalidad de compactación y de los equipos mecánicos utilizados. Las densidades sugeridas para el cálculo de volumen se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N°11. Relleno sanitario: rango de densidades de compactación

Tipo de relleno sanitario	Compactación de los residuos	Densidad aproximada (t/m³)
Manual	Compactación manual empleando pisones manuales	0,5 – 0,6
Semimecanizado	Compactación mecánica	0,6 – 0,7
Mecanizado	Compactación mecánica	0,7 – 1,0

- El volumen del material de cobertura está entre el 20 % y el 25 % del volumen total de residuos sólidos.

Con estos criterios, y usando los mismos datos de nuestro ejemplo, se puede calcular el volumen total acumulado a disponer.

Cuadro N°12. Relleno sanitario: ejemplo de cálculo de la capacidad útil requerida

Número de años	Año	GENERACIÓN MUNICIPAL				
		Generación municipal (t/año)	Volumen de residuos sólidos a disponer (m³/año)	Volumen de material de cobertura (m³/año)	Volumen de residuos dispuestos en el relleno (m³)	Volumen del relleno sanitario acumulado (m³)
0	1	2	3	4	5	6
1	2016	3715,70	7431,40	1486,28	8917,68	8917,68
2	2017	3916,45	7832,90	1566,58	9399,48	18 317,16
3	2018	4128,15	8256,30	1651,26	9907,56	28 224,72
4	2019	4354,45	8708,90	1741,78	10 450,68,	38 675,40
5	2020	4591,70	9183,40	1836,68	11 020,08	49 695,48
6	2021	4843,55	9687,10	1937,42	11 624,52	61 320,00
7	2022	5110,00	10 220,00	2044,00	12 264,00	73 584,00
8	2023	5391,05	10 782,10	2156,42	12 938,52	86 522,52
9	2024	5690,35	11 380,70	2276,14	13 656,84	100 179,36
10	2025	6011,55	12 023,10	2404,62	14 427,72	114 607,08

El cuadro se ha calculado de la siguiente manera:

- **Columna (0).** Representa el número de orden de los años considerados para el cálculo.
- **Columna (1).** Los años para los que se va a determinar el área del relleno.
- **Columna (2).** Generación anual de residuos sólidos municipales. Año base: 2016.
- **Columna (3).** Volumen de los residuos sólidos, el cual resulta de dividir la columna (2) entre la densidad de residuos sólidos compactados (0.5 t/m3 para nuestro ejemplo) en el relleno sanitario. Año base: 2016.
- **Columna (4).** Volumen del material de cobertura, el cual varía entre el 20 % y el 25 % del volumen total de residuos sólidos: columna (3). Para fines del presente ejemplo se estimó dicho volumen en el 20 % Año base: 2016.
- **Columna (5).** Volumen anual a disponer en el relleno sanitario, sumar las columnas (3) y (4). Año base: 2016.
- **Columna (6).** Volumen acumulado de residuos sólidos, el cual cuyo cálculo se muestra en el siguiente ejemplo. Año base: 2016. El volumen a disponer en el relleno sanitario es equivalente a 114 607,08 m³.

Cuadro N°13. Relleno sanitario: cálculo del volumen total a disponer

Volumen de residuos dispuestos en el relleno (m³)		Volumen del relleno sanitario acumulado (m³)
5		6
8917,68	=	8917,68
9399,48	+	
	=	18 317,16

A partir de esta información se determina el método a emplear, para lo cual se considerarán los aspectos geológicos, hidrogeológicos y topográficos del área en la cual se ubicará la infraestructura de disposición final de residuos sólidos.

8.2.3. Cálculo del área requerida para disponer residuos

El volumen de relleno sanitario acumulado, indica el volumen de celda (m³) que se requerirá para la vida útil proyectada.

El volumen indicado corresponde a los residuos dispuestos con la densidad promedio considerada en el proyecto, y el volumen de tierra para cobertura estimada en los cálculos para determinar la vida útil.

Con volumen de relleno sanitario acumulado (m³) y la altura (m) que en promedio puedan proyectarse para la celda y las plataformas, se determina aproximadamente la superficie (m³/m = m²) que tendrá la celda o base de la infraestructura para disponer residuos.

Teniendo en cuenta que una infraestructura para manejo de residuos debe considerar necesariamente otros componentes, el terreno para la infraestructura de disposición final de residuos estará conformada por:

- Área para disponer residuos sólidos: celda o relleno sanitario.
- Área para instalaciones administrativas y de servicios: oficina, servicios higiénicos (SS.HH) con infraestructura para almacenamiento y distribución de agua, almacén, caseta de vigilancia, balanza y caseta para pesaje de vehículos, estacionamiento de maquinarias, etc.
- Área para planta de valorización y centro de acopio para residuos sólidos.
- Infraestructura para almacenamiento y/o distribución de agua, infraestructura para tratamiento de aguas residuales domesticas, zona de arborización, etc.
- Superficie ocupada por vías de circulación, áreas libres, área para nueva celda , etc.

La sumatoria de todas las infraestructuras, con áreas libres, áreas ocupadas por vías de circulación, etc. Arrojan como resultado la superficie total del terreno (m²) que se dispone para la infraestructura para disposición final de residuos municipales y otras.

SUPERFICIE REQUERIDA PARA DISPONER RESIDUOS = $\frac{114\,607\text{ M}^3}{10\text{ M (*)}}$ = 11,461.00 M²

(*) Supuesta altura promedio que alcanzarán los residuos dispuestos.

Ejemplo: cálculo de volumen de celda a ser ocupado en un día

Cuadro N°14. Celda diaria: cálculo del volumen

Cantidad promedio de residuos a disponer (t)	Densidad de los R.S en celda (t/m³)	Volumen de los residuos (m³)	Volumen de material de cobertura (m³)	Volumen de la celda diaria (m³)	Altura de la celda diaria (m)	Área de la celda diaria (m2)	Frente de descarga (m)	
A	B	C=A/B	D=C*0.20	E=C+D	F	F=E/F	G	H=F/G
6	0,5	12	2,4	14,40	1	14,40	5	2,88

Elaboración propia.
Para nuestro ejemplo (En Cuadro N°14) hemos tomado como referencia los siguientes datos:
Residuos a disponer t/día 6,00
Densidad en celda de los residuos t/m3 = 0,5
Volumen del material de cobertura (de 20 % a 25 %) % = 20,00
Altura de la celda diaria (residuos + material de cobertura) m = 1,00
Frente de descarga (m) m = 5,00

En el cuadro anterior podemos apreciar que, para una disposición de residuos diaria de 6 toneladas, obtenemos un volumen de celda diaria de 14,40 m³ que incluyen el material de cobertura. Si la altura de la celda diaria es de 1 m, y nuestra celda tiene un frente de descarga de 5 m, el avance transversal será de 2,88 m diarios.

8.3. PERSONAL, EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y EQUIPAMIENTO MECÁNICO ESTIMADOS PARA UN RELLENO SANITARIO

El personal requerido en una infraestructura para disposición final de residuos estará en función de la cantidad de residuos que se estima se dispondrán diariamente y de las actividades relacionadas al manejo de residuos que se desarrolle en cada infraestructura, por lo tanto, la definición de la cantidad de personal será específica para cada infraestructura.

Se debe de tener en cuenta que esta mano de obra ha de dedicarse exclusivamente a actividades de disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario.

El número de trabajadores y el equipamiento mecánico necesario para utilizar en la operación de un relleno sanitario está en función de la cantidad de residuos que se estima se dispondrán, horario de trabajo, condiciones climáticas, otras actividades a realizar, etc.

Cuadro N°15. Mano de obra: cálculo de requerimientos para R.S. manual

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	VALORES POR ACTIVIDAD		RENDIMIENTOS POR HORA		JORNADA (horas)	TOTAL (hombre/día)
	Cantidad	Unidad	Rendimiento	Unidad		
Movimiento de residuos	6,00	t/día	0,95	t/hombre	6	1,05
Compactación de residuos (superficie)	14,40	m²/día	20,00	m²/hombre	6	0,12
	2,40	m³/día	0,35	m³/hombre	6	1,14
Compactación del material de cobertura (superficie)	14,40	m²/día	20,00	m²/hombre	6	0,12
Total (redondeado a mayor)						3,00

Fuente: elaboración propia

Ejemplo para un relleno sanitario manual
Residuos a disponer t/día = 6,00
Densidad en celda de los residuos t/m³ = 0,50
Volumen de los residuos a disponer m³/día = 12,00
Volumen del material de cobertura (20% de volumen de residuos) m³/día = 2,40
Volumen de la celda diaria m³/día = 14,40
Altura diaria de la celda (residuos + material de cobertura) m = 1,00
Área de la celda diaria m²/día = 14,40

Para nuestro ejemplo necesitaríamos 3 hombres.
Se utilizan rendimientos bajo condiciones normales de trabajo a nivel internacional⁸.

8.3.2. Equipos de protección personal

El personal asignado a la infraestructura de disposición final de residuos deberá usar la indumentaria y los equipos de protección individual (EPP) que se indican en el siguiente cuadro:

Ilustración N°10. Equipos para usar como protección personal



8 Al respecto puede consultarse: Jaramillo, J., Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Lima, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente (Cepis) / Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2002.

Cuadro N°16. Mano de obra: indumentaria y equipos de protección a utilizar

Indumentaria / EPP	Responsable técnico	Inspector / Ayudante de campo	Operadores de maquinaria pesada
Camisa / polo	Sí	Sí	Sí
Pantalón	Sí	Sí	Sí
Gorro	Sí	Sí	Sí
Casco*	Sí	Sí	Sí
Calzado	Botas	Botas	Botas
Guantes	Cuero cromado	Cuero cromado	Cuero cromado
Mascarilla	Mascarilla con respirador de media cara de dos vías	Mascarilla con respirador de media cara de dos vías	Mascarilla con respirador de media cara de dos vías

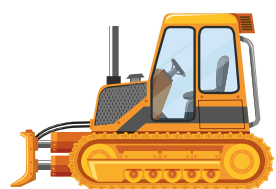
* El uso del casco será obligatorio cuando se estén realizando actividades que requieran protección ante posible caída de objetos, mientras no se presente esta necesidad se podrá usar solo gorra.
Elaboración propia.

8.3.3. Equipamiento mecánico para disposición final de residuos sólidos municipales

El equipamiento mecánico debe estar dimensionado en base a la capacidad de operación diaria del relleno sanitario, método de operación y las características del suelo local, en especial las canteras para extracción de material de cobertura.

8.3.3.1. Rellenos sanitarios Mecanizados (mayor de 50 t/día)

Dependiendo de la capacidad, necesidades y multifuncionalidad se puede combinar el uso de los siguientes equipos:



- **Tractor de orugas.** Es el equipo adecuado para acumular los residuos formando plataformas y para realizar compactación de residuos en talud, constituye también el equipo ideal para extender tierra de cobertura. Compactando residuos en talud (método de área) con tractor de orugas D6 o equivalente, se logra alcanzar densidades de hasta 0,80 t/m³. En rellenos sanitarios semimecanizados y mecanizados tiene mucha utilidad en trabajos de excavación en cantera para proveer tierra para la cobertura de los residuos a lo largo de la vida útil del relleno sanitario.



- **Compactador con rueda dentada (tipo pata de cabra).** Equipo diseñado para esparcir y compactar residuos en grandes superficies y con poco espesor. Está provisto de un lampón para la acumulación y extendido de los residuos, realiza también extendido de la tierra de cobertura. Se desempeña con mayor velocidad de operación y mayores grados de compactación que los tractores de orugas, debido a que concentra su peso en menor área de contacto con los residuos. La compactación que se logra por lo general alcanza valores por encima de 0,75 t/m³. Tiene limitaciones para trabajar en pendientes superiores a 3:1 (H:V) y no debe utilizarse en corte ni empuje de tierra en cantera. No es recomendable su empleo en rellenos sanitarios con poca cantidad de residuos ni en superficies pequeñas con residuos.



- **Cargador frontal sobre neumáticos.** Equipo diseñado para carguío y traslado de materiales. Es de uso necesario en rellenos sanitarios en los que el abastecimiento de tierra para la cobertura lo realizan camiones volquete. El cargador frontal opera en la cantera para abastecer de tierra a los volquetes.

Por la facilidad y la rapidez en su desplazamiento, normalmente se utiliza en las diversas actividades que se requieren en el relleno sanitario. Ante la inoperatividad del tractor de orugas, puede realizar acumulación de residuos, extendido de tierra de cobertura, abastecimiento de piedras u otros materiales hacia áreas puntuales a las que el volquete no accede. En casos extremos, incluso puede ser utilizado con limitaciones para uniformizar superficies de residuos.



- **Excavadora sobre orugas.** Equipo diseñado para excavación y carguío de tierra. Es muy útil en excavaciones por debajo del nivel de apoyo (excavación de celdas), en taludes pronunciados (previa habilitación de banquetas por donde se desplaza) y en la formación de taludes y diques. Es también muy utilizado en trabajos de excavación y carguío directamente hacia los camiones volquete. Su desempeño en corte es bueno en terrenos más consolidados donde el tractor de orugas tendría menores rendimientos.



- **Camión volquete.** Equipo utilizado para transporte de tierra u otros materiales.

- **Equipos para realizar trabajos periódicos de mantenimiento de las vías de acceso y de circulación interna.** Estos son: motoniveladora, rodillo liso vibratorio y cisterna con regadera para abastecimiento de agua. La periodicidad de su utilización estará en relación con las condiciones climáticas (precipitaciones pluviales) que caractericen a la zona donde se ubique el relleno sanitario.

Las tablas a continuación presentan las distintas alternativas de equipamiento y la periodicidad de su uso en función de los criterios mencionados.

Cuadro N°17. Equipamiento mecánico para un relleno sanitario: según tipo de relleno y volumen de residuos a disponer

Tipo de relleno sanitario	Cantidad de residuos sólidos	Maquinaria requerida
Manual	Hasta 6 t/día	Maquinaria pesada para eventual acopio de tierra para cobertura según demanda.
	Superior a 6 hasta 50 t/día	Equipo multiusos (por ejemplo minicargador o retroexcavadora), permanente cuando se dispone de más de 6 hasta 20 t/día, o tractor de orugas D4
	Superior a 50 hasta 200 t/día***	permanente cuando se dispone más de 20 t/día hasta 50 t/día. Cargador frontal sobre neumáticos 930 y camión. volquete** de tolva de 12 m³.
Semimecanizado	Superior a 200 hasta \ 600 t/día***	Tractor de oruga D6 o Compactador tipo pata de cabra. Cargador frontal sobre neumáticos 930. Camión volquete de tolva de 15 m³
		Tractor de oruga D6 y Compactador tipo pata de cabra. Cargador frontal sobre neumáticos 950. Camión volquete de tolva de 15 m³ 2 tractores de oruga D6. Cargador frontal sobre neumáticos 950. 2 camiones volquetes de tolva de 15 m³. Compactador, tipo pata de cabra****.
Mecanizado	Superior a 600 hasta 1000 t/día****	2 tractores de oruga D6. Cargador frontal sobre neumáticos 950. 2 camiones volquetes de tolva de 15 m³.
	Superior a 1000hasta 3000 t/día****	Compactador, tipo pata de cabra****.

* Uso periódico para acopio de tierra para cobertura.
** Uso periódico para carguío y suministro de tierra para cobertura.
*** De acuerdo con el volumen de residuos de que se dispone y los horarios de trabajo varía el número de horas-máquina utilizadas.
**** De acuerdo con el volumen de residuos de que se dispone y los horarios de trabajo varía el número de horas-máquina utilizadas.
***** Este tipo de equipo es recomendable en rellenos sanitarios de gran área y superficies horizontales, ya que no cuenta con la versatilidad de los tractores de oruga. Asimismo, se deberá justificar la necesidad de su uso, en caso de no considerarse necesario se requerirá 3 tractores de oruga D6.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°18. Equipamiento mecánico para un relleno sanitario: periodicidad de uso según tipo de relleno y volumen de residuos a disponer

Tipo de relleno sanitario	Tractor de orugas	Cargador frontal sobre neumáticos	Camión volquete de tolva de entre 6 y 14 m³	Equipo multiusos: Minicargador sobre neumáticos
Manual	No	No (uso eventual)	No	No
Semimecanizado	Sí* (uso permanente)	Sí** (uso periódico)	Sí (uso periódico)	Sí*** (uso permanente)
Mecanizado	Sí**** (uso permanente)	Sí** (uso permanente)	Sí (uso permanente)	No

* Potencia sugerida: 60 a 65 kW
** Potencia sugerida: 110 a 150 kW
*** Potencia sugerida: 40 a 45 kW
**** Potencia sugerida: 120 a 125 kW

Fuente: Elaboración propia.

9.

DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

DISEÑO DE CELDAS



En el diseño de un relleno sanitario, se denominan celdas a las superficies habilitadas para disponer residuos sólidos municipales. La habilitación de una celda comprende la conformación de la superficie base, los diques perimetrales, los sistemas para drenaje de lixiviados y gases repectivamente, así como todas las actividades relacionadas a la impermeabilización de la base y taludes.

Cuando la celda conformada es una fosa o trinchera, se considera la disposición final de residuos bajo el método de trinchera, y para las plataformas que se desarrollan en forma vertical a partir de la coronación de los diques perimetrales se denomina Metodo de Área.

9.1. CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE CELDAS

- La celda debe contar necesariamente con un dique un perimetral para confinamiento lateral.
- La celda debe proyectarse con el menor movimiento de tierra posible. Debe evitarse excavaciones significativas en suelos de difícil remoción. Lo ideal es que el volumen removido pase a formar la sección del dique perimetral.
- La base de la celda debe tener una pendiente mínima de 2 % de pendiente longitudinal. Dependiendo de las dimensiones de la celda y el relieve natural del terreno, podrían considerarse pendientes transversales hacia el eje o ejes longitudinales (pendiente mínima 1 %), esto con la finalidad de facilitar el diseño de la infraestructura para manejo de lixiviados.
- La base de la celda debe estar dimensionada de acuerdo a las plataformas que se proyecten sobre la cota de coronación del dique perimetral, es decir, del volumen de residuos que se dispondrán a lo largo de la vida útil del relleno sanitario.
- La celda debe diseñarse siempre relacionada con la ubicación de la poza para almacenamiento temporal de lixiviados y considerando el escurrimiento superficial de aguas de precipitación pluvial.

- En zonas geográficas con frecuentes precipitaciones pluviales, las celdas deben ser proyectadas considerando subdivisiones de la base para el adecuado manejo de agua de precipitación pluvial y lixiviados respectivamente. Evitar que el agua de precipitación pluvial que caen en superficies aun no ocupadas por residuos se conviertan en lixiviado.

Taludes para el diseño de trinchera(s) y/o plataforma(s)

Para el diseño de un relleno sanitario, los taludes de corte y de relleno deben considerar las inclinaciones recomendadas para la instalación de materiales impermeabilizantes como arcilla y materiales geosintéticos (geomembrana y geotextil):

- **Taludes de corte:** inclinación que adquiere el terreno natural luego de trabajos de movimiento de tierras.
- **Taludes de relleno:** inclinación que debe lograrse cuando la formación de terraplenes o diques se realiza con material de préstamo (transportado desde alguna cantera o área colindante), o con material procedente de cortes laterales.

Las tablas a continuación muestran las inclinaciones recomendadas para los taludes, en función de las características del suelo natural.

Cuadro N°19. Taludes de corte: inclinaciones recomendadas

Características del suelo natural	Talud de corte (H:V)	Observación
Roca fija	1:10	Máximo hasta h = 10 m
	1:8	Cuando h > 10 m
Roca suelta	1:6-1:4	Máximo hasta h = 5 m
	1:4-1:2	Cuando h = 5 a 10 m
	1:2	Cuando h > 10 m
Conglomerado/grava	1:1-1:3	Cuando h <= 5 m
	1:1	Cuando h = 5 a 10 m
Tierra limo arcillosa o arcilla	1:1	Máximo hasta 10 m
Arena	2:1	Máximo hasta 5 m

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2014.

Cuadro N°20. Taludes de relleno:
inclinaciones recomendadas

TIPO DE TERRENO	TALUD DE RELLENO (V:H)	OBSERVACIÓN
Grava, limo arenoso y arcilla	1: 1.50	Cuando h <= 5 m
	1: 1.75	Cuando h = 5 a 10 m
	1: 2.00	Cuando h > 10 m
	1: 2.00	Cuando h <= 5 m
Arena	1: 2.50	Cuando h = 5 a 10 m
	1: 2.50	Cuando h > 10 m
Enrocado	1: 1.00	Cuando h <= 5 m
	1: 1.25	Cuando h = 5 a 10 m
	1: 1.50	Cuando h > 10 m

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2014.

En las tablas presentadas se consignan inclinaciones para todo tipo de suelos, sin embargo, por los requisitos que deben cumplirse en la selección de sitios para rellenos sanitarios no habrá necesidad de realizar trabajos de movimiento de tierras en terrenos rocosos.

Los taludes de corte se definen de acuerdo con las características del suelo en cada zona, estos taludes son válidos para cortes, por ejemplo para habilitar trincheras o cortes que tengan que realizarse para habilitación de vías.

9.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE
RECOLECCIÓN Y RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS

La infraestructura para manejo de lixiviados en un relleno sanitario debe considerar los drenes longitudinales y transversales, la poza para almacenamiento temporal de lixiviados y otras instalaciones relacionadas al manejo de lixiviados.

Construcción de drenes, poza de almacenamiento y recirculación de lixiviados

La construcción de los drenes longitudinales y transversales para lixiviados y de la poza de almacenamiento debe seguir las formas, los tipos de sección y las dimensiones definidos en el proyecto.

Ilustración N° 11. Superficie base del relleno
sanitario con dren longitudinal y drenes transversales para lixiviados



Para el dimensionamiento hidráulico de las tuberías se recomienda utilizar la ecuación de Manning, recomendando el diseño al 50 % del diámetro de tubería: o 30 % para método semi-aeróbico.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

de:

Caudal (m³/s)

Rugosidad

Área (m²)

Radio hidráulico = área de sección húmeda / perímetro húmedo

Para la estimación de generación de caudales mensualizados de lixiviados se puede utilizar métodos como el de Blaney y Criddle, Suizo y Thornthwaite.

El almacenamiento temporal de lixiviados y posibilidad de recirculación u otra modalidad de tratamiento, debe ser evaluado bajo las consideraciones siguientes:

• **En rellenos sanitarios ubicados en zona de costa (exceptuando la región Tumbes)**

se debe considerar la recirculación de lixiviados directamente hacia la masa de residuos dispuestas con mayor antigüedad.

• **En rellenos sanitarios ubicados en zonas de sierra y selva**, donde se registran intensas precipitaciones pluviales, la posibilidad de recirculación es mínima debido a la permanente saturación de la masa de residuos.

En estos casos y previa evaluación de cada relleno sanitario podrá considerarse:

- La recirculación limitada a cortos periodos de tiempo.
- Habilitación de pozas con capacidad para almacenar volumen de lixiviado por un periodo mínimo de un año.
- Considerar posibilidad de trasladar el lixiviado almacenado hacia plantas de tratamiento

de aguas residuales más cercanas.

- Evaluar otra alternativa para el tratamiento del lixiviado.

• **Para los rellenos sanitarios con posibilidad** de realizar recirculación, se deben proyectar 02 unidades de bombeo, con capacidad que resulte del cálculo hidráulico en función a la mayor cota de bombeo (se sugiere presión de salida mínima de 2 m de columna de agua).

• **Las bombas no sumergibles** deben ser proyectadas para una operación con carga positiva principalmente en zonas superiores a los 2000 msnm.

Construcción de cerco de poza de almacenamiento

La poza para almacenamiento temporal de lixiviados constituye una infraestructura de alto riesgo, por lo que estará necesariamente provista de un cerco físico que impida y advierta de la restricción para acceder al área de la poza.

Las características del cerco estarán en función a las condiciones particulares que se presenten en cada infraestructura, siendo las alternativas las siguientes:

• **Cerco de palos** con alambre de púas.

• **Cerco metálico** (estructura de fierro galvanizado y malla metálica) con puerta de ingreso.

• **Cerco de material noble** (columnas de concreto armado y tabiquería de ladrillo) con puerta de ingreso.

• **Cerco de columnas y placas prefabricadas**, con puerta de ingreso, etc.

• **En áreas apartadas**, el cerco puede ser solo de advertencia, y puede ser habilitado con simples mallas de seguridad y/o llantas usadas.

Cualquiera que sea la característica del cerco a ser habilitado, este deberá contar necesariamente con un letrero con instrucciones de seguridad e indicación de la prohibición de acceso a personas no autorizadas y contar con elementos de seguridad para el operario de los equipos de bombeo, tales como: línea de vida, cuerdas y boya flotante.

9.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE RECOLECCIÓN Y RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS

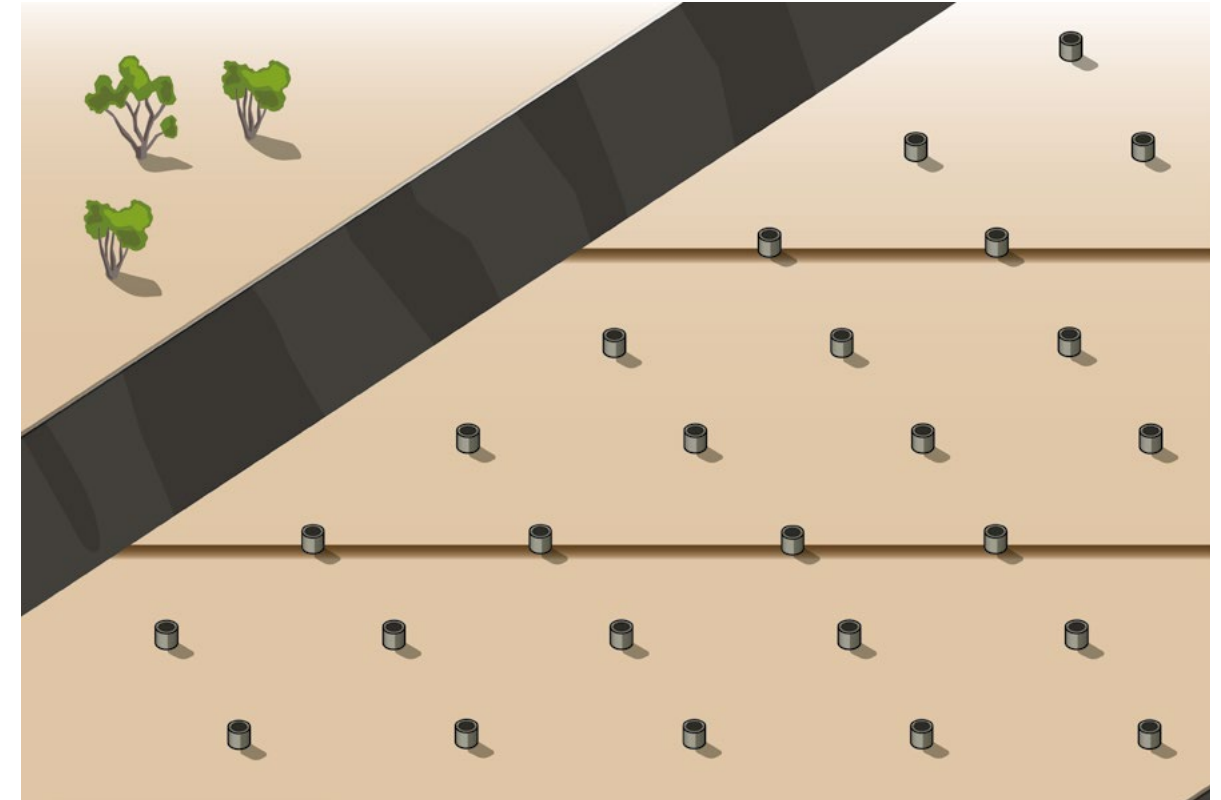
La construcción de los drenes verticales para gases debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se debe asignar mayor sección del dren vertical para relleno sanitario mecanizado por las mayores dimensiones en área y altura que se proyectan para la disposición final de residuos, respecto de rellenos sanitarios manuales y semimecanizados.
- Los drenes verticales se inician en la base del relleno sanitario y se prolongan verticalmente sin interrupciones hasta la cota final de los residuos proyectados.
- La sección de los drenes verticales se debe rellenar con piedras de tamaño mediano (5" a 10" de diámetro) para formar la sección filtrante.
- La sección filtrante de los drenes verticales cumple adecuadamente la función de concentrar los gases, ya que se conservan en el tiempo, a pesar de que en el corto plazo se producirá la desintegración de la malla metálica y los cilindros metálicos, que inicialmente constituyeron el soporte de la sección del dren vertical.
- Otra forma muy común de habilitar drenes verticales es utilizando fundas metálicas o de polietileno de alta densidad de 1" de espesor.

La sección de la funda se rellena con piedras de tamaño mediano (5" a 10" de diámetro) y, una vez rodeadas de residuos, la funda se iza mediante un cargador frontal (mantiene traslape de aproximadamente 0,40 m) y se rellena nuevamente con piedras medianas.

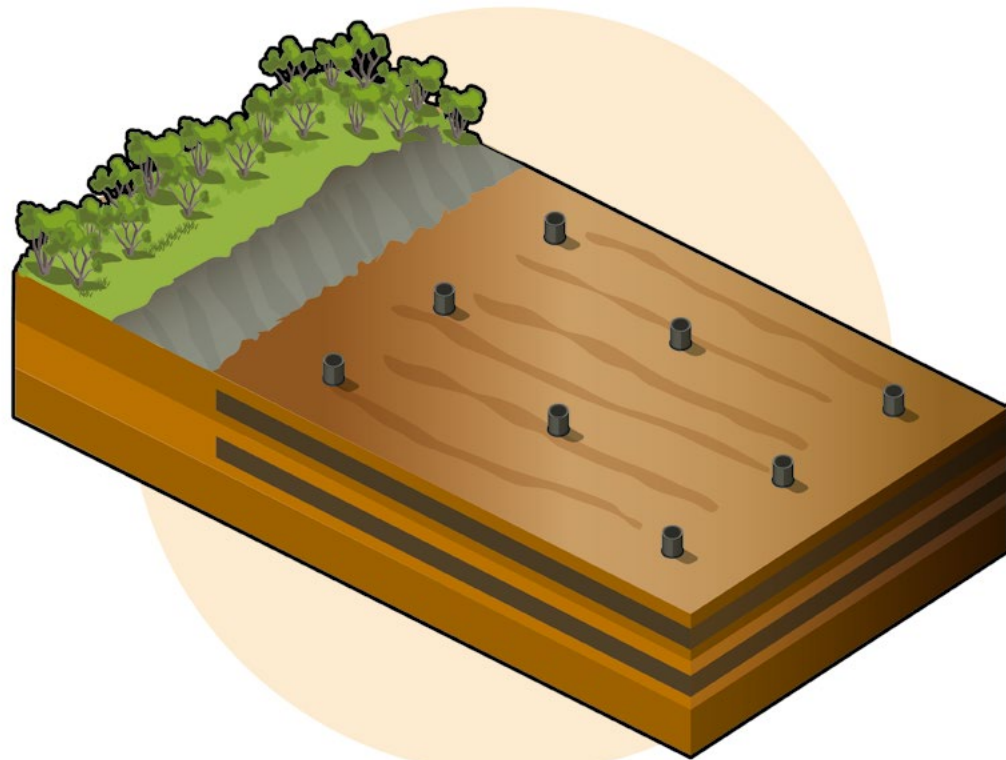
Esta modalidad de habilitación de drenes permite la continuidad de la sección granular debido a la adecuada compactación de los residuos en toda la superficie circundante

Ilustración N°12. Superficie base del relleno sanitario con dren longitudinal y drenes transversales para lixiviados



Cuando se acaba la habilitación de la superficie base de un relleno sanitario, en ella se aprecian los drenes longitudinales y transversales para lixiviados, la poza para almacenamiento temporal de lixiviados y los tramos iniciales de los drenes verticales para gases (ilustración 11).

Ilustración N°13. Superficie base con drenes longitudinales y transversales para lixiviados, poza para almacenamiento temporal de lixiviados y tramos iniciales de drenes verticales para gases



Para rellenos sanitarios de más de 200 t/día de disposición de residuos, se deben implementar el sistema de quema centralizada de gases a efectos de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero u otros métodos señalados en el artículo N° 114 del reglamento de la ley el Decreto Supremo N° 014-2017 para lo cual se usarán metodologías validadas internacionalmente (balance de masas, balance de gases, generación de lixiviados, balance hídrico, etc.).

9.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

Canales perimétricos para captar y evacuar aguas de escurrimiento superficial

En zonas con intensa precipitación pluvial, relieve accidentado y suelo de fácil erosión, como en sierra y en selva, la construcción de los canales debe adoptar consideraciones técnicas establecidas en el diseño del proyecto, y otras consideraciones adicionales como:

- El relleno sanitario debe considerar la subdivisión de la superficie base, formando superficies independientes que posibiliten la ocupación gradual del relleno sanitario desde el punto de vista de la descarga de los residuos y del manejo de lixiviados. Este planteamiento evitará que el agua de precipitaciones pluviales que caigan directamente en la superficie impermeabilizada no ocupada por residuos afecte innecesariamente la superficie en operación.
- La ocupación de la superficie habilitada debe considerar la concentración de los residuos que se disponen en la menor superficie y con la mayor altura posibles, para considerar como contingencia realizar la cobertura de la superficie de operación con mantas plastificadas livianas ante la inminente ocurrencia de una intensa precipitación pluvial.
- Para evitar que la poza impermeabilizada para almacenamiento temporal de lixiviados se llene o incremente su volumen con agua de precipitación pluvial, la poza deberá contar con una cobertura liviana, de madera u otro material, sobre la que se instalarán mantas plastificadas, de forma que puedan desplegarse en temporada de ausencia de precipitaciones pluviales para posibilitar la exposición al sol y la consiguiente evaporación.
- La poza impermeabilizada para almacenamiento temporal de lixiviados estará protegida a nivel del suelo con un canal o un sardinel elevado para evitar que agua de escurrimiento superficial ingrese a la poza.
- La sección de los canales deberá ser revestida con suelo - cemento, mampostería de piedra, concreto o geomembrana, con la finalidad de evitar la erosión.
- Las vías de circulación interna estarán provistas de cunetas laterales para evitar que el escurrimiento de agua superficial dañen la base y la superficie de rodadura.

Dimensionamiento del drenaje Pluvial

- Los canales para drenaje pluvial al interior del relleno sanitario, deben ser proyectados con registros máximos de precipitación pluvial para periodos de 24 horas y para periodos de retorno de 50 años.
- Los canales perimetrales para drenaje pluvial al exterior del relleno sanitario, deben ser proyectados con registros máximos de precipitación pluvial para periodos de 24 horas y para periodos de retorno recomendables de 100 años.

Para la estimación del caudal de diseño se recomienda utilizar la ecuación de la fórmula racional:

$$Q= \frac{C I A}{360}$$

Donde:

Q: Caudal máximo 9m³/s).

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad de lluvia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas I-D-F) (mm/h).

A: Área de la cuenca (HA).

También se puede utilizar Método del número de curva (SCS):

$$Q= \frac{(P-0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Donde:

Q: Escorrentía (mm).

P: Cantidad de lluvia (mm).

S es la diferencia máxima potencial entre la lluvia caída y la escorrentía generada.

Para el dimensionamiento hidráulico de las tuberías se recomienda utilizar la ecuación de Manning, recomendando el diseño al 75 % del diámetro de tubería:

$$Q= \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

de:

Caudal (m³/s).

Rugosidad.

Área (m²).

Radio hidráulico = área de sección húmeda / perímetro húmedo.

Descarga de flujo al terreno

Si en la evaluación para el manejo de aguas de escurrimiento pluvial, se estima posible flujo con velocidades erosivas, será recomendable proyectar estructuras disipadoras de energía hidráulica (disipadoras tipo impacto).

9.5. OTROS COMPONENTES DEL EXPEDIENTE TÉCNICO



9.5.1. Especificaciones técnicas

Este capítulo debe contener el desarrollo de las especificaciones técnicas del proyecto a elaborarse según las consideraciones generales siguientes:

Consideraciones generales

Las especificaciones técnicas constituyen información complementaria a los proyectos de ingeniería, por lo tanto, los profesionales encargados de la elaboración deben tener la experiencia suficiente en cada una de las especialidades. Las especificaciones técnicas describen el proceso constructivo por cada partida del presupuesto considerando materiales, mano de obra, herramientas y equipos, además considera necesariamente la unidad de medida y forma de pago.

Durante la etapa de construcción, los responsables de esta deben seguir las especificaciones y cumplirlas estrictamente, estando la supervisión de la obra facultada para rechazar los trabajos que se hayan realizado sin cumplirlas.

En el caso de existir divergencias entre los documentos del proyecto, los planos tienen validez sobre las especificaciones técnicas, los metrados y los presupuestos; las especificaciones técnicas tienen validez sobre los metrados y los presupuestos; y los metrados tienen validez sobre los presupuestos.

Consideraciones particulares

Se deben tomar en cuenta todas las medidas de seguridad con el fin de evitar cualquier accidente tanto del personal de la obra como de cualquier otro ajeno a ella, así como la seguridad de los materiales y los equipos de obra.

Todos los trabajos y las actividades que implique la ejecución de la obra deberán realizarse teniendo en cuenta no dañar las estructuras y/o las instalaciones ajenas al proyecto.

Compatibilización y complemento

El contenido técnico en el desarrollo de las especificaciones técnicas del proyecto debe ser compatible

con los siguientes documentos:

- **Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).**
- **Manuales de Normas del American Concrete Institute (ACI).**
- **Manuales de Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).**
- **Especificaciones de fabricantes de materiales diversos, de ser el caso.**

9.5.2. Metrados

Este capítulo contiene el detalle de los metrados de cada una de las partidas del proyecto, conforme a los planos y a las especificaciones técnicas.

Para su elaboración debe realizarse un estudio integral de estos elementos referenciales y resulta muy importante interrelacionar los planos de arquitectura, las estructuras y las instalaciones sanitarias y eléctricas. En el caso particular de una infraestructura para disposición final de residuos sólidos se debe igualmente interrelacionar los planos de movimiento de tierras, formación de diques, afirmado y uniformización de superficies, provisión e instalación de materiales geosintéticos (geomembrana, geotextil), etc. Además de formación de capas de tierra o grava seleccionada, infraestructura para manejo de lixiviados y gases, y habilitación de vías de acceso y circulación interna.

Durante el estudio del proyecto será necesario reunir las actividades en grupos bien definidos según sus características, su similitud con otras tareas y el momento de su ejecución. Estos son criterios determinados por el experto que sirven para definir las partidas.

9.5.3. Presupuesto de obra (valor referencial)

Este capítulo presenta el presupuesto de obra proyectado, según los criterios que a continuación se mencionan.

Consideraciones generales

Todo presupuesto tiene cuatro características fundamentales: es aproximado, es singular, es temporal y es una herramienta de control. Definamos brevemente esas características generales en referencia al presupuesto de construcción:

- **Aproximado.** Sus previsiones se acercan más o menos al costo real de la obra, dependiendo de la habilidad (uso correcto de técnicas presupuestales), el criterio (visualización correcta del desarrollo de una obra) y experiencia del especialista en costos y presupuesto.
- **Singular.** Cada obra es singular por sus condiciones de localización, clima y medio ambiente, calidad de mano de obra, experiencia y capacidad del constructor; por ello, también requiere un presupuesto propio, así como cada empresa o persona tiene su forma particular de presupuestar.
- **Temporal.** Los costos que se establecen en un presupuesto solo son válidos mientras tengan vigencia los precios que sirvieron de base para su elaboración. Los principales factores para su variación son: incremento del costo de materiales y servicios; utilización de nuevos productos o técnicas; introducción de mejores equipos, herramientas, materiales o tecnología, etc.; descuentos por volumen; reducción en la oferta de insumos por situaciones especiales o cambios estacionales del mercado.
- **Herramienta de control.** Permite correlacionar la ejecución financiera con el avance físico y la comparación de lo estimado con el costo real y, con ello, detectar y corregir fallas y prevenir causales de variación por ajuste en alcances o cambios en actividades. Por esta razón, no debe concebirse como un documento estático cuya función concluye una vez elaborado, sino que se debe estructurar como un instrumento dinámico que, además de confiable y preciso, sea fácilmente controlable para permitir su actualización sistemática y evitar que se convierta en obsoleto y de poca utilidad práctica.

Notas: Es preciso indicar, que si bien el presupuesto se estima para la vida útil de la infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales, considerando las proyecciones (reinversiones) y la operación y mantenimiento para fines de la inversión, únicamente se considerará el presupuesto correspondiente a los costos de inversión de la habilitación de las celdas para los primeros 5 años del relleno sanitario.

Criterios y procedimiento de elaboración

El presupuesto se elabora con base en los planos y en las especificaciones técnicas del proyecto, además de otras consideraciones de ejecución, a partir de lo cual se definen los trabajos a ejecutar, se formula el análisis de precios unitarios de los diversos ítems y se establecen los valores parciales

de las partidas en la que se agrupan estos para así obtener el valor total de la obra.

La información básica necesaria es:

- **Cálculo de metrados.** El metrado es un conjunto ordenado de datos obtenidos mediante la medición y la lectura de los planos de una infraestructura a construir. Dicha lectura es una interpretación de las dimensiones del diseño realizado en los planos y se ejecuta con la ayuda de un escalímetro y/o de programas ad hoc, como AutoCAD. El metrado se realiza con el objetivo de cuantificar los trabajos a realizar y así calcular su costo.
- **Establecimiento de partidas.** Una partida es un conjunto de trabajos agrupados de acuerdo con determinados criterios con el fin de realizar la medición, la programación y la evaluación, y estimar los costos. El orden para ejecutar estos trabajos es de primordial importancia porque define la secuencia en que se tomarán las medidas de los planos.
- **Lista de precios unitarios.** La lista de precios básicos de materiales, equipos y costos de mano de obra utilizados, sustentados en cotizaciones de proveedores.

Con esta información se elabora el análisis de precios unitarios, el cual se realiza para cada una de las partidas consideradas en el metrado. Consiste en evaluar proporcionalmente todos los componentes (mano de obra, equipos, materiales y herramientas) que intervendrán para la ejecución de cada una de las partidas. Incluye información sobre cantidades y costos de materiales, equipos, transporte, desperdicios, rendimientos, costos de mano de obra, etc.

El análisis de precios unitarios lo deben efectuar personas con experiencia en trabajos de construcción civil, ya que se deben considerar necesariamente rendimientos que, a pesar de estar casi estandarizados para actividades convencionales, no necesariamente lo están para trabajos de habilitación de rellenos sanitarios. Los análisis de precios unitarios arrojan como resultado el precio unitario para cada una de las partidas del metrado.

Por lo tanto, el presupuesto es el resultado de multiplicar el metrado por el precio unitario de cada partida, obteniéndose así el costo directo para cada partida.

Los costos de obra se presentan divididos por partidas, de acuerdo con el sistema de construcción, la modalidad de contratación, la programación de avance de obra, etc., lo que se denomina presupuesto por partidas

Las Fórmulas Polinómicas son la representación matemática de la estructura de costos de un presupuesto y está constituida por la sumatoria de términos, denominados monomios, que consideran la participación o incidencia de los principales recursos (mano de obra, materiales, equipo y gastos generales) dentro del costo o presupuesto total de la obra. Se elabora a partir del presupuesto que constituye el valor referencial. La fórmula polinómica se aplica para calcular el efecto de la variación de precios de algunos de los insumos involucrados en la ejecución de la obra, siendo obligatorio para aquellos presupuestos expresados en moneda nacional.

La fórmula polinómica tiene por finalidad actualizar el valor de los componentes del presupuesto de obra durante su ejecución (valorización), para ello utiliza los Índices Unificados de Precios de la Construcción que publica el Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. Para su formulación y cálculo debe seguirse los lineamientos del Decreto Supremo N° 011-79-VC y normas complementarias y modificatorias.

El número máximo de fórmulas Polinómicas por obra es de 4 y como mínimo 1. En caso que en un contrato existan obras de distinta naturaleza podrá emplearse hasta un máximo de 8 fórmulas Polinómicas.

Componentes

El presupuesto se presenta con las cantidades y los precios totales de sus componentes, divididos en costos directos e indirectos. Los primeros corresponden a materiales, mano de obra, subcontratos, equipos y gastos generales. Los segundos, a gastos administrativos y generales.

Se debe indicar la fecha en la que se formula el presupuesto y, en caso de haber proyecciones de costos en el tiempo, se debe indicar claramente.

Por la particularidad de un proyecto de infraestructura para disposición final de residuos sólidos, los presupuestos se deben elaborar y presentar necesariamente dividido por fases o etapas, ya que se trata de actividades que inevitablemente se desarrollaran en forma desfasada, por lo tanto la subdivisión de los presupuestos debe considerar como mínimo lo siguiente:

- Habilitación y/o construcción.
- Operación y mantenimiento.

- Cierre.

Recordar: El presupuesto se estimara para la vida útil de la infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales considerando las proyecciones (reinversiones), la operación y mantenimiento, sin embargo la inversión, únicamente considera el presupuesto correspondiente a los costos de habilitación de las celdas para los 5 primeros años del relleno sanitario.

Asimismo, para el desarrollo del presupuesto se podrá usar el programa S10 u otro sobre presupuestos de obra civil, teniéndose que adjuntar en el expediente:

- Presupuesto.
- Análisis de precios unitarios.
- Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo.
- Fórmula Polinómica.

Nota: También se deberá adjuntar el Desagregado de Gastos Generales y el presupuesto analítico de Supervisión de Obra, y las cotizaciones que justifiquen el costo de la mano de obra, los equipos, los materiales y las herramientas (como referencia se podrá utilizar también revista actualizada especializada en costos de construcción).

9.5.4. Cronograma valorizado de obra

Este capítulo debe presentar el proyecto desplegado en el tiempo, tanto con fines de ejecución como de financiación. Para ello debe mostrar la agrupación de todas las partidas consideradas para la ejecución del proyecto. En el calendario figuran las partidas principales de las etapas de la infraestructura de disposición final, con el costo total de cada partida.

La información mostrada en diagramas de Gantt o de técnicas de revisión y evaluación de proyectos (PERT), debe incluir la información calendarizada que demandará la ejecución de las actividades agrupadas en cada partida, acompañadas del porcentaje de avance y el monto (en soles), que deberá desembolsarse en periodos de tiempo determinados (días, semanas, meses).

OBRA: Infraestructura de disposición final y planta de tratamiento de residuos sólidos municipales
COSTO: S/. 3 682 184,42

FECHA: Marzo 2018
PLAZO: 5 meses

ITEM	DESCRIPCIÓN	PREA	MES 01 %	MES 02 %	MES 03 %	MES 04 %	MES 05 %
01	Obras provisionales y seguridad ocupacional	208 034,45	113 870,79 100,00 %				
01.01	Obras provisionales	113 870,79	27 271,14 100,00 %				
01.02	Seguridad y salud ocupacional - calidad ambiental	27 271,14	66 892,52 100,00 %				
01.03	Fletes	66 892,52					
02	Área operativa	1 943 112,10	573 647,02 31,67 %	603 839,97 33,33 %	634 030,92 35,00 %		
02.01	Plataformado	1 811 516,90			33304,62727 90,91 %		
02.02	Construcción de drenes lixviados	36 653,09			19 519,29 93,75 %		
02.03	Canal pluvial	20 820,58					
02.04	Construcción de cercos de cercos de seguridad	37 734,74					
02.05	Construcción de chimeneas Hprom= 3 m (ducto de empedrado + tubería y sombrero)	1 094,31					
02.06	Construcción de poza para lixviados	36 863,67					
02.07	Construcción de poco de monitoreo	3 446,81					
03	Vía de Acceso interior	229 615,49					
03.01	Obras preliminares	627,80	627,80 100,00 %				
03.02	Movimiento de tierras	178 345,98	98 090,29 55,00 %	80 255,69 45,00 %			
03.03	Pavimento	17 410,02		17 410,02 100,00 %			
03.04	Obras de arte y drenaje	32 292,59		32 292,59 100,00 %			
03.05	Señalización	939,10		939,10 100,00 %			
04	Edificaciones	286 327,92					
04.01	Bloque administrativo	101 949,10		19 605,60 19,23 %	82 343,50 80,77 %		
04.02	Caseta reaprovechamiento-residuos orgánicos-inorgánicos	73 598,82			5 661,45 7,69 %	62 275,92 84,62 %	
04.03	Tanque elevado	2 972,04			1 063,57 25,00 %	3 190,70 75,00 %	62 275,92 84,62 %
04.04	Biodigestor rotoplast 1300 autolimpiable	4 254,26				8 787,03 100,00 %	3 190,70 75,00 %
04.05	Pozo de percolación	8 787,03					8 787,03 100,00 %
04.06	Caseta de grupo electrógeno	74 980,18					
04.07	Instalaciones exteriores	19 806,49					
Costo directo		S/. 2 667 089,96	S/. 880 399,56	S/. 754 341 96	S/. 880 399,56	S/. 130 497,13	S/.125 927,96
Gastos generales (10 %)		S/. 266 709,00	S/.88 039,96	S/.75 343,20	S/.88 039,96	S/.13 049,71	S/.12 592,80
Utilidad (7 %)		S/. 186 696,00	S/. 186 696,00	S/. 186 696,00	S/. 186 696,00	S/. 9 134,80	S/. 8 814,96
Subtotal		S/. 3 120 495,26	S/. 3 120 495,26	S/. 3 120 495,26	S/. 3 120 495,26	S/. 152 681,64	S/. 147 335,71
IGV (18 %)		S/. 561 689,15	S/. 561 689,15	S/. 561 689,15	S/. 561 689,15	S/. 27 482,70	S/. 26 520,43
Total presupuesto		S/. 3 682 184,41	S/. 3 682 184,41	S/. 3 682 184,41	S/. 3 682 184,41	S/. 180 164,34	S/. 173 856,14
Porcentaje de avance de obra							
Porcentaje acumulado de							
Avance de obra							

9.5.5. Principales Planos del proyecto de ingeniería

Es la representación gráfica mediante dibujos de la obra a ejecutar, sus dimensiones, distribución y los componentes que lo integran. Constituyen los documentos que reflejan de manera exacta cada uno de los componentes físicos de la obra proyectada, pueden ser en dos o tres dimensiones. A continuación, se detalla los planos que se deben elaborar debiéndose detallar arquitectura, estructura e instalaciones eléctricas y sanitarias, etc. según corresponda:

Plano de ubicación

- Debe elaborarse en proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)⁹, indicando el Datum World Geodetic System (WGS)¹⁰ 84 y zona según corresponda.
- La ubicación de la poligonal perimétrica del terreno destinado a la infraestructura para disposición final de residuos debe estar graficada en la carta nacional con información de coordenadas y norte magnético.
- Las escalas recomendadas pueden variar de 1:5000 a 1:50000, dependiendo de la extensión que abarca la poligonal perimétrica. En la misma lámina puede indicarse además la zona a escala mayor, de forma que permita relacionar el área del proyecto con el ámbito provincial o regional.

Plano perimétrico

- Debe estar elaborado en proyección UTM, indicando el Datum WGS 84 y zona según corresponda.
- Debe contener, graficada, la poligonal con identificación de los vértices y la longitud de los lados de la poligonal.
- Debe incluir el cuadro de datos técnicos con vértices, lados, longitud de lados, ángulos horizontales en los vértices y coordenadas norte y este.

⁹ Sistema de coordenadas de la proyección cartográfica Mercator normal que, en vez de hacerse tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano.

¹⁰ Sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas.

- Debe precisar la superficie que encierra la poligonal y la longitud de la poligonal perimétrica.
- La escala podrá variar de acuerdo con la extensión de terreno que encierra la poligonal perimétrica.

Plano topográfico

- El levantamiento topográfico se deberá iniciar a partir de puntos de control geodésico previamente materializados en lugares seguros de la zona. Se deberán habilitar como mínimo 2 puntos de control geodésico, número que puede ser necesario incrementar dependiendo de la extensión y del relieve del terreno.
- Orientación del norte magnético.
- Graficado en proyección UTM y Datum WGS 84.
- Curvas de nivel con equidistancia de 1 m (zonas de relieve ondulado y accidentado) y de 0,5 m (zonas llanas).
- Debe figurar la poligonal perimétrica y toda infraestructura existente (trochas, senderos y detalles importantes que se observen en el lugar).

Plano de distribución general de la infraestructura

Para poder apreciar toda la infraestructura planteada puede de ser necesario obviar las curvas de nivel. Deben figurar:

- Poligonal perimétrica con identificación de vértices y cuadro técnico de datos de vértices, longitud de lados, ángulos horizontales de los vértices y coordenadas norte y este. A coordenadas UTM Datum WGS 84 e indicación de norte magnético.
- Ubicación de todos los componentes de la infraestructura administrativa y de servicios, incluyendo infraestructura para tratamiento de aguas residuales domésticas y balanza y caseta de vigilancia en ingreso a la infraestructura.

- Ubicación del relleno sanitario proyectado con todos sus componentes, incluyendo área reservada para futuras etapas.
- Vías de circulación internas.
- Áreas reservadas para canteras y zonas para acumulación de materiales excedentes.
- Ubicación de cerco y posible zona para trabajos de arborización (siempre y cuando por condiciones de la zona se considere parte del proyecto).
- Ubicación de infraestructura para almacenamiento de agua, redes de distribución y riego por goteo.

Planos de infraestructura administrativa y de servicios

- **Planos a escala 1:50 de todos los componentes:** planta, elevación, cortes y detalles.
- **Planos de zapatas y cimentaciones:** planta, elevación, cortes y detalles.
- **Planos a escalas especificadas de estructuras de todos los componentes que se requieran:** planta, elevación, cortes y detalles.
- **Planos de instalaciones sanitarias interiores:** agua y desagüe (planta y detalles).
- **Planos de instalaciones eléctricas con cuadro de cargas y diagramas unifilares:** incluye red de alumbrado exterior.

Planos de infraestructura para abastecimiento de agua

- **Plano de planta** con ubicación de tanques apoyados o elevados, y red de distribución.
- **Planos con cortes y elevaciones:** detalles de los tanques apoyados o elevados y red de distribución.

- **Plano de cimentaciones, estructuras, losa de apoyo, etc.,** de tanques apoyados o elevados.
- **Plano de instalaciones eléctricas y caseta para bomba,** si el proyecto considera bombeo de agua hacia tanque elevado.

Planos de infraestructura para tratamiento de aguas residuales domésticas

- **Plano de planta con ubicación de componentes** y conexión a la red de desagüe.
- **Plano de cimentaciones:** planta, elevación, cortes y detalles.
- **Plano de estructuras, cortes y detalles.**

Planos de instalaciones eléctricas en infraestructura administrativa y de servicios

- **Planos con instalaciones eléctricas interiores** en cada uno de los ambientes que integran la infraestructura.
- **Planos con instalaciones eléctricas** para alumbrado exterior.
- **Planos con instalaciones eléctricas para cargas especiales** (motobombas, compresoras, etc.).
- **Plano con información de cálculo de cargas y demanda máxima.**
- **Plano con información de diagrama unifilar de circuitos eléctricos.**

Planos de celdas y plataformas

En estos planos se muestra la formación de la base del relleno sanitario luego de los trabajos de habilitación.

- **Plano de planta:** muestra la base del relleno sanitario con taludes y diques proyectados.

- **Plano de elevación:** muestra el perfil longitudinal en el eje del relleno sanitario proyectado (las formas de los diques en los extremos y la pendiente longitudinal en el eje de la base). La alineación del perfil longitudinal siempre será de la zona de menor cota a la de mayor cota¹¹. El perfil debe indicar la pendiente en sentido longitudinal, relacionado con los drenes para lixiviados.

- **Plano de perfiles transversales:** muestra la configuración de la base del relleno sanitario (fondo y diques laterales) en cada una de las progresivas que indica el estacado del perfil longitudinal. Los perfiles transversales deben indicar las pendientes transversales proyectadas para la base, relacionados con los drenes transversales para lixiviados.

Planos de celdas y plataformas formadas

En estos planos se muestra la formación de la base del relleno sanitario luego de los trabajos de habilitación, con la superficie que alcanzarán los residuos dispuestos proyectados hasta la culminación de la vida útil.

- **Plano de perfil longitudinal:** muestra el perfil longitudinal de la base del relleno sanitario en su eje, con las sucesivas plataformas (taludes y banquetas intermedias) proyectadas para la disposición final de residuos hasta la culminación de la vida útil.

- **Plano de secciones transversales:** muestra los perfiles transversales de la base del relleno sanitario (fondo y diques laterales) en cada una de las progresivas que indica el estacado del perfil longitudinal. Con las sucesivas plataformas (taludes y banquetas intermedias) proyectadas para la disposición final de residuos hasta la culminación de su vida útil. En el extremo derecho de cada sección transversal se consignará el área de relleno, definida por la figura geométrica formada por la base del relleno sanitario y la proyección de la superficie que alcanzarán los residuos dispuestos. En la última lámina de las secciones transversales se consignará el metrado del relleno proyectado hasta la culminación de la vida útil.

¹¹ Para ilustración correcta de la elevación de la base del relleno sanitario respecto de la superficie original en los extremos, el eje para el perfil longitudinal debe iniciarse aproximadamente 100 m aguas abajo del borde inferior y terminar aproximadamente 100 m aguas arriba del borde superior. El eje para el perfil longitudinal consignará progresivas cada 10 m y, necesariamente, progresivas intermedias en todos los puntos en los que haya cambio de pendientes (pie de taludes, bordes de coronación de diques, etc.).

Planos de impermeabilización de la base

Muestra a escala conveniente las secciones típicas y los detalles de los cortes longitudinales y transversales de la base, los taludes y el dique que forman la superficie base del relleno sanitario con la habilitación de la impermeabilización propuesta.

- **En secciones típicas y detalles** deben estar indicados los espesores de las capas de tierra que se habilitan como apoyo para la geomembrana y la capa de tierra como protección superior para los materiales geosintéticos (geomembrana y geotextil no tejido). Se deben indicar también las especificaciones de los materiales a utilizar.

- **Deben figurar las zanjas perimetrales** para anclaje de materiales geosintéticos con información de sus dimensiones, mostrando el detalle de anclaje de geomembrana y geotextil, y el nivel que alcanzará el relleno con tierra de confinamiento.

Planos de infraestructura para manejo de lixiviados

- **Plano de planta con ubicación** de los drenes longitudinales y transversales proyectados en la base del relleno sanitario, conexión a poza para almacenamiento temporal y drenes de conexión.

- **Plano de cortes y detalles de los drenes longitudinales y transversales**, con indicación de formas y dimensiones.

- **Plano de planta de poza para almacenamiento temporal de lixiviados** que muestra cortes longitudinal y transversal de superficie base y de taludes de la poza con habilitación de la impermeabilización propuesta. Figuran las zanjas perimetrales para anclaje de materiales geosintéticos, con sus dimensiones, detalles del anclaje de geomembrana y geotextil, y nivel del relleno con tierra de confinamiento.

- **Plano de planta y elevación de estructura liviana** para cobertura de poza para almacenamiento temporal de lixiviados¹², muestra cortes en elevación que permiten ver en

¹² Esta instalación tiene el objetivo de evitar que el agua de las precipitaciones pluviales llene la poza y debe considerarse en zonas en las cuales estas son muy intensas.

detalle la forma de la estructura y la fijación de puntos de apoyo en los bordes de la poza, las formas y las dimensiones de los dados de concreto con los que se anclarán a la superficie. Se deberá consignar las especificaciones de los materiales a ser utilizados.

Planos de infraestructura para manejo de gases

- **Plano de planta** que muestra la ubicación de los drenes verticales para gases.
- **Plano de sección transversal típica** que muestra la prolongación vertical de los drenes hasta la cota proyectada para la disposición final de residuos y detalles en planta y elevación del dren vertical. Entre estos detalles deben estar los de: extremo superior del dren vertical con instalación de tubería de salida y quemador y sellado final en área colindante al extremo superior del dren vertical. Se indicará, además, las especificaciones técnicas de los materiales con los que serán habilitados.

Planos de vía de acceso y vías de circulación internas

- **Plano de planta de la franja de terreno** (mínimo 30 m a cada lado del eje) con ubicación en la parte central de la sección de la vía proyectada.
- **Plano de planta de la vía proyectada y perfil longitudinal** (normalmente se consigna en una lámina el tramo de 1 km de vía). La planta se referirá a coordenadas UTM y al Datum WGS 84 con grilla de coordenadas e indicación del norte magnético. El eje de la vía estará estacado en tangentes y tramos en curva, incluyendo progresivas de los puntos de tangencia, al inicio (PC) y al final (PT) de la curva. En este plano se consignará también el cuadro de elementos de curva para el kilómetro.

El perfil longitudinal mostrará información del relieve del terreno, subrasante proyectada, con datos de estacado, longitud y pendiente de cada tramo de subrasante, cota de terreno, cota de subrasante, altura de corte o relleno en cada progresiva, y alineamiento de la vía.

Cuadro N°21. Escalas para perfil longitudinal

PLANOS	ESCALA
Planta	1: 2000
Perfil longitudinal	Escala horizontal: 1:2000 Escala vertical: 1:200

- **Plano de secciones transversales que muestra el perfil transversal en cada progresiva**, consignando relieve del terreno de 30 m a cada lado del eje. Subrasante proyectada, incluyendo bermas en ambos bordes de la superficie de rodadura en tramos en tangente, y bermas sobreebanco adosado al borde interior de la superficie de rodadura (tramos en curva), y taludes de corte o relleno según corresponda. La sección transversal es la figura geométrica cerrada que se forma en cada progresiva de la vía, que define una determinada área encerrada por el perfil transversal, subrasante y taludes. Las secciones transversales pueden formar las áreas siguientes:

Cuadro N°22. Escalas para secciones transversales

SECCIÓN TRANSVERSAL	ÁREA FORMADA	ESCALA PARA GRAFICAR
Sección en corte cerrado	Área de corte	1:200
Sección a media ladera	Área de corte Área de relleno	1:200
Sección en relleno	Área de relleno	1:200

El gráfico de las secciones transversales debe consignar para cada progresiva: en el eje, progresiva, cota de terreno y cota de subrasante; en el lado derecho de la sección, áreas de corte y/o área de relleno, según corresponda; y en la última lámina de las secciones transversales deberá incluirse el cuadro de metrado de explanaciones, el cual contiene información de áreas y volúmenes de corte y relleno resultantes en todo el tramo de la vía proyectada.

Plano de cerco perimetral, tranquera y letreros

Lo normal es que el cerco perimétrico coincida con la poligonal que delimita el terreno destinado para la infraestructura, por lo tanto, la ubicación del cerco perimétrico coincidirá con la poligonal perimétrica y con la información de longitud total. El plano de planta muestra ubicación de cerco perimétrico, portón, caseta de vigilancia en ingreso al terreno, letrero de identificación de la infraestructura y letreros de advertencia (acceso restringido) en partes críticas del lindero. También ofrece detalles del cerco perimétrico en planta y elevación, detalle de portón o tranquera. Al igual que todos los planos que muestren toda la superficie del terreno, el plano con cerco perimetral estará graficado a coordenadas UTM y Datum WGS 84 e indicación del norte magnético.

Plano de ubicación de canteras para material de cobertura

Muestra la ubicación de canteras¹³. Deberán estar delimitadas mediante poligonal cerrada a coordenadas UTM y Datum WGS 84, cuadro técnico con vértices, longitud de lados, ángulos horizontales en los vértices y coordenadas norte y este.

En el plano deberá figurar la superficie de la cantera y la potencia (espesor) del material granular posible de ser extraído, y el volumen de tierra posible de ser extraída. El sustento del espesor de material deberá ser mediante estudio geofísico de resistividad eléctrica (SEV) y complementado con calicatas de por lo menos 3 m de profundidad.

Planos de infraestructura para manejo de aguas de escurrimiento pluvial

La infraestructura para control de escurrimiento pluvial debe necesariamente proyectarse en el plano de distribución general con curvas de nivel. Además, deben elaborarse:

- **Plano de planta de distribución general de la infraestructura:** con ubicación de la infraestructura para control de agua de escurrimiento pluvial que muestra la dirección de escurrimiento y las pendientes en tramos críticos de las zanjas proyectadas.
- **Plano con cortes y detalles que muestra las secciones de las zanjas habilitadas:** con detalle de revestimiento de la base y taludes (siempre y cuando las pendientes y el tipo de suelo lo justifique). En este plano deberá figurar (a escala adecuada) el tipo de revestimiento,

¹³ Lo ideal es que la(s) cantera (s) para material a ser utilizado en cobertura de residuos estén ubicadas dentro de los linderos del terreno destinado a la infraestructura. Si la extensión del terreno y las características del suelo de la zona no garantizan la disponibilidad de tierra para la prolongada vida útil del relleno sanitario, será parte del proyecto la ubicación de canteras fuera de los linderos y limitados a superficies de terrenos bajo disposición de la municipalidad.

las dimensiones, la dirección de escurrimiento y las especificaciones de los materiales a ser empleados en el revestimiento de las zanjas para captar agua de escurrimiento superficial.

- **Cunetas:** en zonas con intensas precipitaciones pluviales se deberá considerar como infraestructura para control de aguas de escurrimiento pluvial las cunetas laterales con las que estarán provistas las vías de circulación.

Plano de distribución de áreas para arborización e infraestructura para almacenamiento de agua para riego

Muestra la ubicación de la infraestructura de almacenamiento de agua para uso exclusivo de riego de plantas, red de distribución y riego por goteo. Debe precisar las superficies proyectadas para graduales trabajos de arborización a lo largo de la vida útil proyectada para la infraestructura. La red de distribución de agua deberá consignar el sentido del flujo de agua y su alcance, considerando que el agua discurrirá por gravedad. En el plano se consignará también la variedad de plantas elegidas para la arborización¹⁴.

Planos de señalización de tránsito, salud y seguridad ocupacional

Todos los planos relacionados con señalización se elaborarán con base en el plano de distribución general de la infraestructura (para mejor visualización de la señalización se pueden obviar las curvas de nivel).

- **Plano de señalización de tránsito.** Deberá consignar la ubicación de la señalética necesaria en función del diseño geométrico en planta y las pendientes proyectadas. La señalética deberá considerar sentido de tránsito, señal de pare, límites de velocidad, prohibición para adelantar, desvíos, advertencia de curvas cerradas, etc. Se elaborará con las dimensiones, los colores y las alturas respecto del nivel del suelo de acuerdo con el Reglamento Nacional de Tránsito y las normas complementarias de vías de circulación limitadas a una infraestructura determinada.
- **Plano de señalización relacionada con salud y seguridad ocupacional.** Muestra las áreas de la infraestructura donde el uso de EPI es obligatorio, las zonas de riesgo de caídas a nivel, las áreas de ruido peligroso, las zonas de riesgo de atropello, la zona de riesgo de caídas a desnivel y las zonas de polvo y vapor tóxico.

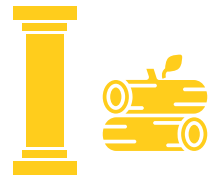
¹⁴ Como ya se ha mencionado, los trabajos de arborización se limitarán a zonas geográficas cuyas características del suelo y posibilidad de disponer de agua para riego hagan posibles estos trabajos. En zonas desérticas con características de suelo hostiles para sustentar vegetación alguna se evitará plantear trabajos de arborización y/o se plantearán en superficies limitadas.

10. OBRAS AUXILIARES

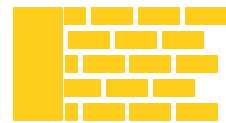


10.1. CERCO PERIMÉTRICO Y BARRERA SANITARIA

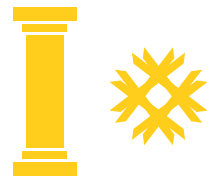
El cerco perimétrico podrá ser habilitado utilizando algunos de los siguientes materiales, cuyas características se definirán de acuerdo a los recursos de inversión previstos.



Columnas de madera y alambre de púas.



Cerco prefabricado: columnas de concreto armado tipo poste y placas lisas.



Cerco con columnas de concreto armado tipo poste y alambre de púas.



Cerco de material noble: columnas de concreto armado y tabiquería de ladrillo.



Cerco con columnas de concreto armado y malla metálica con marcos metálicos, etc.

Tomando en cuenta las características de suelo, existencia de agua para riego, y las condiciones climáticas de la zona, es ideal que el cerco perimétrico se complemente con graduales trabajos de arborización, dando prioridad a especies nativas que desarrollen alturas superiores a los 3 m, considerando la densidad necesaria para que efectivamente cumpla alguna función de aislamiento visual y estética.

Ocupación informal del entorno del relleno sanitario

Es común que al habilitar un relleno sanitario, incluyendo la vía de acceso, se produzca la presencia de personas que se establecen en las inmediaciones de la vía de acceso y del propio lindero o cerco perimétrico de la infraestructura para disposición final de residuos. Esta situación pone en riesgo uno de los criterios de separación del relleno sanitario respecto a las viviendas o actividades económicas más cercanas, por este motivo es de suma importancia que la municipalidad provincial tome las medidas necesarias para que la franja colindante con el lindero del relleno sanitario no pueda ser ocupada ni se desarrollen actividades incompatibles con la actividad de disposición final de residuos.



10.2. ÁREA DE AMORTIGUAMIENTO Y PROTECCIÓN

La disposición final de residuos sólidos bajo el método de relleno sanitario, requiere cumplir distancias mínimas respecto a ciertas actividades económicas o presencia de actividades comerciales y educativas.

Para que la infraestructura destinada al manejo de residuos mantenga la separación que la legislación ambiental relacionada considera como mínima, en la franja de terreno circundante no deben ubicarse viviendas ni desarrollarse actividades económicas como crianza de aves y ganado porcino, tampoco ubicarse centros educativos.

El espacio donde se aplican las restricciones indicadas se le denomina área o franja de amortiguamiento.

10.3. CASETA DE CONTROL Y PESAJE



En una infraestructura para disposición final de residuos sólidos municipales, la caseta de control y pesaje de vehículos cumple una importante función, ya que permite llevar un real control sobre el ingreso de unidades y realizar el pesaje de todas ellas. Esta actividad permite conocer en forma precisa la cantidad (toneladas) y zona de procedencia de residuos que se disponen en la infraestructura, lo que conlleva al cumplimiento de las demás actividades, como conocer las características físicas de los residuos, la compactación que alcanzan, generación de gases y lixiviados, y otras relacionadas a la disposición final de residuos.



10.4. INSTALACIONES SANITARIAS Y ELÉCTRICAS

Las instalaciones administrativas y de servicios en una infraestructura para manejo de residuos, entre ellas la destinada a la disposición final de residuos sólidos municipales: relleno sanitario, deben estar habilitadas con la infraestructura necesaria, dimensionada para magnitud de la infraestructura, de forma que posibilite la correcta operación.

Las instalaciones mínimas deben ser:

- Oficina, caseta de vigilancia.
- Balanza y caseta para pesaje (*).
- Infraestructura para abastecimiento de agua, servicios higiénicos, infraestructura para tratamiento de aguas residuales domésticas y vestuarios.

Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas que se generen en el relleno sanitario, la infraestructura a construirse deberá contar con un sistema de tratamiento de acuerdo con lo especificado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y las normas vigentes relacionadas.

Considerando que los rellenos sanitarios se ubican en zonas apartadas, por lo tanto sin infraestructura de alcantarillado, la alternativa más viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas es el método de tanque séptico con infiltración en el terreno y lecho para secado de lodos. Según el Texto Único de Procedimientos Administrativos (TUPA) del sector salud, este método de tratamiento de aguas residuales domésticas requiere seguir los procedimientos y obtener autorización.

- Almacén, red de energía eléctrica o caseta para generador eléctrico, etc
- (*) solo para rellenos sanitarios semimecanizados y mecanizados, que justifiquen pesaje de vehículos.

De acuerdo a las instalaciones mínimas de una infraestructura para disposición final de residuos, la magnitud de las mismas y las actividades relacionadas que puedan realizarse y/o estar proyectada para habilitarse: Planta de valorización y centro de acopio de residuos sólidos, el horario de funcionamiento, etc. El proyecto deberá evaluar la necesidad de implementar servicios complementarios como:

- Abastecimiento de agua para aseo de personal, riego de plantas, lavado de unidades, etc.
- Suministro de energía eléctrica desde la red pública o a través de generadores eléctricos.

10.5. OFICINAS ADMINISTRATIVAS Y DE SERVICIOS



Las instalaciones administrativas y de servicios en una infraestructura para manejo de residuos (entre ellas la destinada a la disposición final de residuos sólidos municipales: relleno sanitario), deben estar habilitadas con la infraestructura necesaria, dimensionada para magnitud de la infraestructura, de forma que posibilite la correcta operación.

Las instalaciones mínimas deben ser:

- Oficina, caseta de vigilancia.
 - Balanza y caseta para pesaje (*).
 - Infraestructura para abastecimiento de agua, servicios higiénicos, infraestructura para tratamiento de aguas residuales domésticas, vestuarios y almacén.
 - Red de energía eléctrica o caseta para generador eléctrico.
- (*) solo para rellenos sanitarios semimecanizados y mecanizados, que justifiquen pesaje de vehículos.

10.5.1. Dimensionamiento y consideraciones para proyectar la infraestructura administrativa y de servicios

Para la adecuada operación de una infraestructura para disposición final de residuos esta debe contar con las instalaciones administrativas y de servicios dimensionadas para el número de personal y la cantidad de actividades que se prevé se realizarán a lo largo de su vida útil.

El diseño debe describir como mínimo las características y los metrados, de los siguientes ambientes:



De manera complementaria y cuando se requiera puede considerar:

- Ambiente de cuarto de bombas y grupo electrógeno.
- Garita de vigilancia.
- Zona de estacionamiento para vehículos.
- Zona de parqueo y mantenimiento de maquinarias.
- Otros.

El diseño de estas instalaciones requiere ser sustentado con un estudio de suelos y los respectivos ensayos en laboratorio. Los resultados de estos deben ser presentados en un cuadro resumen que deberá consignar por cada calicata lo siguiente:

- Profundidad (m).
- Límite líquido.
- Límite plástico.
- Índice plástico.
- Clasificación SUCS.
- Contenido de humedad (%).
- Máxima densidad seca.
- Óptimo contenido de humedad.
- Cohesión.
- Ángulo de fricción interna.

- Permeabilidad.
- Ángulo de reposo.
- Cloruro soluble.
- Sales solubles totales.
- Sulfuro.

Además, se deberá especificar información relacionada con:

- Tipo y profundidad de los cimientos.
- Cálculo de la capacidad portante.
- Cimentación.
- Materiales utilizados y sus propiedades.

Los servicios de saneamiento deben comprender el abastecimiento de agua potable, de preferencia mediante el almacenamiento en tanques de polietileno.

En relación con las aguas residuales, estas deben ser evacuadas hacia un tanque séptico para la captación de los sólidos y, posteriormente, pasar a un pozo de percolación, según corresponda. Para el diseño de la infraestructura sanitaria, se deben considerar las normas sobre obras de saneamiento del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)¹⁵. Las dos normas pertinentes para este rubro son:

- IS.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones.
- IS.020 Tanques sépticos.

¹⁵ Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA.

10.5.2. Infraestructura para abastecimiento/almacenamiento de agua

Las necesidades de abastecimiento de agua en el relleno son de tres tipos:

- Para el proceso de operación: sobre todo en la higienización de los vehículos.
- Para aseo de personal: lo que depende del número de trabajadores que operen el relleno sanitario.
- Para mantenimiento de la instalación: limpieza de locales, riego de jardines, etc.

El diseño del proyecto debe atender estas necesidades. Con este propósito, en el diseño de la infraestructura para abastecimiento de agua se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Por lo general, las zonas donde deben ubicarse los rellenos sanitarios están apartadas de la población, por lo tanto son áreas sin servicios básicos.
- De acuerdo con los criterios de selección del sitio, en el área tampoco existe curso de agua superficial.
- Las alternativas para abastecimiento de agua a la infraestructura para disposición final de residuos, son:
 - Suministro de agua desde la red pública.
 - Suministro de agua transportada mediante cisternas y almacenadas en cisternas, tanques apoyados, pozas impermeabilizadas, etc.
- En el segundo caso, los camiones cisterna descargarán el agua directamente a los tanques apoyados que deben instalarse en un área de mayor cota respecto de las instalaciones administrativas y de servicios para permitir el flujo del agua por gravedad y con la presión necesaria.
- La capacidad de almacenamiento de agua en tanques apoyados debe ser suficiente para que la frecuencia de abastecimiento con cisternas sea de aproximadamente una vez por semana.

- Por las dificultades de que una infraestructura para disposición final de residuos cuente con red propia de suministro de energía eléctrica, en lo posible debe evitarse plantear infraestructuras que requieran bombeo de agua.

10.5.3. Infraestructura para tratamiento de aguas residuales domésticas

La infraestructura para disposición final de residuos sólidos generará aguas residuales domésticas provenientes de los servicios higiénicos, duchas y limpieza de instalaciones.

El cálculo de las dimensiones de esta infraestructura debe considerar el tipo de relleno y el número de trabajadores. Para ilustrar el procedimiento a seguir se tomará como ejemplo un relleno sanitario mecanizado que opera las 24 horas del día, los 7 días de la semana en turnos diurno y nocturno.

Un relleno de este tipo podría tener un total de 15 trabajadores por día.

Cuadro N°23. Relleno sanitario mecanizado: cálculo del número de trabajadores

CARGO	TURNO I (8.00-20.00 HORAS)	TURNO II (20.00-8.00 HORAS)	TOTAL DE PERSONAL ASIGNADO CADA 24 HORAS
Profesional	1	—	1
Inspector	1	1	2
Balanceros	1	1	2
Ayudantes	2	1	3
Operadores de maquinaria pesada	3	1	4
Vigilantes	1	2	3
Total	9	6	15

Fuente: Elaboración propia.

El dimensionamiento de las infraestructuras sanitarias deberá estar en función al número de personal masculino y femenino que el proyecto considere. Debe tenerse en cuenta que basta que una sola trabajadora esté asignada a una infraestructura para manejo de residuos, o que exista la posibilidad de visitas o inspecciones de entidades públicas que incluyan personal femenino, para que se requieran obligatoriamente instalaciones sanitarias para mujeres.

Se debe considerar que solo se generarán aguas residuales en los servicios higiénicos y en las duchas.

Con estos supuestos se realiza el cálculo recurriendo a los parámetros siguientes:

- Parámetros para dimensionar tanque séptico (con infiltración en el suelo):
 - Número de personas.
 - Aporte diario.
 - Generación de lodos.
 - Limpieza.
 - Tiempo de retención.
 - Altura útil.
 - Número de unidades.
- Parámetros para dimensionar pozo de percolación:
 - Test de percolación.
 - Número de unidades.

Entre los cálculos y los dimensionamientos a incluir se encuentran:

- Cálculo de caudal de diseño.
- Periodo de tiempo de retención.
- Volumen de sedimentación.
- Volumen de digestión y almacenamiento de lodos.

- Volumen del tanque séptico:
 - Profundidad máxima de espuma sumergida.
 - Profundidad de espacio libre.
 - Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos.
 - Profundidad total efectiva.
- Pozo de percolación:
 - Área de absorción.
 - Profundidad efectiva.

10.6. INSTALACIONES PARA MANTENIMIENTO DE VEHICULOS

Considerando que en un relleno sanitario semimecanizado y mecanizado, solo esta previsto disponer en forma permanente del equipamiento mecanico siguiente:

- Un tractor de orugas D6 o equivalente.
- Un compactador de residuos (opcional).
- Un cargador frontal sobre neumáticos.
- Un volquete con capacidad para 14 m³.

Para evitar generación y manejo de residuos industriales, además de infraestructura especial para realizar mantenimiento de maquinarias pesadas, es necesario disponer de infraestructura para contención y almacenamiento de lubricantes y otros materiales. Debe definirse con la municipalidad o EPS-RS que opere la infraestructura, para que los trabajos de reparaciones se realicen en talleres especializados y fuera de las instalaciones de la infraestructura para manejo de residuos, salvo trabajos pequeños que no impliquen desmontaje ni generación de residuos industriales.

10.7. ÁREA DE ALMACÉN

En una infraestructura para manejo de residuos ubicada por lo general apartada de la ciudad, se debe disponer de un almacén abastecido de materiales, herramientas y útiles de necesidad frecuente en las diversas actividades relacionadas con la disposición final de residuos.

Entre los principales materiales que deben disponerse, se encuentran:

- Uniformes y EPPs diversos (botas, guantes, mascarillas, etc.).
- Herramientas diversas, bolsas plásticas para recolección de residuos, linternas, pilas para linternas, etc.
- Agua para beber.
- Botiquín de primeros auxilios.
- Útiles de escritorio diversos.
- Equipo de cómputo de respaldo, impresora, cintas para impresora, comprobantes de pesaje, (para casos de infraestructura con balanza para pesar camiones) etc .
- Generador eléctrico, combustible para generador eléctrico (para casos de infraestructura con balanza para pesar camiones y trabajo nocturno).

Debe tenerse presente que la única forma de llevar un control adecuado en el almacén, solo debe haber un responsable.

11.

PROCEDIMIENTOS PREVIOS A LA CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO



Toda infraestructura de disposición final de residuos sólidos debe contar con el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) y el proyecto aprobados por la autoridad competente, previamente a la etapa de construcción e inicio de sus operaciones.

11.1. CONDICIONES GENERALES

Toda infraestructura de disposición final de residuos sólidos debe cumplir como mínimo con lo siguiente:

- Garantizar la accesibilidad a la infraestructura de residuos sólidos.
- Poseer un sistema de seguridad contra incendios, dispositivos de seguridad operativos y equipos e indumentaria de protección para el personal de acuerdo con la naturaleza y características de los residuos.
- Exclusividad para la realización de las actividades operativas de la infraestructura, quedando excluido para fines de vivienda, crianza de animales y la quema de residuos sólidos.
- Instalaciones sanitarias y vestuarios.
- Señalización en las zonas de tránsito y áreas de seguridad, según corresponda.
- Barrera sanitaria natural y/o artificial en todo el perímetro de la infraestructura de disposición final.
- Suministro de agua para realizar actividades de lavado e higienización, alcantarillado y suministro de energía eléctrica.
- Registro de la cantidad de residuos sólidos manejados.

11.2. REQUISITOS PARA LA PRESENTACIÓN DEL INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL

Todo proyecto de inversión de infraestructura de disposición final de residuos sólidos debe contar con un instrumento de gestión ambiental (IGA) aprobado por el SENACE, el gobierno regional o la municipalidad provincial, según corresponda, en el marco de las normas del SEIA. Los titulares de dichos proyectos, en concordancia con lo establecido en las normas del SEIA, deben presentar el IGA para evaluación adjuntando los siguientes requisitos de admisibilidad:

a) Formulario o solicitud dirigida a la autoridad competente que contenga la siguiente información:

- Datos del titular del proyecto referidos a razón social de la empresa o nombre de la entidad.
- Número del RUC de la empresa, o de la entidad.
- Nombre del titular o representante legal de la empresa o entidad.
- Número del Documento Nacional de Identidad (DNI) del titular o representante legal.
- Número de la partida registral y asiento de inscripción en la Superintendencia Nacional de Registros Públicos – SUNARP de la empresa o de la entidad, según corresponda.
- Declaración jurada indicando la autenticidad de los documentos presentados en copia simple, de conformidad con lo establecido en el artículo 47 del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General.

b) Pago por derecho de tramitación.

c) Un (01) ejemplar impreso del IGA o un (01) ejemplar en formato electrónico, suscrito por las/os profesionales responsables cuyo contenido debe ser desarrollado conforme a lo establecido en los términos de referencia aprobados, según corresponda.

d) Copia simple del certificado de compatibilidad de uso del terreno.

e) Copia simple del Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA), otorgado por la autoridad competente; según corresponda, de acuerdo a las normas sobre la materia, que considere la ubicación y coordenadas del área del polígono del proyecto.

f) Informe de Evaluación de Riesgos de desastres (derrumbes, inundaciones, deslizamientos, etc.), respecto a la ubicación del proyecto, elaborado por un/a profesional inscrito/a en el Registro Nacional de Evaluadores de Riesgo administrado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

g) Estudios topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos del área de influencia del proyecto, suscritos por las/os profesionales responsables en dichas materias.

11.3. APROBACIÓN DE EXPEDIENTE TÉCNICO DE OBRA DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

El expediente técnico de obra de las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales, previamente a su construcción, debe ser aprobado por las autoridades competentes, para ello se debe considerar los siguientes requisitos:

a) Formulario o solicitud dirigida a la autoridad competente que contenga la siguiente información:

- Número de la Resolución o documento que aprueba el IGA.
- Número de la partida registral y asiento de inscripción en la Superintendencia Nacional de Registros Públicos - SUNARP de la empresa o de la entidad, según corresponda.
- Datos del titular del proyecto referidos a razón social de la empresa o nombre de la entidad.
- Número del RUC de la empresa, o de la entidad.
- Nombre del titular o representante legal de la empresa o entidad.
- Número del Documento Nacional de Identidad (DNI) del Titular o Representante Legal.
- Declaración jurada indicando la autenticidad de los documentos presentados en copia simple, de conformidad con lo establecido en el artículo 47 del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General.

b) En caso el terreno en donde se desarrollará el proyecto de inversión de infraestructura de residuos sólidos municipales no sea de propiedad del titular del proyecto, copia simple del documento que autorice el uso del terreno para tales fines;

c) Pago por derecho de tramitación.

d) Expediente técnico del proyecto de inversión de infraestructura de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica G.040. Definiciones, aprobado por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA o sus modificatorias;

e) Manual de operaciones de la infraestructura de residuos sólidos, la memoria de cálculo de vida útil del proyecto. La vida útil no será menor de diez (10) años. El expediente técnico de obra y el manual de operaciones deben estar firmados por un/a profesional de ingeniería civil, sanitario o ambiental.

Asimismo, los estudios específicos que forman parte del expediente técnico deben estar suscritos por las/os respectivos profesionales.

En caso de suscitarse cambios en el expediente técnico de obra vinculados al diseño, características y/o del período de vida útil de la infraestructura de residuos sólidos contenidas en el proyecto aprobado, deben presentar el expediente técnico reformulado a la autoridad competente para su respectiva evaluación y aprobación.

12. CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO



12.1. ACTIVIDADES PRELIMINARES

- **Traslado de maquinarias y equipos.** Esta etapa se inicia con la movilización de maquinarias, equipos y herramientas hacia el área donde se habilitará el relleno sanitario. El traslado de la maquinaria pesada debe realizarse por vía terrestre y empleando camiones de plataforma, el equipo liviano (volquetes) lo hará por sus propios medios. En el equipo liviano se transportarán las herramientas y todos los equipos menores (vibrador, plancha compactadora, etc.) que no puedan ser autotransportados.

- **Instalación de campamento de obra.** El inicio de la obra requiere la instalación de un campamento provisional en el que el contratista pueda ofrecer todas las facilidades para su personal (ingenieros, empleados, obreros, etc.), que deberán estar dimensionadas para el número de personal a emplearse en los trabajos durante el tiempo que estos demandarán. Las instalaciones mínimas necesarias, según corresponda, serán: oficina, almacén, comedor, instalaciones sanitarias (agua, servicios higiénicos, vestuarios, duchas), etc. Considerando además depósitos para manejo de residuos, extintores, botiquín para primeros auxilios, logística, etc.

- **Replanteo de obra.** Esta actividad se refiere a los trazos y las medidas que deben realizarse en el terreno con las formas y las dimensiones de los componentes de la infraestructura a construirse; es decir, trasladar las medidas del plano al terreno. El trazo y replanteo es una actividad que permite llevar el control planialtimétrico del proyecto. Estos controles deben realizarse a lo largo del tiempo que duren los trabajos de habilitación de la infraestructura para lograr que esta siga las formas y las dimensiones que han sido proyectadas y que figuran en los planos correspondientes.

12.2. VÍA DE ACCESO EXTERIOR

Se refiere al tramo de vía que iniciando en una carretera o trocha existente llega hasta el lindero del terreno destinado a la infraestructura para disposición final de residuos sólidos municipales.

Si se trata de una vía existente, el proyecto para la habilitación de la infraestructura para disposición final de residuos deberá considerar el mejoramiento que sea necesario, lo que estará sustentado con el levantamiento de la vía existente y planos con mejoramiento en alineamiento y elevación respectivamente.

Si no hubiera conexión vial entre la carretera más cercana y el área destinada a la infraestructura para disposición final de residuos, el proyecto a desarrollarse deberá considerar la vía de acceso exterior.

12.3. LIMPIEZA, ELIMINACIÓN DE MATERIAL INADECUADO Y DESBROCE DEL TERRENO

La superficie de terreno destinado a una infraestructura específica, dependiendo de su ubicación geográfica, las condiciones climáticas de la zona, etc., puede requerir actividades previas como las siguientes:

- **Eliminación de material inadecuado.** Consiste en remover y retirar de la superficie destinada a la construcción de la infraestructura, el material inadecuado que se encuentre esparcido, como residuos dispersos, material orgánico, residuos industriales y otros considerados como inapropiados para los trabajos de habilitación.
- **Desbroce.** Consiste en extraer y retirar la maleza y los arbustos que puedan haber crecido en la superficie destinada a la construcción de la infraestructura.
- **Adecuación y nivelación del terreno.** Trabajos que, en forma manual y/o con empleo de equipos y maquinarias, se realizan para que las superficies de suelo alcanzadas luego de los trabajos de movimiento de tierras tengan las formas y las dimensiones proyectadas en el diseño de ingeniería correspondiente.

12.4. MOVIMIENTO DE TIERRAS

• **Excavación masiva.** Se emplea tractor de orugas para la remoción de grandes volúmenes de tierra que requieren el empleo de cargador frontal sobre neumáticos para las actividades de carguío hacia los volquetes y estos se utilizan para transportar la tierra removida. Ejemplos: excavaciones para habilitar celdas, cortes y rellenos en trabajos de habilitación de vías, formación de diques, traslado de tierra excedente a zonas definidas para eliminación, etc.

• **Excavación manual.** Se refiere a excavaciones de poco volumen y aquellas que, por sus dimensiones y formas específicas, no pueden realizarse con maquinaria pesada. Ejemplos: zanjas para cimentación, zanjas trapezoidales para anclaje de materiales geosintéticos, etc.

• **Formación de diques.** En caso se justifique por razones de estabilidad y adecuado confinamiento lateral de lo que será la masa de residuos a disponerse, se hace necesario que el perímetro de la superficie a ser ocupada por los residuos esté delimitada por un dique trapezoidal, cuyas dimensiones en altura y sección transversal estarán en función a las dimensiones del relleno sanitario a proyectarse.

Los diques trapezoidales, por el desnivel que alcanzan respecto al fondo de la base, garantizan el confinamiento de los lixiviados y permiten su salida controlada a través de los drenes que con este fin se deben proyectar en todo relleno sanitario. Estos diques deberán estar en relación directa con las posibles alturas que alcanzarán los residuos dispuestos y con la necesidad de confinamiento lateral de la masa de residuos que se estima serán dispuestos.

Cuadro N°24. Diques trapezoidales perimetrales: dimensiones, por tipos de rellenos sanitarios

DIMENSIONES DE DIQUES TRAPEZOIDALES PERIMETRALES	DIMENSIONES DE DIQUES TRAPEZOIDALES PERIMETRALES	RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO	RELLENO SANITARIO MECANIZADO
Altura respecto al suelo natural (m)	1,00	1,50-2,00	2,00-3,00
Ancho en la coronación (m)	2,00	3,00	3,00
Talud interior (V:H)	1:2	1:2	1:2
Talud exterior (V:H)	1:1,5	1:1,5	1:1,5

12.5. LIMPIEZA, ELIMINACIÓN DE MATERIAL INADECUADO Y DESBROCE DEL TERRENO

Se denomina también eliminación o acopio de material excedente. Es el traslado de este material a zonas seguras, previamente seleccionadas, dimensionadas y acondicionadas, de forma que no interfieran con áreas destinadas a la habilitación de algún componente de la infraestructura ni afecten la propiedad de terceros.

El desarrollo del proyecto debe considerar una o más superficies para depositar la tierra excedente, previendo que la acumulación ordenada de la tierra no interfiera o afecte cauces de quebradas, por pequeñas que estas sean. Además, debe abarcar la superficie necesaria de manera que no genere una altura excesiva y se debe considerar un talud de reposo de acuerdo con las características de la tierra a depositarse por razones de estabilidad.

La acumulación ordenada y segura de la tierra excedente debe considerar la posibilidad del uso posterior de parte o de la totalidad del material acumulado, necesidad que se presenta en rellenos sanitarios de prolongada vida útil.

12.6. VÍAS DE CIRCULACIÓN INTERNAS

Se refiere a las vías de circulación permanente y temporal que se habilitaran dentro de los linderos del terreno destinado a la infraestructura para la disposición final de residuos sólidos municipales. La construcción será de acuerdo a los planos del proyecto aprobado.

Para el trazo de las vías de acceso exterior y de circulación interna se deberán tener en cuenta los aspectos técnicos que indican las normas vigentes (Considerar el manual de carreteras, diseño geométrico DG 2018. Aprobado mediante Resolución Directoral N°. 03-2018-MTC/14).

- **Vía de acceso exterior.** Se llama así la vía de circulación que comunica el área destinada a la infraestructura para disposición final de residuos con la red vial de la zona. Permite el tránsito de las unidades de recolección desde la ciudad donde se realiza la recolección hasta el relleno sanitario.
- **Vías de circulación interna.** Se denominan así las vías de tránsito que se habilitan dentro de los linderos del terreno destinado al proyecto. Estas pueden ser:
 - **De carácter permanente.** Aquellas que se diseñan y habilitan para su uso a lo largo de la vida del proyecto y por tiempo posterior a ella. Deberán tener las características en planta y elevación para posibilitar la circulación cómoda y segura en doble sentido de los vehículos. La sección de la vía requiere una superficie de rodadura con un ancho mínimo de 6 m y bermas laterales de protección a esta superficie de mínimo 0,75 m en cada borde. Dependiendo del relieve de la zona y de la altitud a la que se ubiquen las infraestructuras para disposición final de los residuos se deberán considerar las pendientes máximas que se indican a continuación (señaladas por la norma oficial).

Cuadro N°25. Vías externas: pendientes máximas

ALTITUD DE LA ZONA RESPECTO AL NIVEL MEDIO DEL MAR	PENDIENTE MÁXIMA (%)	PENDIENTE MÁXIMA EXCEPCIONAL (%)
Hasta 3000 m s. n. m.	8	9
Más de 3000 m s. n. m.	7	8

• **De carácter temporal.** Son las vías de circulación proyectadas al interior del área destinada al proyecto que se irán habilitando de acuerdo con las necesidades que se presenten a lo largo de la vida útil de la infraestructura, para acceder a las diferentes superficies y niveles que se vayan ocupando y formando con residuos dispuestos. Estas vías se mantendrán y utilizarán solo durante la vida útil de las diferentes plataformas en formación, canteras para tierra de cobertura, etc., relacionadas con las distintas áreas de las infraestructuras para disposición final de residuos. Sus características podrán variar en función al uso que tendrán y su habilitación se realizará durante la fase de operación. Por ello, la sección de la vía tiene menor ancho (5,00 m), mientras que el diseño en elevación, siempre que sean tramos cortos, puede considerar pendientes superiores al 10 %. Cuando el relieve del terreno no permita que las vías se desarrollen con las pendientes máximas especificadas, excepcionalmente y en tramos cortos, se permitirán pendientes superiores al 10 %; sin embargo, no deberán tener más de 180 m¹⁶.

Igualmente, los radios mínimos de las curvas horizontales, los peraltes y los sobre-anchos serán resultado del desarrollo del proyecto de ingeniería para cada relleno sanitario, los cuales obedecerán a las especificaciones establecidas de acuerdo con el ancho de la calzada y la velocidad directriz con la que se diseñarán las vías de acceso y las vías de circulación interna establecidas oficialmente¹⁷. Asimismo, el cálculo de volúmenes de corte y de relleno de vía estará determinado por un programa de diseño (software) como el Civil 3d.

Los taludes de corte se definen de acuerdo con las características del suelo en cada zona, estos taludes son válidos para cortes en trabajos de habilitación de trincheras o cortes que tengan que realizarse para la habilitación de vías.

¹⁶ La información referida a ancho de calzada, pendientes y radios mínimos se sustenta en MTC, Manual de carreteras. Diseño geométrico DG-2014. Lima, Dirección General de Caminos, MTC, 2014.

¹⁷ Ibidem.

12.7. HABILITACIÓN DE TRINCHERAS O PLATAFORMAS

La habilitación de trincheras o plataformas considera la excavación en las superficies base de volúmenes de tierra suficientes para la formación de las celdas o las trincheras, para cuyo crecimiento vertical a partir de la superficie original del terreno requiere la habilitación de diques perimetrales.

Los diques perimetrales se habilitan para cumplir las funciones siguientes:

- Delimitar adecuadamente la superficie a ser ocupada por los residuos dispuestos.
- Servir de contención y confinamiento lateral de los residuos que se dispondrán formando plataformas por encima de la superficie original del suelo.
- Evitar que en zonas geográficas con precipitaciones pluviales, las aguas de escurrimiento superficial ingresen a las celdas o trincheras habilitadas.
- Permitir un mejor control de la captación y el manejo de lixiviados.

Las excavaciones realizadas y los diques habilitados forman celdas cuyo borde superior lo constituye la coronación de los diques. La disposición final de residuos hasta alcanzar la coronación de los diques se asimilara a la modalidad de trinchera, mientras que cuando la disposición final de residuos se realiza con crecimiento vertical a partir de la coronación del dique, la disposición final de residuos se considera como método de área.

12.8. FORMACIÓN DE TALUDES DE CORTE Y RELLENO EN TERRENO

En trabajos de habilitación de un relleno sanitario, los taludes de corte y relleno deben tener en cuenta las inclinaciones que de acuerdo para los diferentes tipos de suelos establecen las normas peruanas para diseño de carreteras y el reglamento nacional de construcciones. La adecuación, la nivelación y la compactación de la superficie removida (base y taludes) son los trabajos que se deben realizar, en forma manual y/o con empleo de equipos y maquinarias. Tiene la finalidad de que las superficies irregulares alcanzadas en trabajos de excavación masiva de tierras tengan las formas, las dimensiones y el grado de compactación consideradas en el proyecto de ingeniería, Dependiendo de las características del suelo cuya superficie se debe uniformar, nivelar y compactar, estos trabajos pueden realizarse de las formas siguientes:

Cuadro N°26. Nivelación y compactación de suelos: modalidad y equipos requeridos

SUPERFICIE A SER ADECUADA Y NIVELADA	MODALIDAD Y EQUIPOS REQUERIDOS
Taludes de corte y/o relleno	Modalidad manual: Desde un simple rastrillado hasta conformación de taludes compactando con herramientas manuales (pisones, plancha de compactación). Modalidad Mecánica: la uniformización y compactación de la superficie se realiza necesariamente con equipos mecánicos, por ejemplo, tractor de orugas y cargador frontal. Este tipo de compactación es posible realizar en taludes con pendientes de hasta H:V (2:1).
Superficie base	Empleo de motoniveladora para trabajos de uniformización y de rodillo liso vibratorio para la compactación.

12.9. IMPERMEABILIZACIÓN DE LA BASE Y TALUDES

La impermeabilización de la celda (base y taludes) tiene la finalidad de aislar la masa de residuos de la superficie del suelo para evitar la infiltración de lixiviados en el suelo y ocasionar contaminación de posible acuífero.

La impermeabilización de la celda puede ser realizada de las maneras siguientes:

Impermeabilización mineral: es posible cuando la celda se ubica sobre una superficie de suelo arcilloso con características que en su estado natural cumplen con las especificaciones de impermeabilización requeridas.

Impermeabilización sintética: se realiza mediante la instalación de geomembrana protegida con geotextil no tejido, el espesor mínimo de la geomembrana HDPE debe ser 1.2 mm. Dependiendo de las características propias del suelo de la base y la altura de residuos que se haya proyectado para

la infraestructura de disposición final de residuos, el espesor de la geomembrana podrá ser mayor.

Dependiendo del diseño del estrato impermeable, podría darse la necesidad de que la impermeabilización de la superficie deba considerar como componente adicional un estrato de geocompuesto impermeable (generalmente bentonita).

12.9.1. Características de la tierra seleccionada para formación de la superficie base

El material de afirmado que deberá ser empleado para habilitar la superficie base del relleno sanitario deberá ajustarse a alguna de las franjas granulométricas que se señalan en la siguiente tabla.

Cuadro N°27. Vías externas: pendientes máximas

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA (A1)	PORCENTAJE QUE PASA (A2)
50 mm (2")	100	—
37,5 mm (1 ½")	100	—
25 mm (1")	90-100	100
19 mm (¾")	65-100	80-100
9,5 mm (3/8")	45-80	65-100
4,75 mm (N.º 4)	30-65	50-85
2,0 mm (N.º 10)	22-52	33-67
4,25 um (N.º 40)	15-35	20-45
75 um (N.º 200)	5-20	5-20

Fuente: Norma AASHTO M-147.

Además, deben satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste según abrasión de Los Ángeles: 50 % máximo (Norma MTC E 207)
- Límite líquido: 35 % máximo (Norma MTC E 110)
- Índice de plasticidad: 4-9 (Norma MTC E 111)
- Ratio CBR: 40 % mínimo (Norma MTC E 132)
- Equivalente de arena: 20 % mínimo (Norma MTC E 114)

12.9.2. Formación de la superficie base

Los espesores de suelo adecuados para la habilitación de la base de los rellenos sanitarios variarán para cada caso particular, según los resultados de los estudios de geotecnia (capacidad portante del suelo natural, permeabilidad, etc.), hidrogeología y geofísica, relacionados con la existencia de aguas superficiales y subterráneas. El siguiente cuadro, muestra un ejemplo de espesores sugeridos para la formación de la superficie base compactada, adecuada capacidad portante y acabado uniforme para el apoyo de la geomembrana, en rellenos sanitarios manuales, semimecanizados y mecanizados (Cuadro N°28).

Cuadro N°28. Superficie base: espesor y grado de compactación

TIPO DE RELLENO SANITARIO	ESPESOR DE LA SUPERFICIE BASE* (M)	GRADO DE COMPACTACIÓN (% PROCTOR MODIFICADO) **
Manual	0,40	90
Semimecanizado	0,40	90
Mecanizado	0,60	90

* La superficie base se formará compactando capas sucesivas de 0,20 m de espesor cada una.
El grado de compactación que se debe alcanzar para todos los casos será del 90 % del Proctor modificado.
** Se refiere al resultado del ensayo de compactación Proctor.
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración N°14. Formación de la superficie base

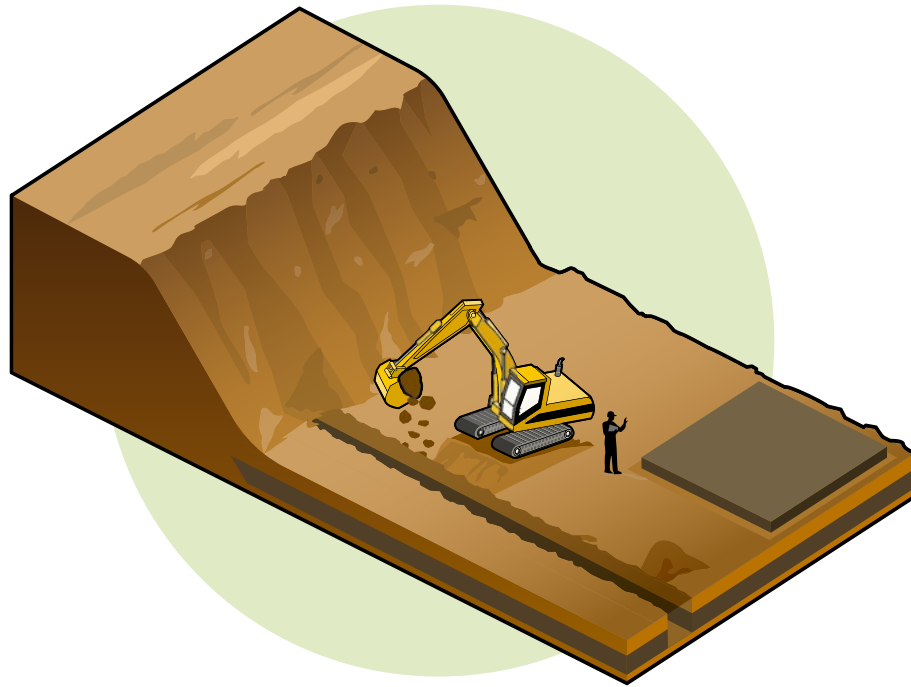


12.9.3. Cobertura de la superficie base

Se deberá evaluar la pertinencia del uso de material arcilloso geosintético dependiendo de cada caso particular. Las actividades mínimas a ejecutar, relacionadas con la instalación de material geosintético para la impermeabilización de la base (Ilustraciones N°15 y N°16), son:

- Suministro e instalación de material geosintético (geomembrana y geotextil no tejido).
- Excavación de zanja perimetral para anclaje de geosintéticos.
- Relleno con material propio en zanja perimetral para anclaje de geosintéticos (geomembrana y geotextil) y formación de la capa granular de protección.

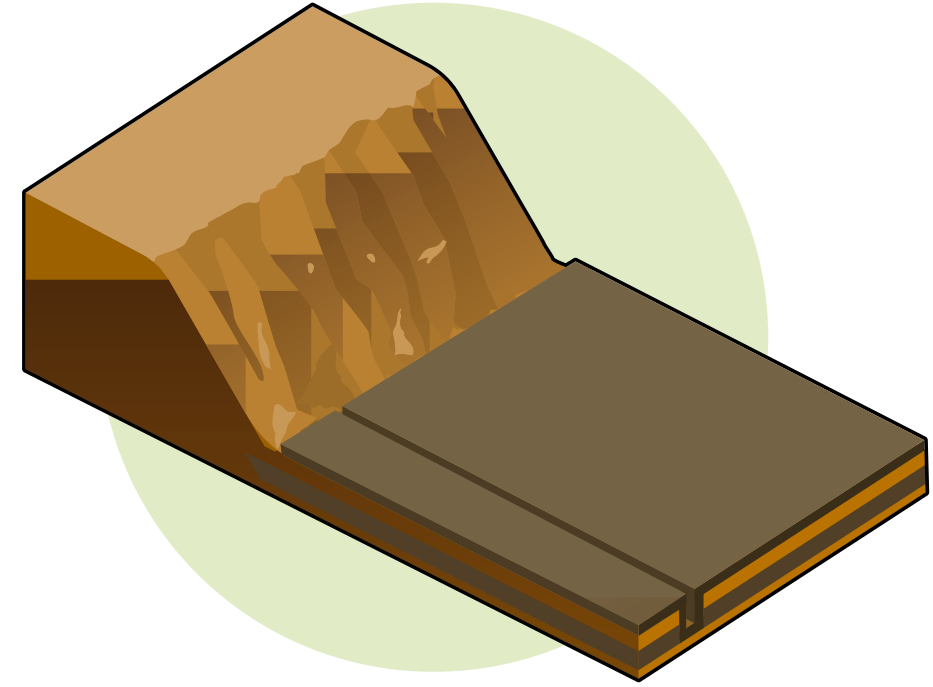
Ilustración N°15. Impermeabilización de la superficie base



12.9.4. Suministro e instalación de materiales geosintéticos

La instalación de la geomembrana debe realizarse sobre una superficie de tierra seleccionada, extendida, formada y compactada. Además, se considera la instalación de geotextil no tejido (densidad mínima de 300 g/m²) como protección, la cual debe cubrir toda la superficie de la geomembrana, incluyendo los dobleces en las zanjas de anclaje (Ilustración N°16).

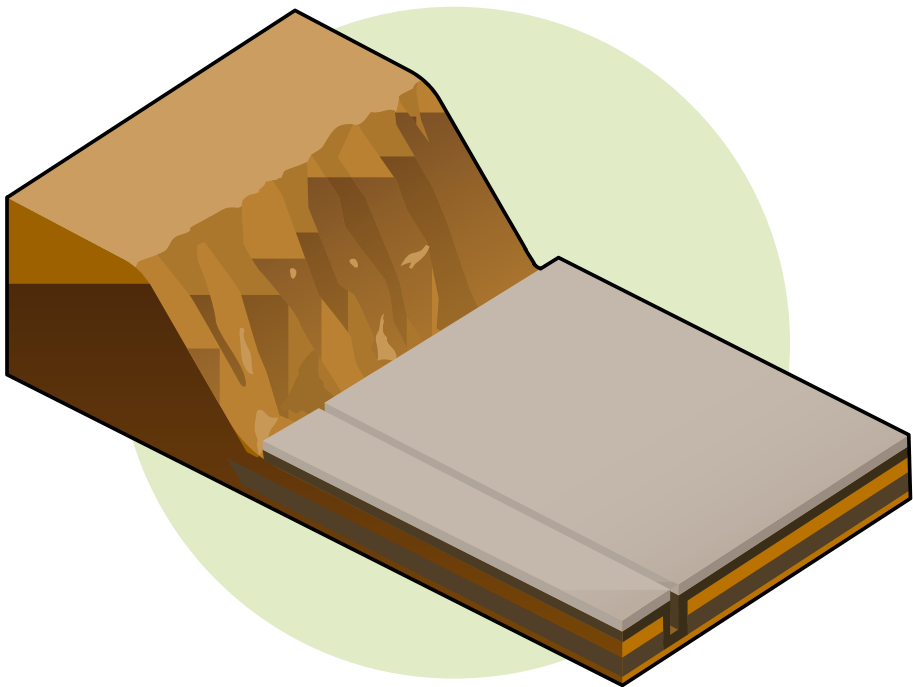
Ilustración N°16. Instalación de geomembrana



No debe permitirse la instalación de geomembrana sobre superficies con suelo irregular y/o con presencia de piedras u otros materiales con características punzo cortantes .

La instalación de geotextil no tejido de 300grs/m², tiene la finalidad de proteger a la geomembrana de posibles efectos de corte (ilustración N°18).

Ilustración N°17. Instalación de geotextil no tejido



La estructura impermeable, además de la geomembrana y el geotextil no tejido, considera la capa de tierra seleccionada que debe colocarse sobre la superficie del geotextil (ilustración 5)¹⁸.

La exposición por tiempo prolongado de la geomembrana que cubre los taludes podría alterar sus características iniciales, lo que depende del material del que está fabricado, sea de HDPE o de policloruro de vinilo (PVC), por lo tanto, esta situación deberá considerarse en la formulación del proyecto y en la habilitación de la infraestructura. Cabe señalar, que la impermeabilización de la base y los taludes del relleno deben considerar el uso de geomembrana con un espesor mínimo de 1,2 mm según el artículo 114 del Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM.

18 El geotextil no tejido que cumple adecuadamente la función de protección de la geomembrana sufre debilitamiento y posterior desintegración cuando está expuesto a los rayos solares por tiempo prolongado. Para evitar esta situación, deberá considerarse la instalación gradual del geotextil en los taludes, recomendándose postergar la instalación hasta días previos al inicio de la disposición final de residuos

Ilustración N°18. Instalación de geomembrana



12.9.5. Excavación de zanja perimetral para anclaje de geosintéticos

Considerando que la fijación de los materiales geosintéticos (geomembrana y geotextil) en todo el perímetro de la superficie base será definitiva, es importante especificar que dicha actividad se realice en zanjas excavadas con las formas y las dimensiones definidas en el proyecto.

La zanja para el anclaje de los materiales geosintéticos deberá iniciarse a una distancia mínima de 0,50 m desde el borde interior de la coronación perimétrica, con las formas y las dimensiones especificadas en los planos correspondientes¹⁹.

Como ejemplo de formas y dimensiones de zanjas para anclaje o fijación de materiales geosintéticos (geomembrana y geotextil), en tabla siguiente se muestran las dimensiones sugeridas para los distintos tipos de rellenos sanitarios.

19 La distancia mínima de 0,50 m corresponde a la distancia horizontal recomendable que debe existir entre el borde superior del talud de la excavación y/o relleno, que constituye el borde superior de la base a impermeabilizar, y el inicio de la excavación de la zanja para anclaje o fijación de los materiales geosintéticos (geomembrana y geotextil) de protección.

Cuadro N°29. Dimensiones de zanjas para anclaje o fijación de materiales geosintéticos, por tipo de relleno

RELLENO SANITARIO	SECCIÓN DE ZANJA PERIMETRAL PARA ANCLAJE O FIJACIÓN DE MATERIALES GEOSINTÉTICOS (M2)
Manual	$S = (B_{my} + B_m) \times H / 2$ $(0,9 + 0,3) \times 0,3 / 2 = 0,18$
Semimecanizado	$S = (B_{my} + B_m) \times H / 2$ $(1,2 + 0,4) \times 0,4 / 2 = 0,32$
Mecanizado	$S = (B_{my} + B_m) \times H / 2$ $(1,2 + 0,4) \times 0,4 / 2 = 0,32$

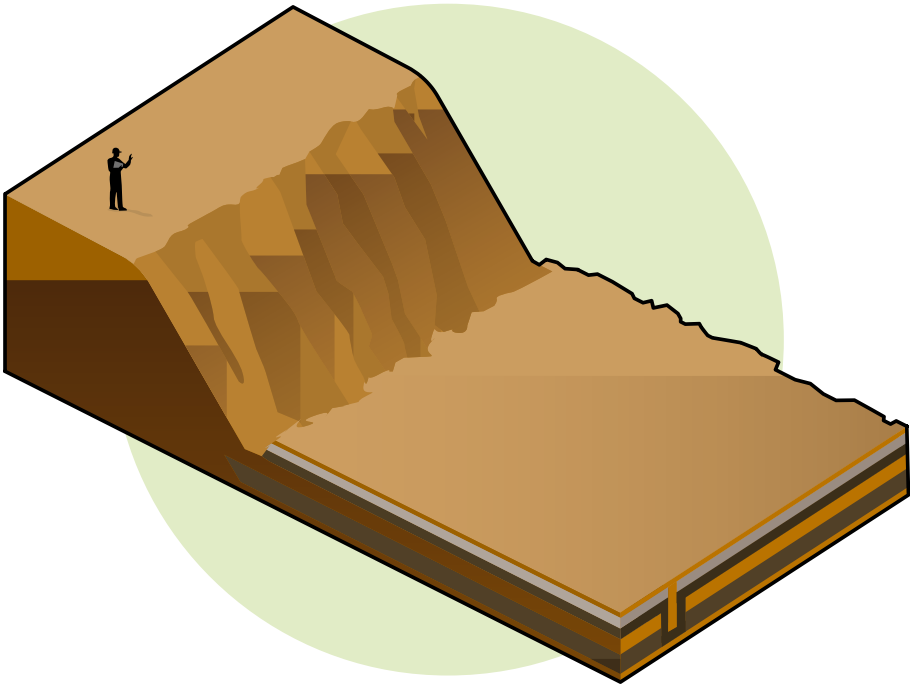
Fuente: Elaboración propia.

Donde:
Bmy = Base mayor del trapecio
Bm = Base menor del trapecio
H = Altura del trapecio (Bmy – Bm)
S = Sección o área
 $S = (B_{my} + B_m) \times H / 2 = (0,90 + 0,30) \times 0,30 / 2$
 $S = 0,18 \text{ m}^2$

12.9.6. Cobertura con material propio en zanja perimetral para anclaje de geosintéticos y formación de la capa granular de protección en la superficie base

La cobertura se realizará utilizando el material producto de la excavación de las zanjas perimetrales de anclaje (ilustración 20).

Ilustración N°19. Las imágenes muestran la excavación de la zanja para anclaje de materiales geosintéticos, instalación de geomembrana y relleno con tierra de excavación de la zanja perimetral para anclaje de materiales geosintéticos



La capa de protección de la superficie base con tierra seleccionada (espesor de 0,20 m) constituye una real protección a los materiales geosintéticos y posibilita la circulación de los vehículos que acceden a la infraestructura a realizar la descarga de los residuos (Ilustración N°19).

**Ilustración N°20. Cobertura de tierra como
protección en parte de la superficie base**



12.9.7. Detalle de impermeabilización en la superficie base

La estructura impermeable de la base de un relleno sanitario debe ser resultado de la evaluación de cada caso particular, dicha estructura deberá considerar materiales impermeabilizantes como arcilla o geosintéticos, relacionando necesariamente los aspectos siguientes²⁰.

- Características del suelo original de la zona.
- Presencia o ausencia de aguas superficiales y subterráneas.
- Condiciones climáticas de la zona (precipitación pluvial).

- Altura prevista para la disposición final de los residuos.
- Grado de compactación estimada que alcanzarán los residuos dispuestos.
- Características físicas de los residuos a disponerse.
- Grado de saturación en la masa de residuos dispuestos, relacionada necesariamente con la infraestructura para manejo de lixiviados.

En grandes rellenos sanitarios ubicados en zonas con intensas precipitaciones pluviales la alternativa para lograr la impermeabilidad de la base es la combinación de impermeabilización sintética (geomembrana) con impermeabilización mineral (arcilla o geocompuesto bentonítico).

El diseño deberá indicar el sistema de impermeabilización a utilizar, el cual deberá considerar la impermeabilización de la base y de los taludes del relleno para evitar la contaminación ambiental por lixiviados ($k \leq 1 \times 10^{-6}$ cm/seg. y una profundidad mínima de 0,40 m). Se deberá adjuntar el ensayo de permeabilidad del suelo.

La descripción del sistema de impermeabilización, considerando las características y el tipo de material a utilizar, se realizará en estos tres aspectos: trinchera y/o plataforma de residuos sólidos, drenes para lixiviados, y poza para almacenamiento temporal de lixiviados.

La impermeabilización de la base y los taludes del relleno que requieran la impermeabilización sintética, deberán considerar el uso de geomembrana con un espesor mínimo de 1,2 mm según el artículo 114 del Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM.

²⁰ S. a., Tecnologías para la vida, SOLVI soluciones para la vida, V(14), 6-11, 2011.

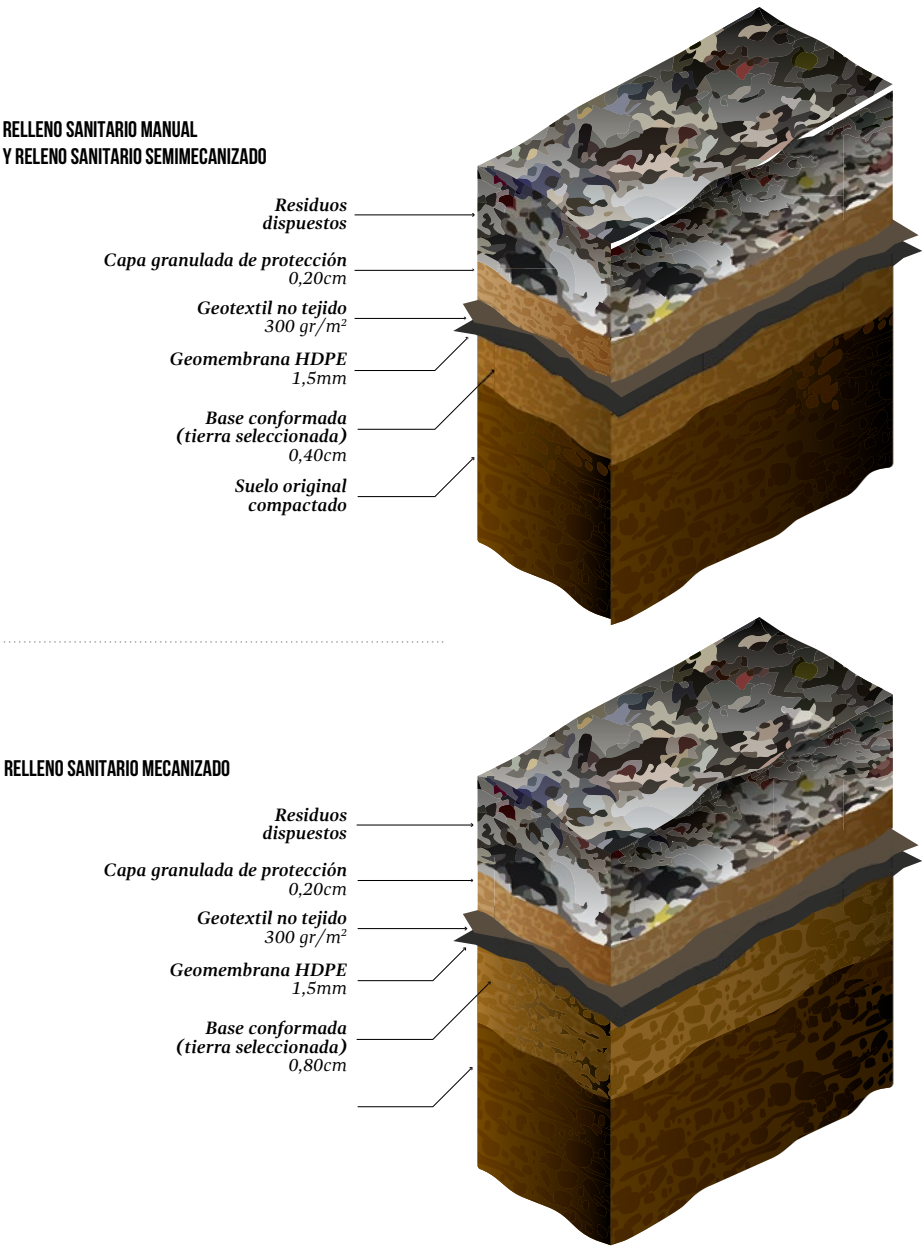
Cuadro N°30. Relleno sanitario: estructura típica de impermeabilización de la base considerando material geosintético

TIPO DE RELLENO SANITARIO	ESTRUCTURA DE IMPERMEABILIZACIÓN DE LA BASE
Manual	Capa granular de protección (0,20 m) Geotextil no tejido 300 g/m² Geomembrana de HDPE de 1,2 mm Superficie de la base conformada: espesor de 0,40 m Suelo original luego de corte compactado
Semimecanizado	Capa granular de protección (0,20 m) Geotextil no tejido 300 g/m² Geomembrana HDPE de 1,5 mm Superficie de la base conformada: espesor de 0,40 m Suelo original luego de corte compactado
Mecanizado	Descarga y disposición final de residuos Capa granular de protección (0,20 m) Geotextil no tejido 300 g/m² Geomembrana HDPE de 1,5 mm Superficie de base conformada: espesor 0,80 m Suelo original luego de corte compactado

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las zanjas para anclaje o fijación de materiales geosintéticos sus dimensiones pueden calcularse aplicando la misma fórmula usada para el cálculo de las secciones de los drenes para lixiviados.

Ilustración N°21. Impermeabilización de la base: esquema de corte, por tipo de relleno



12.9.8. Canales perimétricos para captación y evacuación de aguas de escurrimiento superficial

En zonas con intensa precipitación pluvial, relieve accidentado y suelo de fácil erosión, como en sierra y en selva, la construcción debe adoptar consideraciones técnicas establecidas en el diseño del proyecto y otras consideraciones adicionales como:

- El relleno sanitario debe considerar la subdivisión de la superficie base, formando superficies independientes que posibiliten la ocupación gradual del relleno sanitario desde el punto de vista de la descarga de los residuos y del manejo de lixiviados. Este planteamiento evitará que el agua de precipitaciones pluviales que caigan directamente en la superficie impermeabilizada no ocupada por residuos afecte innecesariamente la superficie en operación.
- La ocupación de la superficie habilitada debe considerar la concentración de los residuos que se disponen en la menor superficie y con la mayor altura. Se debe considerar como medida de contingencia la cobertura de la superficie de operación con mantas plastificadas livianas ante la inminente ocurrencia de una intensa precipitación pluvial.
- Para evitar que la poza impermeabilizada para almacenamiento temporal de lixiviados se llene o incremente su volumen con agua de precipitación pluvial, la poza deberá contar con una cobertura liviana, de madera u otro material, sobre la que se instalarán mantas plastificadas, de forma que puedan desplegarse en temporada de ausencia de precipitaciones pluviales para posibilitar la exposición al sol y la consiguiente evaporación.
- La poza impermeabilizada para almacenamiento temporal de lixiviados estará protegida a nivel del suelo con un canal o un sardinel elevado para evitar que agua de escurrimiento superficial ingrese a la poza.
- La sección de los canales deberá ser revestida con suelo local mezclado con cemento, mampostería de piedra, concreto o geomembrana, con la finalidad de evitar la erosión.
- Las vías de circulación interna estarán provistas de cunetas laterales para evitar que el escurrimiento de agua superficial dañen la base y la superficie de rodadura.

Dimensionamiento del drenaje Pluvial:

- Los canales para drenaje pluvial al interior del relleno sanitario, debe ser proyectado con registros máximos de precipitación pluvial para periodos de 24 horas y para periodos de retorno de 50 años.
- Los canales perimetrales para drenaje pluvial al exterior del relleno sanitario, debe ser proyectado con registros máximos de precipitación pluvial para periodos de 24 horas y para periodos de retorno recomendables de 100 años.

Las fórmulas con la que se sugiere realizar los cálculos para la estimación del caudal, se muestran en numeral 9.4: Diseño del sistema de drenaje pluvial.

12.9.9. Cerco perimétrico y barrera sanitaria

El cerco perimetral podrá ser habilitado y, de acuerdo con los recursos de inversión previstos, se podrá utilizar algunos de los siguientes materiales:

- Columnas de madera y alambre de púas.
- Cerco prefabricado: columnas de concreto armado tipo poste y placas lisas.
- Cerco con columnas de concreto armado tipo poste y alambre de púas.
- Cerco de material noble: columnas de concreto armado y tabiquería de ladrillo.
- Cerco con columnas de concreto armado y malla metálica, etc.

Tomando en cuenta las características de suelo, existencia de agua para riego, y las condiciones climáticas de la zona, es ideal que el cerco perimétrico se complemente con graduales trabajos de arborización, dando prioridad a especies nativas que desarrollen alturas superiores a los 3 metros, considerando la densidad necesaria para que efectivamente cumpla alguna función de aislamiento y estética.

Ocupación informal del entorno del relleno sanitario

Es común que cuando se habilita un relleno sanitario con su vía de acceso, inmediatamente se produzca la presencia de personas que se establecen en las inmediaciones del lindero o cerco perimetral, esta situación pone en riesgo uno de los criterios de separación del relleno sanitario respecto a las viviendas más cercanas, de ahí que es de suma importancia que la municipalidad provincial en cuya jurisdicción se ubica el relleno sanitario tome con anticipación las medidas necesarias para que la franja colindante con el lindero del relleno sanitario no pueda ser ocupada ni desarrollarse actividades incompatibles con la actividad de disposición final de residuos.

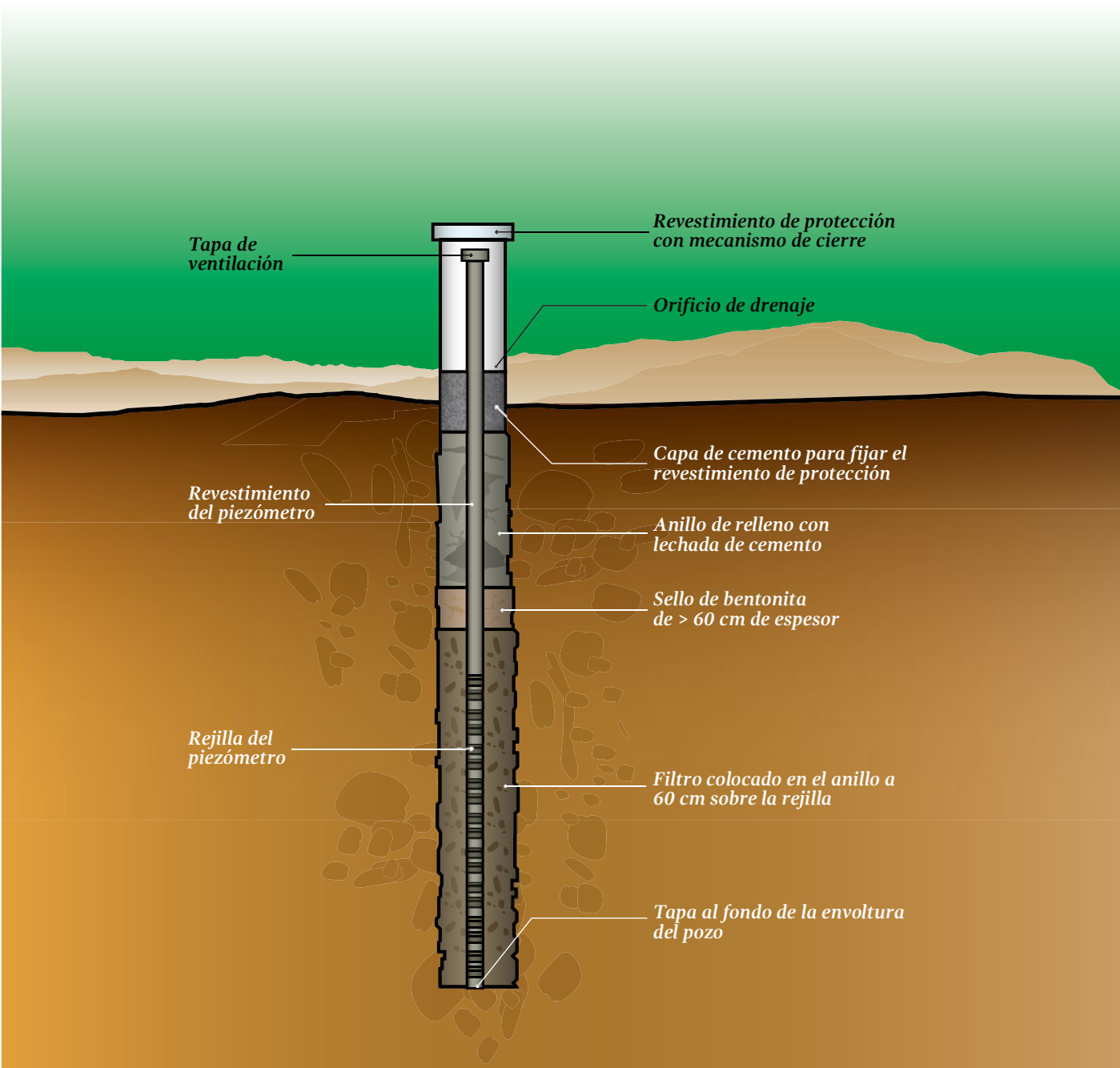
Definición de Barrera sanitaria

Las condiciones de aislamiento que deben caracterizar al área destinada al relleno sanitario respecto de superficies colindantes constituyen la barrera sanitaria. Este aislamiento o barrera puede ser:

- **Barrera natural:** son las formaciones morfológicas, como cerros agrestes y empinados que bordean al terreno. Estas elevaciones constituyen una barrera que aísla el área del proyecto con el entorno o parte de él. Los cauces de quebradas agrestes y secas cumplen el mismo fin. Las formaciones boscosas también sirven como barrera natural.
- **Barrera artificial:** se forma como resultado de la acción humana. Toda infraestructura para manejo de residuos sólidos debe considerarse como área de acceso restringido, por ello el diseño debe incluir la habilitación de un cerco perimetral con características disuasivas para evitar el ingreso de personas ajenas y animales domésticos que, eventualmente, pudiera producirse.

La dimensión del cerco se calculará en función al perímetro del terreno, considerando también la pendiente del terreno y la puerta de acceso.

Ilustración N°22. Impermeabilización de la base:
esquema de corte, por tipo de relleno



12.9.10. Pozos para monitoreo de aguas subterráneas

Construcción

El pozo de monitoreo debe estar constituido por una tubería de PVC (Norma Técnica Peruana 399.033) de 6" de diámetro, a una profundidad de 4 m, tomando como referencia la cota base de la trinchera o plataforma, en el fondo llevará una grava de 2 a 4 mm para facilitar la captación del fluido a través de la tubería perforada a ese nivel. En la parte superior del pozo debe instalarse una tapa de concreto para facilitar la toma de las respectivas muestras.

La tubería interior y de revestimiento de protección también puede ser de PVC, hierro, acero inoxidable o acero galvanizado. El pozo debe ser sellado con cemento y bentonita. El filtro debe ser de grava (se recomienda entre 1 y 3 mm).

Ubicación

Los pozos para monitoreo de agua subterránea deben estar ubicados aguas arriba y aguas abajo del área destinada a la disposición final de residuos.

- **Aguas arriba de la infraestructura.** Tiene la finalidad de obtener muestras de agua subterránea y/o infiltración de agua superficial en áreas en las que está descartada cualquier posibilidad de contaminación como producto de la operación del relleno sanitario. El análisis en laboratorio de los parámetros que correspondan permite conocer sus características físico-químicas.

- **Aguas abajo de la infraestructura.** Permite obtener muestras de agua subterránea y/o infiltración de agua superficial en áreas ubicadas aguas abajo del área destinada a la disposición final de residuos, donde por gravedad podría llegar el escurrimiento superficial y/o el flujo subterráneo con algún contaminante que, como consecuencia de la operación, pueda estar presente en el área.

La comparación de los resultados de los análisis de laboratorio realizados a muestras obtenidas en pozos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la infraestructura permitirá conocer la posible variación de la calidad del agua subterránea o del flujo superficial.

La ubicación de los pozos para monitoreo de agua subterránea aguas arriba y aguas abajo del área destinada a la disposición final de residuos y su profundidad serán resultado de la información obtenida en los estudios de geofísica (SEV) e hidrogeología, respectivamente.

Para el caso de rellenos sanitarios situados en zonas desérticas y, por consiguiente, con ausencia total de agua subterránea y agua superficial, sustentada con el estudio de hidrología, no será necesaria la habilitación de pozos para monitorear el agua subterránea.

Necesidad de habilitar Pozos para monitoreo de agua subterránea

La presencia de agua subterránea y/o posible infiltración de lixiviados requiere el monitoreo de las zonas en las que los estudios básicos (geología, hidrogeología y geofísica) realizados hayan detectado presencia de agua subterránea y/o infiltración de agua superficial. Con este propósito es necesaria la habilitación de pozos de monitoreo.

El número de estos pozos, su profundidad y características se determinarán de acuerdo con los estudios de suelos, hidrogeología y geofísica; por lo tanto, obedecerán a las condiciones propias de las zonas destinadas a cada relleno sanitario.

El diseño de los pozos de monitoreo debe guardar relación con la hidrogeología y la geoquímica del sitio, las consideraciones específicas dependerán de cada pozo en particular.

La profundidad que deben alcanzar los pozos de monitoreo depende de:

- Los registros de pozos cercanos en el mismo acuífero.
- El objetivo que se persigue.
- La profundidad del nivel estático en la zona.
- El abatimiento medio anual del nivel freático.

El diseño debe especificar el dimensionamiento y los materiales a utilizar para su construcción.

13. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL RELLENO SANITARIO



En esta etapa se describen las actividades propias de las actividades de disposición final de residuos en la infraestructura ya habilitada, las cuales deben realizarse con base en el proyecto de infraestructura aprobado. Se consideran también las actividades de controles periódicos y permanentes, y la realización de los monitoreos indicados en el instrumento ambiental correspondiente.

13.1. REGISTRO: INGRESO Y SALIDA DE VEHÍCULOS

La única forma de tener información real sobre la cantidad de residuos que se dispone en el relleno sanitario, es realizando el registro y pesaje de las unidades que transportan los residuos sólidos municipales.

Procedimiento

La secuencia en el registro y control de las unidades que transportan residuos es:

- Ingreso de la unidad que transporta residuos al relleno.
- La unidad se estaciona en la balanza, se verifica si está autorizada, se registra la información obtenida en el primer pesaje (peso bruto) y la unidad ingresa a la zona de descarga por vía de acceso y respetando límite de velocidad.
- La unidad descarga los residuos y retorna a la balanza.
- La unidad se estaciona en la balanza, se realiza el segundo pesaje que determina la diferencia de pesajes obteniendo el peso neto de los residuos descargados. El operario de balanza imprime el comprobante de pesaje, el cual firma el conductor de la unidad.

- El operario de balanza entrega al conductor copia del comprobante de pesaje. La unidad se retira del relleno sanitario.

Información registrada

La información que necesariamente se registra en la balanza para pesar vehículos es la siguiente:

- Código y placa de la unidad que ingresa al relleno sanitario.
- Procedencia de los residuos (municipalidad o empresa).
- Nombre del chofer del vehículo que transporta los residuos.
- Fecha y hora de ingreso.
- Pesaje de la unidad al ingreso (con residuos).
- Pesaje de la unidad a la salida (sin residuos).
- Fecha y hora de salida.
- Nombre del responsable que realiza el registro y la emisión del comprobante de pesaje.

13.1.1. Consideraciones para definir la necesidad de balanza para pesar vehículos y/o implementar otra modalidad de registro

El diseño de la infraestructura para disposición final de residuos, deberá evaluar y sustentar la necesidad de instalar una balanza para pesar vehículos. Para ello se deberá considerar el requerimiento de energía eléctrica en forma permanente (desde la red pública o mediante generadores eléctricos); los trabajos de mantenimiento y calibración como máximo anuales; equipamiento para la caseta de pesaje; dotación permanente de comprobantes de pesaje; abastecimiento de combustible para los generadores eléctricos de ser el caso; etc.

Pero no todos los tipos de relleno requieren balanza, por esta razón la municipalidad involucrada en los rellenos sanitarios manual o semimecanizado será finalmente la que decida si la infraestructura contará o no con balanza para pesar vehículos (*).

Cuadro N°31. Infraestructura de pesaje: necesidad de balanza

	RELLENO SANITARIO MANUAL	RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO	RELLENO SANITARIO MECANIZADO
Requiere balanza para pesaje de vehículos	NO	NO (*)	SI

Fuente: Elaboración propia.

Rellenos sanitarios con balanza para pesar vehículos

El dimensionamiento y capacidad de las balanzas para pesar vehículos en un relleno sanitario debe considerar los tipo de vehículos que realizaran el servicio de recolección y transporte de residuos.

Cuadro N°32. Infraestructura de pesaje: criterios básicos para dimensionar la balanza

ALTERNATIVA	TIPOS DE VEHÍCULOS QUE REALIZAN SERVICIO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	CARACTERÍSTICAS DE LA BALANZA REQUERIDA
I	Camiones compactadores Camiones volquete Camiones de baranda	Balanza electrónica Plataforma de 12 m de longitud y 3 m de ancho Capacidad de pesaje de hasta 60 toneladas
II	Camiones compactadores Camiones volquete Camiones de baranda Unidades semitráiler que realizan servicio de transporte desde planta de transferencia	Balanza electrónica Plataforma de 18 m de longitud y 3 m de ancho Capacidad de pesaje de hasta 80 toneladas

Fuente: Elaboración propia.

Rellenos sanitarios sin balanza para pesar vehículos

Al ser necesario conocer la cantidad de residuos sólidos de los que se dispondrán en los rellenos sanitarios que no cuentan con balanzas para pesar vehículos (manual y semimecanizado), se debe recurrir a procedimientos alternativos para obtener y registrar los pesos de los residuos sólidos que se disponen en el relleno sanitario.

Cuadro N° 33. Rellenos sanitarios sin balanza: alternativas para calcular el peso

ALTERNATIVA 1	Los vehículos de recolección de residuos deben realizar el pesaje del vehículo en una balanza de la que se pueda disponer en la jurisdicción. Para esto será necesario que la municipalidad o la empresa operadora de residuos sólidos del relleno sanitario suscriban un contrato con la empresa propietaria de la balanza.
ALTERNATIVA 1	Realizar el procedimiento para estimar el peso de los residuos que transporta un vehículo de recolección relacionando el volumen de residuos que contiene la unidad con su densidad en estado suelto, de acuerdo con los resultados del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales relacionado al proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Como referencia se puede tomar la información estadística de que se dispone sobre la densidad que alcanzan los residuos sólidos en estado suelto recolectados en diversos tipos de unidades.

Cuadro N° 34. Rellenos sanitarios sin balanza: alternativas para calcular el peso

TIPO DE VEHÍCULO	DENSIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ESTADO SUELTO* (T/M³)
Camión de baranda	0,10-0,30
Camión volquete	0,10-0,30
Camión compactador	0,45 – 0,50

* Las densidades indicadas corresponden a residuos recolectados y que no han sido expuestos a precipitaciones pluviales.
Fuente: Elaboración propia.

13.1.2. Cálculo de la infraestructura o equipamiento para provisión de energía eléctrica

El proyecto de relleno sanitario deberá especificar claramente la necesidad de contar con el servicio de energía eléctrica o prescindir de este servicio, lo que estará en función de lo siguiente:

- Factibilidad técnica para dotar al relleno sanitario de red propia para suministro de energía eléctrica (cercanía a subestaciones).
- Si el proyecto considera instalar una balanza para el pesaje de los vehículos, servicio que necesariamente requerirá de energía eléctrica provista desde la red pública, o mediante generadores eléctricos.
- Para iluminación y operación de equipos diversos: iluminación en instalaciones administrativas y de servicios; equipos de cómputo en balanza y oficina; equipos de aire acondicionado; termas en duchas; iluminación de vías internas; requerimiento de energía en posibles infraestructuras de recuperación de residuos (reciclaje de materiales inorgánicos y compostaje); etc.
- La necesidad de suministro de energía eléctrica varía en función del tipo de relleno sanitario, el horario de operación y el requerimiento de balanza para pesar vehículos.

Cuadro N°35. Rellenos sanitarios: requerimiento de servicio de energía eléctrica

Requerimiento de servicio de energía eléctrica	Relleno manual	Relleno semimecanizado	Relleno mecanizado
Horario de disposición final de residuos sólidos	Turno diurno* (7.00-16.00 horas)	Turno diurno* (7.00-16.00 horas)	Turnos diurno y nocturno (24 horas al día)
Cuenta con balanza para pesar vehículos	No	No	Sí
Requiere del servicio de energía eléctrica	No	No	Sí

* Es recomendable que los rellenos sanitarios manual y semimecanizado limiten sus operaciones al turno diurno.
Fuente: Elaboración propia.

En el desarrollo del proyecto del relleno sanitario se evaluará la posibilidad de suministro de energía eléctrica mediante sistemas no convencionales como energía solar o eólica.

13.2. DESCARGA DE LOS RESIDUOS

La operación adecuada de un relleno sanitario debe considerar la descarga planificada y ordenada de los residuos, que deben ocupar áreas previamente dimensionadas, las que estarán en relación con la cantidad de residuos de los que normalmente se disponen durante una jornada; además del tiempo estimado de descarga según los tipos de vehículos; y afluencia de vehículos en horas punta.

La operación debe considerar un procedimiento que permita relacionar las áreas destinadas a la circulación cómoda y segura de las unidades que llegan a descargar residuos con las áreas donde se realizará la disposición final (frentes de trabajo).

Para rellenos sanitarios mecanizados en los que esté prevista la disposición final de grandes volúmenes de residuos podrá establecerse más de un frente de trabajo (cada frente de trabajo constituirá una celda diaria).

En este contexto, la secuencia de las actividades es:

- Dimensionamiento de la celda diaria.
- Formación de la celda diaria.
- Prolongación de los drenes verticales para gases (donde corresponda).

13.3.DIMENSIONAMIENTO DE LA CELDA DIARIA

Para el dimensionamiento de la celda diaria se requiere conocer:

- Cantidad de residuos de que se dispone diariamente.
- Horas punta de llegada de las unidades que transportan residuos, características y capacidad de las unidades de transporte.
- Equipamiento mecánico disponible.
- Modalidad de operación. Se considera situación crítica: método de área.

La dimensión de los frentes de trabajo o celdas diarias a ser ocupadas por los residuos dispuestos es resultado de relacionar el volumen de residuos que se dispondrá diariamente, con el largo del frente de trabajo, y la altura promedio que alcanzara la capa de residuos. De esta evaluación resulta que solo el frente transversal tendrá una extensión variable.

A modo de ejemplos, con propósito ilustrativo del procedimiento, las siguientes tablas muestran el dimensionamiento de las celdas diarias, para cada tipo de relleno, bajo los siguientes supuestos:

- Las cantidades de residuos que se disponga diariamente serán, en promedio, las mismas a lo largo de un año (A). Dichas cantidades aumentan anualmente de acuerdo con la tasa de crecimiento de la generación per cápita. Varían por tipo de relleno. En nuestro ejemplo, para el primer año son 5,00, 40,50 y 706,53, toneladas diarias respectivamente.
- La densidad inicial promedio de residuos dispuestos (B) será un dato proporcionado por el operador. En este caso 0,60, 0,70 y 0,83 t/m, para rellenos sanitarios manual, semi mecanizado y mecanizado respectivamente.

- El volumen de celda requerido (C) será el resultado de dividir la cantidad promedio de residuos sólidos a disponerse entre la densidad inicial promedio de residuos dispuestos (A / B).
- La altura promedio de las capas de residuos (D) con la que se plantea la disposición final de los residuos se asume de acuerdo con el tipo de relleno sanitario, en este caso 0,60, 1,00 y 2,50 m, respectivamente.
- La superficie promedio demandada (E) será el resultado de dividir el volumen de celda requerido entre la altura promedio de la capa de residuos (C / D).
- La longitud del frente de descarga (F) será un dato dado por el operador. En este caso, 5,00, 15,00 y 30,0 m, según el tipo de relleno.
- La longitud de avance transversal (G) será el resultado de dividir la superficie promedio requerida entre la longitud del frente de descarga (E / F).
- Las dimensiones de los frentes de trabajo o las celdas diarias (largo y ancho) se han establecido con el estimado de unidades de recolección que, de acuerdo con los horarios de recolección en la jurisdicción, podrían llegar a los rellenos sanitarios en forma simultánea. Por ejemplo, 2 unidades para rellenos sanitarios manuales, entre 3 a 4 unidades en rellenos sanitarios semimecanizados y hasta 10 unidades en rellenos sanitarios mecanizados.

Cuadro N° 36. Relleno sanitario manual:
ejemplo de dimensionamiento de celda diaria

AÑOS DE VIDA ÚTIL	Cantidad promedio de residuos a disponer (t)	DENSIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ESTADO SUELTO* (T/M3)
	Camión de baranda	0,10-0,30
	Camión volquete	0,10-0,30
	Camión compactador	0,45 – 0,50

**Cuadro N° 37. Relleno sanitario semimecanizado:
ejemplo de dimensionamiento de celda diaria**

Cantidad promedio de residuos a disponer (t)	DENSIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ESTADO SUELTO* (T/M³)
Camión de baranda	0,10-0,30
Camión volquete	0,10-0,30
Camión compactador	0,45 – 0,50

**Cuadro N° 38. Relleno sanitario mecanizado:
ejemplo de dimensionamiento de celda diaria**

Cantidad promedio de residuos a disponer (t)	DENSIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ESTADO SUELTO* (T/M³)
Camión de baranda	0,10-0,30
Camión volquete	0,10-0,30
Camión compactador	0,45 – 0,50

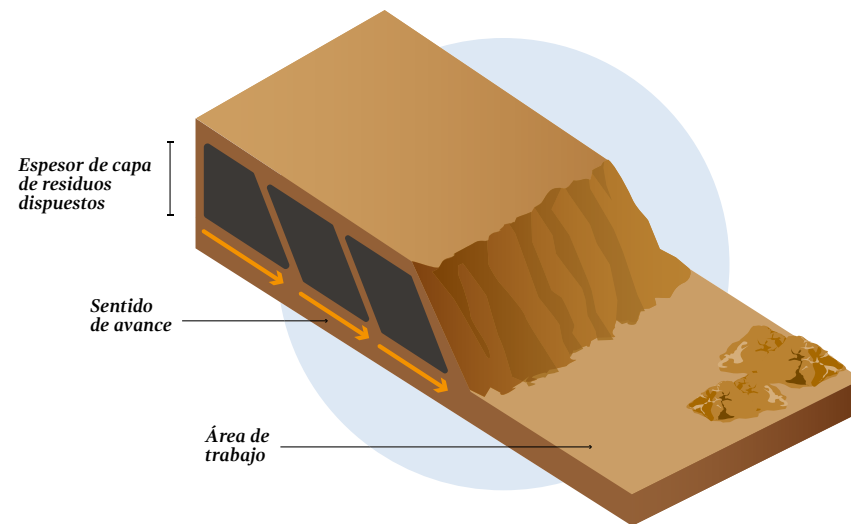
Las dimensiones de la celda diaria o el frente de trabajo deberán definirse en la etapa de operación de cada relleno sanitario, de acuerdo con todas las variables que caracterizarán a cada infraestructura, y dependerán fundamentalmente de los horarios de recolección en cada jurisdicción, del equipamiento mecánico del que dispongan y sobre todo de las condiciones climáticas (precipitaciones pluviales) que caractericen a cada infraestructura para disposición final de residuos.

Para posibilitar que la operación se realice en forma planificada y ordenada, las celdas deberán estar permanentemente delimitadas mediante pequeños diques de tierra u otras señales adecuadas. La delimitación de estas áreas deberá tener en cuenta el número y las características de los vehículos que se estime llegarán a la infraestructura en horas punta, y así posibilitar la descarga simultánea de los vehículos sin demoras innecesarias.

13.4. FORMACIÓN DE LA CELDA DIARIA

Los residuos sólidos que se descargan en el frente de trabajo previamente delimitado se acumularán abarcando la superficie y los espesores definidos en el dimensionamiento de la celda diaria.

Ilustración N°23.
Celda diaria: esquema de diseño



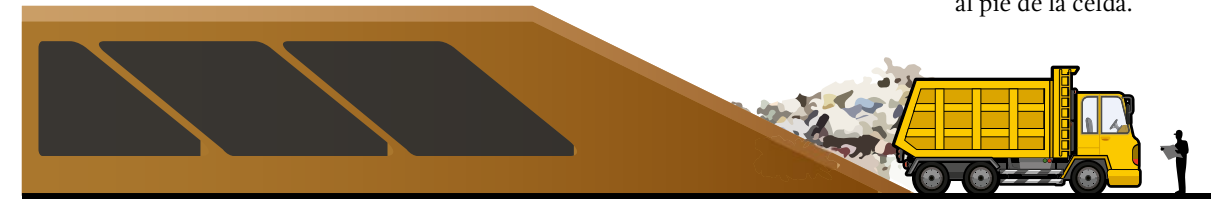
La celda diaria es el volumen formado con los residuos descargados durante una jornada, debidamente formada, compactada y cubierta con tierra. Las dimensiones que la definen son:

- Longitud del frente de descarga.
- Altura promedio de la capa de residuos.
- Longitud de avance transversal.
- Espesor de la tierra de cobertura.

Su construcción sigue una secuencia definida de actividades.

Ilustración N°24. Celda diaria: secuencia de construcción

1 PRIMER PASO
Descarga de residuos al pie de la celda.



2 SEGUNDO PASO
Colocar residuos en capas delgadas (60 cm).



3 TERCER PASO
Compactar pasando al menos 4 ó 5 veces sobre cada capa de residuos.



4 CUARTO PASO
Al final del día se coloca el material de cobertura de al menos 15 cm de espesor con compactación similar a la de los residuos.



13.5. COMPACTACIÓN DE LOS RESIDUOS

La compactación de los residuos en la disposición final de residuos bajo el método de relleno sanitario consiste en reducir el volumen de estos al mínimo practicable. El mayor o el menor grado de compactación que alcancen los residuos depende de muchos factores. Los principales son los siguientes:

- Composición física de los residuos.
- Espesor de los residuos compactados.
- Compactación de los residuos sólidos: manual (pisones manuales) o mecánica (tractor de orugas, compactador de residuos, etc.).
- Características del equipamiento mecánico, etc.

El procedimiento a seguir varía de acuerdo con el tipo de relleno.

Cuadro N°39. Compactación de residuos:
procedimiento, por tipo de relleno

RELLENO SANITARIO MANUAL	RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO Y MECANIZADO
Espesor mínimo de residuos en la formación de la celda diaria = 0,20 m. La efectividad de los pisones manuales en compactación se sustenta en la presión mecánica vertical que se aplica en un área pequeña.	Los residuos se extienden de abajo hacia arriba con un talud de 3:1 (H:V), con un espesor máximo de aproximadamente 0,60 m. Los residuos se uniformizan en la superficie del talud, y se compactan mediante sucesivos pases del tractor de orugas. Previa a la actividad de suministro y extendido de tierra para cobertura, la superficie horizontal y el talud de la celda en formación deben haber sido adecuadamente compactados.

Según el Artículo N°115 del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, sobre operaciones mínimas en rellenos sanitarios, establece que dichas operaciones deben ser:

- Nivelación y compactación diaria para la conformación de las celdas de residuos sólidos.
- Cobertura diaria de los residuos con capas de tierra que permita el correcto confinamiento de los mismos.
- Compactación diaria de la celda en capas de un espesor no menor de 0,20 m.
- Cobertura final con material de un espesor no menor de 0,50 m.
- Monitoreo de los parámetros establecidos en la línea base para la calidad del aire, suelo, ruido y agua superficial o subterránea, en caso corresponda.
- Mantenimiento de pozos de monitoreo; drenes de lixiviados; drenes verticales para evacuación y control de gases y; canaletas superficiales.

Los residuos descargados se acumulan formando la capa o la plataforma de residuos dentro del área delimitada para el frente de trabajo. Esta actividad culmina con la compactación de la superficie de residuos y la provisión, el extendido y la compactación de la tierra de cobertura. Se realiza en forma manual o con maquinaria pesada según la cantidad de residuos que se dispongan en el relleno sanitario.

Cuadro N°40. Compactación de residuos:
procedimiento, por tipo de relleno

LABORES	RELLENO SANITARIO MANUAL	RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO	RELLENO SANITARIO MECANIZADO
Acumulación de residuos, formación de capa o plataforma y compactación	Herramientas manuales	Tractor de orugas	Tractor de orugas
Espesor de los residuos en la formación de capa o plataforma	Mínimo de 0,20 m	Variable, entre 1,00 y 1,50 m	Variable, entre 2,5 y 4,0 m
Densidad que aproximadamente alcanzan los residuos	de 0,50 a 0,60 t/m ³	Aproximadamente 0,70 t/m ³	Aproximadamente 0,80 a 1,00 t/m ³
Corte de tierra (en cantera) para cobertura y traslado a punto de acopio	Manual*	Tractor de orugas	Tractor de orugas
Traslado de tierra de punto de acopio o cantera a la zona de disposición final	Mediante carretillas (desde punto de acopio)	Cargador frontal y camión volquete (desde cantera)	Cargador frontal y camión volquete (desde cantera)
Extendido de tierra de cobertura	Manual (lampas y rastrillos)	Tractor de orugas	Tractor de orugas
Compactación de tierra de cobertura	Manual (pisones manuales)	Tractor de orugas	Tractor de orugas

* Se debe considerar el empleo periódico de maquinaria (cargador frontal sobre neumáticos) para corte y traslado de tierra hasta el punto de acopio en área cercana a la zona de disposición final.
Fuente: Elaboración propia.

13.6. COBERTURA DE LOS RESIDUOS

La cobertura diaria de las celdas es la que se realiza en una jornada de trabajo. Los espesores compactados de la tierra de cobertura, las características granulométricas y los coeficientes de permeabilidad de la tierra variarán de acuerdo con el tipo de relleno sanitario y las condiciones climáticas de la zona en la que se ubican.

La tierra arcillosa libre de piedras, con coeficiente de permeabilidad bajo, puede ser ideal para zonas donde no se registran precipitaciones pluviales, pero es pésima para zonas con precipitaciones pluviales, debido a que el agua de lluvia ocasiona que la superficie cubierta con arcilla se convierta en intransitable, imposibilitando realizar actividad alguna, menos aún la circulación de vehículos que lleguen a descargar residuos.

En rellenos sanitarios semimecanizados y mecanizados ubicados en zonas donde se registran precipitaciones pluviales se requerirá que la superficie de cobertura diaria sea estable, adecuadamente compactada y formada superficialmente por material granular, para permitir la normal circulación de los vehículos que llegan a descargar residuos.

El procedimiento típico seguido en rellenos sanitarios manuales considera:

- La tierra para cobertura se traslada en carretillas desde el punto de acopio y se descarga sobre la superficie de residuos compactados.
- Empleando lampas y rastrillo se realiza el extendido de la tierra, formando una capa de espesor uniforme sobre toda la superficie de residuos. El espesor de la tierra extendida debe ser ligeramente superior al espesor final que debe alcanzar la cobertura diaria.
- Con el empleo de pisones manuales se realiza la compactación de la tierra de cobertura, aplicando sucesivos golpes distribuidos en toda la superficie.

El procedimiento típico en rellenos sanitarios semimecanizados y mecanizados considera:

- La tierra para cobertura se traslada en camiones volquete y se descarga al borde de la superficie cubierta en la jornada anterior, normalmente un volumen importante de la tierra que descarga el volquete cae directamente sobre la superficie de residuos compactados. El camión volquete realiza el número de viajes necesarios para que la tierra descargada abarque

toda la longitud del frente de trabajo.

- El tractor de orugas realiza el extendido de la tierra sobre la superficie de residuos compactados, formando el espesor definido para la cobertura diaria.
- Dependiendo del avance transversal de los residuos compactados, se puede requerir que el volquete realice viajes adicionales para transportar la tierra de cobertura.
- El tractor de orugas realiza el extendido de la tierra de cobertura descargada por el volquete, y efectúa sucesivas pasadas sobre la superficie con tierra de cobertura. Se consigue así la uniformización y la compactación adecuada de toda la superficie cubierta.

El espesor que debe alcanzar la cobertura diaria de las celdas con residuos dispuestos se muestra en la tabla siguiente:

**Cuadro N°41. Compactación de residuos:
espesor de cobertura diaria, por tipo de relleno**

COBERTURA DIARIA	RELLENO SANITARIO MANUAL	RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO	RELLENO SANITARIO MECANIZADO
Espesor compactado de tierra de cobertura diaria	De 0,10 a 0,20 m	Aproximadamente 0,20 - 0,30 m	Aproximadamente 0,20 - 0,30 m

Fuente: Elaboración propia.

13.6.2. Cobertura final de la celda de residuos

La cobertura o sellado final de las celdas con residuos dispuestos, consiste en la colocación de una capa adicional de tierra sobre la capa de cobertura diaria. El sellado tiene la finalidad de garantizar la adecuada cobertura de los residuos, minimizar la emanación de gases por la superficie del relleno sanitario y lograr el aislamiento de los residuos.

El sellado final, se realiza en las superficies en las que los residuos dispuestos han alcanzado la cota final o proyectada. Esta actividad dependerá de las condiciones particulares que presenten las diferentes áreas del relleno sanitario y podrá realizarse simultáneamente con la cobertura diaria de la última capa de residuos y/o con posterioridad a haberse alcanzado la superficie final prevista.

La tierra a emplearse para el sellado final, deberá sujetarse a los siguientes criterios:

- Priorizar el suelo local con características físicas que luego de compactado, permitan lograr superficies que no sean de fácil erosión por acción de los vientos y/o por el escurrimiento de agua de precipitaciones pluviales.
- Evitar emplear suelo arenoso. Aunque será inevitable su empleo en zonas desérticas.
- Evaluar y definir las características de la cobertura final en función de la disponibilidad de tierra en el área del proyecto o sus inmediaciones.

El espesor que debe alcanzar la tierra de sellado final en las celdas con residuos dispuestos se muestra en la tabla siguiente:

**Cuadro N°42. Compactación de residuos:
espesor de cobertura de sellado final, por tipo de relleno**

COBERTURA DIARIA	RELLENO SANITARIO MANUAL	RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO	RELLENO SANITARIO MECANIZADO
Espesor compactado de tierra de sellado*	0,50 m	0,50 m	0,50 m

* De preferencia usar tierra vegetal, en los 0,30 m. finales de cobertura superficial.

13.7. OPERACIÓN DE EQUIPOS

Los costos directos e indirectos que demandan disponer en el relleno sanitario del equipamiento mecánico necesario para realizar la disposición final de residuos sólidos constituyen el componente principal del costo total de la disposición final de residuos.

Las características, la capacidad y la cantidad de equipamiento mecánico estarán en relación directa con el volumen de residuos que se reciba diariamente, el método de operación y las características del suelo local, especialmente en las canteras para extracción de tierra para cobertura.

Es importante mantener los equipos en buenas condiciones de operatividad, lo que se reflejará en mejores rendimientos y mayor eficiencia en las diversas actividades. La inoperatividad del equipamiento mecánico ocasiona retrasos en el procesamiento de los residuos. El caso más significativo se genera con la inoperatividad prolongada del tractor de orugas, lo que en grandes rellenos sanitarios ocasiona la descarga dispersa de los residuos y obliga a abarcar innecesariamente grandes superficies. Está demostrado que recuperar los trabajos retrasados demanda mayor número de horas máquina, además de la compactación inadecuada de los residuos con incidencia directa en el mayor volumen que ocupan y la afectación de la vida útil del relleno sanitario.

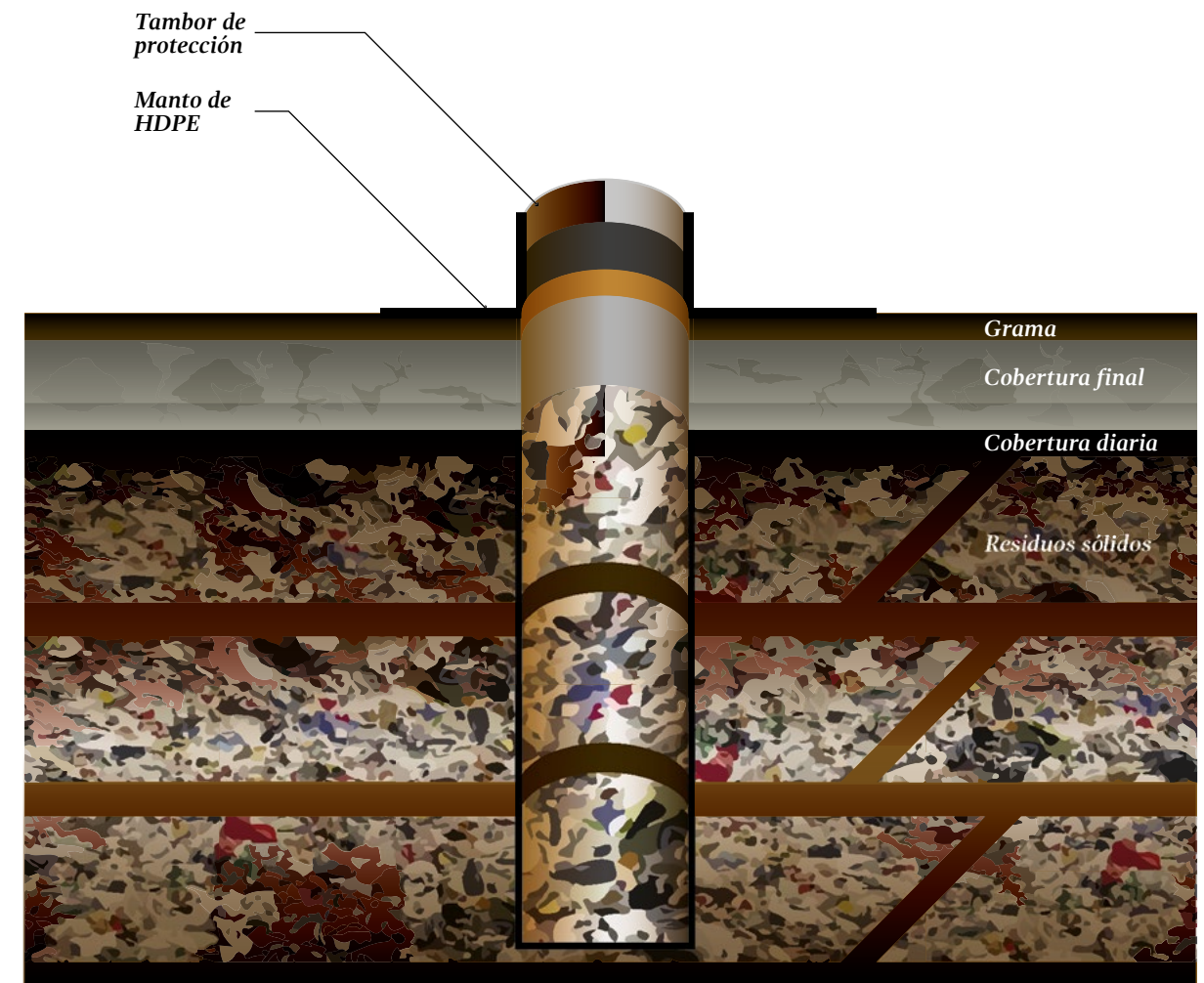
Los equipos de protección personal deben mantenerse en buen estado y el personal operativo del relleno deberá usarlos de manera permanente.

13.8. MANEJO DE GASES

Durante la etapa de operación, las actividades relacionadas con el manejo de gases se limitan al periódico incremento de la altura de los drenes verticales y al relleno con piedras de tamaño mediano, en paralelo con el incremento vertical de las capas de residuos.

Los drenes verticales, habilitados con madera y malla metálica (tipo gavión) o con cilindros metálicos, se van superponiendo en forma segura uno tras otro de acuerdo con el crecimiento vertical de las capas de residuos, hasta llegar a la cota proyectada. Allí, el dren vertical concluye con la instalación del quemador para posibilitar la combustión controlada del biogás.

**Ilustración N°25. Dren vertical para gases:
corte de chimenea con tambor de protección**



La combustión permanente de los gases en el quemador del dren provoca un proceso acelerado de corrosión, por lo que en esta etapa también es necesario realizar el mantenimiento periódico de los quemadores.

En el área de influencia del dren vertical (radio de 1,5 m) el sellado final debe incluir la instalación de una manta de geomembrana como parte del proceso.

13.8.1. Criterios para definir dimensiones y ubicación de drenes verticales para gases

Cuadro N°43. Alternativas de tratamiento de gases de rellenos sanitarios.

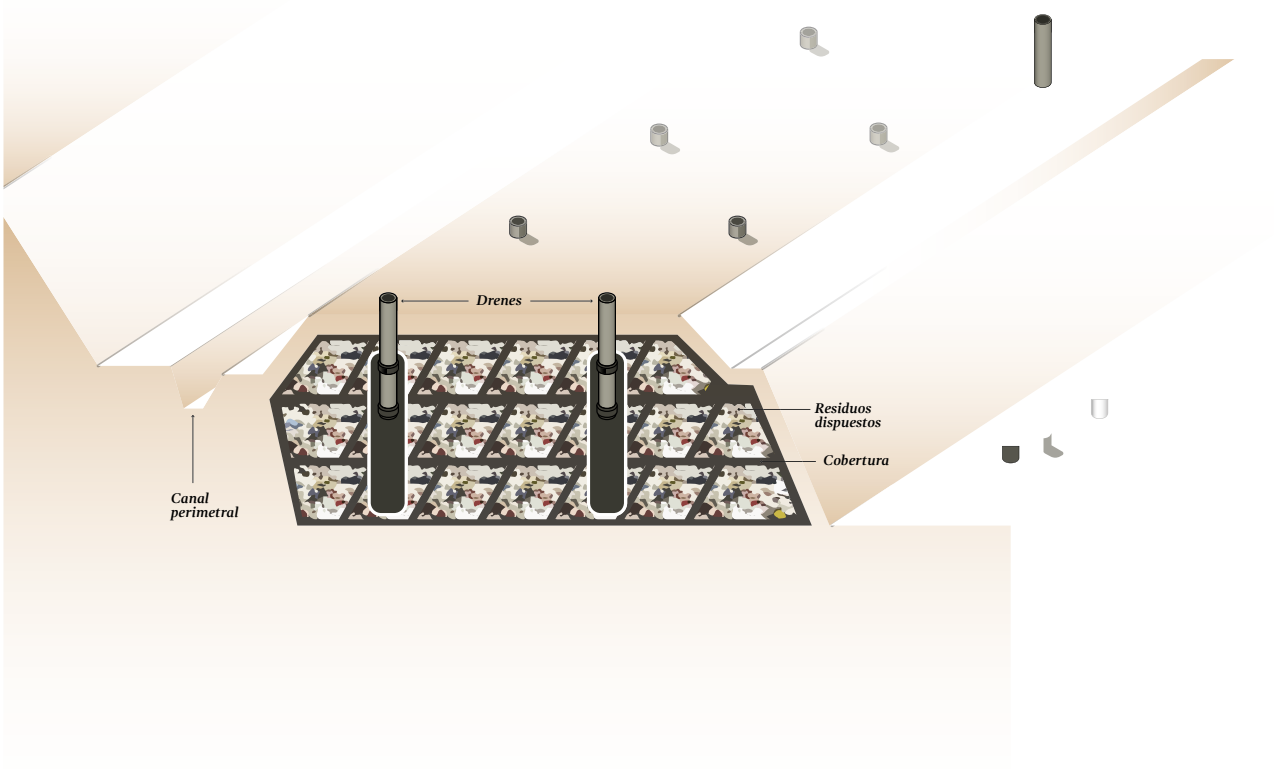
Relleno sanitario > de 200 t/día de residuos sólidos	Relleno sanitario < de 200 t/día de residuos sólidos
Implementar progresivamente captura y quema centralizada de gases.	Implementar captura y quema convencional de gases.
Se reducen emisiones de gases de efecto invernadero.	Se mitiga emisiones de gases de efecto invernadero.

Del mismo modo, podrán incluir actividades de valorización energética a través del uso de la biomasa para la generación de energía.

La infraestructura para el manejo de gases estará formada por drenes verticales que deben iniciarse en la base del relleno sanitario y prolongarse verticalmente hasta la superficie proyectada para residuos dispuestos.

Los drenes verticales pueden ser de sección cuadrada, tipo gavión, o de sección circular.

Ilustración N°26. Dren vertical para gases: sección circular



Las características de los drenes verticales (sección y materiales con los que pueden habilitarse), la separación entre ellos y la necesidad de su interconexión lateral a diferentes alturas de la masa de residuos estarán en función a la extensión que abarcará el relleno sanitario y la altura que alcanzarán los residuos dispuestos, cálculos estos que deben registrarse en los proyectos correspondientes.

Cuadro N°44. Drenes verticales para gases: secciones transversales mínimas y materiales

FORMAS Y DIMENSIONES DE LAS SECCIONES	RELLENO SANITARIO MANUAL	RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO	RELLENO SANITARIO MECANIZADO
Sección cuadrada, tipo gavión, habilitada con madera y malla metálica, rellena con piedras de tamaño mediano (5" a 10" de diámetro)	0,4 m x 0,4 m = 0,16 m²	0,4 m x 0,4 m = 0,16 m²	---
Sección circular, habilitada con cilindros metálicos (diámetro = 0,60 m) con un mínimo de 48 perforaciones con radio de 2" o con malla metálica	---	---	3,1416 (r²) = 0,28 m²

Fuente: Elaboración propia.
Nota: La sección de los drenes verticales puede incrementarse a 1 m de diámetro para el caso de rellenos sanitarios Semi - mecanizados y mecanizados, también puede considerar la colocación de una tubería HDPE de 6" en la parte central de la sección, así como la interconexión mediante drenes longitudinales y transversales a diferentes alturas, esto con la finalidad de lograr mayor flujo de gases y ventilación de los drenes verticales.

Otro aspecto a definir es la ubicación y la distribución de los drenes verticales para gases en el terreno.

Cuadro N° 45. Drenes verticales para gases: distribución en el terreno

TIPO DE RELLENO SANITARIO	DISTRIBUCIÓN DE DRENES VERTICALES*
Manual	Cada 15 m (Área de influencia = 225 m²)
Semimecanizado	Cada 30 m (Área de influencia = 900 m²)
Mecanizado	Cada 30 m (Área de influencia = 900 m²)

* La separación indicada está referida a los sentidos longitudinal y transversal, respectivamente.
Fuente: Elaboración propia.

13.9. MANEJO DE LIXIVIADOS

Esta fase de la operación requiere:

- Seleccionar la superficie para recirculación en áreas ocupadas por residuos estabilizados (con mayor tiempo de haberse realizado la disposición final).
- Realizar la excavación (se retiran la tierra de cobertura y la capa superior de residuos dispuestos).
- Estimar las dimensiones y la profundidad de la excavación de acuerdo con el volumen de lixiviados que se estima será recirculado y la frecuencia con la cual se realizará.

Es importante mencionar que la infiltración de lixiviados en las superficies habilitadas tiene un tiempo determinado hasta que llega a saturarse. Será necesario que la habilitación de nuevas áreas para recircular lixiviados sea periódica.

- Debe considerarse también que en rellenos sanitarios ubicados en regiones con altas temperaturas y/o zonas desérticas, debe evaluarse la posibilidad de regar el lixiviado en forma controlada sobre la superficie de la tierra de cobertura. Esta modalidad facilita la evaporación, posibilitando un mejor control sobre los volúmenes de generación.

13.9.1. Criterios para la ubicación y dimensionamiento de la infraestructura para manejo de lixiviados

- En rellenos sanitarios ubicados en áreas con escasa precipitación pluvial (como la costa) la generación de lixiviados está definida fundamentalmente por el contenido de humedad de los residuos orgánicos. Los lixiviados resultantes tienen por lo general alta carga orgánica y demanda bioquímica de oxígeno.
- En rellenos sanitarios ubicados en sierra y selva, debido a la inevitable caída de agua de precipitaciones pluviales directamente a la masa de residuos que se viene disponiendo y a las superficies ya trabajadas, el volumen de lixiviados que se genera es mayor. Los lixiviados resultantes tienen menor concentración de carga orgánica y demanda bioquímica de oxígeno debido al proceso de dilución con el agua de las precipitaciones pluviales.

El proyecto debe indicar el sistema de gestión y manejo de lixiviados pertinente (tratamiento o recirculación), el cual debe considerar:

- Drenes longitudinales y transversales para captación y conducción de lixiviados. Estos drenes, habilitados con piedras de tamaño mediano y tuberías con perforaciones laterales, que se instalan en la parte central de la sección de los drenes, posibilitan la adecuada infiltración de lixiviados a la sección del dren y, por consiguiente, al interior de la tubería (diámetro variable desde 6" hasta 12" de diámetro) donde se concentra el flujo de lixiviados hacia la poza de almacenamiento temporal.
- Los diámetros de las tuberías están en función de las superficies y alturas proyectadas para los rellenos sanitarios.
- Pozas impermeabilizadas para almacenamiento temporal de lixiviados. Estas pozas deben ser impermeabilizadas con geomembrana, con iguales características que la impermeabilización de la base del relleno sanitario.

Como previsión adicional para zonas con presencia de precipitaciones pluviales intensas el diseño debe considerar:

- Habilitación de cobertura ligera para evitar que el agua de las precipitaciones pluviales caiga directamente a la poza para almacenamiento temporal de lixiviados.
- Habilitación de zanja perimetral, aguas arriba de la ubicación, para evitar que agua de escurrimiento pluvial llegue a la poza para almacenamiento temporal de lixiviados

Diseño del sistema de gestión y manejo de lixiviados

El primer paso es el cálculo de la generación de lixiviados. El volumen de lixiviados en un relleno sanitario depende de varios factores, entre ellos:

- Precipitación pluvial en el área del relleno sanitario.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los residuos sólidos.
- Grado de compactación en la disposición final de los residuos sólidos.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los residuos sólidos para retener humedad).

El volumen de lixiviados está fundamentalmente en función de la precipitación. No solo la escorrentía puede generarlos, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno.

Debido a las diferentes condiciones de operación y localización de cada relleno las tasas esperadas pueden variar, de ahí que deban calcularse para cada caso en particular. El método suizo permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado mediante la ecuación:

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviado (l/seg.)

P = Precipitación máxima anual (mm/año)

A = Área de la plataforma (m²)

t = Número de segundos en un año (31 536 000)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

• Para rellenos débilmente compactados, con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviados de entre 25 % y 50 % (K = 0,25-0,50) de precipitación media anual en el área de relleno.

• Para rellenos fuertemente compactados, con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviados de entre 15 % y 25 % (K = 0,15-0,25) de la precipitación media anual en el área del relleno.

La siguiente tabla muestra, a modo de ejemplo, un caso práctico de cálculo.

**Cuadro N°46. Drenes verticales para gases:
secciones transversales mínimas y materiales**

	PRECIPITACIÓN ANUAL (MM)	ÁREA DEL RELLENO (M²)*	T (SEG./ AÑO)	K	Q (l/seg.)	Q (m³/día)
Trinchera 1	2000	1750	31 536 000	0,25	0,25	2,40
Trinchera 2	2000	1750	31 536 000	0,25	0,25	2,40
Plataforma 1	2000	3500	31 536 000	0,25	0,25	4,79
Total						9,59

* Se considera el área de la trinchera o la base de la plataforma.
Fuente: Elaboración propia.

Drenes para captar y conducir lixiviados

La ubicación, las formas y las dimensiones de los drenes para lixiviados en la base de los rellenos sanitarios serán el resultado de la evaluación de cada caso particular, principalmente en función de

$$Q = \frac{1 \times P \times A \times K}{t}$$

las condiciones climáticas de la zona, la cantidad de residuos que serán dispuestos, las características físicas de los residuos y el grado de compactación que se espera alcanzar en la disposición final de residuos.

La distribución de los drenes en la base del relleno sanitario puede seguir dos métodos diferentes: de espina de pescado o de drenes perpendiculares.

**Cuadro N°47. Drenes verticales para gases:
secciones transversales mínimas y materiales**

MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
Espina de pescado	La superficie base del relleno sanitario tiene pendiente de escurrimiento en sentido longitudinal (mínimo 2,0 %) y relieve horizontal en sentido transversal.	Dren principal en sentido longitudinal. Drenes secundarios en sentido transversal (formando ángulos de 30° a 45° respecto del dren principal).
Drenes perpendiculares	La superficie base del relleno sanitario se habilita con pendientes de escurrimiento en los sentidos longitudinal y transversal (mínimo 2,0 % en ambas direcciones).	Dren principal en sentido longitudinal. Drenes secundarios en sentido transversal (formando ángulos de 90° respecto del dren principal).

Fuente: Elaboración propia.

Por las complicaciones en la habilitación de la estructura impermeable en la base de un relleno sanitario que ocasionan los drenes para lixiviados con el método espina de pescado, se sugiere que este método se emplee solo cuando técnicamente se haya descartado la posibilidad de habilitar la base del relleno sanitario con pendientes de escurrimiento en sentidos longitudinal y transversal.

En el proyecto se considerarán drenes de forma longitudinal (largo de la trinchera o plataforma) y transversal (ancho de la trinchera o plataforma) en la base de la trinchera o plataforma con pendientes que van del 1 % al 2 % en dirección a la poza de almacenamiento de lixiviados. Para su dimensionamiento se debe usar la fórmula de cálculo de la sección trapezoidal de zanja para anclaje o fijación de materiales geosintéticos:

$$S = \frac{\{(B_{my} + B_m) \times H\}}{2}$$

Donde:

S = Sección o área

B_{my} = Base mayor del trapecio

B_m = Base menor del trapecio

H = Altura del trapecio (B_{my}-B_m)

Los resultados para los distintos tipos de rellenos se muestran en la tabla siguiente:

Cuadro N°48. Drenes para lixiviados:
características de secciones, por tipo de relleno

TIPO DE RELLENO SANITARIO	SECCIÓN DE DRENES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL (M²)	OBSERVACIONES
Manual	Sección cuadrada: 0,40 m x 0,40 m = 0,16 m² Sección trapezoidal: S = {(B _{my} + B _m) x H} / 2 (0,9 + 0,3) x 0,3/2 = 0,18 m²	Dren de sección cuadrada excavada por debajo de la superficie base. Dren de sección trapezoidal habilitada sobre la capa de protección de la geomembrana.
Semimecanizado	Sección rectangular: 0,60 m x 0,80 m = 0,48 m² Sección trapezoidal: S = {(B _{my} + B _m) x H} / 2 (1,2 + 0,4) x 0,4/2 = 0,32 m²	Dren de sección cuadrada excavada por debajo de la superficie base. Dren de sección trapezoidal habilitada sobre la capa de protección de la geomembrana.

TIPO DE RELLENO SANITARIO	SECCIÓN DE DRENES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL (M2)	OBSERVACIONES
Mecanizado	Sección rectangular: 0,60 m x 0,80 m = 0,48 m² Sección trapezoidal: S = {(B _{my} + B _m) x H} / 2 (1,4 + 0,6) x 0,4/2 = 0,40 m²	Dren de sección cuadrada excavada por debajo de la superficie base. Dren de sección trapezoidal habilitada sobre la capa de protección de la geomembrana.

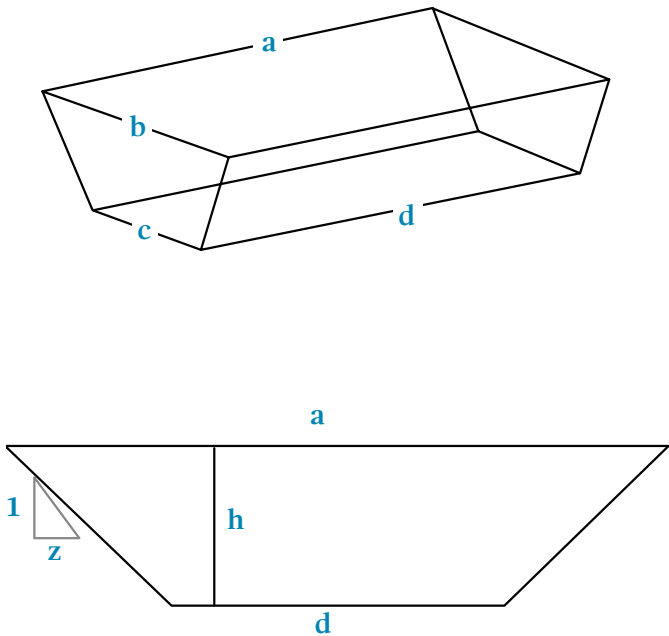
Fuente: Elaboración propia.

El proyecto deberá describir los detalles de impermeabilización y protección de los drenes. Además, se debe considerar la colocación de piedras seleccionadas de 6" a 8" de diámetro en toda la sección del dren.

13.9.2. Dimensionamiento de la poza para almacenamiento temporal de lixiviados

Una vez estimado el caudal diario (m³/día) de lixiviado generado se realiza el dimensionamiento de la poza de lixiviados. El método a aplicar es el de trincheras y, usando el procedimiento de cálculo de volumen, se estima el volumen de recepción de la(s) poza(s) de lixiviados mediante la fórmula:

$$\text{Volumen} = 1/3 \, h(axb+cx+d\sqrt{(axb)x(cxd)})$$



Donde:

a = Largo de base mayor

b = Ancho de base mayor

c = Ancho de base menor

d = Largo de base menor

h = Altura

El resultado por poza se consolida conforme se señala en el ejemplo.

Cuadro N°49. Lixiviados: cálculo
del volumen de recepción, por pozas

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES					VOLUMEN
	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	H (m)	(m³)
Poza N.º 1	3,5	2,0	2,0	0,5	1,5	5,32
Poza N.º 2	3,5	2,0	2,0	0,5	1,5	5,32
Total						10,65

Fuente: Elaboración propia.

Calculado el volumen de lixiviados a manejar se define el sistema de gestión de los mismos. Estas alternativas pueden ser recirculación o tratamiento.

13.9.2. Dimensionamiento de la poza para almacenamiento temporal de lixiviados

La recirculación de los lixiviados consiste en succionarlos de la poza de almacenamiento y trasladarlos hasta las superficies ubicadas en las partes de mayor cota del relleno sanitario y en las superficies con mayor tiempo de haberse realizado la disposición final de residuos, donde se descargan después de haber acondicionado las superficies para facilitar su infiltración.

El sistema de recirculación de lixiviados deberá contar con equipamiento para realizar el bombeo de lixiviados, dimensionado en base a los volúmenes a manejar y distancias y alturas hasta donde se realizara el bombeo.

El periodo de recirculación de lixiviados se calculará mediante la siguiente fórmula:

Periodo de recirculación = $\frac{\text{Volumen de recepción de la poza de lixiviados}}{\text{Volumen de lixiviados generados}}$

Los sistemas de recirculación de lixiviados deben distinguirse según las características del territorio en el cual se ubica el relleno sanitario. Así, en aquellos ubicados en la costa la recirculación de lixiviados puede lograrse de dos maneras:

- Succión del lixiviado, para luego trasladarlo a la zona del relleno sanitario con mayor tiempo de haberse realizado la disposición final de residuos, donde se descarga.
- Bombeo desde un área colindante a la poza de almacenamiento hasta superficies del relleno sanitario acondicionadas para realizar la descarga controlada.

En los rellenos sanitarios ubicados en sierra y selva, debido a la presencia de intensas precipitaciones pluviales, no siempre es posible realizar la recirculación de lixiviados hacia la masa de residuos dispuestos, lo que genera un serio problema para las infraestructuras, ya que se requieren otras alternativas de manejo que inevitablemente se relacionan con otro tipo de infraestructuras ajenas a la infraestructura para disposición final de residuos.

El traslado del lixiviado desde la poza de almacenamiento temporal hasta la zona habilitada para la descarga puede realizarse según las siguientes alternativas de equipos:

- **Una cisterna** provista de un sistema que permite la rápida succión de líquidos y lodos (unidad Aspervac).
- **Electrobombas** que succionan e impulsan el lixiviado a través de mangueras reforzadas hasta las áreas habilitadas para la descarga.

Para el cálculo de la potencia de la bomba para la recirculación de lixiviados se utiliza la siguiente fórmula:

$$Pot = \frac{Q \times HDT}{Ef}$$

Donde:
Pot = Potencia (hp)
Q = Caudal de recirculación (l/seg.)
HDT = Altura dinámica total (m)
Ef = Eficiencia (%)

Se deberá describir y dimensionar el sistema de dotación de energía de la bomba de lixiviados, y también el sistema de succión y de descarga de estos.

13.9.4. Caso práctico: cálculo del sistema de drenaje pluvial y generación de lixiviados

Sistema de drenaje pluvial

Cuadro N°50. Datos de precipitación máxima en 24 horas

AÑO	PPM24H
1994	66,0
1995	13,3
1996	85,6
1997	100,5
1998	71,7
1999	70,8
2000	107,0
2001	166,1
2002	138,3
2003	92,7
2004	126,0
2005	139,0
2006	101,4
2007	124,6
2008	63,5
2009	96,9
2010	82,2
2011	96,5
2012	117,3
2013	149,0

Cuadro N° 51. Precipitación máxima para
periodo de retorno 50 años y 100 años

PERIODO DE RETORNO	PPM24H (mm)
5	130,1
10	145,63
25	162,19
50	172,88
100	182,5
200	191,3
500	201,96

Estimación del caudal (m3/s) por el método racional

Cuadro N°52. Cálculo del tiempo de concentración:
Intensidad de precipitación (mm/hpra)

FORMULA	TC (MIN.)	TC (HORAS)	PROM (MIN.)	PROM (HORAS)
Kerby	293	0,49	11,8	0,197
Kirpich	2,3	0,04		
Bransby - Williams	11,0	0,18		
AFA	29,1	0,49		
U.S Corps of Engineers	12,0	0,20		
California Culvert	7,8	0,13		
Hathaway	12,3	0,21		
Témez	5,6	0,20		
California	5,6	0,09		
Giandotti	26,8	0,45		
Passini	6,8	0,11		

Cuadro N°53. Intensidad de precipitación
pluvial de diseño

PERIODO DE RETORNO (años)	PMÁX. EN 24H (mm)	PMAx DE DISEÑO (mm)	PD (mm)	I (mm/hora)
5	130,1	147,0	50,5	151,2
10	145,6	164,6	56,5	169,2
25	162,2	183,3	62,9	188,5
50	172,9	195,4	67,1	200,9
100	182,5	206,2	70,8	212,1
200	191,3	216,2	74,2	222,3
500	202,0	228,2	78,4	234,7

Determinar el área de drenaje

Cuadro N°54. Determinar el
coeficiente de escorrentía

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		Pronunciada >50 %	Alta >20 %	Media >5 %	Suave >1 %	Despreciable <1 %
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,75	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,65	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,45	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,65	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,55	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,35	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,15	0,05

DATOS PARA CALCULAR Q:

Coeficiente C: 0,30

Área cuenca: 0,61434 has

Intensidad máxima (I): 212,1 mm/hr

Para una duración igual al tiempo de
concentración y un período de retorno T

Resultado:

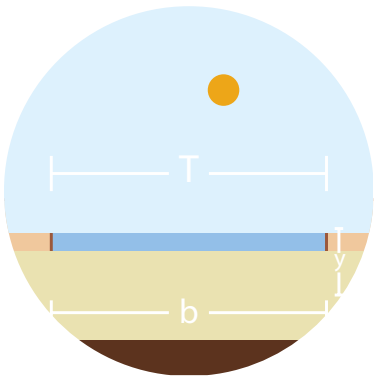
Q máximo: 0,109 m³/s



Determinar el área de drenaje

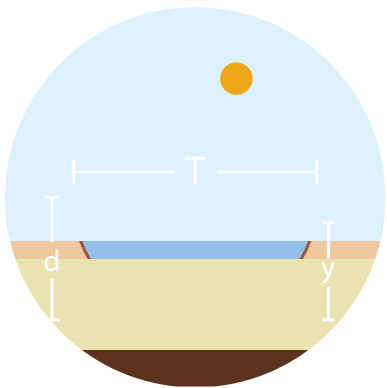
$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

DATOS	
Caudal (Q):	0,034 m³/s
Ancho de la solera (b):	0,3 m
Talud (Z):	0
Rugosidad (n):	0,015
Pendiente (S):	0,0015 m/m
RESULTADOS	
Tirante normal (y)	0,2199 m
Área hidráulica (A):	0,0660 m²
Espejo de agua (T):	0,3000
Número de Froude (F)	0,3509
Tipo de flujo:	Subcrítico



Perímetro (p):	0,7398 m
Radio hidráulico (R):	0,0892 m
Velocidad (v):	0,5154 m/s
Energía específica (E):	0,2334 m-Kg/Kg

DATOS	
Caudal (Q):	0,030 m³/s
Ancho de la solera (b):	0,25 m
Rugosidad (n):	0,01
Pendiente (S):	0,05 m/m
RESULTADOS	
Tirante normal (y)	0,0705 m
Área hidráulica (A):	0,0114 m²
Espejo de agua (T):	0,2250 m
Número de Froude (F)	3,7523
Tipo de flujo:	Supercrítico



Perímetro mojado (p):	0,2799 m
Radio hidráulico (R):	0,0406 m
Velocidad (v):	2,6409 m/s
Energía específica (E):	0,4260 m-Kg/Kg

Verificar velocidades

Para los canales de drenaje pluvial, en cuanto a las velocidades máximas admisibles de diseño nos remitiremos a las recomendaciones del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

TIPO DE REVESTIMIENTO	VELOCIDAD (M/S)
Concreto	3,0 - 6,0
Mampostería de piedra y concreto	2,0

Fuente: H Canales, Máximo Villón Béjar

La velocidad de sedimentación mínima será mayor a 0,5 m/s.

En el caso de los canales de tierra revestidos con geomembrana se recomienda velocidades máximas de 1,5 m/s para evitar la erosión y desgarro de la geomembrana.

Diseño de sistema de almacenamiento y recirculación de lixiviados

Método Blaney y Criddle

Cuadro N°55. Cálculo de precipitaciones pluviales – probabilidad de ocurrencia

LLUVIA	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	PROM
2004	34,9	54,5	37	37	3,9	19,4	15,8	17,7	13,9	47,2	38,80	31,2	31,2
2005	28,80	22,00	56,00	56,00	8,40	0,00	8,10	1,40	5,40	38,30	26,80	22,7	22,7
2006	76,70	67,10	51,30	51,30	7,60	21,10	2,10	6,10	13,10	53,90	55,70	39,5	39,5
2007	36,90	47,30	93,70	93,70	19,20	0,00	14,00	1,80	1,20	68,70	24,50	32,0	32,0
2008	52,9	66,1	25	25	13,3	6,8	0,3	3,1	12	36,5	14,30	27,2	27,2
2009	75,00	81,20	70,80	70,80	11,20	1,10	12,80	14,20	10,80	23,10	76,00	42,4	42,4
2010	60,30	82,80	75,70	75,70	3,60	3,30	1,10	2,80	23,20	64,20	27,00	37,3	37,3
2011	84,70	84,80	104,10	104,10	10,90	0,70	3,80	8,50	4,90	40,70	41,30	40,5	40,5
2012	48,70	49,10	38,60	38,60	8,70	0,70	6,30	14,70	18,20	53,80	44,60	40,6	40,6
2013	65,30	115,20	61,20	61,20	5,30	4,80	18,80	20,30	17,10	40,6	15	37,2	37,2
promedio	56,42	67,01	61,34	61,34	9,21	6,49	8,31	9,06	11,98	46,70	36,40	35,1	35,1
máximo	84,7	115,2	104,1	104,1	19,2	21,1	18,8	20,3	23,2	76	76	120,6	120,6
mínimo	28,8	22	25	25	3,6	0	0,3	1,4	1,2	14,3	14,3	0	0
Precipitación diaria anual			42,5(mm/yr)/365(d/yr)										
Máxima precipitación mensual			120,60(mm/month)/ 31(d/month)										

Extrayendo los resultados del año de máxima precipitación se tiene los caudales de generación de Lixiviados mensualizados:

$$Q = 1/1000 \times I \times (C1 \times A1 + C2 \times A2)$$

Cuadro N°56. Cálculo de caudales mensuales de lixiviados

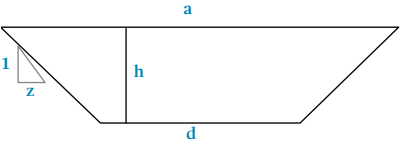
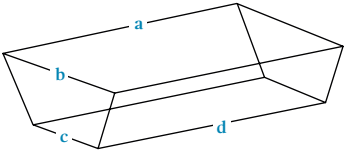
MESES	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Precipitación 2009	75,00	81,20	70,80	69,60	11,20	1,10	12,80	14,20	10,80	23,20	76,00	72,90
Cantidad de lixiviado (m³)	1595,89	196,86	159,81	64,00	-79,59	-12,60	-101,66	-99,72	-48,76	39,59	79,42	160,38

Realizar la sumatoria de los caudales mensuales para obtener volumen anual. Equivalente al volumen de la poza.

$$\text{Volumen} = 1/3H + A \times B + C \times D + \sqrt{(A \times B + C \times D)}$$

Donde:

- A = Largo base mayor
- B =Ancho base mayor
- C = Ancho base menor
- D = Largo base menor
- H = Altura



Sistema de recirculación

Previamente verificar la curva de rendimiento de bombeo según la altura dinámica total y el caudal, asimismo el nivel de presión de succión negativa NPSH (cavitación).

Realizar el diseño de las líneas de impulsión y succión con Hazen y Williams verificando el rango recomendado de velocidades de 0,9 a 1,50 m/s.

Sistema de recirculación

Cuadro N°57. Resultados de línea
de impulsión y succión

ALTERNATIVA	DEXT (mm)	DINT (mm)	V (m/s)	CODO 90°	TEE	REDUC.	VALVULA	LACC (m)	LTUB (m)	LTOTAL (m)	H ₁ IMPULSION (m)	H ₁ SUCCION (m)	ALT. ESTAT (m)	ADT (m)	P BOMBA (HP)	P INSTAL (HP)
1	50	44,0	5,48	2,0	2,00	1,00	3,00	9,45	235	241,45	136,86	2,27	25,40	165,53	43,54	52,25
2	63	55,4	3,46	2,0	2,00	1,00	3,00	12,34	235	244,34	45,10	0,74	25,40	72,24	19,00	22,80
3	75	66,0	2,43	2,0	2,00	1,00	3,00	14,46	235	246,46	19,39	0,31	25,40	46,11	12,13	14,56
4	90	79,2	1,69	2,0	2,00	1,00	3,00	17,65	235	249,65	8,08	0,13	25,40	34,61	9,10	10,92
5	110	96,8	1,13	2,0	2,00	1,00	3,00	23,40	235	255,40	3,11	0,05	25,40	29,56	7,78	9,34
5	Alternativa seleccionada															

Realizar el esquema de bombeo hidráulico con los datos de diseño.

13.9.5. Posibles métodos para tratamiento de lixiviados

Debe tenerse presente que al no ser posible realizar la recirculación de lixiviados que se generen en el relleno sanitario, ni tampoco su tratamiento junto con las aguas residuales domésticas (en las PTAR), el proyecto tendrá que considerar otras alternativas de tratamiento, entre ellas:

- **Tratamiento biológico:** aerobio (lagunas aireadas, lodos activados) o anaerobio (reactores biológicos).
- **Tratamiento químico:** ozonización, oxidativos avanzados, peróxido de oxígeno y otros.
- **Tratamiento físico-químico:** coagulación / floculación, carbón activado, stripping de amonio, etc.
- **Tratamiento térmico:** evaporación, condensación, cristalización y otros.
- **Tratamiento por separación:** microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa.

13.10. MANEJO DE AGUA DE PRECIPITACIONES PLUVIALES



En la fase de operación de un relleno sanitario ubicado en zona con precipitaciones pluviales y el consiguiente escurrimiento superficial de agua, las actividades de control estarán limitadas a trabajos de limpieza o mantenimiento de la infraestructura compuesta por canales para interceptar y conducir el agua de escurrimiento superficial fuera de la infraestructura del relleno sanitario. Estos trabajos serán:

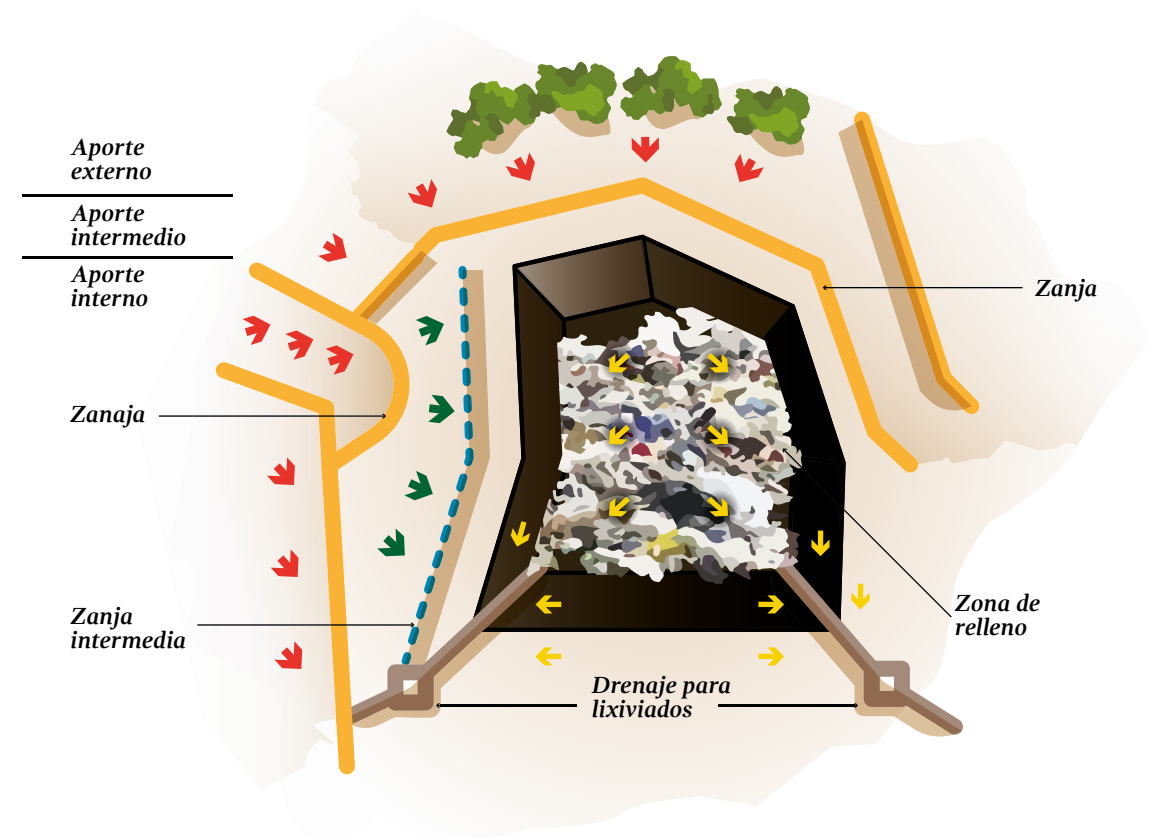
- **Limpieza de los lodos** que pudieran haberse acumulado en las zanjas de coronación ubicadas aguas arriba de las diversas infraestructuras del relleno sanitario, incluyendo las instalaciones administrativas y de servicios.
- **Limpieza de los lodos** de las cunetas laterales de las vías de circulación.

Estas actividades necesariamente se realizarán, antes del inicio de la temporada de precipitaciones y luego de cada evento de precipitación pluvial.

13.10.1. Ubicación y dimensionamiento de los canales pluviales

Para evitar que el agua de escurrimiento superficial llegue a la infraestructura es necesario que el proyecto considere la habilitación de canales perimetrales que tengan la finalidad de interceptar el flujo de escurrimiento y conducirlo fuera del área destinada a la infraestructura.

Ilustración N°27. Canal pluvial: esquema del sistema de interceptación de aguas de lluvia



Las formas, las dimensiones y las características para la habilitación de los canales pluviales deben estar en función de la máxima intensidad de precipitación pluvial que se produce en la zona, la extensión de la superficie tributaria, las características del suelo de la zona y el relieve sobre el que se habilitará.

El proyecto debe determinar el caudal, las dimensiones y el tipo de dren a utilizar.

El cálculo del caudal se realizará usando el método racional, bajo la fórmula:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Donde:
Q = Caudal (m³/seg.)
C = Coeficiente de escorrentía
I = Intensidad de la precipitación (mm/hora)
A = Área de influencia (ha)

Para el cálculo de la dimensión de las zanjas perimetrales se podrán utilizar programas de cálculo hidráulico o realizarse tomando en cuenta las secciones típicas de este tipo de construcción.

**Cuadro N°58. Drenes para lixiviados:
características de secciones, por tipo de relleno**

Condiciones climáticas de zona donde se ubica infraestructura para disposición final de residuos	Intensidad de precipitación pluvial (mm/año)	Sección típica (referencial) de zanja perimetral (m²)
Escasa precipitación pluvial, limitada a lloviznas ocasionales (zona de costa, excepto Tumbes)	Hasta 50 mm/año	Triangular o semicircular Sección mínima: 0,25 m²
Mediana intensidad de precipitación pluvial (algunas zonas de sierra)	50 mm/año a 250 mm/año	Trapezoidal Sección mínima: 0,36 m²
Intensa precipitación pluvial (zonas de sierra y de selva)	Más de 250 mm/año	Trapezoidal Sección mínima: 0,55 m²

Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones y las formas de las zanjas para control de aguas de escurrimiento superficial podrán variar de acuerdo con el registro histórico de precipitaciones pluviales en la zona del proyecto, las características de la superficie de la cuenca relacionadas con el coeficiente de escurrimiento y las características de la zanja (suelo natural, provisto de revestimiento interno, etc.).

Para controlar las aguas de escurrimiento superficial producto de las precipitaciones pluviales, se debe implementar las acciones siguientes:

- Habilitación de canales perimetrales en bordes aguas arriba de las celdas, estos canales alejan del relleno sanitario las aguas de lluvia que escurren superficialmente.
- Sectorización de la base impermeabilizada del relleno sanitario, mediante pequeños diques, de forma que posibilite que el agua de lluvia acumulada en sectores libres de residuos, puedan ser derivadas fuera del área del relleno sanitario, mientras que el lixiviado generado en el

sector ocupado por residuos, debe ser conducido a la poza de almacenamiento temporal.

- Emplear mantas plastificadas ligeras para cubrir el frente de trabajos ante la inminencia de intensa precipitación pluvial, esta actividad evita que la gran cantidad de agua que cae directamente a la superficie de residuos se derive fuera del relleno sanitario como agua de precipitación pluvial.
- La pendiente longitudinal de la base impermeabilizada del relleno sanitario debe ser de 2.0 % como mínimo, para facilitar el escurrimiento y manejo de agua de precipitación pluvial y los lixiviados respectivamente.
- En zonas geográficas con intensa precipitación pluvial se planificara la ocupación de las áreas (formación de capas o plataformas sucesivas), de manera que la disposición final de residuos se realice en la menor área y mayores alturas posibles, y de esta manera facilitar el empleo de mantas plastificadas para cubrir la superficie en operación, y de esta manera minimizar la generación de lixiviados.

13.11. MANTENIMIENTO GENERAL E HIGIENIZACIÓN DE LAS
INSTALACIONES

La infraestructura para disposición final de residuos sólidos debe caracterizarse por el orden y la limpieza en la superficie que abarcan todas las instalaciones.

Las actividades relacionadas para mantener el orden y la limpieza deben ser parte de las rutinas diarias que deben realizarse. Para permitir su ejecución efectiva, la empresa operadora debe tener asignados a esta actividad el personal, los materiales y los insumos necesarios. El profesional encargado de la infraestructura será responsable directo de su ejecución y del registro diario de las acciones efectuadas.

En la fase de operación de la infraestructura se deberá disponer de un calendario de trabajos de limpieza y mantenimiento de sus diversos componentes.

Cuadro N°59. Mantenimiento
e higienización: calendario de actividades

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN
Limpieza de instalaciones	Diaria	Recolección de residuos o elementos livianos dispersados de las unidades que transportan residuos y zona de disposición final, respectivamente.
Mantenimiento y calibración de balanza para pesaje de vehículos, incluyendo equipamiento informático	Semestral	Trabajos de mantenimiento previos a la calibración de la balanza.
Mantenimiento de canales pluviales y cunetas de vías de circulación	Periódica	Necesariamente antes del inicio de la temporada de precipitaciones pluviales y después de cada evento de precipitación pluvial.
Mantenimiento de los drenes para lixiviados	Periódica	Necesariamente antes del inicio de la temporada de precipitaciones pluviales y después de cada evento de precipitación pluvial.
Mantenimiento de vía de acceso y vías de circulación internas	Periódica	Se refinará la superficie de rodadura, se aumentará el material de afirmado para volver a formar la superficie de rodadura, se limpiarán las cunetas laterales y se mantendrá la señalética.
Cerco perimétrico	Periódica	
Pozas para almacenamiento temporal de lixiviados agua y riego de plantas	Anual	En las inspecciones rutinarias a cargo del responsable de la infraestructura se verificará el estado de la infraestructura que forma el cerco perimetral. Si se detectara alguna deficiencia, se programarán los trabajos de mantenimiento correspondientes.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con los pozos de monitoreo, la comparación de los análisis de laboratorio realizados a muestras obtenidas en los pozos de monitoreo ubicadas aguas arriba y aguas abajo de la infraestructura permitirá conocer la posible variación de la calidad del agua subterránea o del flujo superficial.

Sistema contra incendios



La infraestructura para disposición final de residuos debe necesariamente contar con el correspondiente Plan de contingencias, instrumento que debe considerar acciones de respuesta inmediata para atender todas las posibilidades de incidentes que pudieran presentarse como resultado de las acciones propias de la actividad o debido a causas ajenas.

Uno de los posibles incidentes es la ocurrencia de un incendio. Para controlar esta contingencia, la operación del relleno sanitario debe considerar:

- **En zona de instalaciones administrativas y de servicios.** Se deberá contar con la cantidad y la capacidad de extintores proyectados en el plan de seguridad de la infraestructura. Dependiendo del tamaño de las instalaciones administrativas y de servicios, también se debería disponer de un extintor remolcable con capacidad de 25 kg para atender una emergencia de amago de incendio mayor.
- **La generación de incendios en la zona de disposición final de residuos no es común, salvo que sea facilitado o provocado.** Sin embargo, también es posible detectar combustión no controlada de gases en los extremos superiores de los drenes verticales en plena habilitación y en superficies en las que pueda observarse cobertura con materiales predominantemente granulares. La forma eficaz de sofocar una combustión en la zona de disposición final de residuos (Ejemplo: superficies de cobertura con presencia notoria de material inadecuado (piedras), superficies inmediatamente colindantes con la sección de un dren vertical, etc.) es cortando la oxigenación de la superficie en combustión, lo que se logra cubriendo con tierra menuda toda la superficie en combustión y el área inmediatamente colindante. Con este propósito, durante la operación del relleno sanitario debe considerarse como contingencia disponer de tierra con granulometría fina (arena, afirmado, etc) acumulada en las inmediaciones del área de destino final de residuos.

13.12. MONITOREO AMBIENTAL DE ACUERDO CON EL INSTRUMENTO AMBIENTAL DEL PROYECTO



Desde el inicio de la operación de la infraestructura para disposición final de residuos sólidos se deberá considerar la realización de diversos estudios y monitoreos relacionados con los posibles efectos negativos que, como consecuencia de esta operación, se puedan generar en la zona.

En el Programa de Manejo Ambiental, que es parte del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) desarrollado para el proyecto del relleno sanitario, se detallan los tipos de monitoreo y la frecuencia con la que se deben realizar durante su operación.

Los monitoreos considerados son:

- Monitoreo de calidad del aire.
- Monitoreo de ruido ambiental.
- Monitoreo de los lixiviados²¹.
- Monitoreo de flujo y composición de gases²².
- Monitoreo de agua superficial (si hubiera).
- Monitoreo de agua subterránea (si hubiera).

Los instrumentos ambientales de cada relleno sanitario definirán los monitoreos que se realicen y la frecuencia de estos, siempre en relación con el cumplimiento de la normativa vigente. Estos estudios y monitoreos constituyen exigencias legales que los operadores de las infraestructuras relacionadas con el manejo de residuos sólidos están en obligados a cumplir.

²¹ El monitoreo de lixiviados podría ser innecesario en rellenos sanitarios ubicados en la costa, donde todo el lixiviado puede ser recirculado. Sin embargo, en zonas de sierra y selva, en las cuales habría la posibilidad de realizar el tratamiento junto con el de las aguas residuales domésticas, será necesario realizar el monitoreo de lixiviados para conocer las características físicas y químicas del líquido que se pretende tratar.

²² El monitoreo de gases para estimar el flujo y determinar su composición será útil para cuantificar las emisiones contaminantes, procurar la combustión controlada y evaluar su posible aprovechamiento.

14. CIERRE Y POST CIERRE



14.1. PLAN DE CIERRE

El plan de cierre de la infraestructura de disposición final de residuos sólidos que forma parte del IGA, es el periodo de tiempo que transcurre desde la suspensión de las actividades de disposición final de residuos hasta el fin de las actividades de la infraestructura. En esta etapa se deben tener en cuenta las actividades necesarias para atenuar, disminuir o eliminar los impactos ambientales que pudieran ocasionar el abandono de las instalaciones, incluyendo el calendario de ejecución e inversión requeridas.

Debe contar, como mínimo, con los siguientes aspectos:

- Diseño de cobertura final.
- Control de gases.
- Control, manejo y/o tratamiento de lixiviados.
- Cobertura y/o sellado final de los residuos.
- Monitoreos ambientales.
- Posible uso futuro del área, etc.

Luego del cierre, la infraestructura para disposición final de residuos se mantendrá como área de acceso restringido, bajo responsabilidad de la municipalidad o de la empresa a cargo de la operación.

El posible dismantelamiento o la conservación total o parcial de la infraestructura física lo decidirán las municipalidades involucradas, ya que parte o toda la infraestructura inmueble habilitada podría utilizarse durante la etapa de cierre (trabajos de mantenimiento, conservación, monitoreos ambientales, etc.).

Para garantizar que la infraestructura sea efectivamente una superficie de acceso restringido,

el lindero del terreno debe estar provisto de un cerco perimetral de carácter disuasivo y con la presencia permanente de un servicio de vigilancia.

Posteriormente a la ejecución de la etapa de cierre, la infraestructura continuará en posesión de la municipalidad involucrada.

14.1.1. Diseño de la cobertura final y materiales a ser utilizados

La cobertura final de un relleno sanitario es el espesor total de tierra y/o materiales diversos que debe cubrir toda la superficie ocupada por residuos.

Sus principales objetivos son:

- Evitar la infiltración del agua de precipitaciones pluviales.
- Evitar la posible exposición de los residuos debido a agrietamientos o erosión de la cobertura diaria.
- Optimizar el manejo de gases, y minimizar los olores debidos a la salida incontrolada de gases.
- Posibilitar la revegetación de la superficie final del relleno sanitario.

La infiltración de agua de precipitaciones pluviales a la masa de residuos dispuestos en rellenos sanitarios ubicados en zonas con intensas precipitaciones pluviales ocasionará la prolongación por tiempo indefinido la generación de lixiviados, con la consiguiente necesidad de realizar trabajos de recirculación o tratamiento. Para evitar este problema, así como la exposición de residuos y la emanación de olores, se evaluará la necesidad de que el sellado final considere un estrato impermeable, con mayor espesor de tierra de cobertura y/o incluyendo geomembrana como parte del sellado final del relleno sanitario.

En la cobertura o sellado final, la tierra utilizada debe ser la adecuada (se recomienda un coeficiente de permeabilidad inferior o igual a 1×10^{-4} cm/seg.)²³, tener el espesor especificado y el grado de compactación necesario.

23 De acuerdo con la escala basada en la Ley de Darcy, el coeficiente recomendado refleja una baja permeabilidad [Nota del editor].

En consecuencia de lo ya expuesto deberá estar definido que para el caso de los rellenos sanitarios ubicados en zonas con intensa precipitación pluvial (sierra, selva y en departamento de Tumbes), se debe considerar como parte de la cobertura final la instalación de geomembrana HDPE de 0,75 mm de espesor y estrato filtrante (geocompuesto drenante). El estrato filtrante deberá estar protegido en sus caras inferior y superior con geotextil no tejido de 300 g/m².

La cobertura final para cualquier tipo de relleno sanitario debe tener como mínimo 0,50 m de espesor.

Cuadro N°60. Compactación de residuos: espesor de la cobertura final, por tipo de relleno sanitario

TIPO DE RELLENO SANITARIO Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA	COBERTURA DIARIA (M)	ESTRUCTURA IMPERMEABLE INTERMEDIA	COBERTURA FINAL (M)	ESPESOR TOTAL (M)
Relleno sanitario manual en costa (excepto departamento de Tumbes).	0,20	No aplica	0,30	0,50
Relleno sanitario manual en sierra, selva y departamento de Tumbes*.	0,20	Geotextil no tejido de separación de 300 g/m². Estrato permeable (geocompuesto drenante). Geotextil no tejido de separación de 300 g/m². Geomembrana de HDPE de 0,75 mm	0,30	0,50
Relleno sanitario semimecanizado en costa (excepto departamento de Tumbes).	0,30	No aplica	0,30	0,60
Relleno sanitario semimecanizado en sierra, selva y departamento de Tumbes.	0,30	Geotextil no tejido de separación de 300 g/m². Estrato permeable (geocompuesto drenante). Geotextil no tejido de separación de 300 g/m². Geomembrana de HDPE de 0,75 mm	0,30	0,60
Relleno sanitario mecanizado en costa (excepto departamento de Tumbes).	0,30	No aplica	0,30	0,60
Relleno sanitario mecanizado en sierra, selva y departamento de Tumbes.	0,30	Geotextil no tejido de separación de 300 g/m². Estrato permeable (geocompuesto drenante). Geotextil no tejido de separación de 300 g/m². Geomembrana de HDPE de 0,75 mm	0,30	0,60

* Lo ideal es que todo relleno sanitario ubicado en zona con intensa precipitación pluvial sea proyectado con cobertura final impermeable; sin embargo, para rellenos sanitarios manuales las municipalidades involucradas evaluarán esta necesidad en función de las condiciones particulares de la zona.

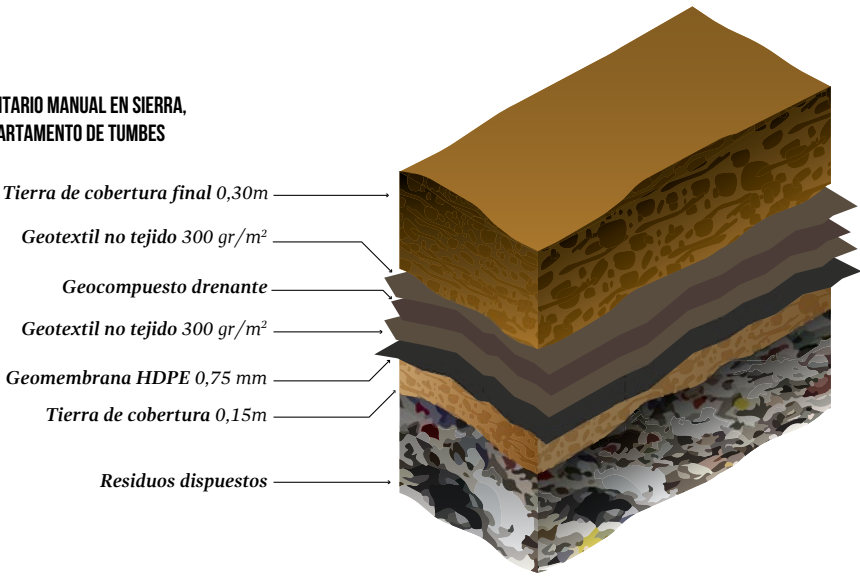
Se considera la región Tumbes, conjuntamente con zonas de sierra y selva porque este departamento de la costa normalmente registra precipitaciones pluviales intensas, a diferencia del resto de la zona costera.

No debe descartarse que el criterio asumido para la región Tumbes, pudiera en el futuro ampliarse al resto de la costa norte del país (La Libertad, Lambayeque y Piura) dados los registros de precipitaciones pluviales que periódicamente se vienen registrando en esta zona de la costa.

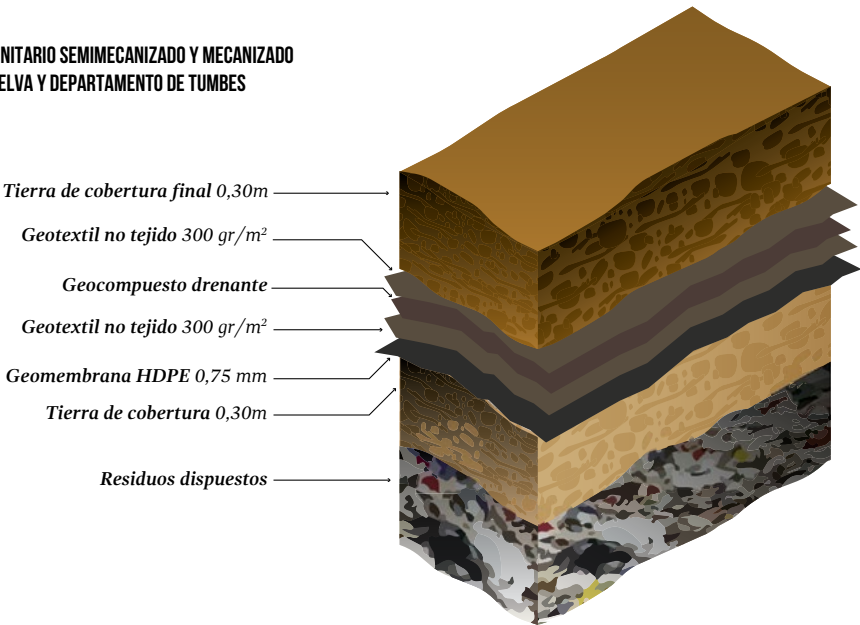
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración N°29. Cobertura final: esquema de corte por tipo de relleno

RELLENO SANTARIO MANUAL EN SIERRA, SELVA Y DEPARTAMENTO DE TUMBES



RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO Y MECANIZADO EN SIERRA, SELVA Y DEPARTAMENTO DE TUMBES



14.1.2. Mantenimiento de quemadores

A pesar del cierre del relleno sanitario, los gases seguirán emanando a través de los drenes verticales y seguirán combustionando en los quemadores instalados en cada dren vertical. Por esta razón será necesario el seguimiento al estado de los quemadores y cambio o renovación de los mismos.

14.1.3. Manejo de lixiviados

En la fase de cierre los trabajos relacionados con la infraestructura para manejo de lixiviados habilitados (que se realizaban durante la fase de operación) se limitarán a las actividades de mantenimiento, corrección o eventuales mejoras en los tramos de drenes ubicados al exterior de la infraestructura para disposición final de residuos y en la poza impermeabilizada para almacenamiento temporal de lixiviados.

14.1.4. Mantenimiento general e higienización

En la etapa de cierre de la infraestructura se deberá disponer de un calendario de trabajos de limpieza y mantenimiento de sus diversos componentes, considerando que en esta etapa ya no se realiza la disposición final de residuos sólidos

14.1.5. Desmantelamiento de infraestructura y destino final de los desechos

El posible desmantelamiento o la conservación total o parcial de la infraestructura física que se haya construido a lo largo de la etapa de operación del relleno sanitario, lo decidirán las municipalidades involucradas, ya que parte o la totalidad de esta infraestructura podría utilizarse durante la etapa de cierre (trabajos de mantenimiento, conservación, monitoreos ambientales, etc.).

Una vez desmantelada la infraestructura, sus restos también deben disponerse adecuadamente.

Cuadro N°61. Desmantelamiento de
infraestructura: destino final de desechos

MATERIALES RESULTANTES	TRATAMIENTO Y/O DESTINO FINAL
Restos de construcción (desmonte) libres de materiales peligrosos.	Realizar la disposición final en el relleno sanitario en proceso de cierre u otra infraestructura en operación.
Maderas, metales y plásticos.	Los residuos reaprovechables deben ser entregados a una empresa recicladora de residuos sólidos autorizada.
Materiales con alguna característica de peligrosidad.	Deberán enviarse a un relleno de seguridad a través de una empresa operadora de residuos sólidos autorizada.

Fuente: Elaboración propia.

14.1.6. Revegetación

La posibilidad de realizar la revegetación de una superficie utilizada como área para disposición final de residuos debe enfocarse de acuerdo con las premisas siguientes:

- En la costa, la habilitación de un relleno sanitario puede realizarse en una zona desértica, sin rastro alguno de presencia de agua superficial ni subterránea, en consecuencia, con ausencia total de vegetación.
- En la sierra y la selva, la habilitación de un relleno sanitario requerirá realizar actividades previas de desbroce de maleza, pastos y arbustos, e incluso tala de árboles.

- Los suelos de las zonas de sierra y selva, incluyendo parte de la superficie del departamento de Tumbes (costa norte), se caracterizan por estar compuestos por tierra adecuada para el desarrollo de vegetación, condiciones que relacionadas con las características climáticas que se reflejan en precipitaciones pluviales durante varios meses del año, favorecen el natural y rápido crecimiento de gramíneas, pastos, maleza y arbustos.

Por lo tanto, para la posible revegetación de la superficie del relleno sanitario cerrado debe tenerse en cuenta que:

- En lugares con condiciones desérticas; suelo de mala calidad para sustentar cualquier tipo de vegetación y sobre todo; la ausencia de agua superficial y subterránea que caracteriza a la región de la costa, no debe considerarse trabajo alguno de revegetación o de formación de áreas verdes en rellenos sanitarios.
- En lugares con condiciones climáticas de abundante y frecuente precipitación pluvial y con crecimiento natural de vegetación en el suelo local, como lo son las zonas de sierra y selva, los trabajos de revegetación en rellenos sanitarios se verán favorecidos por el rápido desarrollo natural de la vegetación local. Por ello se deberá limitar a trabajos de mantenimiento (poda, eliminación de arbustos no aparentes para la superficie, densificación de plantas ideales, etc.).

14.2. POST CIERRE

Constituye el periodo de tiempo que transcurre desde que culminan las actividades relacionadas con el cierre de la infraestructura hasta que finalizan las actividades de seguimiento, mantenimiento y monitoreo previstas a lo largo del tiempo establecido para la etapa de cierre. El post-cierre se refiere a las actividades necesarias para mantener en buen estado la infraestructura de disposición final de residuos sólidos durante un período mínimo de diez (10) años.

Las principales actividades que deben considerarse durante esta etapa son:

- Limpieza de instalaciones.
- Mantenimiento de la cobertura final.

- Control de la contaminación de agua subterránea.
- Mantenimiento y operación de las infraestructuras para manejo de gases y lixiviados.
- Mantenimiento general de la infraestructura.
- Monitoreos ambientales de acuerdo con el calendario aprobado en el instrumento ambiental del proyecto.
- Uso futuro del área (queda prohibida la habilitación urbana y la construcción de edificaciones de cualquier naturaleza en lugares que fueron utilizados como infraestructuras de disposición final de residuos sólidos).

14.2.1. Limpieza de instalaciones

Se realizará en forma periódica, cuando el responsable del seguimiento del cierre así lo determine. Considera la recolección de plásticos u otros elementos livianos que, por acción de los vientos, hayan llegado a acumularse en las áreas del relleno sanitario.

14.2.2. Mantenimiento de la cobertura final

Consiste en reponer tierra de cobertura en superficies del relleno cerrado en las que se haya detectado una disminución notoria del espesor de la cobertura. Esta situación (0,20 m a más) puede ser resultado de erosión eólica, acción de animales, erosión por escurrimiento de agua de precipitaciones pluviales, asentamientos diferenciados de la superficie del relleno sanitario, etc.

Es normal que debido a los asentamientos diferenciados que caracterizan a un relleno sanitario, se produzcan agrietamientos en la capa de cobertura del relleno sanitario cerrado. Será necesario realizar el sellado de las grietas como parte de las actividades de mantenimiento a lo largo del tiempo de cierre.

14.2.3. Control de la contaminación de agua subterránea

El control de aguas subterráneas se debe realizar de manera semejante a la expuesta para el caso de la etapa de operación, pues el cierre no modifica las condiciones que justifican su monitoreo permanente.

14.2.4. Mantenimiento y operación de las infraestructuras para manejo de gases y lixiviados

Uno de los resultados del cierre de un relleno sanitario es la gradual disminución en la generación de gases y lixiviados, la cual está en relación directa con los volúmenes de residuos dispuestos y el tipo de relleno:

- Mayores volúmenes y tiempo de generación de gases y lixiviados en rellenos sanitarios mecanizados.
- Menores volúmenes y tiempo de generación de gases y lixiviados en rellenos sanitarios manuales y semimecanizados.

Las actividades de mantenimiento de los drenes para gases y lixiviados serán periódicas (cuando personal profesional a cargo del seguimiento lo estime conveniente) y comprenderán:

- Limpieza periódica de los tramos de drenes para lixiviados expuestos, para posibilitar el normal flujo a través de ellos.
- Limpieza periódica de los bordes de la poza impermeabilizada para almacenamiento temporal de lixiviados.
- Mantenimiento y de ser necesario, reposición del cerco alrededor de la poza para almacenamiento temporal de lixiviados.
- Evaluación periódica de la(s) zona(s) habilitada(s) para realizar la recirculación de lixiviados. Cuando el personal profesional a cargo del seguimiento lo estime conveniente, se dispondrá la habilitación de otra área para recirculación de lixiviados y cierre de la anterior.

- Verificación de la emanación de gases a través de los drenes verticales, estado de combustión controlada, verticalidad de los drenes y estado de conservación de los quemadores.

- Cambio de los quemadores cuando se requiera.

14.2.5. Mantenimiento general de la infraestructura

En la etapa de cierre se dispondrá de un calendario de trabajos de limpieza y mantenimiento de los diversos componentes de la infraestructura; sin embargo, el técnico responsable de la infraestructura durante el tiempo de cierre será quien defina la periodicidad de los trabajos de mantenimiento en general, a excepción de los monitoreos ambientales cuya ejecución deberá respetar la programación.

14.2.6. Monitoreo ambiental de acuerdo con el instrumento de gestión ambiental del proyecto

La etapa de cierre considera, entre otras actividades, la realización de monitoreos ambientales de acuerdo con el calendario planteado para esta etapa. También se debe contar con un equipo contra incendios y disponer la acumulación de suficiente material de cobertura (tierra u otro material inerte) para controlar la propagación de accidentes que pudiesen contaminar el medio ambiente, como un fuego accidental.

Según estas consideraciones, el plan de cierre y abandono de la infraestructura para la disposición final de residuos del ámbito municipal se debe considerar:

- Mantener el área de la infraestructura para disposición final de residuos sólidos como zona de acceso restringido mediante la señalización de los linderos y paneles, indicando restricción para el acceso y el desarrollo de otras actividades.
- Realizar trabajos de arborización en áreas específicas del relleno sanitario, de preferencia en zonas donde no se hayan dispuesto residuos sólidos.
- Seguimiento periódico en las áreas donde concluyó la disposición final de los residuos, para verificar el buen estado de conservación de la cobertura de sellado.

- Seguimiento periódico para constatar el adecuado funcionamiento de los drenes de gases hasta que se compruebe que la emanación se haya minimizado y no sea posible mantener la combustión controlada.
- Seguimiento periódico en zonas a pie de taludes en toda la superficie del relleno sanitario para verificar posibles afloramientos de lixiviados. En el caso de que efectivamente ocurra dicho afloramiento, se deberán habilitar drenes perimetrales para la captación y conducción de lixiviados hasta las pozas para almacenamiento temporal, y posterior tratamiento y/o recirculación.
- Desarrollar acciones correctivas en caso de detectarse algún tipo de contaminación de las aguas, suelo, aire, o proliferación de vectores y entre otros.

Dependiendo de las características climáticas y de ubicación particulares de cada relleno sanitario, en la etapa de cierre, se debe considerar o exceptuar la evaluación de los siguientes aspectos:

- Efectos sobre cuerpos de agua subterránea.
- Efectos adversos sobre los ecosistemas o alteración de los procesos ecológicos esenciales.
- Efectos adversos sobre áreas naturales protegidas.
- Alteración de las cualidades o del valor paisajístico o turístico de zonas declaradas de valor turístico.
- Alteración de lugares con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al Patrimonio Cultural de la Nación.

BIBLIOGRAFÍA

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), División de Salud y Ambiente / Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). *Manual de carreteras. Diseño geométrico DG-2014*. Lima, Dirección General de Caminos, MTC.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (s. f.). *Guía metodológica para la elaboración del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (EC-RSM)*. Lima: MINAM.

Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos. (2011a). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. Lima: MINAM.

Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos. (2011b). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado*. Lima: MINAM.

S. a. (2011). *Tecnologías para la vida, SOLVI soluciones para la vida, V(14), 6-11*.

Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas – Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2014). *Manual de construcción y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. Tegucigalpa, GIZ / Cooperación Triangular en Chile.

ACRÓNIMOS Y
SIGLAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
DGCA	Dirección General de Calidad Ambiental
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
GIZ	Agencia de implementación de la cooperación alemana para el desarrollo (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH)
HDPE	High Density Polyethylene
MINAM	Ministerio del Ambiente
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
PEI	Proyecto Iniciativa Pobreza y Medio Ambiente
PERT	Project Evaluation and Review Techniques
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
ProAmbiente	Programa Contribución a las Metas Ambientales del Perú
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVC	Policloruro de vinilo
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
SEIA	Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
SEV	Sondaje eléctrico vertical
SINANPE	Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SINEFA	Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
SNGA	Sistema Nacional de Gestión Ambiental
SNGRH	Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
UTM	Universal Transversal de Mercator
WGS	World Geodetic System

GLOSARIO

Biogás. Mezcla de gases de bajo peso molecular (metano, bióxido de carbono, etc.) producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.²⁴

Botadero. Acumulación inapropiada de residuos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Estas acumulaciones existen al margen de la Ley y carecen de autorización.²⁵

Celda. Infraestructura ubicada dentro de un relleno sanitario donde se esparcen y compactan finalmente los residuos depositados.²⁶

Celda Transitoria: Constituyen infraestructuras para disposición final de residuos municipales, con características similares a las una celda de relleno sanitario, su habilitación se sustenta en una declaratoria de emergencia que debe contar con opinión favorable de la DGRS del MINAM.
El sustento legal lo constituye el reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, en su Artículo N°123, establece las características para la habilitación de las celdas transitorias.

Ciclo de vida. Etapas consecutivas e interrelacionadas que consisten en adquisición o generación de materias primas, fabricación, distribución, uso, valorización y su eliminación como residuo.²⁷

Compactación. Acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él. El propósito de la compactación en el relleno sanitario es disminuir el volumen que ocuparán los residuos sólidos municipales con el fin de lograr una mayor estabilidad y vida útil.²⁸

24 Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado. Lima, MINAM, 2011.
25 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.
26 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.
27 Ibidem.
28 MINAM, op. cit.

Disposición final. Procesos u operaciones para tratar y disponer en un lugar los residuos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.²⁹

Gestión integral de residuos. Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos.³⁰

Infraestructura de disposición final. Instalación debidamente equipada y operada que permite disponer de manera sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos, son los rellenos sanitarios, rellenos de seguridad y las escombreras.³¹

Lixiviado o percolado. Líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura que atraviesa las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes. Otros factores que contribuyen a la generación de lixiviado son el contenido de humedad propio de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas.³²

Relleno de seguridad. Instalación destinada a la disposición final de residuos peligrosos de manera sanitaria y ambientalmente segura.³³

Relleno mixto. Infraestructura para la disposición final de residuos municipales y que además incluye celdas de seguridad para el manejo de residuos peligrosos de gestión municipal y no municipal.³⁴

Relleno sanitario. Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos en los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y los métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.³⁵

Relleno seco: Se denomina así a la infraestructura donde se disponen residuos municipales

29 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.

30 Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024.

31 MINAM, op. cit.

32 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.

33 [1] Ibidem.

34 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.

35 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.

pretratados, conocida también como “relleno seco”. El pretratamiento consiste en separar los residuos voluminosos, realizar la segregación de materiales inorgánicos y parte de orgánicos, reducir su volumen por medio de una prensa embaladora, embalar los residuos formando pacas con dimensiones estandarizadas, las mismas que se van acomodando en la superficie habilitada para relleno donde se dispondrán en forma definitiva. El relleno seco considera también la cobertura con tierra seleccionada de las pacas depositadas, así como la cobertura final o sellado cuando se alcanza la cota proyectada.

Residuos comerciales. Son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como: centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, centros de convenciones o espectáculos, oficinas de trabajo en general, entre otras actividades comerciales y laborales análogas. Estos residuos están constituidos mayormente por papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal y latas, entre otros similares.³⁶

Residuos de establecimiento de salud. Son aquellos residuos generados en los procesos y en las actividades para la atención y la investigación médica en establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo.³⁷

Residuos de limpieza de espacio público. Son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas.³⁸

Residuos domiciliarios. Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.³⁹

Residuos municipales. Los residuos del ámbito de la gestión municipal o residuos municipales, están formados por los residuos domiciliarios y los provenientes de barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública, en todo el ámbito de su jurisdicción.⁴⁰

36 Ley 27314, del 20 de julio de 2000.

37 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.

38 Ibidem.

39 Ley 27314, del 20 de julio de 2000.

40 Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.

Residuo orgánico. Se refiere a los residuos biodegradables o sujetos a descomposición. Pueden generarse tanto en el ámbito de gestión municipal como en el ámbito de gestión no municipal.⁴¹

Residuos sólidos. Residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y, en último caso, su disposición final. Los residuos sólidos incluyen todo residuo o desecho en fase sólida o semisólida. También se consideran residuos aquellos que siendo líquido o gas se encuentran contenidos en recipientes o depósitos que van a ser desechados, así como los líquidos o los gases que por sus características fisicoquímicas no puedan ser ingresados en los sistemas de tratamiento de emisiones y efluentes y por ello no pueden ser vertidos al ambiente. En estos casos los gases o los líquidos deben ser acondicionados de forma segura para su adecuada disposición final.⁴²

Residuos peligrosos. Son residuos sólidos peligrosos aquellos que, por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente.

⁴¹ Reglamento del Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016, Decreto supremo N° 014-2017-MINAM.

⁴² Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, del 23 de diciembre de 2016.

ANEXO 1

Contenido mínimo del expediente técnico de una celda transitoria

En el Perú existe una inadecuada gestión integral de los residuos sólidos por parte de las municipalidades provinciales y distritales. Es común observar que las ciudades arrojen los residuos que generan en los ríos, el mar, las quebradas y espacios públicos en general, aún poseyendo un apropiado sistema de recolección de residuos sólidos. La práctica de arrojar los residuos en lugares abiertos, comúnmente denominados botaderos, es altamente nociva para el ambiente y pone en grave riesgo la salud de la población.

En el Perú existen 34 rellenos sanitarios autorizados y en funcionamiento para una población que supera los treinta millones de habitantes. Esta situación demuestra que existen graves problemas que impiden la rápida implementación de infraestructuras para la adecuada disposición final de los residuos sólidos. Para superar estas dificultades, es necesario contar con la participación de todos los niveles del sector público, las empresas y organizaciones privadas y la ciudadanía en general.

En ese sentido, en el reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, en su Artículo N°123, establece las características para la habilitación de las celdas transitorias, así como las acciones para el cierre definitivo de la celda transitoria tomando en consideración los literales a), b), c) y e) del Artículo N°112 de dicho reglamento.

Las celdas transitorias a ser implementadas como parte de una Declaratoria de Emergencia deben contar con la opinión favorable del MINAM para lo cual las municipalidades provinciales o distritales deben presentar ante DGRS un informe que contenga la información con las características de la celda transitoria.

Habilitación de la celda transitoria

1. Matriz de calificación para la selección de área

Se debe de adjuntar la matriz de calificación del área seleccionada, la cual debe ser rellenaada con los puntajes obtenidos en base a los criterios establecidos en el anexo 1.3 “Contenidos mínimos para la selección de áreas (infraestructura de disposición final de residuos sólidos, celda transitoria y relleno seco)”. Esto permitirá identificar las características de la zona donde se ubicará la celda transitoria.

Cuadro N°62. Desmantelamiento de
infraestructura: destino final de desechos

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	DL N° 1278 Y SU REGLAMENTO DS N° 014 -2017	VALOR
1	Distancia a la Población más cercana (m).	>500(*)	
2	Distancia a granjas crianza de animales (m).	>500(*)	
3	Distancia a fuentes de agua superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m).	>500(*)	

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	DL N° 1278 Y SU REGLAMENTO DS N° 014 -2017	VALOR
4	Distancia a fallas geológicas.	>500(*)	
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos).		
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros).	>13 000(*)	
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje (m).	3 o 10 años(**)	
8	Área del terreno (m²).		
9	Vida útil.		
10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana).		
11	Pendiente del terreno (Topografía).		
12	Geología del suelo (permeabilidad).		
13	Profundidad de la napa freática (m).		
14	Posibilidad del material de cobertura.		
15	Cuenta con barrera sanitaria natural.		
16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km).		
17	Uso actual del suelo y del área de influencia.		
18	Opinión Pública.		
19	Área natural protegida por el Estado.		
20	Área arqueológica.		
21	Propiedad del terreno.		
PUNTAJE TOTAL			

(*) Por excepción, la autoridad competente podrá permitir su ubicación a distancias menores.
(**) ≤ 03 años para celda transitoria
≥ 10 años para relleno sanitario.

El criterio principal para la selección del área, deberá considerar que la Celda Transitoria y el relleno sanitario se ubiquen dentro de un solo lindero o terreno. Excepcionalmente la autoridad ambiental podrá autorizar ubicaciones distintas para la celda transitoria y relleno sanitario.

2. Memoria Descriptiva

La memoria descriptiva debe contener la siguiente información:

Antecedentes, marco legal, ubicación, datos de diseño (población actual, población proyectada, cantidad actual y proyectada de residuos sólidos), método a emplear (terrazas o trinchera) según corresponda la topografía y tipo de suelo, conformación de taludes, impermeabilización de la celda, sistema de manejo de lixiviados, sistema de manejo de gases, sistema de manejo de aguas de escorrentía, disponibilidad de tierra para cobertura, delimitación del área, vía de acceso y vías internas de circulación, etc.

3. Memoria de Cálculo

La memoria de cálculo debe detallar los procedimientos que van a determinar las áreas a considerar en la infraestructura de disposición final como celda transitoria. En ese sentido, debe detallar los siguientes cálculos:

- Información básica para el diseño.
- Definición del método a emplear.
- Diseño de taludes.
- Diseño de trincheras o plataformas.
- Cálculo del volumen de recepción.
- Cálculo de la vida útil (hasta por un periodo de 3 años como máximo) y/o hasta que en la jurisdicción ya se encuentre habilitada y lista para operar la infraestructura para disposición final de residuos.
- Impermeabilización (geomembrana o arcilla según disponibilidad) y canteras.
- Sistema de manejo de lixiviados.

- Sistema de manejo de gases.
- Sistema de manejo de aguas pluviales.
- Cerco o barrera de protección.
- Diseño de la vía de acceso y circulación.
- Pozo de monitoreo (de identificarse cuerpos de agua en el área de influencia de la celda).

4. Especificaciones técnicas.

El expediente debe contener lo siguiente:

- a. Las especificaciones técnicas de cada una de las partidas o conjunto de partidas que conforman el presupuesto de la celda transitoria.
- b. Deberá contener también las especificaciones técnicas del equipamiento no convencional, tales como:
 - Electrobomba y accesorios para la recirculación de lixiviados.
 - Generador eléctrico para el funcionamiento de la electrobomba.
 - Sistema de succión con cisterna provista de motobomba y descarga de lixiviados en zona para recirculación.

5. Metrados

El metrado es resultado de la medición de todos los componentes del proyecto que se detallan en los planos correspondientes. A estas mediciones se les denomina partidas, las mismas que están agrupadas por componentes.

La planilla de metrados debe considerar mínimamente la siguiente información:

- Ítem.
- Descripción.
- Unidad de medida.
- Metrado.
- Pago.

6. Costos y presupuestos

El presupuesto se elabora en base a los metrados obtenidos de los planos del proyecto y de las características de los procesos constructivos, detallados en las especificaciones técnicas.

En base a los planos, especificaciones técnicas y otras condiciones de ejecución, se formula el correspondiente análisis de precios unitarios y se determinan los valores parciales de las partidas, que agrupados permiten conocer el valor total de la obra.

Se deberá presentar:

- a. Presupuesto de obra (valor referencial).
- b. Resumen de presupuesto.
- c. Análisis de precios unitarios.
- d. Precios y cantidades de los recursos requeridos por tipo.

7. Cronograma de ejecución

El cronograma muestra la calendarización y ejecución de la obra, con la finalidad de controlar el avance de la obra y el monto en soles que deberá desembolsarse en periodos de tiempo determinados.

El cronograma puede presentarse en diagramas de Gannt o de técnicas de revisión y evaluación de proyectos (PERT).

En el expediente se debe acompañar lo siguiente:

- a.** Cronograma de ejecución de obra.
- b.** Cronograma valorizado de obra.

8. Planos

Los planos reflejan exactamente cada uno de los componentes físicos de la obra. A continuación, se detalla los planos que se deben elaborar debiéndose detallar la arquitectura, estructura e instalaciones eléctricas y sanitarias según corresponda:

- Planos de ubicación y perimétrico.
- Plano topográfico.
- Plano de distribución general: Infraestructura administrativa y de servicios, balanza, caseta de vigilancia, celda, poza de lixiviados, drenes verticales para gases, vías de circulación internas, drenes pluviales, cerco perimétrico, etc.
- Plano de detalle de la celda (taludes, dimensiones, entre otros).
- Plano de perfiles y secciones transversales.
- Plano de detalle de impermeabilización de la base.
- Plano de distribución y detalle de drenes para lixiviados y poza para almacenamiento temporal de lixiviados.
- Plano de distribución y detalle de drenes verticales para gases.

- Plano de drenes pluviales detallado.
- Plano de vías de acceso y vías de circulación internas.
- Detalle del cerco perimétrico o barrera de protección.
- Planos en planta, elevación, cortes y detalles de toda la infraestructura administrativa y de servicios consideradas en el proyecto.
- Otros planos.

9. Estudios técnicos

Se deberán considerar los siguientes estudios:

9.1 Estudio de caracterización de residuos sólidos

El estudio de caracterización de residuos sólidos municipales para fines de diseño no debe tener una antigüedad mayor a 5 años, y podrá ser utilizado siempre y cuando cumpla con el procedimiento y contenido que se establece en la Guía para realizar estudios de caracterización de residuos: Decreto legislativo N°1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

La información mínima necesaria requerida para el diseño de la celda transitoria comprende:

- a.** Generación per cápita de la población (gpc-kg/día).
- b.** Cantidad total de residuos sólidos domiciliarios (t/día).
- c.** Cantidad total de residuos sólidos no domiciliarios (t/día).
- d.** Cantidad total de residuos sólidos municipales (expresado en toneladas por día y toneladas por año).

9.2 Estudio topográfico

El levantamiento topográfico a detalle, se apoyará necesariamente en una poligonal cerrada, interna o externa a los linderos del terreno, la misma que deberá ser calculada mediante coordenadas. Como resultado del estudio se presentará como mínimo:

- a.** El plano topográfico resultante estará graficado a escala 1:2000 o escala que permita su correcta lectura, con curvas de nivel equidistantes cada metro, referida a coordenadas UTM (WGS 84), con información de los vértices de la poligonal materializadas en el terreno, debiendo ser una real representación del relieve del terreno, con todos sus detalles naturales e infraestructuras habilitadas por personas (viviendas, cercas o límites de propiedades, canales o acequias, torres o postes de conducción de cables eléctricos, trochas o carreteras, etc.).
- b.** Plano topográfico con información gráfica de la poligonal de apoyo y linderos del terreno, indicando cuadro de coordenadas de la poligonal de apoyo y linderos del terreno. (01 plano impreso). Además, un panel fotográfico con los Puntos bien materializados en el terreno, fácilmente identificables e identificados con información topográfica verdadera, (cotas y coordenadas).

9.3 Estudio de suelos o geotécnico

El estudio de suelos para la celda transitoria se realizará con el objeto de identificar la estratigrafía, características físicas del terreno y presencia de cuerpos de agua. Para su desarrollo se realizarán como mínimo tres (03) calicatas de 1.00 m. x 1.00 m. x 3.00 m de profundidad (pudiendo ser de menor profundidad dependiendo de las características del terreno),

ubicándose dos (02) de ellas dentro del área en donde se ubicará la celda para disponer los residuos. Como resultado del estudio se presentará como mínimo:

- a.** Informe conteniendo el perfil estratigráfico del suelo como resultado de las calicatas.
- b.** Plano topográfico con ubicación de las calicatas.

9.4 Estudio geofísico

Solo para las celdas transitorias ubicadas en zonas de selva, se realizarán sondeos eléctricos verticales (mínimo 02 puntos dentro del área de la celda) con la finalidad de determinar la presencia de aguas subterráneas y en función a ello elaborar el diseño de la celda (profundidad de la trinchera). Como resultado del estudio se presentará como mínimo:

- a.** Informe conteniendo el perfil geofísico.
- b.** Interpretación técnica del perfil geofísico.
- c.** Determinación de la profundidad de la napa freática.
- d.** Plano de ubicación de los puntos de sondeo eléctrico.

CAPITULO II.

Plan de Operación y Cierre definitivo de la celda transitoria

1. Operación de la celda transitoria

Se debe describir las actividades relacionadas con la disposición final de residuos sólidos en la celda transitoria, considerando lo siguiente:

- Descarga de residuos, compactación y conformación de superficies.
- Cobertura diaria.
- Manejo de gases.
- Manejo de lixiviados.
- Manejo de aguas pluviales.
- Control de vectores.
- Programa de salud y seguridad ocupacional.

La forma en que se realice la operación de la celda es muy importante, ya que de ello dependerá en gran medida el grado de consolidación y estabilidad estructural que esta debe alcanzar.

La conformación de superficies o plataformas con residuos dispuestos, deben alcanzar como mínimo el grado de compactación con el que se estimó la vida útil para la celda transitoria.

2. Programa de monitoreo y vigilancia ambiental

Se debe desarrollar el plan de manejo ambiental, incluyendo el programa de monitoreo y vigilancia de la calidad ambiental, de acuerdo a lo establecido en la “Guía para la elaboración del Plan de Recuperación de Áreas Degradadas” elaborada por el Ministerio del Ambiente.

De acuerdo a la magnitud y características de las celdas transitorias, los instrumentos ambientales que deberán implementarse son:

EIA_{sd} (Estudio de Impacto Ambiental semidetallado): Para celdas transitorias con capacidad de disposición final de 200 t/día a más.

DIA (Declaración de Impacto Ambiental) y/o plan de manejo: Para celdas transitorias con capacidad de disposición final de cantidades inferiores a 200 t/día.

3. Plan de Cierre definitivo de la celda transitoria

El plan de cierre de la infraestructura para disposición final de residuos sólidos que forma parte del IGA, es el periodo de tiempo que transcurre desde la suspensión de las actividades de descarga de residuos hasta el final de las actividades relacionadas a la celda transitoria. En esta etapa se deben tener en cuenta las actividades necesarias para atenuar, disminuir o eliminar los impactos ambientales que pudiera ocasionar el abandono de las instalaciones, incluyendo el calendario de ejecución e inversión requerida.

Debe contar, como mínimo, con los siguientes aspectos:

- Diseño de cobertura final.
- Control de gases.
- Control, manejo y/o tratamiento de lixiviados.
- Cobertura o confinamiento final de los residuos.
- Monitoreos ambientales.
- Posible uso futuro del área, etc.

Luego del cierre, la infraestructura para disposición final de residuos se mantendrá como área de acceso restringido bajo responsabilidad de la municipalidad o de la empresa a cargo de la operación.

El posible desmantelamiento o la conservación total o parcial de la infraestructura física que pueda haberse habilitado para operar la celda transitoria, lo decidirá

la municipalidad involucrada, tomando en consideración que parte o toda la infraestructura inmueble habilitada podría utilizarse durante la etapa de cierre (trabajos de mantenimiento, conservación, monitoreos ambientales, etc.)

Para garantizar que durante el tiempo destinado al cierre y que la infraestructura sea efectivamente de acceso restringido, el lindero del terreno debe estar provisto de un cerco perimetral de carácter disuasivo y con la presencia permanente de un servicio de vigilancia.

Posteriormente a la ejecución de la etapa de cierre, la infraestructura continuará en posesión de la municipalidad involucrada.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Ministerio del Ambiente
Av. Antonio Miroquesada 425
Magdalena del Mar, Lima-Perú
(511) 611-6000
www.minam.gob.pe

Con el apoyo de:



Implementada por

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH