

# **Residuos Urbanos e Industriales (2023)**

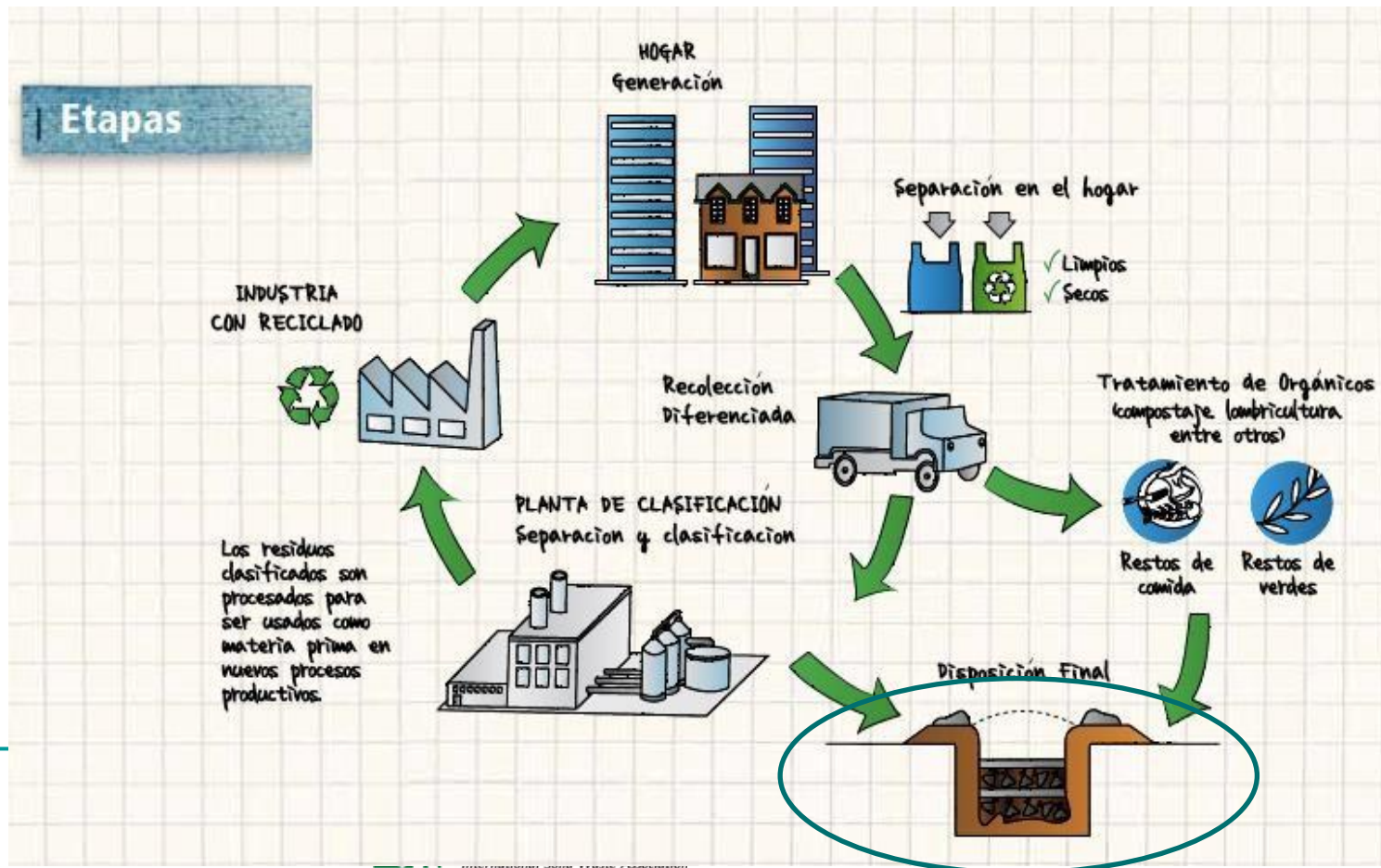
**Disposición final de residuos sólidos urbanos.**

Parte 1 de 2

Diseño y construcción

# GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Etapas de la GIRSU

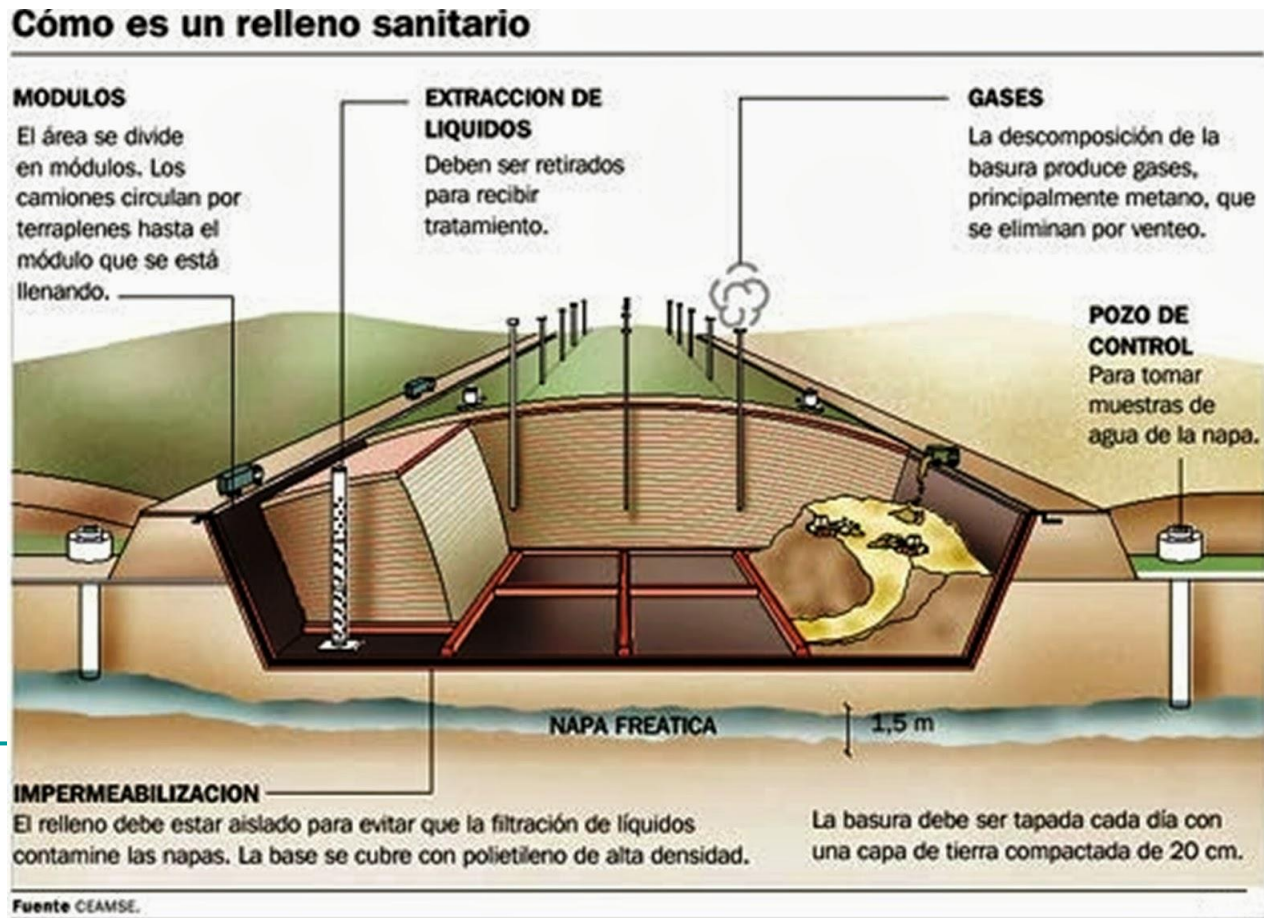


# Disposición final en relleno sanitario

- Última e inevitable etapa de la gestión de los RSU.
- **Definición: relleno sanitario es una técnica de disposición final de RSU en el terreno, sin causar perjuicio al ambiente, y sin ocasionar problemas de la salud, el bienestar y la salud pública (La Asociación de ingenieros civiles de USA).**
- Requiere el uso de principios de ingeniería para confinar los RSU en la menor superficie posible, reduciendo el volumen al mínimo.
- Los RSU son cubiertos con capa de suelo, como cobertura intermedia, con frecuencia definida por el caudal de ingreso de RSU, para evitar la proliferación de olores y vectores.

# Disposición final en relleno sanitario

- **Definición:** relleno sanitario es una técnica de disposición final de RSU en el terreno, sin causar perjuicio al ambiente, y sin ocasionar problemas de la salud, el bienestar y la salud pública (Asociación de ingenieros civiles de USA).



# Normas aplicables. Relleno sanitario

- Ley Nacional Nº 25.916: “Gestión Integral de Residuos Domiciliarios”. Ley de presupuestos mínimos. *Autoridad de aplicación*: organismos que determinen las jurisdicciones locales.
- Ley Prov. Buenos Aires Nro. 13.592 “Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos”
- Resolución Sec. Política Ambiental (SPA actual Min Ambiente ex OPDS) 1143/02 Pautas que se sugieren para la disposición de RSU en Rellenos Sanitarios:
  - Pautas para carga diaria de RSU a disponer de hasta 50 toneladas.
  - Pautas para carga diaria de RSU a disponer de más 50 toneladas

# Estudios preliminares

## Relleno sanitario

- Reconocimiento ocular del sitio.
- Relevamiento de información hidrogeológica y geotécnica.
- Topografía (cartas IGN y otros, fotografías aéreas o satelitales).
- Recopilación de antecedentes sobre cursos de agua
- Uso previo del sitio.

# Localización y estudios previos. Relleno sanitario

- Condiciones ambientales
- Distancias de transporte
- Cantidad de terreno disponible/expansiones/ costos
- Vías de acceso
- Distancia a aeropuertos, zonas pobladas, áreas de recreación, etc.
- Estudios hidráulicos preliminares del sitio: Drenaje del área, Comportamiento actual y futuro del área.



# Localización

## y estudios previos. Relleno sanitario

- Resolución SPA (actual Min. Ambiente) 1143/02 **Criterios de localización**
- Estudio de Impacto Ambiental que se indica en el Anexo IV del Decreto N° 1741/96 (Ley 11.459 de la Provincia de Buenos Aires).
- Zonificación catastral sea **Rural**. Distancia mínima al límite de la traza urbana de 1.000 m. De lo contrario, proponer las mitigaciones para no afectar a estos centros de población.
- Área, cuya base de asiento esté compuesta por una barrera natural formada por una capa mineral con una permeabilidad vertical ( $K_f$ ) igual o menor a  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg, con un espesor mayor o igual a 0,60 metros. Cuando la barrera natural no cumpla con las condiciones indicadas, podrá lograrse o completarse en forma de barrera artificial (geológica mineral)



# Localización

## y estudios previos. Relleno sanitario

- Resolución 1143/02 **Criterios de localización** (cont.)
- La base del relleno en ningún caso **podrá invadir el nivel del acuífero libre, debiendo estar ubicado como mínimo a 0,50 m sobre el nivel del mismo**. Para el caso que la capa freática supere el valor mencionado se deberán presentar propuestas de mitigación para cumplir con lo establecido.
- Se deberá garantizar que no se producirá ninguna alteración a la calidad del agua superficial, subterránea y al suelo adyacente.
- **No dentro de una reserva o parque natural** comprendidos en la Ley de la Provincia de Buenos Aires N° 10.907.

# Localización

## y estudios previos. Relleno sanitario

Resolución 1143/02 **Criterios de localización** (cont.)

- respetar los **derechos de trazas de autopistas, rutas o caminos, trazas de ferrocarril, de obras públicas** tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, tendido de redes de transmisión de energía eléctrica, acueductos y redes cloacales.

- La distancia mínima a ubicar un relleno sanitario de **aeropuertos y/o aeródromos** deberá ser:

**3.000 metros en el caso que operen aviones de motor a turbina.**

**1.500 metros si operan aviones de motor a pistón o turbohélice.**

- En aquellos casos en los cuales el relleno sanitario se encuentre ubicado dentro de un radio de 8 Km de un aeropuerto donde operen aviones a turbina o pistón, el propietario u operador deberá comunicar a autoridades aeronáuticas.

# Estudios previos. Relleno sanitario

Estudios hidrológicos:

- Delimitación de la cuenca
- Curvas de intensidad, duración y frecuencia.
- Cotas de inundación del área.

Estudios hidrogeológicos

- Posición del nivel freático.
- Acuíferos subyacentes.
- Escorrentía subterránea
- Cantidad de agua subterránea.

# Estudios previos. Relleno sanitario

Estudios topográficos:

- Relevamiento planialtimétrico
- Dimensiones del terreno
- Ubicación de los puntos fijos.
- Planos de curvas de nivel y cortes transversales.
- Cómputo de volúmenes.
- Ubicación de elementos referenciales como cursos de agua, tendidos eléctricos. Edificios, ductos.
- Delimitación de la cuenca

# Tipos de Relleno sanitario

- Baja densidad 500-600 kg/m<sup>3</sup>
- Media Densidad 700-900 kg/m<sup>3</sup>
- Alta densidad 1000-1100 kg/m<sup>3</sup>
- Alta densidad con trituración previa.
- Disposición de balas o fardos.

# Cálculo de área necesaria

Factores:

- Cantidad de residuos sólidos a disponer.
  - Cantidad de material de cobertura.
  - Densidad de compactación de los residuos sólidos.
  - Profundidad o altura del relleno sanitario manual.
  - Capacidad volumétrica del terreno.
  - Áreas adicionales para obras complementarias
- 
- Es necesario conocer el número de habitantes a servir para definir las cantidades de residuos sólidos que se van a disponer, tanto de la población rural y la urbana.
  - Es importante estimar la producción en el futuro, para definir las cantidades de residuos sólidos que se deben disponer durante el período de diseño.
  - Esto conlleva a realizar una proyección de la población, al igual que en cualquier obra de servicio público. La Tabla facilitará la síntesis de la información básica.

# Cálculo de área necesaria

## Paso 1. Aspectos Demográficos.

Cálculo del número de habitantes a servir: para definir las cantidades de residuos sólidos que se van a disponer, tanto de la población rural y la urbana.

Año	Población (hab)	PPC (kg/hab-día)	CANTIDAD DESECHOS SOLIDOS			VOLUMEN DESECHOS SOLIDOS					AREA REQUERIDA	
			Diaria (kg)	Anual (ton)	Acumulada (ton)	Compactados		Estabilizados anual (m3)	Rellenos		Relleno ARs (m2)	Total AT (m2)
						Diario (m3)	Anual (m3)		(DS+MC) anual	Acum (m3)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1												
2												
3												
4												
5												



# Cálculo del área necesaria.

## Paso 1. Determinar la proyección de población

El crecimiento poblacional se podrá estimar por métodos matemáticos, o tomando los datos censales <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-24-119>.

De los métodos matemáticos se presenta como guía el crecimiento geométrico, el cual asume una tasa de crecimiento constante. La siguiente expresión nos muestra su cálculo:

$$Pf = Po (1 + r) ^n$$

Donde:

Pf= Población futura (habitantes)

Po= Población actual (habitantes)

r= Tasa de crecimiento

n= número de años a proyectar

# Cálculo del área necesaria.

## Paso 2. Determinar producción de residuos por día y por año

El conocimiento de la producción de residuos sólidos permite establecer:

- cuáles deben ser los equipos de recolección más adecuados,
- la cantidad de personal,
- las rutas, la frecuencia de recolección,
- la necesidad de área para la disposición final,
- los costos y el establecimiento de la tarifa o tasa municipal.

La producción diaria de residuos sólidos (3) está dada por la relación:

$$\text{RSU } p = \text{Pob (hab.)} \times \text{PPC (kg/hab-día)}$$

Donde:

RSUp = Cantidad de residuos sólidos producidos por día (kg/día)

Pob = Población área urbana (hab.)

PPC = Producción per cápita

## Cálculo del área necesaria.

### Paso 3. Determinar producción de residuos por día y por año

La producción anual de residuos sólidos (4) está dada por la relación en kg/año:

$$\text{RSU a} = \text{RSU p (kg/día)} \times 365 \text{ días/año}$$

Expresada en toneladas/año

$$\text{RSUa} = \text{RSU p (kg/día)} \times 365 \text{ días/año} \div 1000 \text{ kg}$$

# Cálculo del área necesaria.

## Paso 3. Determinación de la proyección de la producción total

### Proyección de la producción total

- La producción anual de residuos sólidos se debe estimar con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita.
- Como vimos, la proyección de la población puede estimarse por métodos matemáticos pero, en cuanto al crecimiento de la PPC, conviene anotar que difícilmente se encuentran cifras que den idea de cómo puede variar anualmente, para tratar de evaluar cambios.
- No obstante, para obviar este punto y, conociendo que con el desarrollo y el crecimiento urbanístico y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular con **una tasa de incremento del 1% anual**, la producción per cápita total

# Cálculo del área necesaria.

## Paso 4. Seleccionar la densidad del relleno

Para calcular y dimensionar el volumen del relleno se pueden utilizar las siguientes densidades:

Baja densidad 500-600 kg/m<sup>3</sup>

Media Densidad 700-800 kg/m<sup>3</sup>

Alta densidad 1000-1100 kg/m<sup>3</sup>

El aumento de la densidad en el relleno sanitario se logra, por:

- El tránsito del vehículo recolector por encima de las celdas ya conformadas.
- El apisonado, mediante el uso periódico del rodillo y pisones
- La **separación y recuperación** de materiales tales como: papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra y otros, dado que difícilmente se compactan..
- Otros mecanismos: el proceso de descomposición de la materia orgánica y el peso propio de las capas o celdas superiores que producen mayor carga y, obviamente, disminuyen su volumen.

# Cálculo del área necesaria.

## Paso 5. Cálculo de volumen de residuos

### Volumen de residuos sólidos

El volumen diario y anual de residuos sólidos que se requieren disponer (Tabla, columnas 6,7, y 8), se calculan con:

$$V_{\text{diario}} = \text{RSUp} / \text{Drsu}$$

$$V_{\text{anual}} = V_{\text{diario}} \times 365$$

Donde:

$V_{\text{diario}}$  = Volumen de residuos sólidos a disponer en un día ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$V_{\text{anual}}$  = Volumen de residuos sólidos en un año ( $\text{m}^3/\text{año}$ )

$\text{RSUp}$  = Cantidad de residuos sólidos producidos ( $\text{kg}/\text{día}$ )

365 = Equivalente a un año (días)

$\text{Drsu}$  = Densidad de los residuos sólidos, en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , que varía según el nivel de compactación de los residuos.

## Cálculo del área necesaria.

### Paso 6. Cálculo de volumen total del relleno por año y por su vida útil

#### Volumen total del relleno necesario por año

se puede calcular el volumen del relleno sanitario, afectando el valor anterior por el material de cobertura así:

$$\text{VRS} = \text{V}_{\text{anual}} \times \text{MC}$$

Donde:

VRS = Volumen del relleno sanitario (m<sup>3</sup>/año)

MC = Factor de material de cobertura (1.2 a 1.25) para impermeabilización, cobertura diaria y final.



# Cálculo del área necesaria.

## Paso 6. Cálculo de volumen total relleno

### Volumen del relleno necesario de vida útil

Los datos obtenidos se toman en la Tabla, columna 9, y para conocer el volumen total ocupado durante la vida útil se tiene:

$$VRS_{vu} = \sum_{i=1}^n VRS$$

Donde:

$VRS_{vu}$  = Volumen relleno sanitario durante la vida útil (m<sup>3</sup>)

$n$  = Número de años

$i = 1$

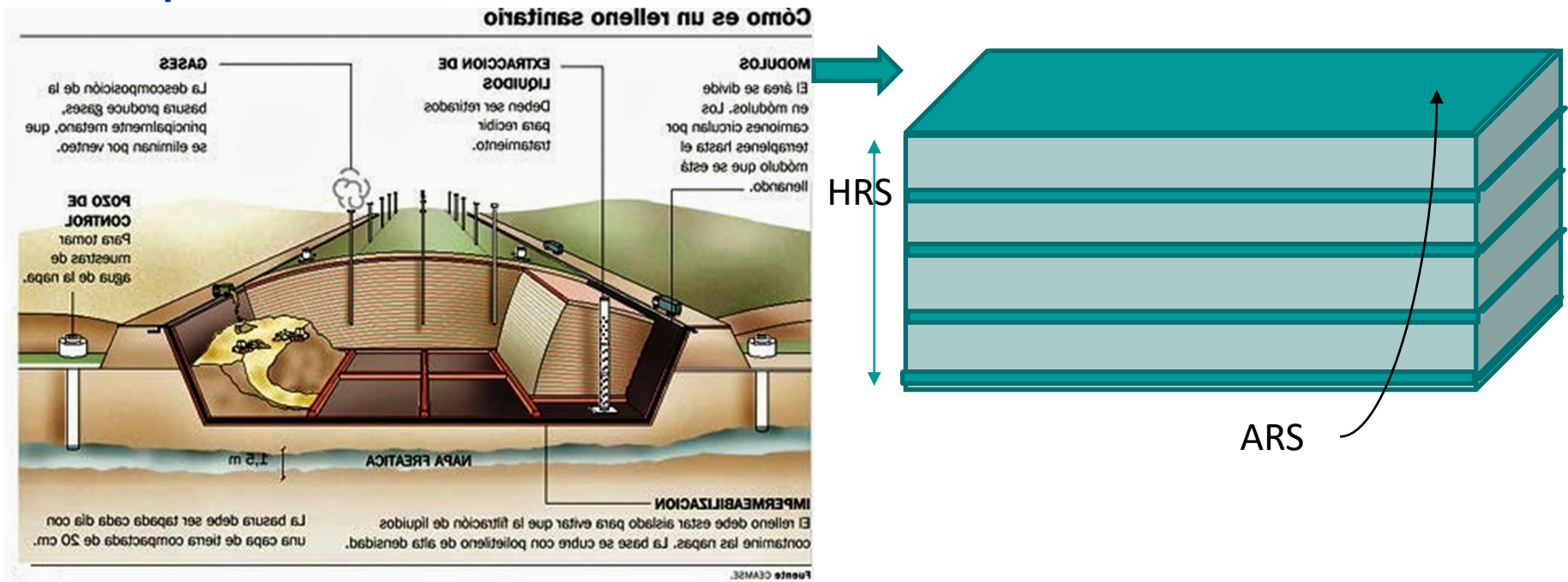
que serían los datos que aparecen en la Tabla, columna 10, es decir, los valores acumulados anualmente.

# Cálculo del área necesaria.

## Paso 7. Cálculo de área requerida

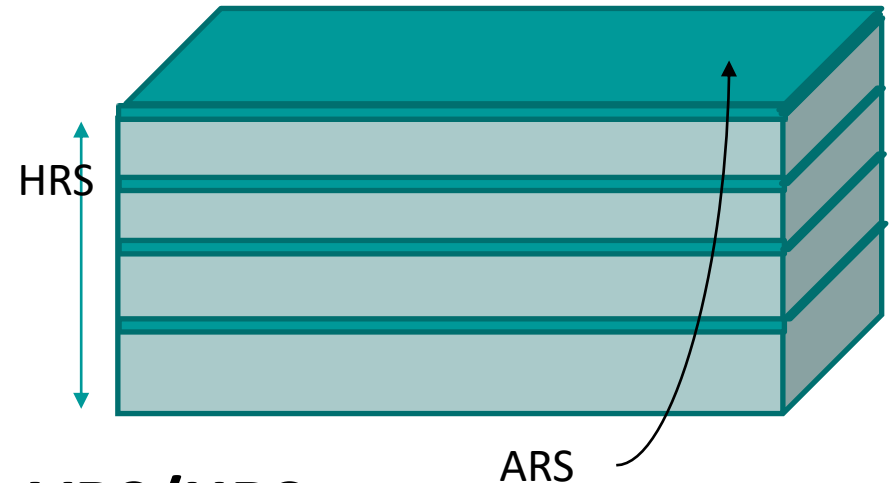
Para el cálculo del área, se supone que el relleno es un prisma rectangular como aproximación al real que es prisma trapeciodal.

El volumen de un prisma se puede calcular multiplicando el área de la base por su altura



# Cálculo del área necesaria.

## Paso 7. Cálculo de área requerida



$$VRS = ARS \times HRS \rightarrow ARS = VRS/HRS$$

(9) V relleno sanitario (VRS) = RSU + MC (20 a 25%) promedio general

$$(10) \text{Vacumulado} = \sum_{i=1}^n VRS$$

(11) ARS (área de relleno sanitario) = VRS/HRS (profundidad del relleno sanitario)

# Cálculo del área necesaria.

## Paso 7. Cálculo de área requerida (cont.)

El área total requerida (Tabla, columna 12) será:

$$AT = ARS * F$$

Donde:

AT = Area total requerida (m2)

F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de acceso, áreas de aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este se considera entre un 20-40% del área a rellenar.

Año	Población (hab)	PPC (kg/hab-día)	CANTIDAD DESECHOS SOLIDOS			VOLUMEN DESECHOS SOLIDOS					AREA REQUERIDA	
			Diaria (kg)	Anual (ton)	Acumulada (ton)	Compactados		Estabilizados anual (m3)	Rellenos		Relleno ARs (m2)	Total AT (m2)
						Diario (m3)	Anual (m3)		(DS+MC) anual	Acum (m3)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1												
2												
3												
4												
5												

# Relleno sanitario. Construcción

- Resolución 1143/02.

## Acondicionamiento del área

- Cercado Perimetral: cerco natural o artificial a efectos de evitar el ingreso de todo aquello ajeno a la obra.-
- Control de Ingreso. Edificios de control de ingreso y egreso de residuos, personas, vehículos y equipos.
- Señalización y Carteles indicadores: colocación de postes, barreras y señales para dirigir el tránsito dentro de la obra hacia las oficinas de control y trámites y hacia la zona de descarga, y carteles que indiquen las normas y disposiciones de circulación dentro del predio, como así también las de Higiene y Seguridad en el Trabajo.
- Zona de Amortiguación: una superficie perimetral al sitio, contigua al cercado perimetral de por lo menos 80 m de ancho, medidos en forma normal al mencionado cerco, sobre la cual se realizarán tareas de forestación a modo de cortinas, parqueización, infraestructura edilicia administrativa y obradores.

# Relleno sanitario. Construcción

## (cont.)

- Resolución 1143/02.

### Terraplén Perimetral

- Deberá cumplir las Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad, Edición 1994 publicación 101/01, sección B III, Terraplenes y Las Normas de Ensayo, edición actualizada 1993.
- Los terraplenes perimetrales se deberán construir de forma tal que la cota de coronamiento mínima se encuentre a 0,40 m por encima de la cota de inundación del área correspondiente a una recurrencia de 50 años. El ancho de coronamiento deberá ser tal que permita la construcción de una carpeta de rodamiento que garantice la doble circulación (mano y contramano) de vehículos recolectores cargados, equipos y maquinarias aún bajo condiciones climáticas adversas, con banquetas laterales a los efectos de realizar cunetas para la evacuación de aguas superficiales.

# Relleno sanitario. Construcción

## (cont.)

- Resolución 1143/02.

### Excavación

En el supuesto de que las condiciones geológicas e hidrogeológicas del sitio lo permitan será posible la excavación del interior del recinto estanco o módulo bajo las siguientes pautas:

- La cota de fondo de la excavación será como mínimo 0,5 m superior a la cota del acuífero libre.
- Los taludes de la excavación del recinto deberán respetar idéntica pendiente que la especificada para el talud interno del Terraplén Perimetral del Módulo.



# Relleno sanitario. Construcción

## (cont.)

- Resolución 1143/02.

Excavación (cont.)

Aislación de base y taludes laterales del recinto.

- **Barrera Compuesta Natural**

Consiste en un sistema de dos elementos: el elemento superior, que es una Membrana Flexible (Geomembrana), que debe poseer como mínimo de 0,80 mm de espesor y el elemento inferior, debe estar formado por lo menos por 0,60 m de suelo compactado, con una permeabilidad vertical  $K_f$  menor o igual a  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg.

- **Barrera artificial**

Cuando la barrera natural o suelo compactado no cumpla con las condiciones indicadas, se instala una barrera equivalente de protección. La Membrana Flexible de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) deberá tener un espesor mínimo de 1,5 mm. La Membrana Flexible debe estar instalada en contacto directo y uniforme con el suelo compactado o barrera artificial de 0,60 m de espesor y una permeabilidad vertical  $K_f$  menor o igual a  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg. y se cubrirá la Membrana Flexible, con una capa de 0,30 metros de espesor de suelo seleccionado compactado, a efectos de su protección

# Relleno sanitario. Construcción (cont.)

- Resolución 1143/02.

Excavación (cont.)

Resistencia del fondo de excavación: el substrato geológico es suficientemente estable para evitar asentamientos que puedan causar daños a la barrera.

Aislación de la cobertura superior: La cobertura superficial final del relleno sanitario estará constituida por un sistema multicapa. Estas capas, detalladas en sentido ascendente desde la cota final de los residuos dispuestos, se constituyen por:

- Una capa de ecualización de 0,20 m de espesor con alto coeficiente de permeabilidad.
- Una capa de suelo compactado de baja permeabilidad con un Kif menor o igual a  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg. de 0,40 m de espesor mínimo. De no contar con suelo de estas características, deberá proponerse la solución técnica adecuada a fin de lograr una impermeabilidad equivalente.
- Una capa de cultivo que facilite la germinación, crecimiento y desarrollo de especies herbáceas constituida por suelo de elevado contenido en materia orgánica de 0,20 m de espesor mínimo, colocada sobre las capas anteriormente indicadas. .

# Relleno sanitario. Criterios de diseño

## ■ Resolución 1143/02. (cont.)

### Excavación (cont.)

- La topografía y las pendientes de la cobertura final en cualquier punto del relleno sanitario, deberán ser diseñadas de modo de lograr el escurrimiento de las aguas pluviales alejándolas del modulo y evitar la acumulación de agua en la superficie.

### Estabilidad del Relleno Sanitario

- Las dimensiones, pendientes y geometría del relleno sanitario, así como la operatoria del mismo se hará de manera tal que garantice la estabilidad de la masa de residuos y estructuras asociadas para evitar todo tipo de deslizamientos.

# Relleno sanitario. Construcción

- Resolución 1143/02. **(cont.)**

## Accesos y circulación interna.

- El acceso al relleno y la red de caminos internos deberá garantizar el tránsito permanente de vehículos y equipos de obra al centro de disposición final y a la zona de operaciones, independientemente de las condiciones meteorológicas.

## Playas de descarga

- Para la construcción de las playas de descarga se deberá contemplar: la capacidad soporte, las dimensiones, la transitabilidad y los drenajes para asegurar la circulación de los vehículos, equipos y maquinarias, teniendo en cuenta su uso bajo cualquier condición climática y la minimización de la superficie de residuos expuestos.

# Relleno sanitario. Construcción (cont.)

- Resolución 1143/02.

## Drenajes y control de inundaciones

- Deberán diseñarse y mantenerse los drenajes superficiales a fin de asegurar el acceso de vehículos, la maniobrabilidad de equipos, permitiendo reducir al mínimo la penetración de líquido y la consecuente generación de lixiviados.

El objetivo es proporcionar un rápido escurrimiento de las aguas mediante cunetas perimetrales y alcantarillas que servirán a las zonas ya terminadas de relleno y a las que se encuentran en operación.-

Se deberán construir alcantarillas perimetrales al relleno, conectadas al sistema de escurrimiento o terreno natural.

# Relleno sanitario. Construcción. Impermeabilización con geo membrana





# **Relleño sanitario. Construcción. Impermeabilización con geo membrana: anclajes**





# Relleno sanitario de residuos enfardados

