

ANEXO 22

BALANCE DE SUELOS

**PROYECTO GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
ZONA METROPOLITANA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA**

2017

INDICE

1. CANTIDAD DE RESIDUOS A DISPONER	2
1.1 Densidad Final de los Residuos Compactados	2
1.2 Volumen de Módulo 1.....	3
2. BALANCE DE SUELOS.....	12

ANEXO 22

BALANCE DE SUELOS

1. CANTIDAD DE RESIDUOS A DISPONER

La cantidad de residuos a disponer, teniendo en cuenta la población estable más la población flotante, se puede observar en la **TABLA 1**. En dichas cantidades están deducidas las cantidades que se recuperarán en las plantas de separación.

Se supone que el Módulo 1, comenzará a operar desde el año 2018 hasta el año 2022, es decir por un período de 5 años.

TABLA 1: Resumen de cantidades de residuos a disponer.

Tabla 1 – Resumen de cantidades de residuos a disponer					
Infraestructura	2018	2019	2020	2021	2022
Pta. Maipú	213	214	216	217	218
C.A. El Borbollón	878	890	902	913	924
Total (tn/día)	1.091	1.104	1.117	1.130	1.142
Total (tn/año)	398.277	403.021	407.829	412.399	416.772
Peso Total Módulo 1					2.038.299 tn

Para el primer Módulo la cantidad de residuos a disponer es de 2.038.299 toneladas (2018-2022).

1.1 Densidad Final de los Residuos Compactados

La densidad de los residuos dispuestos y compactados es un dato crítico para el cálculo del volumen de los residuos a disponer. La densidad de los RSU pasa por distintos valores de acuerdo a la etapa de gestión en la que se encuentra.

En estado suelto, es decir en origen, la densidad oscila entre 80 a 120 Kg/m³ y, después de la compactación en el Camión Recolector, su valor aumenta hasta valores que oscilan entre 350 – 500 Kg/m³, de acuerdo al estado de la prensa de dicho equipo. En el vertedero, los residuos pueden alcanzar valores desde 600 kg/m³ hasta 1.100 Kg/m³, dependiendo su valor final promedio del espesor de los residuos compactados, el peso del equipo compactador y el número de pasadas realizadas por cada capa compactada.

Existen pocos datos regionales de la densidad alcanzada en rellenos sanitarios, a excepción de las estadísticas del Centro de Tratamiento y Disposición Final de los Municipio del Valle de Uco, donde se han alcanzado densidades superiores a 1,1 Tn/m³.

Dichas densidades han sido alcanzadas con equipos pesados (Topadora sobre Orugas de 20 tn de peso), en capas compactadas de espesores menores a 30 cm.¹

Teniendo en cuenta estos datos regionales, se adopta para el primer Módulo, la densidad de $0,9 \text{ Tn/m}^3$ (en forma conservadora) suponiendo que se podría llegar a un valor de 1 tn/m^3 , para los residuos compactados en su posición final, teniendo en cuenta que los equipos serán similares a los utilizados en el vertedero mencionado.

1.2 Volumen de Módulo 1

La capacidad interior del primer Módulo surge del volumen de residuos a disponer, su densidad, del volumen ocupado por el suelo de protección de la geomembrana, y del suelo necesario para las bermas y coberturas diarias.

Para determinar el volumen se procedió a realizar cálculos a través de un modelo matemático a partir del volumen de una pirámide truncada. Dicho modelo necesita como dato básico el volumen necesario y por tanteos sucesivos se obtienen las dimensiones que cumplen con dicha premisa.

Otro de los datos básicos de control del Modelo Matemático es el tirante máximo (Hmax) que no debe superar los 20 a 21 metros, para evitar superar las tensiones compatibles con la resistencia y deformación del suelo de fundación.

Las dimensiones necesarias del Módulo 1 para contener el volumen de residuos de $2.038.299 \text{ m}^3$ de RSU, el suelo de cobertura de protección de fondo, las bermas de separación, y el suelo necesario para las coberturas diarias, son las que se observan en el cuadro siguiente, obtenidas a partir de tanteos sucesivos:

Base Mayor: 480 m x 420 m

Base inferior: 384 m x 444m

Hmax: 20,50 m

Hprom.: 13,80 m

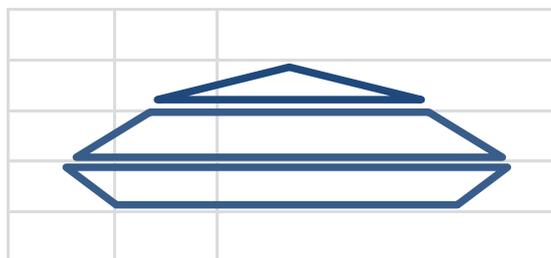


Figura 1: Geometría del Módulo

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en el cálculo y los volúmenes obtenidos.

¹ Fuente: COINCE, donde se dispusieron 160.646 toneladas, en 142.795 m^3 . Densidad promedio $1,12 \text{ tn/m}^3$ de RSU compactados.

TABLA 2: Dimensiones principales.

Tabla 2 – Dimensiones Principales	
Ancho	420 m
Largo	480 m
Altura H1	6,00 m
Altura H2	8,00 m
Altura H3	6,50 m
Altura Final	20,50 m

TABLA 3: Espesores.

Tabla 3– Espesores	
Suelo de cobertura final	0,60 m
Suelo impermeable	0,20 m
Suelo protección geomembrana	0,30 m

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de los volúmenes son las siguientes:

$$V = \frac{1}{3} \cdot h \cdot (A1 + A2 + \sqrt{A1 \cdot A2})$$

$$V = \frac{1}{3} l^2 \cdot h$$

TABLA 4: Cálculo de V1.

Tabla 4– Calculo de V1	
	H1
Ancho	420 m
Largo	480 m
Talud interior	1:3
Ancho interior	384 m
Largo interior	444 m
Altura sobre NTN	0 m
Profundidad de Excavación	0 m
Altura	6,0 m
Base Mayor	201.600 m ²
Base Menor	170.496 m ²
V1	1.114.986 m³

TABLA 5: Cálculo de V2.

Tabla 5– Calculo de V2	
	H2
Ancho	420 m
Largo	480 m
Talud interior	1:5
Pendiente	20%
Ancho menor	340 m
Largo menor	400 m
Altura promedio	8 m
Base Mayor	201.600 m ²
Base Menor	136.000 m ²
V2	1.341.820 m³

TABLA 6: Cálculo de V3.

Tabla 6– Calculo de V3	
	H3
Ancho	340 m
Largo	400 m
Altura	6,50 m
Lado pirámide	340 m
Remanente pirámide	60 m
Pendiente cobertura	3,82%
V3	250.467 m³

TABLA 7: Cálculo de V4.

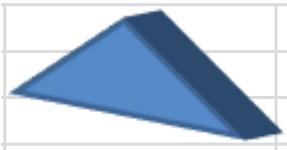
Tabla 7– Calculo de V4	
	H4
Ancho	340 m
Largo	60 m
Altura	6,50 m
	
V4	66.300 m³

TABLA 8: Volúmenes finales.

Tabla 8– Volúmenes Finales		
Volumen interior bruto	2.773.573	(A)
Volúmenes interiores ocupados		
<i>Cobertura de fondos</i>	-51.149 m ³	0,30 m de espesor
<i>Cobertura periódica</i>	-343.164 m ³	15%
<i>Bermas de separación</i>	-5.775 m ³	
Total Coberturas	-400.088 m³	(B)
Volumen Neto Módulo 1	2.373.485 m³	(A) + (B)
Volumen de Residuos	2.287.758 m³	
Relación VM/VR >1	1,037	

El suelo de cobertura final corresponde a los 0,60 m de tapada final a ejecutar sobre la última capa de residuos a disponer, y a la cobertura de fondo correspondiente a una capa de 0,30 m de espesor, que protegerá la geomembrana de los objetos punzocortantes que pudieran contener los residuos.

La capa de suelo impermeable corresponde a la capa de suelo limoso que se mezclará con bentonita para cumplir con el objetivo de sello natural impermeable.

El suelo de cobertura periódica es el volumen de suelo que cubrirá diariamente los residuos y que se estima que no debería superar 1/7 del volumen de residuos², y en este caso y se adopta un valor de 15% del Volumen de residuos a disponer.

El volumen de bermas corresponde a seis bermas transversales y una berma central longitudinal con una sección transversal de 1,83 m²/m. En la **Figura 2** se observan las dimensiones de la berma y las capas que conforman el sello inferior del

² Gestión Integral de RSU. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., Madrid, España (1995)

módulo.

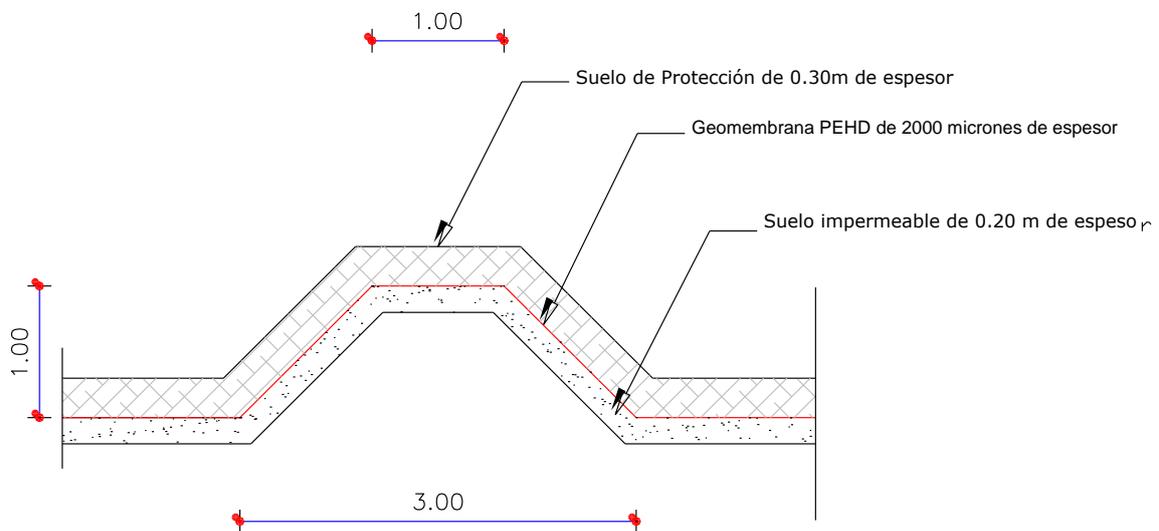


Figura 2: Características de las bermas de separación

Las dimensiones adoptadas indicadas en las tablas anteriores, aseguran una capacidad de 2.373.485 m³, es decir un volumen superior en un 3,7% del necesario para los 5 años de operación del Primer Módulo. En **Figura 3**, **Figura 4**, **Figura 5** y **Figura 6** se observan las principales características geométricas del primer módulo. (Ver **Anexo 9: Planos de Proyecto Ejecutivo**).

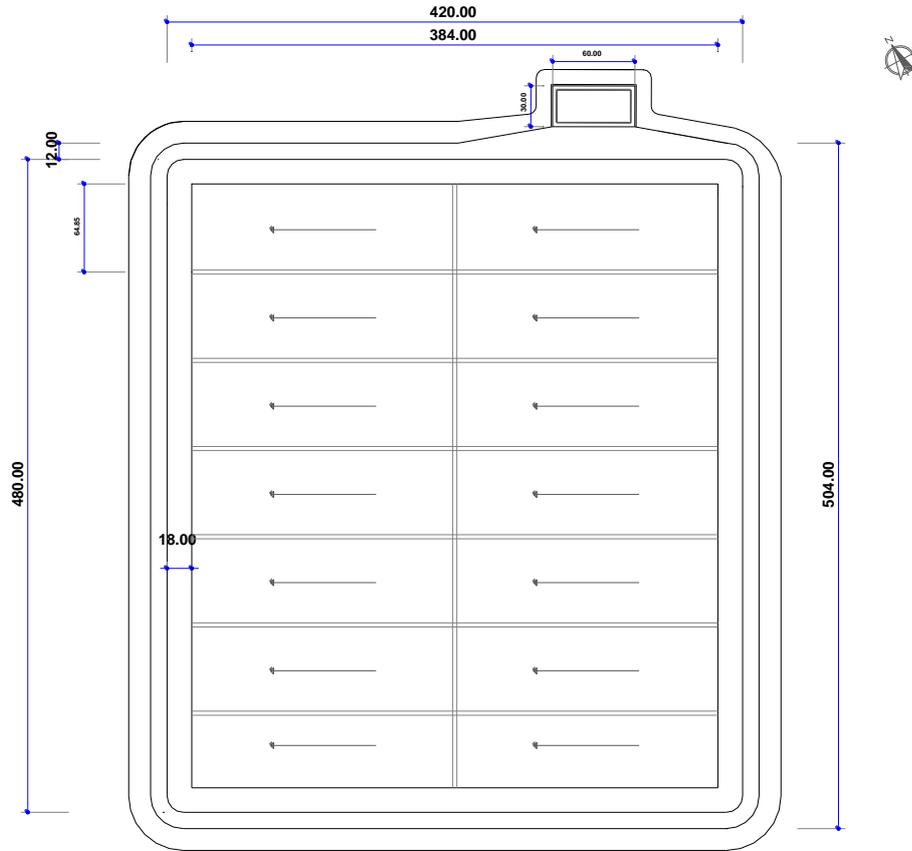


Figura 3: Vista de la base del Módulo 1

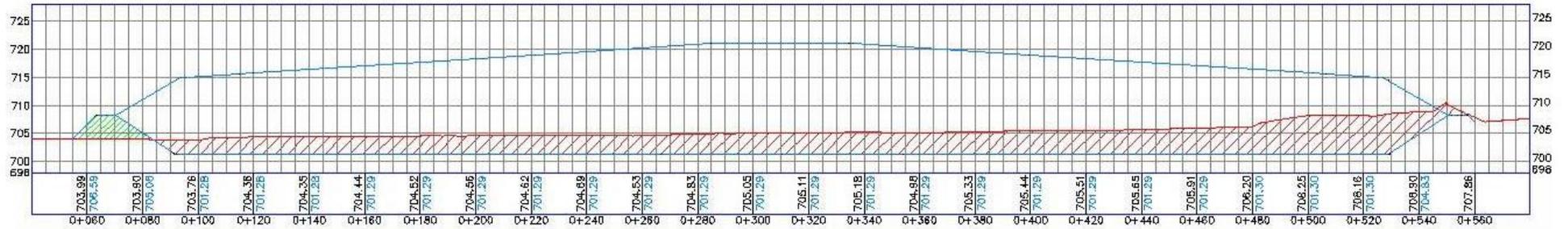


Figura 4: Perfil Transversal N - S

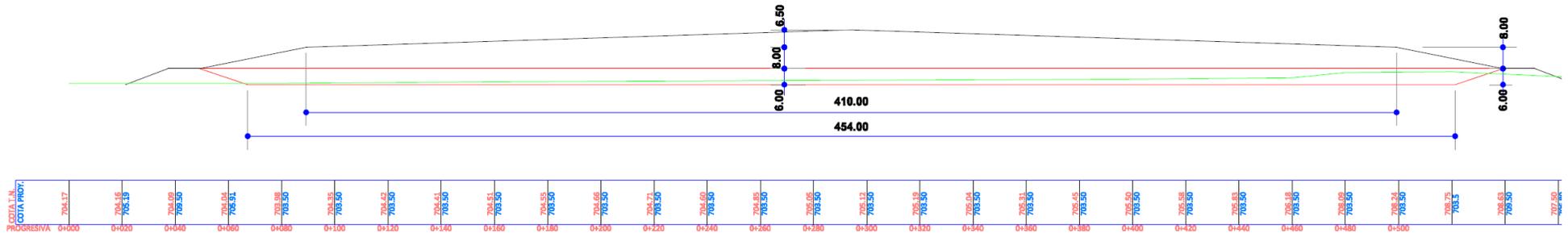


Figura 5: Perfil Longitudinal N - S

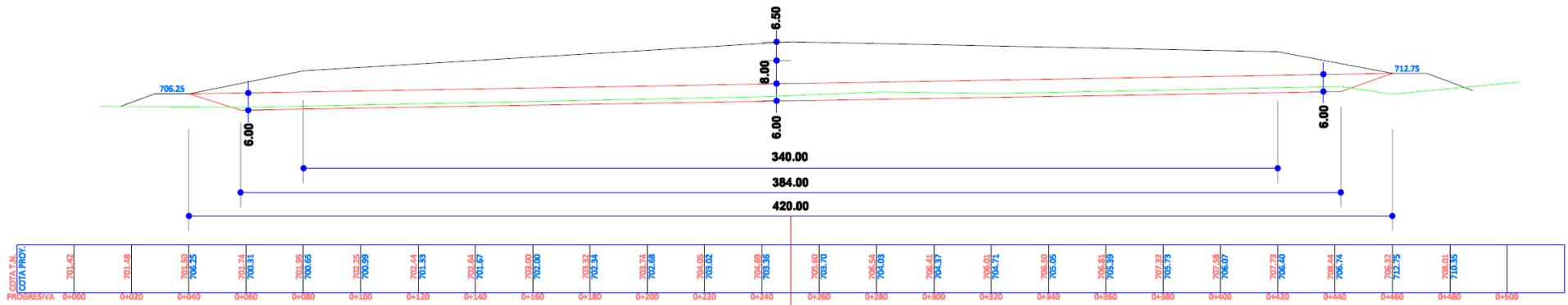


Figura 6: Perfil Longitudinal O-E

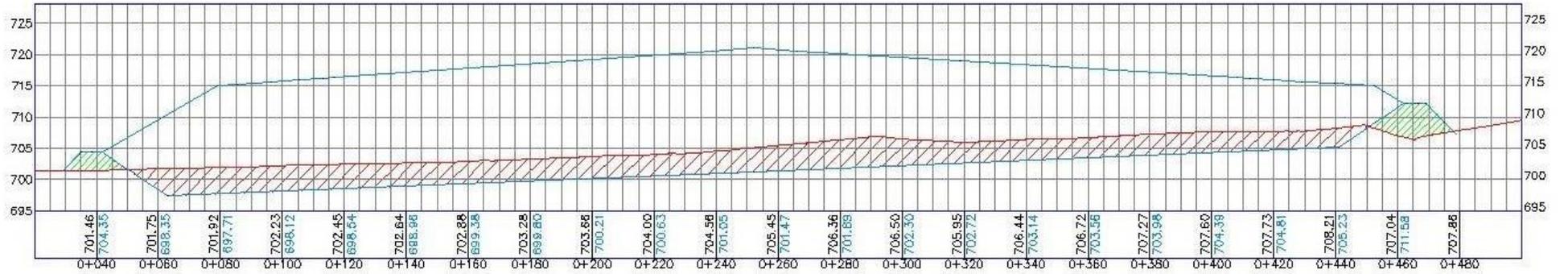


Figura 7: Perfil Transversal E-O

2. BALANCE DE SUELOS

El movimiento de suelo en un relleno sanitario es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño y de su ejecución depende gran parte del costo de la obra. De la forma en que fue diseñada su secuencia operativa dependerán también los impactos que producirán sobre el entorno.

Un correcto diseño implica que el balance de suelos sea nulo o casi nulo, es decir que los volúmenes de excavación sean suficientes para cubrir la demanda de suelos para los terraplenes perimetrales, suelo de protección, coberturas diarias y finales, además de las obras complementarias como por ejemplo, las lagunas de almacenamiento de líquidos.

Las necesidades de suelo para la construcción del primer Módulo se observan en la **TABLA 9**.

TABLA 9: Demanda de suelos Primer Módulo.

Tabla 9 – Demanda de Suelos Primer Módulo (m3)	
Terraplén perimetral	211.950
Cobertura protección de fondo	51.149
Cobertura Diaria	343.164
Cobertura Final	123.379
Laguna de retención pluvial	5.250
Laguna de lixiviados	9.660
Camino de acceso	38.374
Terraplén Edificios	19.511
Total demanda de suelo	802.437

Para los terraplenes perimetrales se adoptan anchos de coronamiento de 12,00 m y taludes extendidos hacia el exterior con pendientes 1:4, para mejorar la seguridad y maniobrabilidad de los vehículos pesados que transitarán en terraplenes elevados (3 a 4 metros de altura de acuerdo al sector). El talud hacia el interior del Módulo se adopta con una pendiente 1:3.

El ancho adoptado permite acomodar un ancho de calzada bidireccional de 7 m y espacio remanente de 5 m para las banquetas y desagües laterales. La pendiente de 1:4, promueve la revegetación, minimizando la erosión hídrica y eólica de dichas superficies inclinadas.

El volumen de terraplén ha sido corregido con un Índice de Compactación de 1,20 para poder compararlo con los volúmenes de excavación.

El volumen del suelo necesario para la construcción del Primer Módulo y de las obras complementarias es de 802.437 m³.

Para obtener esta compensación, se procedió a probar distintas posiciones de la bandeja inferior del módulo proyectado, hasta alcanzar por tanteos un valor similar al necesario, utilizando software específico para el cálculo de volúmenes a partir de las superficies generadas por la topografía y la base del módulo. Esta opción obligaría a acopiar los suelos a utilizar en las coberturas durante un período máximo de 5 años.

Cabe aclarar que la excavación del Módulo y el consumo de suelos se encuentran temporalmente desfasados, ya que la excavación se realiza al inicio de la obra y los suelos de cobertura se utilizan a lo largo de los 5 años de operación del mismo. Este desfase temporal entre la disponibilidad de suelos (excavación) y el consumo de los mismos implica realizar grandes acopios, salvo que se adopte otra estrategia constructiva.

Si se construye el primer Módulo, deberá acopiarse en las proximidades del mismo, los suelos correspondientes a los volúmenes de cobertura diaria (343.164 m³) y cobertura final (123.379 m³), formando un inmenso montículo de suelos sueltos (466.543 m³).

Para evitar este acopio se excavará en la Etapa de Construcción del Módulo 1, la cantidad necesaria para los terraplenes de dicho módulo y los volúmenes de suelos para las obras complementarias (lagunas de retención y lixiviado, camino de acceso y relleno en zona de edificios) y los suelos necesarios para las coberturas se obtendrán de la excavación del Módulo 2, que se deberá excavar simultáneamente en la operación del Módulo 1. Con este método de construcción y operación, al finalizar el llenado del Primer Módulo, prácticamente estará construida la excavación del segundo módulo.

La rampa de acceso al interior del módulo, se ejecutará con una mezcla de residuos y suelos de cobertura.

El volumen de suelo compactado necesario para la ejecución de estas obras es de 335.394 m³, adoptando un coeficiente de compactación de 1,20 (Ic=1,20).

En la **TABLA 10** se observan desglosados, los volúmenes de los movimientos de suelos de cada componente del proyecto.

TABLA 10: Movimientos de suelos.

Tabla 10 – Movimientos de Suelo						
Demanda de Suelos 1º Módulo (m3)		Volúmenes a Ejecutar				
		Etapa de Construcción 1º Módulo		Etapa de Operación 1º Módulo		
		Terraplenes (A)	Excavación	1º Módulo (B)	2º Módulo	Excavación 2º Módulo
Terraplén Perimetral	221.950	211.950	301.881		104.710	
Cobertura protección fondo	51.149			51.149		
Cobertura Diaria	343.164			343.164		643.685
Cobertura Final	123.379			123.379		
Laguna de retención pluvial	5.250					
Laguna de lixiviado	9.660					
Camino de acceso	38.374	38.374	11.321			
Terraplén Zona edificios	19.511	19.511	13.202			
Canales			23.000			
Totales (m3)	802.437	249.495	352.404	517.692	104.710	643.685
		1.20			1.20	
		335.394			125.652	

Como se observa, fue necesario pre-dimensionar el Segundo Módulo para estimar las dimensiones, y calcular los volúmenes involucrados en su construcción.

Una vez completada la ejecución del Primer Módulo de las obras complementarias, se obtendrá un excedente de excavación del orden del 5%, como remanente de reserva para las coberturas y/o rellenos de asentamientos producidos por la descomposición de los residuos.

Estos volúmenes y diferencias se observan en la **TABLA 11**.

TABLA 11: Diferencias de volúmenes.

Tabla 11 – Diferencias de volúmenes	
Volumen de Terraplenes Etapa de Construcción (A)	-335.394 m3
Volumen de excavación del Módulo 1	352.404 m3
Diferencia excedente de excavación (5%)	17.010 m3

Durante la Etapa de Operación del 1º Módulo, se extraerán del fondo del 2º Módulo, un volumen de suelos de: 517.692 m³, correspondientes a la suma de los valores de todas las coberturas del 1º Módulo.

La ejecución del 2º Módulo demandó la búsqueda, por tanteos sucesivos, de una cota de fondo tal que cubriera las necesidades del suelo del primer módulo (517.692 m³), y los volúmenes de suelos necesarios para su propio terraplén perimetral (125.652 m³). Es decir que las cotas de excavación del 2º Módulo, proporcionan un volumen de suelos de 643.685 m³, similar a las necesidades planteadas, como se puede observar en la **TABLA 12**.

TABLA 12: Volúmenes Módulo 2

Tabla 12 – Volúmenes Módulo 2	
Volumen Excavación 2º Módulo	643.685 m3
Suelos para coberturas del 1º Módulo (B)	-517.692 m3
Terraplén 2º Módulo	-120.417 m3
Diferencia excedente de excavación (1%)	5.517m3

Para la determinación de todos los volúmenes involucrados se utilizó una herramienta CAD en tres dimensiones, que permite simular las superficies del terreno y de las obras proyectadas, obteniendo los volúmenes por diferencias entre dichas superficies.

TABLA 13: Movimiento de suelos final.

Tabla 13 – Movimientos de Suelos Final					
Demanda de Suelos 1º Módulo (m3)		Volúmenes a Ejecutar			
		Etapa de Construcción		Etapa de Operación	
		1º Módulo (A)	2º Módulo (B)	1º Módulo	Excavación 2º Módulo
Terraplén Perimetral	160.870	160.870	160.870	--	--
Cobertura protección fondo	51.149	51.149	--	--	--
Cobertura Diaria	343.164	--	--	--	343.164
Cobertura Final	123.379	--	--	--	123.379
Laguna de retención pluvial	5.250	5.250	--	--	--
Laguna de lixiviado	6.750	6.750	--	--	--
Camino de acceso	31.500	31.500	--	--	--
Terraplén Zona edificios	62.000	62.000	--	--	--
Canales	6.000	6.000	--	--	--
Totales (m3)	790.062	323.519	160.870		466.543

TABLA 14: Volúmenes finales.

Tabla 14 – Volúmenes Finales	
Volumen de Terraplenes Etapa de Construcción (A)+(B)	484.389 m3
Volumen aproximado de excavación del 1º Módulo	478.389 m3

Esta estrategia constructiva a utilizar, evitará:

- El acopio de suelo en estado suelto, sujeto a los agentes atmosféricos y en las proximidades del Aeropuerto Internacional El Plumerillo.
- La construcción de obras de protección en la zona de acopio de suelo, para evitar la erosión por escorrentías superficiales en el suelo acopiado.

- Los mayores costos de operación, por el traslado intermedio al acopio transitorio.