

## Diseño de un relleno sanitario

La disposición final de los residuos sólidos por el método de relleno sanitario constituye una técnica que tiene en cuenta principios de ingeniería sanitaria a fin de evitar todo tipo de contaminación que resulte nociva para la salud pública y el medio ambiente.

Todas las fases de implementación de la técnica de relleno sanitario, desde la selección del emplazamiento, los estudios previos, la preparación del terreno, las obras de infraestructura, la ejecución propiamente dicha, el control ambiental, el uso posterior previsto para las áreas rellenadas y su integración al paisaje circundante deben ser estudiadas y planificadas adecuadamente.

Los rellenos sanitarios tienen como finalidad darle un destino cierto y seguro a los residuos sólidos que se generan en los núcleos urbanos.

### ▲ **Emplazamiento**

Para poder llevar a cabo la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios mediante el método de Relleno Sanitario, la selección del terreno adecuado para su ejecución es uno de las etapas más importantes que preceden a la elaboración del proyecto. Determinar si el área puede ser utilizada con el fin de disponer los residuos con esta tecnología, requiere hacer un análisis que contemple los siguientes aspectos.

#### Ubicación

Un Relleno Sanitario puede ejecutarse sin inconvenientes en sectores aledaños a zonas urbanizadas, no obstante, se debe tener muy en cuenta, la aceptación pública para la ubicación de un Relleno Sanitario y las normativas suelen establecer distancias mínimas a los cascos urbanos. Así, el emplazamiento en muchos casos debe efectuarse a cierta distancia de centros densamente poblados, lo cual, si bien tiene el inconveniente de encarecer el transporte de los residuos, puede permitir que dos o más localidades cercanas, que cuenten con terrenos aptos entre ellas, realicen la disposición final de los residuos en forma conjunta, disminuyendo los costos por el efecto escala. Se deben respetar también distancias mínimas a aeropuertos, teniendo en cuenta la presencia de aves que genera un relleno sanitario y las posibles interferencias que éstas podrían tener con las aeronaves. Igualmente se debe tener en cuenta la planificación de usos futuros en la zona (trazado de caminos, líneas de alta tensión, gasoductos, urbanizaciones, etc.)

#### –Accesos

Para la ubicación del terreno, se debe tener en cuenta la existencia de caminos de acceso de manera que el arribo de los camiones que transportan los residuos no tengan inconvenientes en cualquier época del año. En las zonas metropolitanas es conveniente contar con rutas que posibiliten desviar los

vehículos de los sectores densamente poblados, muy comerciales o con mucho tránsito vehicular.

–Duración del Relleno

–Debe establecerse el lapso durante el que se pretende disponer los residuos en el área que se va seleccionar para, junto a otros parámetros, definir la superficie de terreno necesaria. En muchos casos se plantea una situación inversa, es decir, que se cuenta con un terreno técnicamente en condiciones de ser utilizado para la realización de un Relleno Sanitario y el tiempo que se podrá usar para este fin es posible calcularlo conociendo la producción de residuos, compactación pretendida, altura y pendientes de proyecto, grado de asentamiento, etc.

### ⤴ **Estudios previos**

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

#### Obtención de Datos

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

##### a) Legislación Vigente

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

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

##### b) Datos Estadísticos

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

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

##### c) Datos Climáticos

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

Toda información debe obtenerse a través de institutos públicos o privados confiables. Conocer la intensidad y dirección de los vientos predominantes es importante para prevenir la posibilidad de problemas potenciales relacionados con el olor, polvo y residuos livianos que pueden ser dispersados por el viento. Las precipitaciones pluviales o níveas siempre fue uno de los inconvenientes máximos en todo Relleno Sanitario. Su relación con el escurrimiento de las aguas, tanto de la superficie del modulo, como de los caminos de circulación, las dimensiones del sistema de drenaje para el escurrimiento, su influencia en la generación de lixiviado, el transito de los camiones dentro y fuera del relleno, así lo indican.

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

#### d) Estudio Hidráulico

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

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

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

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

Cuando el emplazamiento del Relleno Sanitario se realiza cercano a un curso de agua, se debe tener en cuenta las crecientes del mismo y obtener valores

de los niveles de inundación con una recurrencia lo suficientemente amplia que permitan la construcción de los terraplenes perimetrales con una cota que impida el ingreso del agua al interior del módulo.

#### e) Hidrogeología

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

Con la palabra suelo se designa a todos los materiales, tales como, rocas, arcillas, turbas o arenas que puedan presentarse en la corteza terrestre y debe tenerse en cuenta que, ciencias como la geología, mineralogía y química intervienen al determinar las propiedades de la fase sólida de estos materiales. Con los datos obtenidos con estos estudios, se conocerán las propiedades del material para ser utilizado como soporte de los residuos, cobertura de los mismos y basamento de los caminos y de las construcciones civiles.

#### f) Topografía

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

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

#### g) Impacto Ambiental

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

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

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

## ↳ **Diseño y construcción**

### Preparación del Módulo

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

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

### Módulos

El módulo a construir consiste en una unidad de diseño circundada perimetralmente por un terraplén de cerramiento y circulación, por donde transiten los vehículos recolectores antes y después de la descarga de los residuos. Desde el punto de vista constructivo, el módulo conforma un recinto estanco que impide la migración de líquidos lixiviados hacia el exterior del mismo o se filtren hacia el acuífero. Debe evitar además el ingreso de agua del exterior (crecientes, lluvias).

### Sectores

Consisten en la subdivisión del módulo mediante bermas de separación (terraplenes de menor altura), generalmente impermeabilizadas, su cantidad, distribución y momento constructivo deben detallarse en el Proyecto Ejecutivo.

### Celdas

Se originan en la división de los Sectores en unidades menores. Las celdas están circundadas, en alguno de sus lados, por bermas removibles, con el objeto de mantener los líquidos lixiviados perfectamente encerrados en la menor área posible y evitar que entren en contacto con el agua de lluvia. Cuando los residuos alcancen el lugar donde se encuentre ubicada una de estas bermas, será removida parcialmente, para permitir que todo el lixiviado de un sector pueda llegar al lugar donde se coloquen los tubos de control y extracción de este líquido. De esta manera se minimiza significativamente el volumen del mismo. En el desarrollo de esta metodología se pondrá especial cuidado en que, el fondo de las celdas y sectores, tenga una superficie impermeable, uniformemente tratada en todo el módulo. El fondo del mismo, debe tener pendientes que posibiliten el escurrimiento, concentración, control y extracción del lixiviado hacia el sistema colector y bocas de captación.

### Control y extracción del Lixiviado

Considerando que los líquidos lixiviados que se generan en el relleno sanitario se deben extraer y transportar a plantas de tratamiento donde es depurado para alcanzar los parámetros para permitir su vuelco, el diseño y construcción de las bermas y drenaje en el interior del módulo, debe ser tal que se logre una separación efectiva de las aguas de lluvia de los líquidos lixiviados y minimizar al máximo el volumen a tratar. En los sitios previstos para la acumulación del líquido lixiviado, se colocan caños para el control y extracción del mismo.

## Impermeabilización

El fondo y taludes deben ser impermeabilizados a fin de evitar la migración de líquidos y gases hacia el exterior del módulo, previniendo de esta manera la contaminación de suelos y aguas superficiales y subterráneas. Para ello se debe contar con una capa de suelo de baja permeabilidad (barrera geológica). Si en el sitio elegido no existe ese tipo de suelo, será necesario crear la barrera artificialmente. Sobre la barrera geológica se debe colocar una membrana flexible impermeable para completar el cierre hidráulico.

## ▲ **Metodología operativa**

### Distribución y Compactación

Descargados los residuos, al borde de la celda en operación, una topadora sobre orugas procede a empujarlos hacia el interior de la misma y dentro de ésta, en acción combinada con un compactador de ruedas de acero especialmente diseñado para este fin, realizan su distribución en espesores no mayores a 30 cm alejándolos del área de descarga.

Simultáneamente con la tarea de distribución, por acción del compactador de ruedas de acero, se efectúa la trituración y compactación de los mismos; con esta operación combinada se logra un desgarramiento y desmenuzamiento de los residuos y envases que los contienen.

### Cobertura

Cuando se alcanzan las cotas finales del proyecto en cada celda, se procede a la cobertura final de los mismos con una capa de suelo del lugar de 20 cm de espesor mínimo, a continuación una capa de suelo arcilloso compactado, de 40 cm de espesor como mínimo, a efectos de: minimizar el ingreso de agua de lluvia que generaría lixiviado, evitar la emanación de olores, proliferación de vectores como insectos y roedores y posibilitar que comience la etapa de descomposición anaeróbica de los residuos. Sobre esta superficie se coloca una capa de suelo vegetal, con un espesor igual o mayor a 20 cm, extraído y acopiado previamente durante el proceso de preparación del módulo, como se mencionó anteriormente. Cuando los taludes de residuos, que por la secuencia operativa deban permanecer transitoriamente expuestos, se procede a la cobertura provisoria de los mismos. La superficie superior del módulo debe ser uniforme y libre de depresiones que permitan y/o faciliten la acumulación de agua sobre el terreno, y en el caso que se originen asentamientos diferenciales se debe proceder a su corrección.

### Disposición de Residuos – Etapas de Avance

Teniendo en cuenta que el servicio de disposición de residuos, debe ser prestado en forma ininterrumpida, permanentemente debe existir una capacidad receptiva para recibir residuos durante seis (6) meses de operación, como mínimo. Se comienza a recibir los residuos en la primera celda del sector. Dicha área, en este período, es la única parte del módulo donde se acopiará el líquido lixiviado que comience a formarse, quedando el resto del recinto libre del mismo, debido al cerramiento que le presentan el sistema de bermas que lo rodean. Comienza al mismo tiempo la instalación de los tubos de control y extracción del lixiviado en los sitios preestablecidos, de acuerdo al Proyecto Ejecutivo. A medida que continúe el ingreso de residuos y los mismos alcancen los lugares donde se encuentren las bermas removibles, las mismas son retiradas, total o parcialmente, para permitir que el líquido lixiviado llegue a la

base de los tubos de control y extracción del mismo. El procedimiento detallado continúa de la misma forma hasta completar el primer sector del relleno. A continuación y de acuerdo con la secuencia que se hubiera proyectado, la disposición de los residuos puede realizarse desde la parte superior del módulo, construyendo caminos transitorios sobre la cobertura de los residuos que permitan la circulación de los mismos.

#### Manejo de Gases

En la parte superior del módulo ya terminado, se colocan tubos verticales para monitoreo de los gases del relleno. También se instala el sistema de captación de gases para su tratamiento, que consiste en una serie de cañerías verticales y horizontales con perforaciones. El gas captado se conduce por medio de cañerías colectoras de mayor diámetro hasta la planta donde se procede a su quemado pudiendo ser aprovechada la energía así obtenida, para distintos usos.

#### Control de asentamientos

Periódicamente se realizan relevamientos del relleno terminado con instrumental topográfico apropiado, a fin de seguir la evolución de los asentamientos producidos.

#### ▲ **Control ambiental**

Antes de la instalación, durante la operación y luego del cierre del relleno sanitario se llevan a cabo las correspondientes tareas de control ambiental para comprobar que no se están produciendo afectaciones al aire, al suelo o a las aguas subterráneas y superficiales.

#### Post cierre

Una vez cerrados los módulos del relleno sanitario, continúan los trabajos en el relleno sanitario. Durante la descomposición de los residuos depositados, disminuyen su volumen, descendiendo el nivel superior del módulo cerrado. En vista de la heterogeneidad de los residuos, se pueden producir diferentes magnitudes de asentamientos en distintas áreas del relleno, generándose desniveles o hundimientos en los que se puede acumular agua que luego podría entrar al relleno y sumar volumen al líquido lixiviado.

Se debe controlar y corregir la producción de estos asentamientos diferenciales. Asimismo, se pueden producir horadaciones por efecto de la erosión hídrica que deteriorarían la cobertura y por lo tanto deben ser rápidamente corregidas.

De la misma manera, en caso de producirse pérdidas de líquido lixiviado deben ser rápidamente corregidas y no permitir que el líquido salga fuera de los límites del módulo. Sobre el módulo también se debe controlar y corregir la cobertura vegetal, cortando el pasto regularmente y resemebrando cuando sea necesario, a fin de mantener la estética del relleno y evitar la erosión hídrica. También continúa la extracción y tratamiento de gases y líquidos lixiviados. Permanentemente se debe controlar el estado de los canales de desagüe y alcantarillas, efectuando las correcciones y tareas de limpieza que fueran necesarias para mantenerlos permanentemente operativos.