

MEMORIA

Aplicaciones topográficas para el control de vertederos

**Ingeniería Técnica
en Topografía**

UPC-EPSEB

Director:
M. Amparo Núñez

Alumnos:
Noé Bermejo
Antonio Soto

Resumen

El objetivo de nuestro proyecto es mostrar las diferentes aplicaciones de la topografía en un ámbito poco conocido como es el caso de un vertedero controlado, donde entran numerosos conocimientos adquiridos durante la carrera.

Estos trabajos han sido realizados en el *Abocador de Bufalvent*, gestionado por la *Cooperativa per la Gestió de residus del Bages*.

Para llevarlo a cabo ha sido necesaria la implantación de una red de bases con coordenadas UTM, Sistema de Referencia ED50 y alturas referidas al nivel medio del mar en Alicante, cuyo proceso de obtención aparece en el contenido de esta memoria. Desde estas bases han sido realizadas una serie de observaciones mensuales de los puntos de asentamiento que existen repartidos por todo el vertedero, tanto por topografía clásica como por técnicas GPS, de esta forma se ha podido escoger cual de los dos métodos es el más adecuado para este tipo de observaciones.

Se ha realizado un levantamiento topográfico a escala 1/1000 de las instalaciones del vertedero mediante técnicas GPS y seis meses después una actualización de dicho levantamiento en la zona de trabajo para, de esta forma, poder realizar los cálculos de los movimientos de tierra llevados a cabo durante este periodo de tiempo y a su vez comparar las cotas actuales con las del proyecto de clausura del vertedero.

También se explica brevemente la forma en que se trabaja en las celdas, que son las zonas donde se depositan los residuos para su posterior sellado, comentando el proceso de elaboración de su diseño, ejecución y su posterior seguimiento, así como todos los trabajos topográficos vinculados a éstas.

Para la realización de este proyecto ha sido importante conocer los elementos característicos existentes dentro de los vertederos en relación a la topografía, ya sea porque existen ciertos controles topográficos referentes a éstos, como es el caso de los pozos de lixiviados o simplemente porque se ha considerado interesante hacer una mínima mención a estos, aunque no se hayan tratado de una forma directa como es el caso de los puntos de clausura. Es por este motivo que a lo largo de la memoria se encuentran una serie de definiciones referentes a estos términos.

Por último se han realizado una serie de planos muy comunes en este tipo de trabajos topográficos, como es el caso de los planos de isopacas, planos de nivel de lixiviados, acompañados de sus correspondientes perfiles longitudinales comparativos entre los niveles freáticos y de terreno, perfiles longitudinales, comparando las cotas de terreno actual con las de clausura.

En las conclusiones se analiza cual es el método más óptimo para la realización de las observaciones de los puntos de asentamiento: topografía clásica, GPS en modo RTK o GPS en modo cinemático, llegando a la conclusión que debe estudiarse cada caso en particular puesto que sus características son condicionantes.

Las precisiones obtenidas por los tres métodos han sido consideradas aceptables para este tipo de control, es más, uno de los métodos, GPS en modo RTK, es el utilizado actualmente en dicho vertedero para realizar este tipo de observaciones.

Es decir, el factor determinante a la hora de escoger que método utilizar será el tamaño del vertedero, ya que un trabajo topográfico que podría realizarse en una jornada utilizando GPS en modo RTK, podría necesitar del doble de tiempo para realizarlo en cualquiera de los otros dos métodos.

Índice:

1. Introducción.....	5
1.1. Objetivos.....	6
2. Vertederos controlados.....	7
2.1. El “abocador de Bufalvent”.....	8
2.2. Metodología actual de trabajo.....	9
3. Descripción de los trabajos realizados.....	11
3.1. Trabajos de campo.....	11
3.1.1. Descripción del itinerario.....	11
3.1.2. Control de los puntos de asentamiento.....	13
3.1.3. Levantamiento topográfico.....	14
3.2. Trabajos de gabinete.....	15
3.2.1. Datos de Campo.....	16
3.2.2. Paso a coordenadas UTM.....	17
3.2.2.1 Reducción del ángulo al pendiente del terreno.....	17
3.2.2.2 Reducción de distancias al horizonte.....	18
3.2.2.3 Reducción al nivel del mar.....	18
3.2.2.4 Paso de la cuerda al arco.....	19
3.2.2.5 Paso del elipsoide a la proyección UTM.....	20
3.2.3 Cálculo de coordenadas aproximadas.....	21
3.2.4 Nivelación trigonométrica.....	21
3.2.5 Tolerancias.....	23
3.2.5.1 Tolerancia planimétrica.....	23
3.2.5.2 Tolerancia altimétrica.....	24
3.2.6 Compensación del itinerario.....	24
3.2.6.1 Compensación planimétrica mínimos cuadrados.....	24
3.2.6.2 Compensación altimétrica.....	27
3.2.7 Realización de planos.....	27
3.2.8 Cálculo de volúmenes.....	30
3.2.9 Cálculo de asentamientos.....	30

4. Trabajos topográficos en vertederos.....	32
4.1 Pozos de lixiviados.....	33
4.1.1 Ejemplo de plano de lixiviados.....	36
4.2 Celdas.....	38
4.2.1 Proyecto y ejecución de la excavación del vaso del vertido.....	38
4.2.2 Proyecto y ejecución de la clausura de la celda.....	39
4.2.2.1 Cierre de las celdas.....	41
4.2.3 Ejemplo de planificación de una celda.....	42
4.3 Asentamiento.....	48
4.3.1 Movimiento de asentamiento.....	48
4.3.2 Puntos de asentamiento.....	49
4.3.3 Observaciones.....	50
5. Conclusiones.....	65
6. Bibliografía.....	67

1. Introducción

Desde el inicio de los tiempos el hombre ha acumulado desperdicios, este hecho se incrementó en el momento en que pasó de la vida nómada a la sedentaria.

Con la llegada de las primeras urbes la necesidad de tener un lugar donde dejar las basuras fue de vital importancia para evitar enfermedades, infecciones y plagas, aunque por supuesto, fue necesario el paso del tiempo para que nos diéramos cuenta.

En primera instancia los desechos eran arrojados al campo sin más miramientos, por suerte, el tiempo hizo al hombre entrar en razón y se fueron creando zonas comunes donde arrojar las basuras que se generaban en la vida cotidiana, de esta forma se crearon los primeros vertederos.

En la actualidad estos vertederos han evolucionado hasta el punto de ser gestionados por organismos públicos o privados, en los cuales se intentan reutilizar todos los elementos reciclables posibles para convertirlos en materias primas y poder ser usados de nuevo por las industrias. En caso de no ser posible, los desechos son depositados en celdas, donde son sepultados y sellados.

Este proceso es realizado en los vertederos controlados, pero hoy en día aún existen vertederos donde esto no sucede, donde los desechos son depositados y abandonados y no existe ningún seguimiento de su biodegradación. Son conocidos como vertederos incontrolados.

Con la entrada en vigor de la directiva 2006/12/CE de la Unión Europea se pretende eliminar todos los vertederos incontrolados de la Comunidad Europea o bien transformarlos en vertederos controlados.

Actualmente aún existen en España unos 87 vertederos incontrolados que reciben aproximadamente 660 000 toneladas de residuos anualmente.

Aprovechando este hecho hemos decidido hacer un proyecto de final de carrera en el que se explican aplicaciones topográficas utilizadas para el control de los vertederos controlados, mediante una serie de ejemplos prácticos y teóricos.

Estas aplicaciones van desde la creación de cartografía susceptible de ser utilizada por el departamento técnico de los vertederos hasta el control de los movimientos de asentamiento producidos al clausurarse los vertederos.

Al no existir una norma preestablecida sobre como deben hacerse los controles de asentamiento hemos utilizado diversas técnicas, para así poder aplicar la más recomendable en función de diversos parámetros.

Además, según la legislación vigente es obligatorio un control anual de la topografía de éstos, tanto de su estructura como de su comportamiento de asentamiento. También se hace uso de la topografía para controlar el aumento del tamaño de las celdas (áreas donde se sepultan los residuos), los movimientos habituales de tierras, así como el volumen de desechos entrante y el restante hasta alcanzar las cotas de clausura. Es decir, es un lugar donde se necesitan trabajos topográficos asiduamente.

Para poder realizar este estudio era necesaria su aplicación en un ejemplo real, debido a esto estamos muy agradecidos a la dirección del *Abocador de Bufalvent*, de la *Cooperativa per la Gestió de Residus del Bages*, por habernos permitido tener acceso a sus instalaciones durante los últimos meses.

1.1 Objetivos

El objetivo de este proyecto es mostrar las diferentes aplicaciones de la topografía en un ámbito poco conocido como es el de un vertedero.

Para su desarrollo ha sido necesario realizar diversos trabajos topográficos. El primero de ellos ha sido la implantación de una red de bases con coordenadas UTM (ED50) y alturas ortométricas compensadas por el método de mínimos cuadrados, desde dónde poder realizar toda esta serie de trabajos.

Realizar un levantamiento a escala 1/1000 de las instalaciones del *Abocador de Bufalvent*.

Realizar una actualización del levantamiento topográfico inicial varios meses más tarde para poder efectuar el cálculo del volumen de residuos entrantes.

Llevar a cabo cinco tomas de datos mensuales de los puntos de asentamiento que se encuentran situados en este vertedero por diversos métodos, para poder compararlos entre si y determinar cual es el más adecuado.

Por último mostrar algunos de los planos que se acostumbran a utilizar en éste ámbito, como es el caso de los planos de isopacas, de nivel de lixiviados, perfiles longitudinales, entre otros.

2. Vertederos Controlados

Un vertedero controlado es una instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie. Se incluyen en este concepto las instalaciones internas de eliminación de residuos, es decir, los vertederos en que un productor elimina sus residuos en el lugar donde se producen.

No se incluyen las instalaciones en las cuales se descargan los residuos para su preparación con vistas a su transporte posterior a otro lugar para su valorización, tratamiento o eliminación.

Los vertederos se dividen en función del tipo de residuos vertidos:

- Vertedero para residuos peligrosos: son residuos que puedan ser considerados como explosivos, inflamables, irritantes, nocivos, tóxicos, corrosivos, infecciosos, mutagénicos o peligrosos para el medio ambiente, entre otros. Están incluidos en el artículo 3 párrafo C de la ley 10/1998 de residuos.

- Vertedero para residuos inertes: son aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana.

- Vertedero para residuos no peligrosos: los no incluidos en las definiciones de las categorías anteriores.

Un vertedero puede estar clasificado en más de una de las categorías anteriores, siempre que disponga de celdas completamente independientes para cada tipo de residuo.

Los vertederos Controlados de Catalunya son regulados por la “*Agència de Residus de Catalunya*”, cuyo presidente es el Conseller de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. A su vez se encuentran regidos por la siguiente legislación:

- Directiva 1999/31/CE del consejo de la Unión Europea
- Real Decreto 1481/2001
- Decret 1/1997 de la Generalitat de Catalunya
- Ley 10/1998

Para facilitar su consulta se adjuntan los cuatro documentos en el anexo II que se encuentra en el CD adjunto a este dossier.

2.1 . El “abocador de Bufalvent”

El *abocador de Bufalvent* se encuentra a 10Km de la ciudad de Manresa, en la comarca del Bages.

Se accede desde la autopista C-16, salida 14 Manresa Sud / Pont de Vilomara, a través del polígono industrial de Bufalvent.



Figura 2.1: Acceso al “Abocador de Bufalvent”.

Consta de unas 30 hectáreas, aunque no todas ellas están destinadas al vertido de residuos. También contiene plantas para el tratamiento de biogás, plantas de tratamiento de lixiviados, zonas para la producción de energías renovables (placas fotovoltaicas), plantas de almacenamiento selectivo de residuos y por último un planta de compostaje donde se generan abonos a partir de material orgánico.

Se trata de un vertedero de clase 2, es decir, de residuos no peligrosos.

Durante finales de la década de los 80 y principios de los 90, una pequeña parte del actual vertedero era una zona de vertidos incontrolados. Desde hace unos años se encuentra bajo la supervisión de la *Cooperativa per la Gestió de residus del Bages*, pasando a ser un vertedero controlado.

El vertedero de Bufalvent recibe residuos de los 34 municipios de la comarca del Bages que no han sido reciclados o reutilizados.

Dicha zona de vertidos incontrolados se conoce como vertedero antiguo y lleva clausurado tres años. Es decir, ya no se realiza ninguna actividad de vertido y los residuos se encuentran sepultados.

Actualmente se trabaja en la fase seis del vertedero no clausurado. Cada fase se refiere a la creación de una nueva celda donde depositar los deshechos, pudiendo estar superpuestas una sobre otra. Para este vertedero están previstas 6 fases más, es decir un total de 12.

El tamaño de las celdas depende del tipo de vertedero y de las dimensiones de este, por ejemplo, en nuestro caso, la capacidad de la fase 7 es de 132000 metros cúbicos.

En el apartado 3 se encuentra una explicación más detallada del concepto de celda dentro del contexto vertedero.



Figura 2.2. Vista satélite del Abocador de Bufalvent.

2.2. Metodología actual de trabajo

El “abocador de Bufalvent” trabaja con un sistema de coordenadas propio. Se trata de un sistema de coordenadas planas, es decir con factor de anamorfosis 1, pero encuadrado dentro de la proyección UTM.

Dentro del vertedero existe una red de vértices de coordenadas conocidas, desde los cuales se realizaban los trabajos topográficos mediante topografía clásica, aunque actualmente la mayoría de estos trabajos son realizados mediante técnicas GPS en modo RTK.

Las tomas de datos de los puntos de asentamiento se realizan trimestralmente, y son entregadas a la agencia catalana de residuos. Estas observaciones se realizan mediante GPS utilizando el método RTK.

3. Descripción de los trabajos realizados

3.1. Trabajos de campo

Se pueden dividir los trabajos realizados en dos grandes bloques. Por un lado el control de los puntos de asentamiento por topografía clásica y GPS y por otro la realización del levantamiento a escala 1:1000 del vertedero.

Para el control de los puntos de asentamiento ha sido necesario materializar unas bases desde donde poder realizar las observaciones.

3.1.1. Descripción del itinerario

El proceso para obtener las bases de partida del itinerario consistió en colocar un receptor fijo Trimble 5700 en la base 28111016 del ICC y emplear un fichero de calibración con los parámetros correspondientes al geoide CAT70260 (en Leica se hubiera utilizado un sistema de coordenadas con dichos parámetros) en el sistema ED50 de la proyección UTM en el huso 31 del hemisferio norte y alturas referidas al nivel medio del mar en Alicante. Para comprobar que la operación se realizó correctamente se comprobó el vértice 28111023 del ICC mediante un receptor móvil Trimble 5800. A continuación se presentan las coordenadas de ambos vértices:

Estación	UTM X (ED50) 31N	UTM Y (ED50) 31N	H
28111016	404462,362 m	4618161,594 m	369,065 m
28111023	404522,883 m	4617322,713 m	281,784 m

Después se procedió a la observación de las bases fijas del itinerario, 9006,10001 y 10005. Las coordenadas obtenidas fueron las siguientes:

Estación	UTM X (ED50) 31N	UTMY (ED50) 31N	H
9006	404794,556 m	4617543,367 m	369,681 m
10001	404900,137 m	4617544,024 m	369,645 m
10005	405086,946 m	4617345,968 m	337,823 m

Para la toma de datos de los puntos de asentamiento por métodos clásicos hemos colocado una serie de bases que forman un itinerario alrededor de las zonas con puntos de asentamiento. La condición indispensable que debían tener estas bases era quedar fuera del alcance de dicho movimiento. Esto ha implicado en ocasiones tener algunos tramos de la poligonal con grandes distancias para poder sortear la sucesión de terrazas y taludes que cubren las antiguas zonas de vertido. Otro problema que ha supuesto encontrar zonas de terreno natural alejadas del movimiento de asentamiento ha sido el difícil acceso a éstas. Esto implicó una inversión considerable de tiempo, tanto para su selección como para su acceso.

Las bases están materializadas con clavos o estacas en el terreno, con sus respectivos nombres escritos en estos. En el anexo I se incluyen las reseñas de dichas bases.

Se pueden dividir los puntos de asentamiento en dos zonas claramente diferenciadas, por un lado la zona del vertedero antiguo, actualmente clausurado y situado al este y la zona del vertedero nuevo en el oeste, donde se trabaja actualmente.

En el plano número 4 se pueden apreciar dichas zonas, así como el terreno exento del movimiento de asentamiento.

Tal y como se ha comentado ha sido necesaria la implantación de un itinerario para la realización de la toma de datos mediante topografía clásica utilizando una estación total Leica TCR1105.

Se trata de un itinerario cerrado formado por 6 estaciones, 9006, 10003, 10004, 10008, 10009 y 10002, que han sido utilizadas para la realización de observaciones de los puntos de asentamiento en el vertedero actual.

En cambio, las observaciones de los puntos de asentamiento del vertedero clausurado han sido realizadas desde dos estaciones destacadas, 10007 y 10004.

En el plano 1 y en la siguiente figura se puede observar el itinerario y las estaciones destacadas:

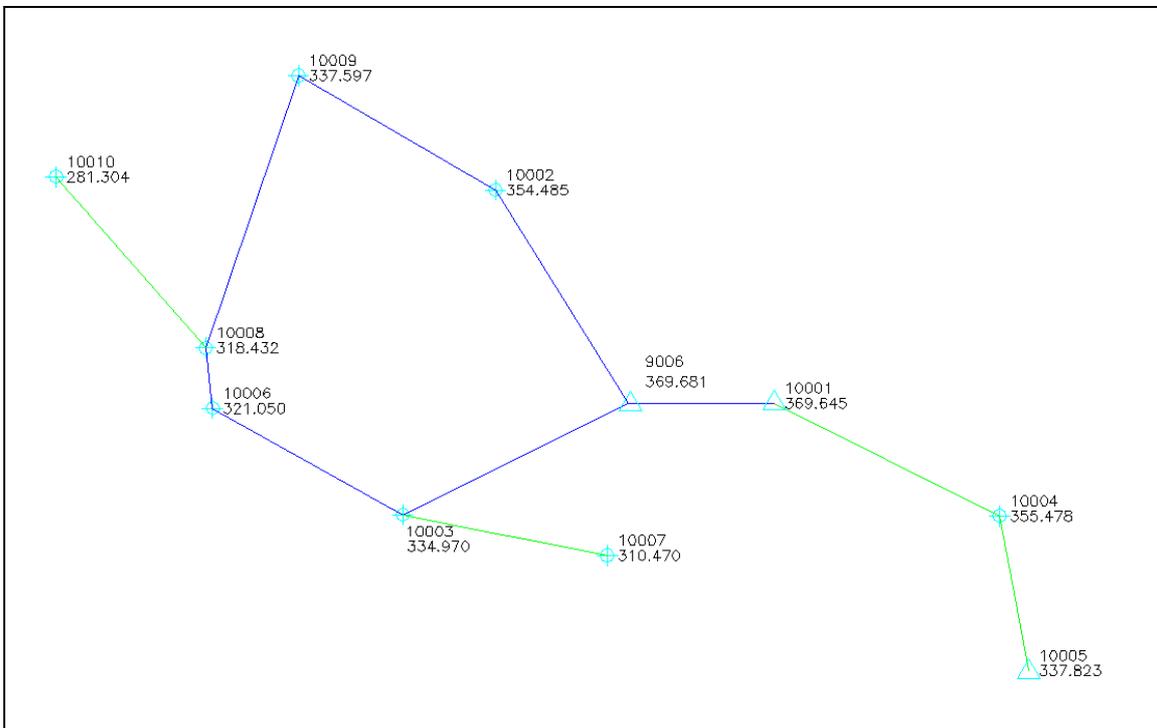


Figura 3.1: Croquis de bases

Las bases representadas mediante triángulos hacen referencias a bases obtenidas mediante técnicas GPS, los segmentos azules al itinerario cerrado y los verdes a las bases destacadas.

El proceso de obtención de las coordenadas de las bases aparece en el apartado 3.2 Trabajos de gabinete.

3.1.2. Control de los puntos de asentamiento

La *Agencia Catalana de Residus* obliga a los vertederos a realizar un control de los puntos de asentamiento trimestral para comprobar que el asentamiento de las tierras se produce de forma correcta.

En el caso que nosotros estudiamos, el *Abocador de Bufalvent*, hemos acelerado el proceso hasta realizarlo mensualmente. Esto implica que los movimientos que observaremos no serán demasiado importantes, pero suficientes para hacernos a la idea de este tipo de estudio.

Durante varios días al mes, desde marzo hasta octubre del 2007 se realizaron nuestras mediciones, por métodos de topografía clásica y técnicas GPS.

- Topografía clásica: El primer paso a seguir para la realización de observaciones era comprobar la fiabilidad de nuestras bases, es decir, que se encontraban fuera del movimiento de asentamiento. Debido a esto se realizaron comprobaciones de las bases anterior y posterior a cada estacionamiento previo a cada toma de datos, para después leer los puntos de asentamiento por el método de radiación con ayuda de tripolín para obtener mayor precisión.

- Técnicas GPS: El método escogido para la toma de puntos de asentamiento también ha sido el modo RTK. La elección de este sistema diferencial fue debida a la obtención de coordenadas de los puntos a posicionar en tiempo real, con lo cual se agiliza el proceso de obtención de datos.

Nuestra metodología de trabajo fue la siguiente: se utilizó como base fija la estación 9006, la cual tiene una buena situación para el enlace de radio, aplicándole un fichero de calibración con los parámetros del sistema de coordenadas y comprobando la base 10001.

Una vez finalizado este proceso dábamos paso a la lectura de los puntos de asentamiento utilizando un tripolín y durante un periodo de 30 segundos.

Para poder evaluar si el método de RTK había sido el más adecuado para la toma de puntos de asentamiento realizamos una toma de datos, la del mes de julio, mediante posicionamiento cinemático.

3.1.3. Levantamiento topográfico

Otro de los trabajos más comunes dentro de un vertedero es la realización de levantamientos topográficos. Esto es debido a los cambios constantes en el estado de las celdas.

Normalmente se trabaja a partir de un plano general de todo el vertedero que incluye instalaciones y que se va actualizando a medida que se van creando nuevas celdas y/o se van clausurando otras.

En ocasiones si el vertedero es de dimensiones considerables dicho plano topográfico se obtiene a partir de un vuelo fotogramétrico, mientras que las actualizaciones de las celdas se realizan a partir de topografía clásica o GPS.

En nuestro caso hemos realizado un levantamiento topográfico en coordenadas UTM de una parte del vertedero, que incluye las instalaciones administrativas y los depósitos de vertido de residuos y consta de aproximadamente 17 Ha y su posterior actualización 6 meses más tarde, para así poder estudiar cuales habían sido los cambios dentro de las zonas de trabajo.

Decidimos realizar el levantamiento topográfico mediante técnicas GPS en vez de topografía clásica ya que el tamaño de la zona a levantar era suficientemente extensa como para necesitar un gran número de estacionamientos. Con lo cual el tiempo que hubiéramos necesitado para llevarlo a cabo hubiera sido mucho mayor.

Además, la falta de vegetación densa o cualquier otro tipo de obstáculo que dificultase la recepción de señal de nuestro receptor facilitaba en gran medida el uso de este.

En la siguiente imagen aérea se puede apreciar el ámbito del levantamiento que hemos realizado:



Figura 3.2: Ámbito del levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico, a una escala de 1:1000 con una equidistancia de 1m, fue realizado con un GPS Trimble modelo 5700+5800 en modo RTK.

La metodología utilizada fue la misma que se utilizó para la toma de datos de los puntos de asentamiento.

La totalidad de los puntos tomados en campo para la realización del plano topográfico se encuentra en el plano número 3 del anexo de planos, bajo el nombre de “minuta.dwg”.

Por otro lado se adjunta también el fichero del levantamiento topográfico y se encuentra en el anteriormente mencionado anexo de planos como plano 2, con el nombre “levantamiento.dwg”.

Tal y como se explicó anteriormente, periódicamente es necesario renovar los planos topográficos de las zonas de trabajo de los vertederos ya que son zonas en constante movimiento de tierras.

Debido a esto, a mediados de noviembre del 2008 se realizó una actualización topográfica de la zona de trabajo, seis meses después del levantamiento topográfico inicial que abarcaba todo el vertedero, para así poder comparar ambos planos y calcular cual había sido el volumen de residuos que había entrado durante estos período.

Dicho plano se encuentra en el anejo de planos como plano número 5, “actualizacion.dwg”.

3.2. Trabajos de gabinete

A lo largo de este apartado se explica algunos de los trabajos de oficina necesarios para el control de vertederos.

En primer lugar ha sido necesario el cálculo de las coordenadas UTM (ED50) en el huso 31N de los vértices del itinerario, a partir de las observaciones realizadas en campo, este proceso se realiza mediante una serie de reducciones aplicadas a las distancias.

Una vez obtenidas las coordenadas aproximadas de las bases que forman la poligonal y comprobado que entran dentro de las tolerancias se ha procedido a su compensación por el método de los mínimos cuadrados. En los siguientes apartados se explica este proceso con más detalle.

3.2.1. Datos de campo

A continuación se pueden observar los datos de campo observados para la implantación de las bases.

Estación	Visada	Horizontal	H. Medio	Vertical	V. medio	D. g	D. r
9006 1,620 m	10001	64,8132 g	64,8137 g	100,2167 g	100,2174 g	105,636 m	105,635 m
	1,295 m	264,8142 g		299,7820 g			
	10002	329,6561 g	329,6568 g	105,2692 g	105,2715 g	187,685 m	187,042 m
	1,295 m	129,6574 g		294,7263 g			
	10003	236,1711 g	236,1714 g	111,8377 g	111,8416 g	189,480 m	186,212 m
1,295 m	36,1717 g	288,1546 g					
10001 1,626 m	9006	363,8650 g	363,8660 g	100,1776 g	100,1794 g	105,637 m	105,637 m
	1,295 m	163,8669 g		299,8189 g			
	10004	194,0190 g	194,0185 g	104,9664 g	104,9677 g	186,049 m	185,483 m
	1,295 m	394,0180 g		295,0311 g			
10004 1,410 m	10001	398,6109 g	398,6122 g	95,1850 g	95,1878 g	186,013 m	185,482 m
	1,295 m	198,6135 g		304,8094 g			
	10005	257,1537 g	257,1541 g	109,6310 g	109,6315 g	117,866 m	116,520 m
	1,295 m	57,1544 g		290,3680 g			
10005 1,423 m	10004	398,5912 g	398,5913 g	90,4960 g	90,4994 g	117,829 m	116,519 m
	1,295 m	198,5914 g		309,4973 g			
10003 1,533 m	9006	17,4695 g	17,4692 g	88,3450 g	88,3484 g	189,379 m	186,216 m
	1,295 m	217,4688 g		311,6483 g			
	10006	279,2114 g	279,2118 g	105,6007 g	105,6033 g	161,128 m	160,504 m
	1,295 m	79,2121 g		294,3942 g			
10006 1,458 m	10008	242,9900 g	242,9913 g	103,9183 g	103,9205 g	45,174 m	45,088 m
	1,295 m	42,9925 g		296,0774 g			
	10003	382,7854 g	382,7855 g	94,5569 g	94,5586 g	161,091 m	160,503 m
	1,295 m	182,7855 g		305,4397 g			
10008 1,640 m	10006	275,4519 g	275,4517 g	96,7916 g	96,7938 g	45,148 m	45,091 m
	1,295 m	75,4515 g		303,2041 g			
	10009	103,2831 g	303,2835 g	94,3835 g	94,3853 g	213,644 m	212,814 m
	1,295 m	303,2838 g		305,6130 g			
10009 1,411 m	10008	188,6606 g	188,6618 g	105,7509 g	105,7528 g	213,685 m	212,813 m
	1,295 m	388,6629 g		294,2454 g			
	10002	101,6087 g	101,6092 g	93,6526 g	93,6553 g	168,538 m	167,702 m
	1,295 m	301,6096 g		306,3421 g			
10002 1,320 m	10009	62,0671 g	62,0676 g	106,3973 g	106,3993 g	168,553 m	167,702 m
	1,295 m	262,0680 g		293,5987 g			
	9006	292,8315 g	292,8323 g	94,8456 g	94,8484 g	187,655 m	187,041 m
	1,295 m	92,8330 g		305,1489 g			

3.2.2. Paso a coordenadas UTM

Tal y como se explica en la descripción de los trabajos de campo, tras partir de dos bases de coordenadas conocidas de la proyección UTM en el huso 31N con el sistema de referencia ED50 y alturas referidas al nivel medio del mar en Alicante, obtuvimos las coordenadas de las bases de nuestro itinerario.

Para la obtención de dichas coordenadas realizamos las siguientes reducciones:

3.2.2.1. Reducción del ángulo a la pendiente del terreno

Consiste en igualar la altura del aparato con la altura del prisma, de esta forma la distancia será solo en función del ángulo vertical.

Para obtener el ángulo vertical corregido (V_c) se le tendrá que aplicar una corrección al observado:

$$c = \frac{(m-i) \cdot \text{sen} V}{s} \cdot 636620$$

Obteniendo así la distancia corregida:

$$D_g = \frac{s \cdot \text{sen} V}{\text{sen} V_c}$$

Estación	Visada	m	i	Vertical	D	Corrección	V_c	D_g
9006	10003	1,295 m	1,620 m	111,8416 g	189,480 m	-0,0017 g	111,8399 g	189,479 m
10003	9006	1,295 m	1,533 m	88,3484 g	189,379 m	-0,0012 g	88,3471 g	189,380 m
10003	10006	1,295 m	1,533 m	105,6033 g	161,128 m	-0,0015 g	105,6018 g	161,128 m
10006	10003	1,295 m	1,458 m	94,5586 g	161,091 m	-0,0010 g	94,5576 g	161,091 m
10006	10008	1,295 m	1,458 m	103,9205 g	45,174 m	-0,0036 g	103,9168 g	45,174 m
10008	10006	1,295 m	1,640 m	96,7938 g	45,148 m	-0,0076 g	96,7861 g	45,148 m
10008	10009	1,295 m	1,640 m	94,3853 g	213,644 m	-0,0016 g	94,3836 g	213,644 m
10009	10008	1,295 m	1,411 m	105,7528 g	213,685 m	-0,0005 g	105,7522 g	213,685 m
10009	10002	1,295 m	1,411 m	93,6553 g	168,538 m	-0,0007 g	93,6546 g	168,538 m
10002	10009	1,295 m	1,320 m	106,3993 g	168,553 m	-0,0001 g	106,3992 g	168,553 m
10002	9006	1,295 m	1,320 m	94,8484 g	187,655 m	-0,0001 g	94,8482 g	187,655 m
9006	10002	1,295 m	1,620 m	105,2715 g	187,685 m	-0,0017 g	105,2697 g	187,685 m
9006	10001	1,295 m	1,620 m	100,2174 g	105,636 m	-0,0031 g	100,2143 g	105,636 m
10001	9006	1,295 m	1,626 m	100,1794 g	105,637 m	-0,0031 g	100,1762 g	105,637 m
10001	10004	1,295 m	1,626 m	104,9677 g	186,049 m	-0,0018 g	104,9659 g	186,049 m
10004	10001	1,295 m	1,410 m	95,1878 g	186,013 m	-0,0006 g	95,1872 g	186,013 m
10004	10005	1,295 m	1,410 m	109,6315 g	117,866 m	-0,0010 g	109,6305 g	117,866 m
10005	10004	1,295 m	1,423 m	90,4994 g	117,829 m	-0,0011 g	90,4983 g	117,829 m

3.2.2.2. Reducción de distancias al horizonte

Existen dos tipos de reducción de distancias al horizonte, en nuestro caso, el de las distancias inferiores a 5000 m la corrección se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$C_h = -\frac{\Delta h^2}{2D} + \frac{\Delta h^4}{24D^3} \quad D_h = D + c_h$$

Estación	Visada	Δz	Corrección	D_i
9006	10003	-34,717 m	-3,172 m	186,308 m
10003	9006	34,706 m	-3,171 m	186,209 m
10003	10006	-13,925 m	-0,601 m	160,526 m
10006	10003	13,915 m	-0,601 m	160,491 m
10006	10008	-2,617 m	-0,076 m	45,098 m
10008	10006	2,618 m	-0,076 m	45,072 m
10008	10009	19,163 m	-0,859 m	212,786 m
10009	10008	-19,167 m	-0,859 m	212,826 m
10009	10002	16,885 m	-0,845 m	167,693 m
10002	10009	-16,889 m	-0,845 m	167,707 m
10002	9006	15,194 m	-0,615 m	187,040 m
9006	10002	-15,198 m	-0,615 m	187,070 m
9006	10001	-0,036 m	0,000 m	105,636 m
10001	9006	0,033 m	0,000 m	105,637 m
10001	10004	-14,172 m	-0,540 m	185,509 m
10004	10001	14,162 m	-0,539 m	185,474 m
10004	10005	-17,649 m	-1,319 m	116,547 m
10005	10004	17,647 m	-1,319 m	116,510 m

3.2.2.3. Reducción al nivel del mar

En este paso reduciremos la distancia anterior al elipsoide. Para ello será necesario conocer las altitudes sobre el elipsoide en los puntos extremos de la medición:

$$C_m = -D_i \cdot \frac{hm}{R_z} + D_i \cdot \frac{hm^2}{R_z^2}$$

$hm \rightarrow$ media de las cotas en los puntos extremos (altitud elipsoidal media entre puntos extremos)

$$R_z = \frac{N \rho}{\rho \text{sen}^2 \theta + N \cos^2 \theta}$$

El acimut ϑ ha sido calculado a partir de las coordenadas aproximadas de los puntos:

$$Delip = D_{horiz} \cdot \frac{R_z}{R_z + hm}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Estación	Visada	Acimut	$R_{z(m)}$	Corrección	D_e
9006	10003	270,9616 g	6385621,298	-0,010 m	186,298 m
10003	9006	70,9616 g	6385621,298	-0,010 m	186,199 m
10003	10006	271,0216 g	6385636,665	-0,009 m	160,518 m
10006	10003	71,0216 g	6385636,665	-0,009 m	160,482 m
10006	10008	392,9100 g	6369301,528	-0,002 m	45,096 m
10008	10006	192,9100 g	6369301,528	-0,002 m	45,070 m
10008	10009	20,7417 g	6371150,042	-0,011 m	212,774 m
10009	10008	-179,2583 g	6371150,042	-0,011 m	212,814 m
10009	10002	133,6891 g	6384367,426	-0,009 m	167,684 m
10002	10009	333,6891 g	6384367,426	-0,009 m	167,699 m
10002	9006	164,4538 g	6374810,021	-0,010 m	187,030 m
9006	10002	364,4538 g	6374810,021	-0,010 m	187,060 m
9006	10001	99,6039 g	6389623,058	-0,006 m	105,630 m
10001	9006	299,6039 g	6389623,058	-0,006 m	105,631 m
10001	10004	69,4513 g	6385227,558	-0,010 m	185,499 m
10004	10001	269,4513 g	6385227,558	-0,010 m	185,464 m
10004	10005	127,9932 g	6385885,583	-0,006 m	116,541 m
10005	10004	327,9932 g	6385885,583	-0,006 m	116,504 m

3.2.2.4. Paso de la cuerda al arco

Ha sido omitida esta reducción ya que al trabajar con distancias cortas las reducciones obtenidas eran inferiores a la milésima de milímetro.

3.2.2.5. Paso del elipsoide a la proyección UTM

Una vez obtenidas las distancias en el elipsoide de referencia hemos obtenido las distancias en la proyección UTM calculando la constante de anamorfosis correspondiente a cada uno de los tramos que componen el itinerario:

$$K = 0.9996 \cdot [1 + C \cdot D + (0.00003 \cdot D^2)]$$

$$A = Y - 3200000$$

$$B = X - 500000$$

$$C = \left[\frac{-0.000042 \cdot A}{1700000} \right] + 0.01234$$

$$D = [B \cdot 0.000001]^2$$

$$K = \frac{KA + 4Km + KB}{6}$$

Donde A y B se refieren a los puntos de estación y visado, respectivamente, y Km a la anamorfosis en el punto medio del lado considerado.

Obteniendo los siguientes resultados:

Estación	Visada	A	B	C	D	K	Km	KUTM
9006	10003	1417543,367	-95205,444	0,012304978	0,00906408	0,999711491	0,9997117	0,9997117
10003	9006	1417461,367	-95372,571	0,01230498	0,00909593	0,999711883		
10003	10006	1417461,367	-95372,571	0,01230498	0,00909593	0,999711883	0,9997120	0,9997120
10006	10003	1417540,218	-95512,318	0,012304978	0,0091226	0,999712211		
10006	10008	1417540,218	-95512,318	0,012304978	0,0091226	0,999712211	0,9997122	0,9997122
10008	10006	1417585,016	-95517,327	0,012304977	0,00912356	0,999712223		
10008	10009	1417585,016	-95517,327	0,012304977	0,00912356	0,999712223	0,9997121	0,9997121
10009	10008	1417786,575	-95449,231	0,012304972	0,00911056	0,999712063		
10009	10002	1417786,575	-95449,231	0,012304972	0,00911056	0,999712063	0,9997119	0,9997119
10002	10009	1417701,938	-95304,509	0,012304974	0,00908295	0,9997117		
10002	9006	1417701,938	-95304,509	0,012304974	0,00908295	0,999711723	0,9997116	0,9997116
9006	10002	1417543,349	-95205,444	0,012304978	0,00906408	0,999711491		
9006	10001	1417543,349	-95205,444	0,012304978	0,00906408	0,999711491	0,9997114	0,9997114
10001	9006	1417544,024	-95099,863	0,012304978	0,00904398	0,999711244		
10001	10004	1417544,024	-95099,863	0,012304978	0,00904398	0,999711244	0,9997111	0,9997111
10004	10001	1417629,660	-94935,314	0,012304976	0,00901271	0,999710859		
10004	10005	1417629,660	-94935,314	0,012304976	0,00901271	0,999710859	0,9997107	0,9997107
10005	10004	1417580,051	-94829,860	0,012304977	0,0089927	0,999710613		

3.2.3. Cálculo de coordenadas aproximadas

Una vez obtenidas las constantes de anamorfosis se ha procedido a calcular las coordenadas aproximadas del itinerario, obteniendo los siguientes resultados:

Estación	X	Y
9006	404794,556 m	4617543,367 m
10003	404627,429 m	4617461,367 m
10006	404487,682 m	4617540,218 m
10008	404482,673 m	4617585,016 m
10009	404550,769 m	4617786,575 m
10002	404695,491 m	4617701,938 m

Error de cierre en coordenadas:

	X	Y
errores	0,000 m	-0,018 m

Error de cierre angular 0,0069g.

En el apartado 3.2.5. se efectúa el cálculo de las tolerancias así como la posterior comparación con los resultados obtenidos.

3.2.4. Nivelación trigonométrica

La nivelación trigonométrica se lleva a cabo mediante un taquímetro o estación total tomando distancias y ángulos verticales.

Existen diversos métodos para realizarla, en nuestro caso hemos utilizado el método de las estaciones recíprocas, que es una doble aplicación del método del punto extremo, en el cual se estaciona en ambos extremos del tramo en que queremos calcular el desnivel.

El incremento de cota vendrá dado por la expresión:

$$z_a^b = t + i_a - m_b$$

Donde i es la altura del aparato, m la altura del prisma y t la siguiente expresión:

$$t = D \cdot \cotg V$$

Los datos de campo fueron los siguientes:

Estación	Visada	Vertical	V. medio	D. g	t	Δz
9006 1,620 m	10001	100,2167 gon	100,2174 gon	105,636 m	-0,361 m	-0,036 m
	1,295 m	299,7820 gon				
	10002	105,2692 gon	105,2715 gon	187,685 m	-15,523 m	-15,198 m
	1,295 m	294,7263 gon				
10003 1,533 m	9006	88,3450 gon	88,3484 gon	189,379 m	34,468 m	34,706 m
	1,295 m	311,6483 gon				
	10006	105,6007 gon	105,6033 gon	161,128 m	-14,163 m	-13,925 m
	1,295 m	294,3942 gon				
10006 1,458 m	10008	103,9183 gon	103,9205 gon	45,174 m	-2,780 m	-2,617 m
	1,295 m	296,0774 gon				
	10003	94,5569 gon	94,5586 gon	161,091 m	13,752 m	13,915 m
	1,295 m	305,4397 gon				
10008 1,640 m	10006	96,7916 gon	96,7938 gon	45,148 m	2,273 m	2,618 m
	1,295 m	303,2041 gon				
	10009	94,3835 gon	94,3853 gon	213,644 m	18,818 m	19,163 m
	1,295 m	305,6130 gon				
10009 1,411 m	10008	105,7509 gon	105,7528 gon	213,685 m	-19,283 m	-19,167 m
	1,295 m	294,2454 gon				
	10002	93,6526 gon	93,6553 gon	168,538 m	16,769 m	16,885 m
	1,295 m	306,3421 gon				
10002 1,320 m	10009	106,3973 gon	106,3993 gon	168,553 m	-16,914 m	-16,889 m
	1,295 m	293,5987 gon				
	9006	94,8456 gon	94,8484 gon	187,655 m	15,169 m	15,194 m
	1,295 m	305,1489 gon				

Una vez obtenidos los desniveles calcularemos las elevaciones de las bases que forman el itinerario.

Estación	Δz	Z
9006	-	369,681 m
10003	-34,711 m	334,970 m
10006	-13,920 m	321,049 m
10008	-2,618 m	318,432 m
10009	19,165 m	337,597 m
10002	16,887 m	354,484 m
9006'	15,196 m	369,681 m
	errores:	-0,0005 m

3.2.5. Tolerancias

Entendemos por tolerancia el error máximo que podrá tener nuestro itinerario como cierre.

Este se verá afectado por las características técnicas de los instrumentos utilizados. En nuestro caso una estación total Leica modelo TCR1105:

Características técnicas	
Sensibilidad	300 cc
Aumentos	24 X
Apreciación	3 cc
±(x + y ppm)	0,002 m
nivel esférico estación	8 ,
nivel esférico prisma	60 ,

3.2.5.1. Tolerancia planimétrica

La tolerancia planimétrica se obtiene a partir de la suma medio cuadrática de los errores angulares y longitudinales de cada uno de sus tramos, que vienen definidos por las siguientes fórmulas:

$$E_a \leq \frac{L}{n} e_a \sqrt{2} \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}$$

$$E_L \leq \sqrt{(\varepsilon D)^2 + x^2 + e_{(ip)}^2 + e_e^2}$$

$$T \leq \sqrt{E_l^2 + E_a^2}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Tolerancia error angular =	0,365 m
Tolerancia error longitudinal =	0,056 m
Tolerancia itinerario =	0,369 m

Como se podía observar en el apartado 3.2.3.1 el error de cierre en coordenadas ha sido de 0,018m y angular o acimutal de 0,0069gon, ambos valores inferiores a los calculados en las tolerancias.

3.2.5.2. Tolerancia altimétrica

En este caso la tolerancia viene definida en función de los errores del instrumento utilizado:

$$E_z = \sqrt{e_{iD}^2 + e_{iV}^2 + e_m^2 + e_i^2}$$

$$T = E_z^2 \sqrt{2}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Tolerancia entre recíprocos= 0,094 m

Tolerancia en el itinerario= 0,133 m

Que son mayores a los 0,00 m que obtuvimos al cerrar nuestra poligonal.

3.2.6. Compensación del itinerario

Una vez comprobado que los errores cometidos en el itinerario entran dentro de la tolerancia pasaremos a efectuar la compensación del mismo.

El método escogido para la compensación del itinerario ha sido el de ajuste por mínimos cuadrados, considerado el más preciso ya que reparte mejor los errores y se conoce el error asociado en cada observación.

De todas formas, con la intención de poder comparar los resultados obtenidos, también hemos compensado por métodos clásicos el itinerario, tanto en altimetría como planimetría. Dicha compensación se encuentra en el estadillo de cálculo del CD adjunto al anexo I.

3.2.6.1. Compensación planimétrica mínimos cuadrados

Comprobado que nuestro itinerario entra en tolerancia, procedemos a su compensación por el método de mínimos cuadrados.

Inicialmente se ha realizado el cálculo de la poligonal que nos permite obtener los acimutes y distancias observadas, así como también, unas coordenadas aproximadas de los vértices a compensar.

La compensación se ha realizado por el método de observaciones indirectas, el cual nos permite calcular las correcciones a aplicar en las coordenadas de los vértices y, por consiguiente, obtener las precisiones en las coordenadas directamente.

Para acimutes:

$$-\frac{(Y_A - Y_{P'})}{D_{P'A}^2} \cdot \Delta x_P + \frac{(X_A - X_{P'})}{D_{P'A}^2} \cdot \Delta y_P + (\theta_{P'A} - \theta_{PA}) - \Sigma_P = v_{PA}$$

Para distancias:

$$\frac{(Y_{P'} - Y_A)}{D_{AP'}^2} \cdot \Delta x_P - \frac{(X_{P'} - X_A)}{D_{AP'}^2} \cdot \Delta y_P + (\theta_{AP'} - \theta_{AP}) - \Sigma_A = v_{AP}$$

Partiendo del cálculo de las coordenadas aproximadas de las bases del itinerario se procede a obtener las distancias y acimutes calculados de los diferentes tramos. A partir de estos valores y las distancias y acimutes observados se pueden calcular los términos de la matriz de diseño (A) y los vectores de los términos independientes (U) aplicando las ecuaciones de observación.

El siguiente paso es obtener la matriz de pesos (P), la cual se obtiene mediante los errores accidentales angulares y los errores en la distancia por cada tramo.

$$P_a = \frac{1}{E_a^2} \qquad P_d = \frac{1}{E_d^2}$$

Obtenidas las matrices A, U y P se puede calcular las correcciones (x) a las coordenadas de las bases, consiguiendo de esta manera compensar las coordenadas.

$$N = A^T \cdot P \cdot A \qquad Q = N^{-1} \qquad x = N^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot U$$

Seguidamente hemos calculado la matriz de residuos (V) para así poder obtener el estimador de la desviación típica, que viene representado por la siguiente expresión:

$$v = A \cdot x - U \qquad \sigma = \sqrt{\frac{v^T \cdot P \cdot v}{n - h}}$$

Siendo h el número de incógnitas y n el número de ecuaciones de observación, en el caso que se está estudiando, 15 incógnitas y 18 ecuaciones. Obteniendo el siguiente resultado:

σ^2	σ
0,1192983	0,3453958

A continuación se ha realizado la matriz variancia-covariancia que vendrá determinada por la matriz cofactor y del estimador medio cuadrático. Los elementos que forman la matriz variancia-covariancia nos permiten obtener el error asociado en cada coordenada corregida, los ejes de la elipse de error y la orientación de ésta.

estación	x	error x	y	error y
9006	404794,556 m	-	4617543,367 m	-
10003	404627,427 m	0,010 m	4617461,367 m	0,011 m
10006	404487,677 m	0,012 m	4617540,215 m	0,018 m
10008	404482,663 m	0,014 m	4617585,012 m	0,017 m
10009	404550,746 m	0,014 m	4617786,576 m	0,014 m
10002	404695,466 m	0,011 m	4617701,939 m	0,010 m
10004	405065,682 m	0,010 m	4617460,488 m	0,008 m

En la siguiente tabla se pueden observar los semiejes de la elipse de error para cada una de las estaciones compensadas por el método de los mínimos cuadrados, donde a es el semieje mayor de la elipse y b el semieje menor, así como el ángulo que forma el semieje mayor con el eje de abscisas.

Punto	a	b	ω
10003	0,008 m	0,005 m	359,9764 g
10006	0,011 m	0,008 m	395,3700 g
10008	0,011 m	0,009 m	388,6906 g
10009	0,010 m	0,007 m	351,8560 g
10002	0,008 m	0,005 m	358,8883 g

Para hallar estos valores, como se acaba de comentar, se han utilizado elementos de la matriz de variancia-covariancia y se han aplicado las siguientes expresiones:

$$a^2 = \frac{1}{2} \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2} \right]$$

$$b^2 = \frac{1}{2} \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2} \right]$$

$$\text{tag } 2\omega = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_y^2 - \sigma_x^2}$$

Cada una de las matrices mencionadas durante este apartado se encuentra en la carpeta correspondiente a los cálculos que se encuentra en el CD adjunto a esta documentación.

Analizando los resultados obtenidos se observa que los errores asociados a cada una de las coordenadas no superan los 0,019 m y son inferiores a los valores de la tolerancia del itinerario, cuyo valor fue de 0,04 m tal y como se refleja en el apartado 3.2.5.2 con lo cual dichos valores se pueden considerar como aceptables.

3.2.6.2. Compensación altimétrica

Debido a tener un error de cierre de medio milímetro en el itinerario hemos decidido no realizar ningún tipo de compensación.

3.2.7. Realización de planos

Tal y como ha sido comentado en el apartado referente a los trabajos de campo, se han realizado una serie de planos del vertedero.

Dichos planos han sido dibujados en entorno CAD mediante AutoCad 2005 con la ayuda de MDT v4.0, herramienta aplicada a la topografía para dicho programa.

A continuación se presenta un listado con los planos que se incluyen en el anexo a este documento, así como una pequeña descripción de estos:

- Plano de bases: Plano en el que aparecen el conjunto de bases utilizadas en los trabajos de observación de los puntos de asentamiento, incluye las bases del itinerario y las bases destacadas, se encuentra a escala 1/4000 y en formato DIN-A4.
- Levantamiento topográfico: Plano a escala 1:1000 del vertedero
- Minuta: Representación gráfica del conjunto de puntos utilizados para la realización del levantamiento topográfico, se encuentra a escala 1/1000 y en formato DIN-A1
- Actualización cartográfica de la zona de trabajo: Actualización del levantamiento topográfico inicial, cuya función es el cálculo de los movimientos de tierra realizados durante un periodo de tiempo de seis meses, se encuentra a escala 1/1000 y en formato DIN-A3.
- Plano de zonas del vertedero: Plano de cartografía temática donde se pueden apreciar las distintas zonas en las que se encuentra dividido el vertedero; el vertedero actual, el vertedero clausurado y las áreas que quedan fuera del movimiento de asentamiento, dicha diferenciación ha sido realizada mediante colores, se encuentra a escala 1/2000 y en formato DIN-A2.
- Plano de isopacas: Un plano de isopacas consiste en la representación gráfica de una superficie resultante de la comparación altimétrica de otras dos superficies.

En este caso ha sido comparado el levantamiento realizado en mayo del 2008 con el proyecto de clausura del vertedero actual, obteniendo un plano de diferencia de cotas que sirve para conocer las alturas restantes hasta las cotas de clausura. En el apartado “3-Celdas” se habla un poco más sobre este tipo de planos.

Para la realización de este plano ha sido necesaria la realización de un encaje gráfico del levantamiento topográfico realizado en mayo del 2008 y el proyecto de clausura del vertedero, ya que ambos se encontraban en sistemas de coordenada distintos, dicho encaje ha sido realizado mediante bases de replanteo comunes entre ambos sistemas de coordenadas.

No es posible realizar este tipo de planos mediante el MDT, debido a esto en este caso ha sido utilizado Bentley Inroads v8 para Microstation.

Este plano se encuentra a escala 1/1000 en formato DIN-A2

- Plano de nivel de lixiviados: Plano realizado con valores teóricos para mostrar este tipo de cartografía, así como perfiles comparativos entre dicha superficie y la superficie actual del vertedero, en el apartado 2.3.1 se explica de forma más detallada el proceso de obtención de este. Se encuentra a escala 1/2000 y en formato DIN-A3.

- Plano de perfiles transversales: Plano con el conjunto de perfiles transversales utilizados para la realización del cálculo de volumen de tierras movido durante un periodo de seis meses, han sido obtenidos mediante el programa MDT y editados manualmente, se encuentra a escala 1/1000 en escala horizontal y 1/500 en vertical y en formato DIN-A0.

- Planta perfiles transversales: Plano con la situación en planta de los perfiles transversales utilizados para el cálculo de volúmenes, se encuentra a escala 1/2000 y formato DIN-A4.

- Perfiles longitudinales: Han sido realizados dos perfiles longitudinales cuya función es comparar los levantamientos topográficos realizados en mayo y noviembre del 2008 y las cotas del proyecto de clausura, así como su situación en planta. De esta forma se puede apreciar la diferencia de cotas existente hasta alcanzar las cotas de clausura del vertedero.

Estos perfiles han sido obtenidos mediante la ayuda de Bentley Inroads de Microstation.

Ha sido realizado a escala 1/2000 para el eje de abscisas y 1/1000 para el de ordenadas, mientras que el plano de planta se encuentra a escala 1/1500, la impresión se ha llevado a cabo en formato DIN-A2.

Por último también se ha incluido como documentación previa el plano facilitado por la dirección del *Abocador de Bufalvent* de la clausura del vertedero.

Todos los planos mencionados anteriormente se encuentran divididos en capas, que contienen los elementos incluidos en el levantamiento. A continuación se pueden observar dichas capas así como sus características para Autocad:

NIVEL	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	COLOR	GROSOR
			ACAD	ACAD
1	01-marco	Marco	7(negro)	0.09
2	02-carátula	Carátula	7(negro)	0.09
3	03-logo	Logotipo	7(negro)	0.09
4	04-cuadro-bases	Cuadro de las bases	7(negro)	0.09
5	05-bases-datos	Datos de las bases	7(negro)	0.09
6	06-num	Número de punto	7(negro)	0.09
7	07-punto	Punto	2(amarillo)	0.09
8	08-cota	Texto de cota	250	0.09
9	09-código	Códigos	3(verde)	0.15
10	10-bases-símbolo-num	Símbolo y número de las bases	25	0.15
11	11-norte	Norte, marco y coordenadas	7(negro)	0.09
12	12-cabeza	Cabeza de talud	39	0.20
13	13-pie	Pie de talud	7(negro)	0.09
14	14-caminos	Caminos	190	0.09
15	15-edificio	Edificaciones	15	0.18
16	16-cabañas	Cobertizos, cabañas, anejos	1(rojo)	0.09
17	17-muros	Muros, vallas, escaleras	1(rojo)	0.09
18	18-pozos-balsas	Pozos, balsas, depósitos	5(azul)	0.09
19	19-mobiliario	Mobiliario urbano	7(negro)	0.09
20	20-bordillo	Bordillos, límites de asfalto	7(negro)	0.09
21	21-hitos	Hitos, estacas, Hierros,...	7(negro)	0.09
22	22-asen	Puntos de asentamiento y cota	7(negro)	0.09
23	23-textos-topo	Textos generales	7(negro)	0.09
24	24-lix	Pozos de lixiviados	5(azul)	0.09
25	25-elec	Líneas eléctricas, torres,	1(rojo)	0.15
26	26-alum	Alumbrado	4(cian)	0.18
27	27-agua	Agua potable, riegos	5(azul)	0.09
28	28-saneamiento	Saneamiento	5(azul)	0.09
29	29-árboles	Árboles	100	0.13
30	30-cv	Curvas de nivel	44	0.13
31	31-cvd	Curvas de nivel maestras	34	0.18
32	32-servicios	Tapas de servicios sin identificar	7(negro)	0.09
33	33-sombreado	Sombreado edificios	8	0.09
34	34-leyenda	Leyenda	7(negro)	0.09
35	35-tri	Triangulación	3(verde)	0.15
36	36-puntos	Puntos MDT	2(amarillo)	0.09
37	37-rotura	Líneas de rotura	210(lila)	0.09

3.2.8. Cálculo de volúmenes

Uno de los trabajos más habituales en los vertederos son los cálculos de volúmenes, como ejemplo de ello se han realizado una serie de cubicajes de tierras que se encuentran ubicados dentro del apartado 5- Celdas.

Tal y como se explica en dicho apartado, el cálculo de volúmenes se ha realizado mediante el método de comparación de perfiles transversales.

Dichos perfiles han sido generados mediante el MDT v4.0 aunque han sido editados manualmente utilizando AutoCad para mejorar su aspecto visual.

Se ha creado 3 planos con perfiles transversales:

- Perfiles transversales para el cálculo de volumen en la celda actual
- Perfiles transversales ejemplo excavación de una celda
- Perfiles transversales ejemplo clausura de una celda

Los tres archivos se encuentran dentro del CD adjunto a este dossier, en la carpeta planos/perfiles, pero solo se ha creído necesaria la impresión del primero de ellos, al encontrar de menor valor la impresión de ejemplos teóricos. Dicho plano se encuentra en el anexo de planos, así como su situación en planta.

3.2.9. Cálculo de asentamientos

El cálculo del movimiento de asentamiento ha sido realizado mediante dos métodos, en función de cómo han sido obtenidos los datos de campo:

- Topografía clásica, radiación: el volcado de los puntos observados en campo ha sido realizado mediante MDT v.4, una vez exportadas sus coordenadas los incrementos mensuales han sido obtenidos con la utilización de una tabla Excel.
- GPS, modo RTK: En este caso el volcado ha sido realizado mediante Trimble Geo Office, una vez exportados, los incrementos mensuales han sido obtenidos mediante una tabla de Excel.
- GPS, en modo cinemático: El volcado ha sido realizado mediante Leica GeoOffice y se le han aplicado los parámetros de la transformación y el geode utilizado:
 - Geode: CAT70260 (UB91 modificado)
 - Elipsoide Original: WGS84
 - Elipsoide final: Internacional (Hayford)
 - Altura: Ortométrica
 - Parámetros de la transformación:
 - $dx = 136,6538 \text{ m}$ $Rx = -2,03309^\circ$
 - $dy = 141,4625 \text{ m}$ $Ry = -3,0014^\circ$
 - $dz = 167,298 \text{ m}$ $Rz = -3,1377^\circ$
 - $FE = 11,546 \text{ ppm}$

4. Trabajos topográficos en vertederos

Existen gran variedad de trabajos topográficos a realizar en vertederos, éstos variarán en función del tipo de vertedero donde se esté trabajando.

En el caso del *Abocador de Bufalvent* los trabajos más comunes son los siguientes:

- Trabajos de obra civil, como puede ser el caso de replanteo de nuevos caminos ya sean de tierra o asfalto, construcción de nuevos módulos o plantas de reciclaje, etc.
- Control de los movimientos de tierras necesarios para la planificación de nuevas celdas de vertido de residuos, así como el posterior cubicaje del volumen de dichos residuos, se explica con más detalle en el apartado 3.
- Toma de datos de los puntos de asentamiento para el control del comportamiento de las celdas una vez han sido clausuradas, se explica con más detalle en el apartado 5.
- Por último la realización de actualizaciones cartográficas mediante levantamientos topográficos.

En otros vertederos, de características diferentes a éste, son comunes otro tipo de controles topográficos, a continuación se pueden observar algunos ejemplos:

- Los puntos de clausura: se trata de una serie de puntos virtuales, es decir, no materializados en campo, cuya cota hace referencia al nivel máximo de residuos en una celda. Su observación sirve para conocer el volumen de residuos restante hasta llenar la celda en que se encuentran.

Son observados puntualmente, para conocer el nivel de residuos restante en zonas determinadas del vertedero, cuando se cree que la cota de residuos puede estar muy cercana a la de clausura.

No se utilizan en el "*Abocador de Bufalvent*" debido a que la celda donde se trabaja actualmente se encuentra en cotas muy bajas respecto las de proyecto de clausura.

- Inclinómetros: Se utilizan para medir movimientos laterales y su dirección en estribos, fundaciones, terraplenes y la consolidación inducida por el asentamiento de terraplenes y fundaciones, de esta forma puede medir simultáneamente asentamientos y movimientos laterales de las tierras utilizadas para la clausura de las celdas. Son controlados tomando periódicamente observaciones de su posición planimétrica y altimétrica tal y como si se tratase de puntos de clausura o asentamiento.

- Piezómetros: Se utilizan de forma común para medir la presión del agua así como el nivel de la superficie freática. Son controlados tomando periódicamente observaciones de su posición planimétrica y altimétrica tal y como si se tratase de puntos de clausura o asentamiento.

En el *Abocador de Bufalvent* no se utiliza ninguno de los dos instrumentos mencionados anteriormente.

4.1. Pozos de lixiviados

Otro de los elementos que son observados periódicamente mediante topografía son los pozos de lixiviados.

Los lixiviados son líquidos producidos por los residuos vertidos al biodegradarse y entrar en contacto con el agua de la lluvia filtrada en el subsuelo. Se trata de una sustancia altamente contaminante.



Figura 4.1: Pozo de lixiviado

Para evitar que los lixiviados lleguen al nivel freático y entren en contacto con las aguas subterráneas las celdas son impermeabilizadas y a través de un sistema de canalización son enviados a las plantas de tratamiento de lixiviados, donde reciben un tratamiento fisicoquímico para eliminar toda clase de impurezas.



Figura 4.2: Planta de tratamiento de lixiviados

Los pozos de lixiviados son tuberías de polietileno que sirven para controlar la altura de los lixiviados y conducir el biogás emitido durante la biodegradación de los residuos hasta las estaciones de biogás donde dicho gas es convertido en energía o combustible.



Figura 4.3: Estación de biogás

Periódicamente se realiza un inventario de los pozos de lixiviados mediante trabajos topográficos, es decir, se realiza un levantamiento topográfico única y exclusivamente de pozos, en los que aparece el código correspondiente a cada pozo y su posición, tanto planimétrica como altimétrica, tomando puntos en el terreno y en el brucal (parte superior del pozo).

Al tratarse de un vertedero de tamaño relativamente pequeño no existe un gran número de pozos, pero en vertederos de tamaño mayor como es el caso del de Coll Cardús en el Vallès Occidental de aproximadamente 80 hectáreas (no todas ellas dedicadas al vertido de residuos) con 122 pozos son necesarios controles mensuales de su situación.

En otros vertederos menores realizan este tipo de inventario con carácter anual o incluso en un intervalo mayor de tiempo.

En el siguiente listado se puede observar el inventario de los pozos del *Abocador del Bages*:

Núm. Pozo	Núm. GPS	X	Y	Z terreno	Z brucal
1	197	404980,329	4617475,347	349,560	352,570
2	199	404964,584	4617460,096	348,869	350,620
3	202	404984,014	4617429,557	348,106	349,230
4	205	405010,863	4617431,968	348,907	350,240
5	206	405005,837	4617461,184	349,651	351,260
6	209	405038,929	4617426,409	348,67	349,690
7	212	405004,413	4617402,423	348,188	50,620
8	214	405020,295	4617374,112	347,84	349,870
9	217	405036,055	4617397,251	348,69	351,470
10	219	405057,989	4617400,440	348,458	350,200
11	221	405051,048	4617374,893	348,114	349,650
12	752	404520,120	4617601,444	325,806	327,005

Tabla 4.1: Inventario de pozos.

Centrándonos en los vertederos de mayor tamaño, en los que se reciben grandes cantidades de vertido, en consecuencia el nivel de lixiviados llega a cotas considerables, se pueden generar planos de isohipsas y perfiles longitudinales a partir de la altura de los lixiviados medida desde los pozos.

Estas observaciones (alturas desde el brucal hasta los lixiviados) son realizadas por personal técnico del vertedero, utilizando un sensor del nivel del agua electrónico (*water level indicator*), que se introduce desde el brucal y mide la altura en el momento de llegar al nivel freático.

En la siguiente figura se puede observar un indicador electrónico de nivel del agua:



Figura 4.4: Indicador electrónico de nivel del agua

Al carecer de este tipo de observaciones en el “Abocador de Bufalvent” hemos generado un plano con valores teóricos para mostrar un ejemplo de cómo serían este tipo de planos.

4.1.1. Ejemplo de plano de lixiviados

Primero hemos extendido una red de pozos entorno a la zona del vertedero actual a los que se les ha aplicado un valor de cota de lixiviados para poder generar una nueva superficie:

Una vez creada dicha superficie le hemos realizado un curvado con equidistancia 1m, de esta forma será más sencillo tener una percepción visual de esta, como puede observarse en la figura 4.5:

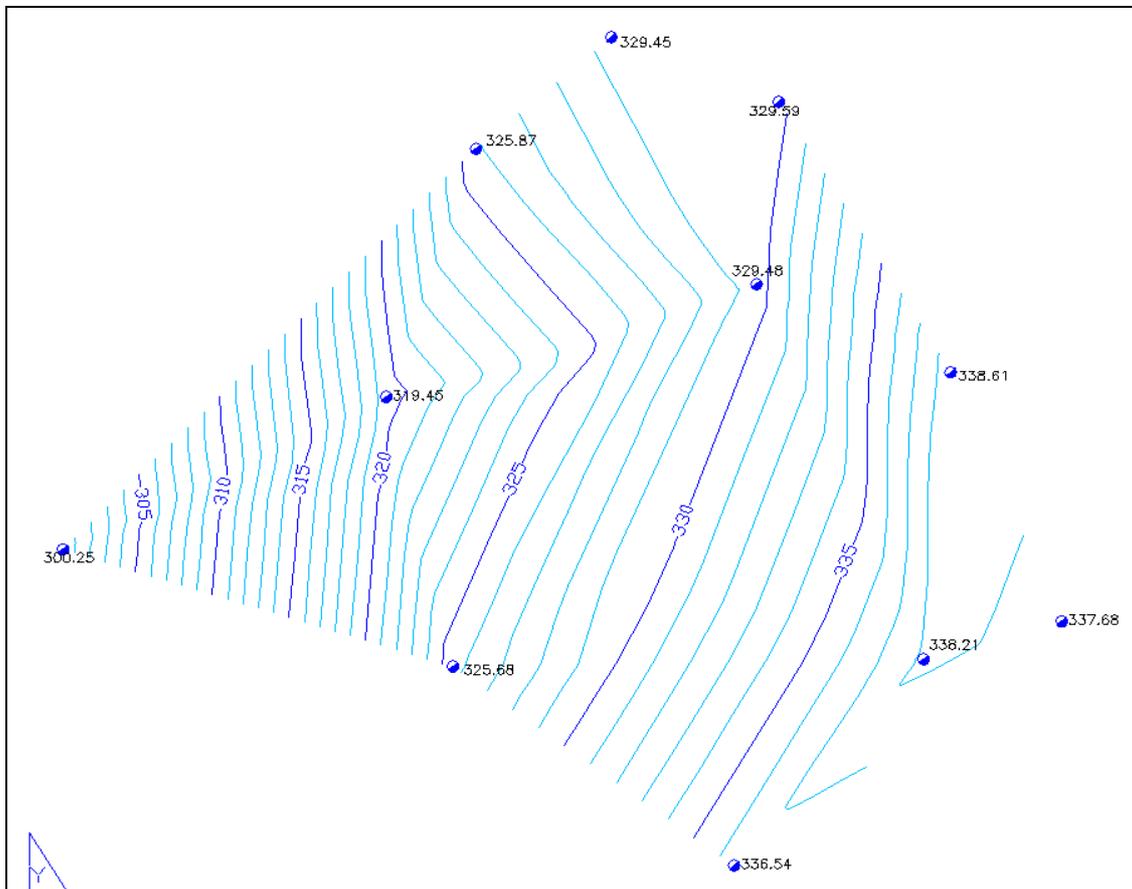


Figura 4.5: Superficie de nivel de lixiviados.

Una vez tenemos esta nueva superficie se dibujan diversos perfiles longitudinales comparativos entre el terreno actual y el nivel de los lixiviados.

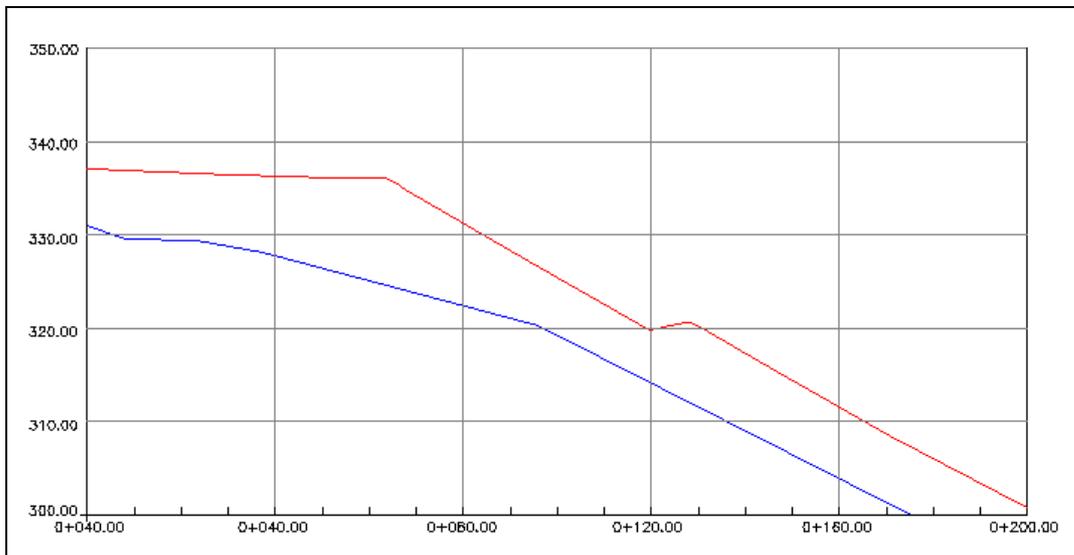


Figura 4.6: Perfiles de lixiviados

En la anterior imagen se puede observar en rojo el terreno actual y en azul la superficie de lixiviados. En el plano 7 se encuentra la superficie de nivel de lixiviados y los perfiles longitudinales.

Estos estudios se realizan debido a la importancia del flujo de lixiviados en la estabilidad de los vertederos, de esta forma se estudia la colocación de nuevos pozos para así evacuar el biogas, ya que un nivel de lixiviados alto puede producir un aumento de la presión interna de la celda.

4.2. Celdas

Tal y como se comenta en la introducción, una celda es el emplazamiento donde se vierten los residuos para su posterior sellado.

Una vez se ha escogido la zona donde situar una celda, damos por hecho que esta se encuentra situada dentro de los límites de un vertedero con todos los estudios medioambientales, geológicos y de aguas subterráneas convenientes aprobados, se realiza el proyecto.

Podemos dividir el proyecto de planificación de una celda en dos fases:

- Proyecto de excavación del vaso de vertido
- Proyecto de clausura de la celda

4.2.1. Proyecto y ejecución de la excavación del vaso de vertido

El primer trabajo a llevar a cabo consistirá en la realización de un levantamiento topográfico de la zona escogida para ubicar la celda.

Tras este estudio se podrá comenzar a realizar el diseño de la celda. Para llevarlo a cabo se deberá tener en cuenta las dimensiones que deseamos que tenga, en consecuencia su capacidad final, y las pendientes de las paredes del vaso de vertido.

Las pendientes deberán tener en cuenta el tipo de terreno donde estará ubicada para evitar riesgo de corrimientos de tierra, es por esto que no deberán ser demasiado pronunciadas.

A su vez también es importante habilitar un camino para que los camiones puedan acceder para depositar los residuos, dicho acceso deberá tener una pendiente y un ancho suficiente para que los vehículos no tengan problemas para acceder a ésta.

También se debe tener en cuenta que la base de la celda tendrá una leve pendiente para facilitar la recogida de los lixiviados que se formen con la biodegradación de los residuos.

Una vez se conocen las dimensiones de la celda se puede calcular el volumen de tierras que va a ser necesario excavar. Este movimiento de tierras se obtiene a partir de la comparación de la superficie inicial obtenida en la realización del levantamiento topográfico y la de la celda proyectada.

Una vez el proyecto de la celda ha sido aprobado por la dirección facultativa del vertedero ya podrán comenzar los trabajos topográficos.

Dependiendo del tamaño de la celda y de la cantidad de maquinaria pesada que este trabajando en ella (retroexcavadoras, excavadoras, bulldocers, etc.) variará el período con el que serán necesarios replanteos de taludes y colocación de camillas. Por ejemplo para una celda de unas 3ha. La frecuencia suele ser mensual.

También suelen ser necesarios los levantamientos topográficos mensuales para comprobar el estado de la excavación y el posterior cálculo de los volúmenes de tierras extraídos por la empresa de excavaciones, ya que sus honorarios vienen en función de los movimientos de tierras realizados.

Debido a esto es común que tanto la dirección del vertedero como la empresa de excavaciones tengan contratados servicios topográficos. Normalmente el volumen de tierras movido será la media aritmética entre los cálculos obtenidos por ambas partes.

Una vez la fase de excavación ha sido finalizada se realizan una serie de pruebas de compactación.

En el momento en que las pruebas de compactación sean aprobadas se podrá proceder a la impermeabilización de la celda, para evitar que los lixiviados se filtren en el subsuelo.

Este proceso se llevará a cabo mediante una capa de gravas de entre 30 y 50cm de espesor (dependiendo de la dirección de cada vertedero) y una lona sintética conocida como geotextil que también se utilizará en la fase de sellado.

El geotextil es un material de baja permeabilidad en forma de lámina prefabricada, que cumple con el propósito de reducir y prevenir el flujo de líquidos y vapores. Es muy utilizado en obras de ingeniería. Su función es separar las capas de tierras vegetales de las de tierras de asentamiento, para evitar la mezcla indeseada entre los líquidos producidos por los residuos, lixiviados, en su mayor caso contaminantes, y las capas más superficiales.

Una vez la impermeabilización de la celda ha finalizado ya se puede llevar a cabo el proceso de vertido de residuos en ésta.

4.2.2. Proyecto y ejecución de la clausura de la celda

Paralelamente al proyecto del vaso de vertido también se llevará a cabo el proyecto de la clausura de la celda.

Entendemos por clausura a las cotas máximas que alcanzará la celda, para su posterior sellado, así como la distribución de las diferentes capas que formarán este.

También se deberá tener en cuenta la pendiente que deseamos que este tenga, es decir, la clausura de las celdas no consiste en llegar a las cotas donde antes estaba el terreno natural, sino que los residuos se siguen acumulando en cotas superiores a este, normalmente con un pendiente inferior al del vaso de vertido. De nuevo se deberá proyectar accesos para camiones y maquinaria.

Tal y como se explica en el apartado 2, durante el proceso de relleno de la celda se deberán ir controlando mediante topografía los puntos de clausura, que nos servirán para conocer el volumen restante hasta llegar a las cotas máximas de la celda.

A su vez también se realizan actualizaciones cartográficas de las zonas de trabajo, de esta forma se pueden calcular los residuos entrantes desde la última actualización.

Como ejemplo se ha realizado una actualización del levantamiento topográfico inicial, se encuentra en el anexo adjunto (plano 5).

Las actualizaciones topográficas y los levantamientos también sirven para generar planos de isopacas, un tipo de cartografía temática cuya función es comparar la situación actual del vertedero con el proyecto de clausura, dicho plano se encuentra dividido en áreas de distintos colores, estos colores indican la altura restante hasta alcanzar las cotas de clausura. En el plano 6 se puede observar un ejemplo.

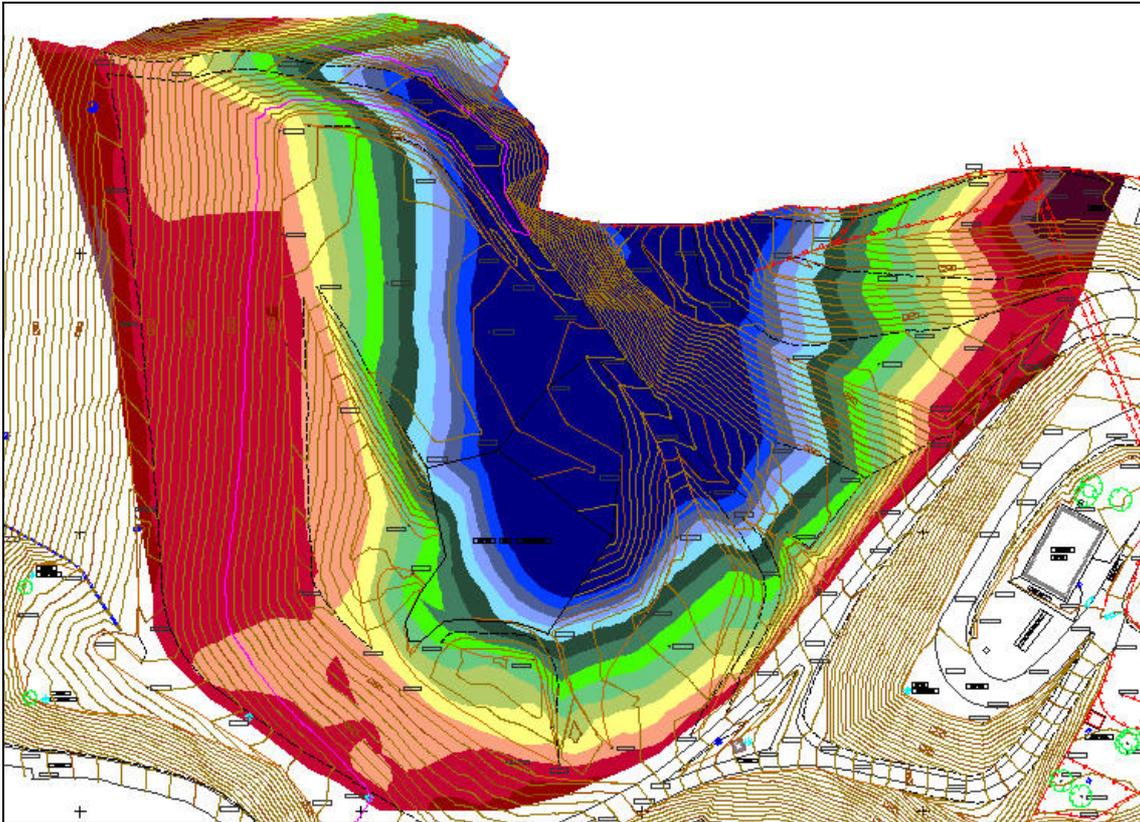


Figura 5.1: Plano de isopacas.

En lo referente a la ejecución sólo cabe comentar que los residuos son depositados en la celda por los camiones directamente en la zona de vertido, donde son compactados mediante maquinaria pesada especialmente habilitada para este tipo de trabajo. Este proceso de compactación es muy importante para su posterior sellado.

4.2.2.1. Cierre de las celdas

Una vez se han alcanzado las cotas de clausura se pasará al cierre de las celdas.

El proceso de cierre puede dividirse en tres etapas:

- Cierre: Operación que da por finalizada la explotación, consistente en la clausura de la celda, desmantelamiento de maquinaria, limpieza y colocación de la capa de cobertura final, generalmente un geotextil o lona que impermeabilice la celda.
- Sellado: Se entiende por proceso de sellado el conjunto de operaciones posteriores a la clausura de una celda, básicamente obras, para mantener los residuos aislados, minimizando de esta forma riesgos de contaminación y peligro sanitario.

El sellado de las celdas dependerá de la dirección de cada vertedero pero básicamente consiste en la colocación de una serie de capas sobre los residuos para aislarlos del exterior.

En el siguiente esquema podemos observar el sellado que se utiliza en el “Abocador de Bufalvent:

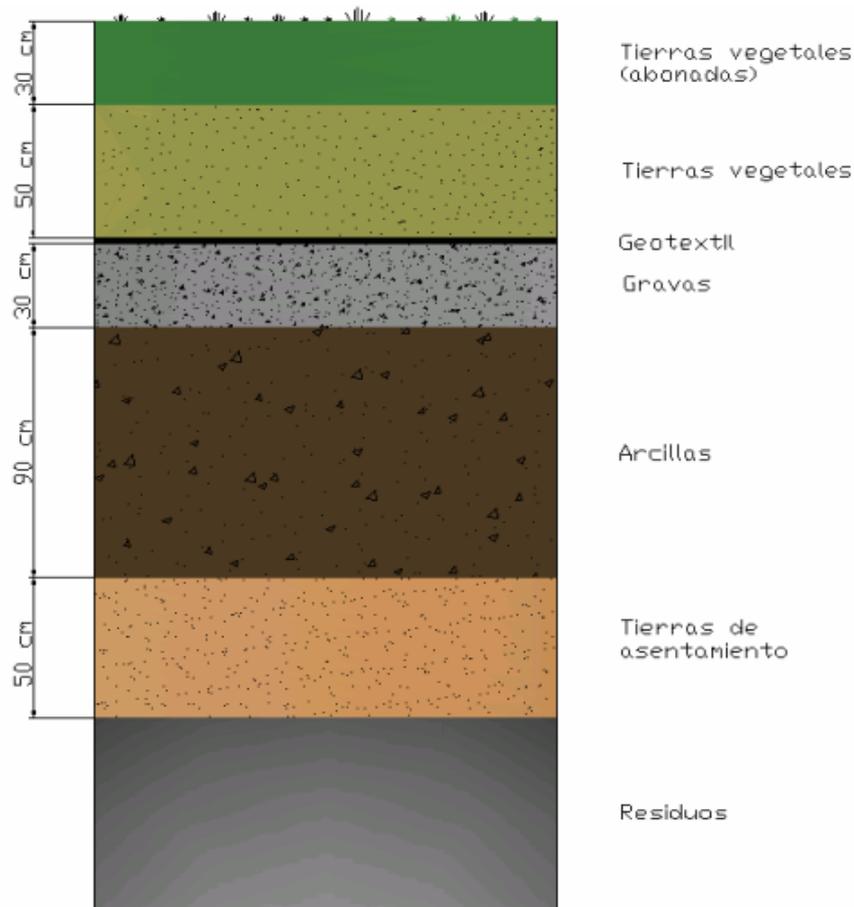


Figura 5.2: Esquema de sellado de una celda.

- **Reinserción:** La reinserción consiste en el proceso para reincorporar la celda sellada a su entorno, controlando las emisiones y los problemas que puedan causar impactos negativos al ambiente y la salud. Es común la reforestación de vertederos mediante árboles o arbustos, para minimizar el impacto visual.

4.2.3. Ejemplo de planificación de una celda

Para facilitar la comprensión de cómo se realiza el proyecto de una celda hemos realizado un ejemplo con valores teóricos.

Partiremos de una superficie de 13400m² cuadrados, que se encuentra en el fichero inicial.dwg en la carpeta 03-Celdas dentro del CD adjunto a este dossier, sobre la cual proyectaremos nuestra celda.

Aunque se trata de una superficie prácticamente plana, para la realización de un ejemplo teórico es suficiente.

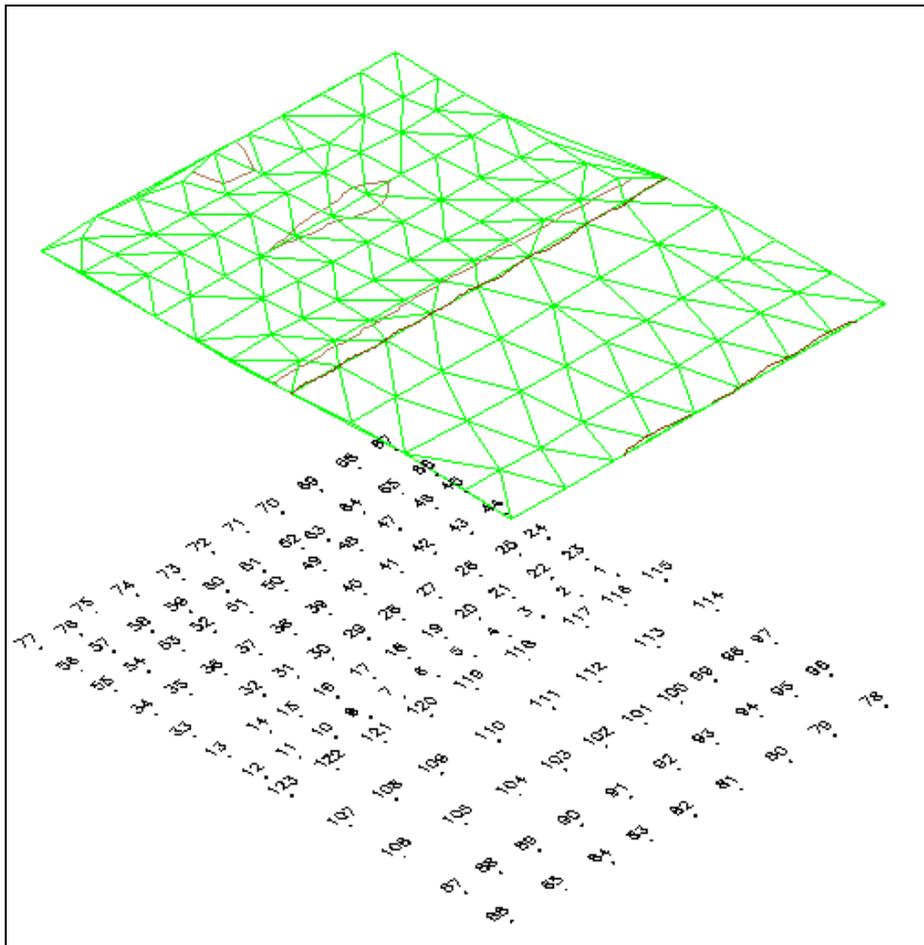


Figura 5.3: Superficie de ejemplo inicial

La capacidad del vaso de vertido dependerá de los pendientes que deseemos que tengan las paredes y de su profundidad. En nuestro caso hemos decidido que tengan un desnivel del 33,3%, es decir un talud modelo 3h/1v, y una profundidad aproximada de 5m. Para facilitar la evacuación de los lixiviados la base de la celda tiene un pendiente del 1,3%.

Es importante tener en cuenta el tipo de terreno en el que estará situada la celda ya que un pendiente demasiado pronunciado podría correr riesgo de corrimientos de tierra.

Tal y como podemos ver en la imagen también hemos proyectado un camino para facilitar el acceso a los camiones y a la maquinaria pesada de 4,5m de ancho y un pendiente del 7%.

Una vez se ha realizado la excavación se pueden realizar las perforaciones para la colocación de los pozos de biogas o bien para el desagüe de los lixivios, este proceso también puede llevarse a cabo una vez ha comenzado el proceso de vertido de residuos, la dirección de cada vertedero será quien decidida en que momento realizar estos trabajos.

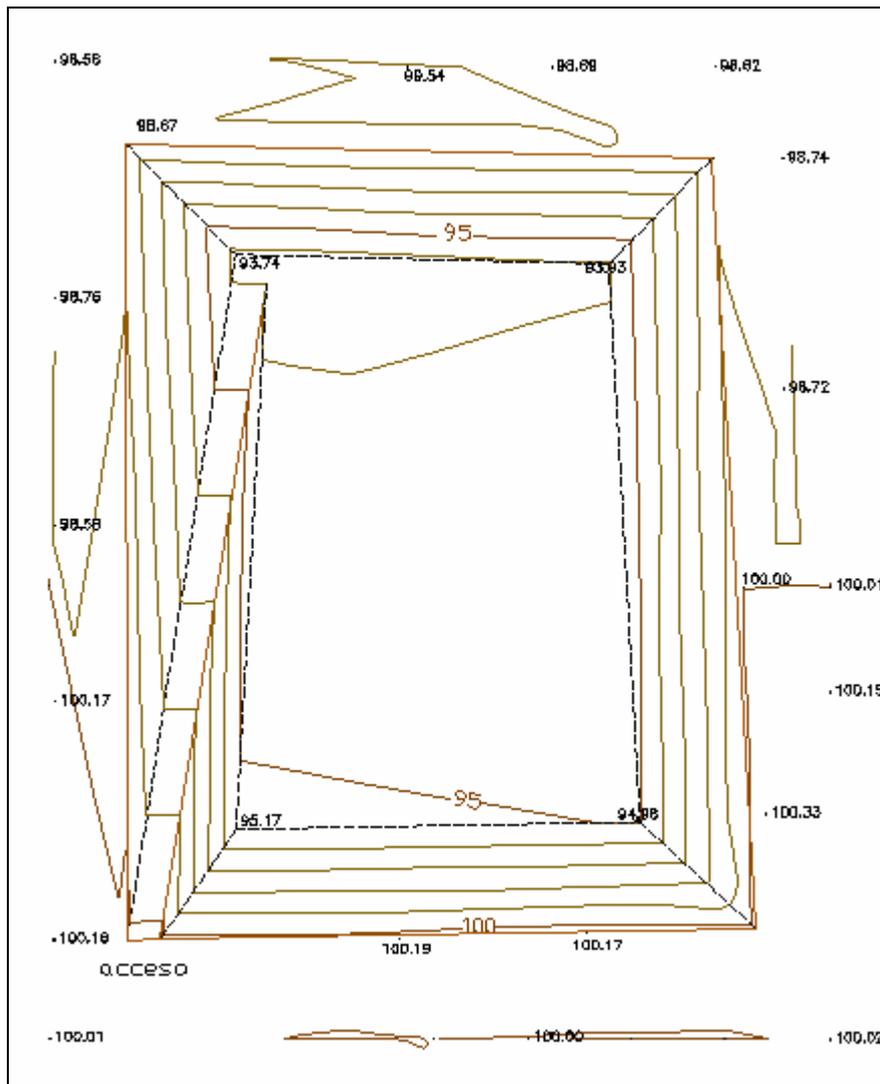


Figura 5.4: Proyecto de un vaso de vertido

El proyecto de excavación de vaso de vertido se encuentra en el fichero excavación.dwg en la carpeta 03-Celdas del CD adjunto a este dossier.

Una vez el diseño ha finalizado debemos contabilizar el volumen de tierras en desmante que vamos a tener que excavar.

Actualmente se puede contabilizar el volumen de tierras con la ayuda de software informático que agiliza en gran medida este tipo de cálculos, además, este puede contabilizarse por diversos métodos: diferencia de mallas, superficies o perfiles transversales. En nuestro caso lo hemos realizado por diferencia de perfiles transversales.

El cálculo de volúmenes a partir de perfiles transversales consiste en hacer sucesivos cortes a la superficie a cubicar con el mismo intervalo y calcular el área correspondiente para cada uno de estos perfiles. El volumen total lo obtendremos a partir de la fórmula de la sección media:

$$V_T = \frac{T_1 + T_2}{2} d \qquad V_D = \frac{D_1 + D_2}{2} d$$

Donde V_T y V_D son los volúmenes en terraplén y desmante, T y D las superficies obtenidas en los perfiles para terraplén y desmante y d la distancia entre los dos perfiles.

Utilizando este sistema hemos contabilizado el volumen de tierras excavado para nuestro ejemplo teórico y ha resultado de 32063,799m³.

Más adelante se muestra un ejemplo más detallado de contabilización de volúmenes.

Una vez hemos finalizado la fase del proyecto de excavación pasaremos al diseño de la clausura.

Dependiendo del tamaño que tenga una celda ésta se puede dividir en fases. Las fases son las diversas etapas que tendrá el proceso de clausura de la celda. Es decir, cada celda dispondrá de pequeñas celdas superpuestas unas encima de otras separadas entre si por una capa de aproximadamente 50cm de tierra.

A continuación se puede observar un ejemplo de clausura de una celda, en este caso particular, debido a su tamaño, se ha planteado una sola fase.

De nuevo ha sido proyectado un acceso para camiones y maquinaria. En este caso los taludes que formarán las paredes de la clausura han sido proyectados con un desnivel del 17%.

Tal y como se realizó con la fase de excavación deberemos contabilizar el volumen de tierras que se va a producir al ejecutar la clausura de la celda. De nuevo utilizaremos el método de cálculo a partir de perfiles transversales, obteniendo un resultado de $55362,739 \text{ m}^3$.

Los perfiles utilizados para la realización de los cálculos de volúmenes de tierras de la fase de excavación y la de clausura han sido realizados cada 5m y se encuentran en el CD adjunto a este dossier, dentro de la carpeta 05- Celdas, como MT0.dwg (Movimiento de Tierras) y MT1.dwg respectivamente.

A continuación se puede observar la imagen del ejemplo de proyecto de clausura de una celda, dicho plano se encuentra ubicado en la carpeta mencionada anteriormente, con nombre clausura.dwg. En color negro discontinuo aparece el pie del talud.

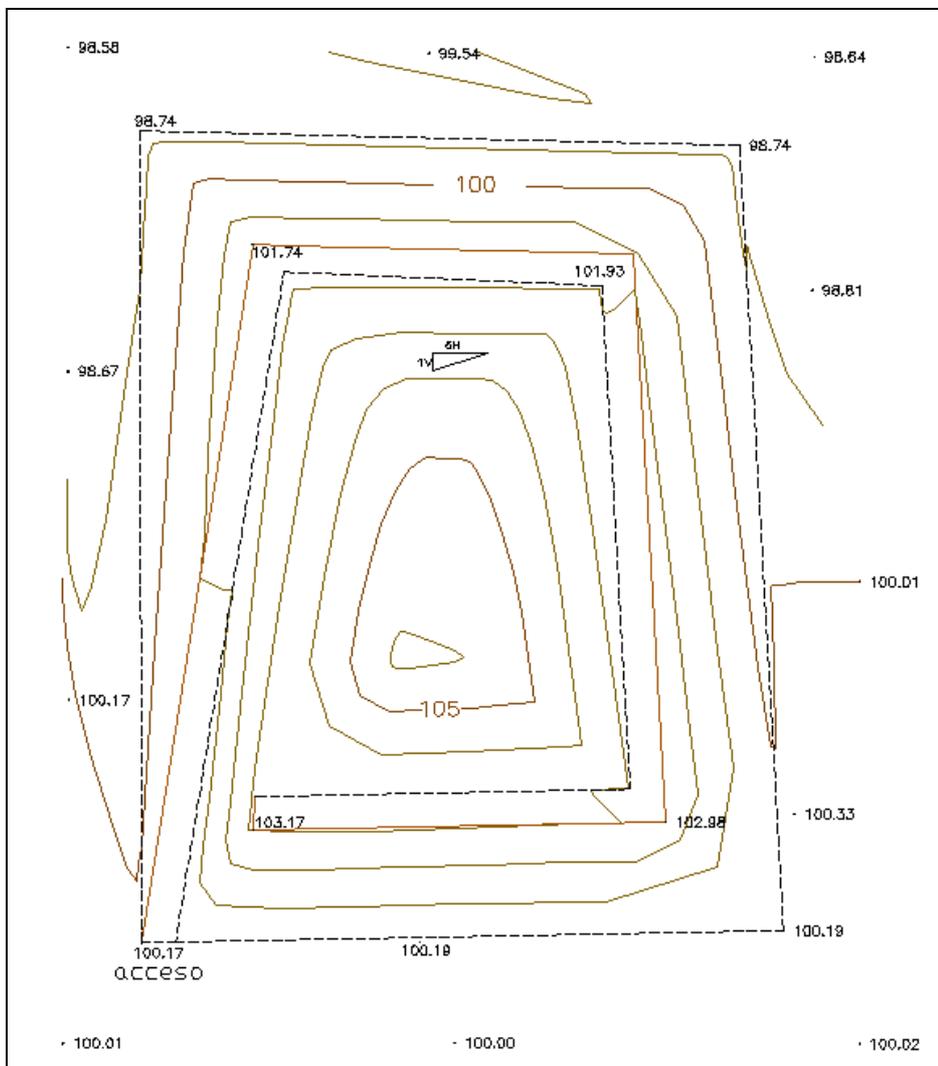


Figura 5.5: Proyecto de clausura de una celda

Tal y como se explica anteriormente son muy comunes las actualizaciones topográficas para conocer el estado de cada una de las fases de la celda y poder calcular el volumen de tierras desplazado durante un cierto período de tiempo.

Como ejemplo práctico del seguimiento que se realiza a una celda hemos realizado la comparación entre el primer levantamiento realizado en mayo del 2008 y la actualización de noviembre de 2008.

En nuestro caso hemos realizando perfiles cada 20m y hemos comparado el resultado con un segundo método, diferencia de superficies, para asegurarnos que los resultados eran correctos, obteniendo como resultado un movimiento de tierras 94062,450m³.

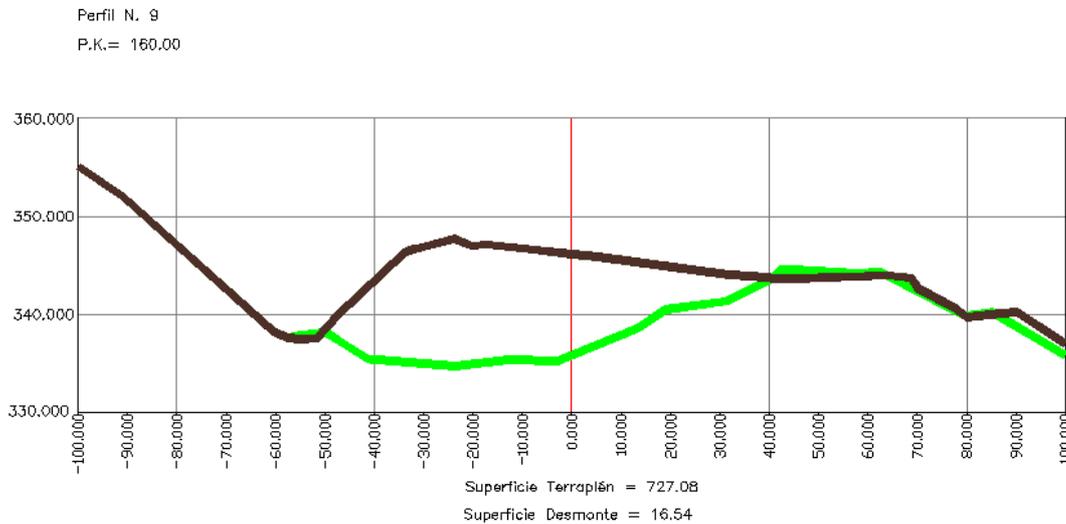


Figura 5.6: Perfil transversal

En la siguiente tabla se pueden observar los cálculos realizados para obtener estos datos:

P.K.	Sup.Des.	Sup.Ter.	Sup.Tierras	Vol.Des.	Vol.Ter.	Vol.Tierras
0+000,00	25,04	2,02	69,11	418,52	96,15	1473,57
0+020,00	16,81	7,59	78,25	263,11	1254,30	1540,04
0+040,00	9,50	117,84	75,76	261,14	2762,32	1535,54
0+060,00	16,61	158,39	77,80	433,89	2204,34	1526,46
0+080,00	26,78	62,04	74,85	355,89	4101,49	1667,76
0+100,00	8,81	348,11	91,93	141,87	9076,23	1919,26
0+120,00	5,37	559,52	100,00	141,33	12649,88	2000,00
0+140,00	8,76	705,47	100,00	253,02	14325,51	2000,00
0+160,00	16,54	727,08	100,00	320,05	14743,39	2000,00
0+180,00	15,46	747,26	100,00	421,77	14930,39	2000,00
0+200,00	26,72	745,78	100,00	721,08	11008,53	2000,00
0+220,00	45,39	355,07	100,00	577,64	6437,88	2000,00
0+240,00	12,37	288,71	100,00	132,59	3961,55	2000,00
0+260,00	0,89	107,44	100,00	29,12	981,50	1824,90
0+278,25	2,31	0,13	100,00	0,00	0,00	0,00
TOTALES:	237,36 m²	4932,45 m²	136,7 m²	4470,995 m³	98533,445 m³	25487,515 m³

Tabla 5.1: Cálculo de volúmenes

Del movimiento de tierras obtenido se puede estimar que una capa de aproximadamente 50cm de grosor se refiere a tierras de asentamiento. Con lo cual, del valor inicialmente obtenido, 25487,5m³ aproximadamente, serán atribuidos a este material, mientras que el resto a residuos.

Tras esta serie de cálculos se llega a la conclusión que en el período de tiempo entre mayo y noviembre del 2008 el volumen de residuos entrante fue de aproximadamente 11429,151m³.

En el fichero perfiles_transversales.dwg o en el anejo de planos se pueden comparar los perfiles del levantamiento de mayo con el de noviembre a partir de los cuales se ha obtenido el volumen de residuos, así como su situación dentro del vertedero.

También se ha realizado un perfil longitudinal, cuyo eje es el mismo utilizado para el cálculo de los volúmenes, comparando ambos levantamientos topográficos y el proyecto de clausura del vertedero, se encuentra en el plano 10 del dossier adjunto.

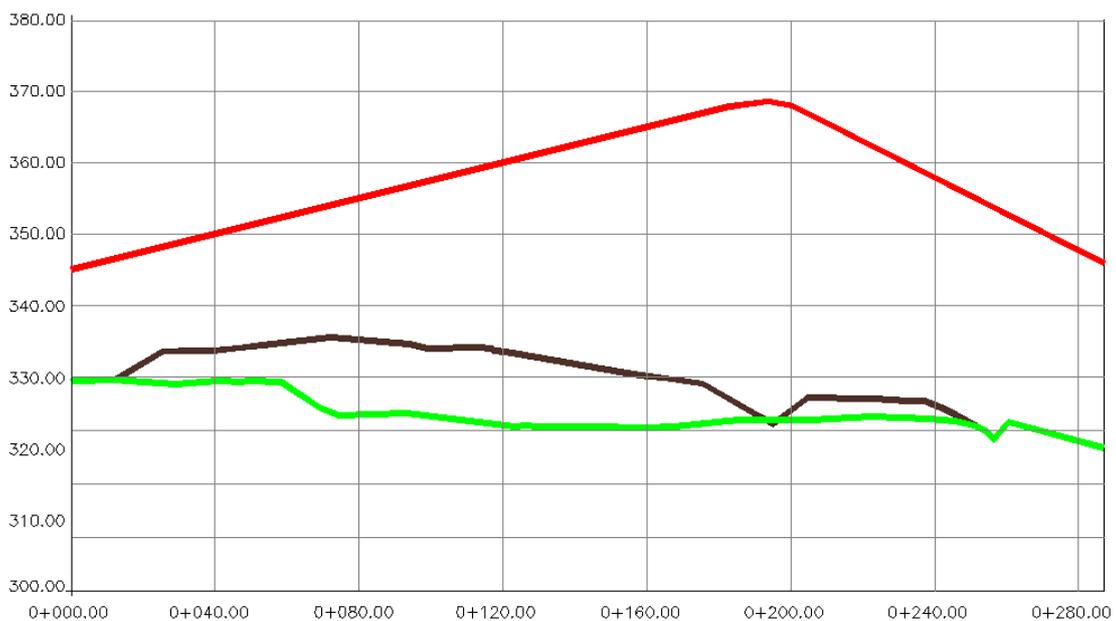


Figura 5.7: Perfil longitudinal.

La línea roja hace referencia a la cota de clausura del proyecto, mientras que marrón y verde a los levantamientos topográficos realizados en noviembre y mayo del 2008, respectivamente.

Tal y como se puede observar las cotas actuales aún distan un número elevado de metros respecto de las del proyecto de clausura. Esto es debido a que a día de hoy las dimensiones del vertedero son inferiores a las del proyecto de clausura.

Según la dirección del vertedero su vida útil se prolongará aproximadamente durante diez años más.

4.3. Asentamiento

4.3.1. Movimiento de asentamiento

El asentamiento es el movimiento producido al realizarse la compactación de los residuos; debido a la presión que ejercen las tierras que forman su cobertura, su volumen se ve disminuido.

Este asentamiento también es debido a sobrecargas y a la biodegradación de los residuos. Esta biodegradación los transforma de estado sólido a líquido (lixiviados) y luego a gaseoso (biogas).

Estos residuos biodegradados dejan vacíos que inducen a asentamientos por colapso continuo. Es por este motivo que es importante poder cuantificar los asentamientos y su ritmo. De esta forma se puede determinar con más certeza su vida útil y el tiempo en el que se podrá sellar y reinsertar la celda una vez clausurada. Por supuesto, este tiempo dependerá del tipo de residuos del vertedero.

También es importante saber que un movimiento de asentamiento demasiado elevado puede comportar problemas de estabilidad del terreno (desprendimientos, inundaciones, hundimientos), fracturas en el sellado, rotura de los sistemas de drenaje...

Analizando de forma más concreta el movimiento de asentamientos, se debe hacer mención a Settlement of waste disposal fills de Sowers (1968), de acuerdo con sus estudios los procesos de asentamiento se pueden clasificar en:

- Mecánico: se procesa por medio de colapso de las partículas y consolidación similar de los suelos orgánicos.
- Ravelling: migración de partículas finas hacia el interior de espacios vacíos entre partículas mayores.
- Cambios físico-químicos: por medio de corrosión, oxidación y combustión.
- Descomposición bioquímica: a través de los procesos de fermentación y descomposición, tanto aeróbica como anaeróbica.
- Interacción: ocurre por la interacción de los dos últimos procesos citados.

Desde un punto de vista teórico el asentamiento global que ocurre en los residuos sólidos nunca cesará, aunque la mayor parte ocurre durante el primer o segundo año después de la clausura.

Por otro lado, según estudios de Kamon en **Geotechnical** properties of waste landfill (1997), el tiempo estimado que tarda un vertedero en convertirse en estable es de 20 años.

4.3.2. Puntos de asentamiento

Los puntos de asentamiento son puntos de control situados a lo largo del vertedero, repartidos lo más homogéneamente posible. Sirven para observar el proceso de asentamiento del conjunto de diferentes capas que hay sobre los residuos y de esta forma estudiar la estabilidad de la celda clausurada.

No es necesario que se encuentren sobre las capa de tierras vegetales, ya que, como se ha explicado en el apartado 3 dedicado a las celdas, es muy común que dentro de una misma celdas existan varias fases superpuestas entre sí, separadas por una capa de tierras de asentamiento.

Como cualquier punto de control topográfico los puntos de asentamiento se pueden materializar de muchas formas en el terreno, pero los más habituales suelen ser estacas, varillas o hitofenos, aunque en el caso del *Abocador del Bages* también se han utilizado clavos de acero colocados sobre una carretera de asfalto que pasa por encima de una de las celdas ya clausuradas.

A continuación se puede observar algunas fotografías de los puntos de asentamiento más comunes:



Figura 4.1: Estaca.



Figura 4.2: Hitofeno.

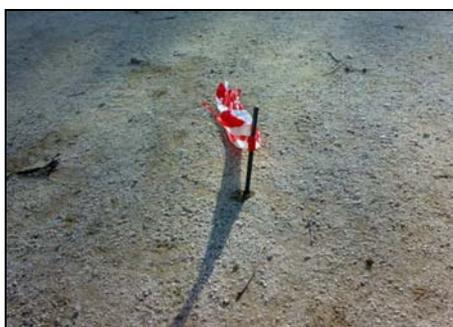


Figura 4.3: Varilla.



Figura 4.4: Clavo de acero.

Para su conservación se intentan situar fuera del acceso de la maquinaria pesada, debido a esto es muy común encontrarlos al lado de pozos o estaciones de lixiviados aunque es bastante común su pérdida y en consecuencia su reposición, debido al continuo movimiento de tierras de los vertederos.

La nomenclatura utilizada con los puntos de asentamiento varía en función de cada vertedero, en algunos casos va en función de la zona del vertedero donde están situados, en otros de la fase de la celda en que se encuentran.

En el caso que estudiaremos la nomenclatura utilizada para identificar los puntos de asentamientos será A (antiguo) seguido del número de punto para los puntos del vertedero clausurado y N (nuevo) seguido del número de punto para el vertedero actual.

Trimestralmente los vertederos controlados envían a la “*Agencia de Residus de Catalunya*” los datos correspondientes a las observaciones de los puntos de asentamiento. Se entrega un listado donde aparecen las coordenadas actuales de los puntos de asentamiento, las variaciones respecto a la última toma de datos y las observaciones en caso de ser necesarias. A su vez también se entrega un plano del vertedero con la situación de los puntos de asentamiento.

4.3.3. Observaciones

Tal y como se ha explicado previamente, han sido realizadas una serie de observaciones de los puntos de asentamiento del “*Abocador de Bufalvent*” con un periodo mensual, siguiendo el criterio de las entregas que se realizan a la *Agència de Residus de Catalunya*.

Estas observaciones de los puntos de asentamiento han sido realizadas por topografía clásica y técnicas GPS

En el interior del CD adjunto a este dossier, dentro de la carpeta “04- Puntos de asentamiento” se encuentra cada una de la tomas de datos mensuales, acompañadas de una tabla de Excel donde figuran los incrementos respecto del mes anterior y un plano con la situación de los puntos de asentamiento dentro del vertedero.

En el plano número 1, levantamiento topográfico, se puede apreciar la posición de los puntos de asentamiento existentes en el *Abocador de Bufalvent*.

A continuación se pueden observar los resultados obtenidos mediante estación total y GPS en modo RTK. En la primera toma de datos se añade una breve descripción del tipo de señal utilizado para la materialización de los puntos de asentamiento, a partir de la segunda toma de datos aparecen los incrementos en coordenadas respecto del mes anterior.

Fecha: 23/05/2007

Método: Radiación mediante topografía clásica

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	Tipo de punto
A-3	404975,937 m	4617409,205 m	346,105 m	estaca
A-4	405039,635 m	4617438,910 m	348,922 m	estaca
A-7	404990,925 m	4617347,700 m	336,158 m	varilla
A-8	404920,928 m	4617433,027 m	335,778 m	estaca
A-9	404885,740 m	4617437,108 m	331,150 m	varilla
A-13	404959,900 m	4617360,243 m	326,703 m	estaca
A-14	404881,148 m	4617426,935 m	326,429 m	estaca
A-15	-	-	-	estaca
A-16	404944,711 m	4617353,707 m	318,841 m	estaca
A-20	404895,246 m	4617383,214 m	312,870 m	varilla
A-21	-	-	-	estaca
A-22	-	-	-	estaca

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	Tipo de punto
N-10	404442,142 m	4617744,309 m	296,938 m	clavo
N-11	404444,091 m	4617724,681 m	298,023 m	clavo
N-12	404446,406 m	4617703,562 m	299,153 m	clavo
N-13	404449,119 m	4617681,699 m	300,560 m	clavo
N-14	404451,555 m	4617661,110 m	301,899 m	clavo
N-15	404453,741 m	4617641,927 m	302,709 m	clavo
N-21	404504,357 m	4617736,255 m	315,940 m	estaca
N-22	404509,300 m	4617689,886 m	318,596 m	estaca
N-23	404514,568 m	4617646,223 m	321,182 m	estaca
N-24	404517,467 m	4617614,839 m	323,027 m	estaca
N-25	404519,298 m	4617584,544 m	324,603 m	estaca
F-2	404453,579 m	4617607,738 m	303,386 m	clavo

Fecha: 19/05/2007

Método: GPS en modo RTK

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	Tipo de punto
A-3	404975,942 m	4617409,213 m	346,112 m	estaca
A-4	405039,618 m	4617438,915 m	348,928 m	estaca
A-7	404990,964 m	4617347,723 m	336,165 m	varilla
A-8	404920,952 m	4617433,040 m	335,790 m	estaca
A-9	-	-	-	varilla
A-13	404959,938 m	4617360,256 m	326,717 m	estaca
A-14	404881,173 m	4617426,945 m	326,438 m	estaca
A-15	404871,199 m	4617413,176 m	319,009 m	estaca
A-16	404944,744 m	4617353,738 m	319,256 m	estaca
A-20	404895,276 m	4617383,245 m	312,887 m	varilla
A-21	-	-	-	estaca
A-22	-	-	-	estaca

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	Tipo de punto
N-10	404442,175 m	4617744,281 m	296,975 m	clavo
N-11	404444,120 m	4617724,641 m	298,049 m	clavo
N-12	404446,426 m	4617703,534 m	299,180 m	clavo
N-13	404449,212 m	4617681,657 m	300,562 m	clavo
N-14	404451,590 m	4617661,070 m	301,906 m	clavo
N-15	404453,773 m	4617641,888 m	302,732 m	clavo
N-21	404504,376 m	4617736,214 m	315,960 m	estaca
N-22	404509,362 m	4617689,865 m	318,603 m	estaca
N-23	404514,634 m	4617646,192 m	321,197 m	estaca
N-24	404517,522 m	4617614,801 m	323,028 m	estaca
N-25	404519,350 m	4617584,530 m	324,612 m	estaca
F-2	404453,620 m	4617607,703 m	303,408 m	clavo

Fecha: 30/06/2007

Método: Radiación mediante topografía clásica

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,945 m	4617409,210 m	346,102 m	0,008 m	0,005 m	-0,003 m
A-4	405039,631 m	4617438,910 m	348,924 m	-0,004 m	0,000 m	0,002 m
A-7	-	-	-	-	-	-
A-8	404920,940 m	4617433,000 m	335,756 m	0,012 m	-0,027 m	-0,022 m
A-9	404885,760 m	4617437,089 m	331,536 m	0,020 m	-0,019 m	-0,012 m
A-13	404959,899 m	4617360,216 m	326,693 m	-0,001 m	-0,027 m	-0,010 m
A-14	404881,159 m	4617426,919 m	326,422 m	0,011 m	-0,016 m	-0,007 m
A-15	404871,179 m	4617413,143 m	318,991 m	-	-	-
A-16	404944,710 m	4617353,687 m	319,228 m	-0,001 m	-0,020 m	-0,011 m
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404942,034 m	4617306,796 m	309,135 m	-	-	-
A-22	404917,836 m	4617318,438 m	297,926 m	-	-	-

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,151 m	4617744,319 m	296,944 m	0,009 m	0,010 m	0,006 m
N-11	404444,101 m	4617724,687 m	298,026 m	0,010 m	0,006 m	0,003 m
N-12	404446,415 m	4617703,566 m	299,148 m	0,009 m	0,004 m	-0,005 m
N-13	404449,139 m	4617681,708 m	300,552 m	0,020 m	0,009 m	-0,008 m
N-14	-	-	-	-	-	-
N-15	404453,741 m	4617641,932 m	302,713 m	0,000 m	0,005 m	0,004 m
N-21	404504,352 m	4617736,266 m	315,935 m	-0,005 m	0,011 m	-0,005 m
N-22	404509,305 m	4617689,893 m	318,584 m	0,005 m	0,007 m	-0,012 m
N-23	404514,573 m	4617646,234 m	321,177 m	0,005 m	0,011 m	-0,005 m
N-24	404517,464 m	4617614,835 m	323,027 m	-0,003 m	-0,004 m	0,000 m
N-25	404519,303 m	4617584,537 m	324,610 m	0,005 m	-0,007 m	0,007 m
F-2	404453,584 m	4617607,739 m	303,392 m	0,005 m	0,001 m	0,006 m

Fecha: 30/06/2007

Método: GPS en modo RTK

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,969 m	4617409,224 m	346,090 m	0,027 m	0,011 m	-0,022 m
A-4	405039,655 m	4617438,924 m	348,918 m	0,037 m	0,009 m	-0,010 m
A-7	404990,946 m	4617347,712 m	336,155 m	-0,018 m	-0,011 m	-0,010 m
A-8	404920,994 m	4617433,049 m	335,768 m	0,042 m	0,009 m	-0,022 m
A-9	404885,814 m	4617437,106 m	331,543 m	-	-	-
A-13	404959,954 m	4617360,254 m	326,690 m	0,016 m	-0,002 m	-0,027 m
A-14	404881,203 m	4617426,940 m	326,416 m	0,030 m	-0,005 m	-0,022 m
A-15	404871,233 m	4617413,170 m	318,993 m	0,034 m	-0,006 m	-0,016 m
A-16	404944,765 m	4617353,752 m	319,220 m	0,021 m	0,014 m	-0,036 m
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404942,087 m	4617306,830 m	309,122 m	-	-	-
A-22	404917,910 m	4617318,479 m	297,929 m	-	-	-

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,196 m	4617744,278 m	296,942 m	0,021 m	-0,003 m	-0,033 m
N-11	404444,136 m	4617724,651 m	298,038 m	0,016 m	0,010 m	-0,011 m
N-12	404446,473 m	4617703,538 m	299,143 m	0,047 m	0,004 m	-0,037 m
N-13	404449,381 m	4617681,707 m	300,554 m	-	-	-
N-14	404451,633 m	4617661,078 m	301,860 m	0,043 m	0,008 m	-0,046 m
N-15	404453,816 m	4617641,893 m	302,656 m	0,043 m	0,005 m	-0,076 m
N-21	404504,394 m	4617736,223 m	315,938 m	0,018 m	0,009 m	-0,022 m
N-22	404509,366 m	4617689,863 m	318,561 m	0,004 m	-0,002 m	-0,042 m
N-23	404514,639 m	4617646,211 m	321,154 m	0,005 m	0,019 m	-0,043 m
N-24	404517,543 m	4617614,822 m	323,009 m	0,021 m	0,021 m	-0,019 m
N-25	404519,371 m	4617584,543 m	324,609 m	0,021 m	0,013 m	-0,003 m
F-2	404453,635 m	4617607,708 m	303,391 m	0,015 m	0,005 m	-0,017 m

Fecha: 28/07/2007

Método: Radiación mediante topografía clásica

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,952 m	4617409,215 m	346,099 m	0,007 m	0,005 m	-0,003 m
A-4	405039,623 m	4617438,905 m	348,926 m	-0,008 m	-0,005 m	0,002 m
A-7	404990,906 m	4617347,646 m	336,133 m	-	-	-
A-8	404920,939 m	4617432,989 m	335,758 m	-0,001 m	-0,011 m	0,002 m
A-9	404885,767 m	4617437,058 m	331,532 m	0,007 m	-0,031 m	-0,004 m
A-13	404959,888 m	4617360,191 m	326,684 m	-0,011 m	-0,025 m	-0,009 m
A-14	404881,154 m	4617426,907 m	326,416 m	-0,005 m	-0,012 m	-0,006 m
A-15	404871,178 m	4617413,141 m	318,988 m	-0,001 m	-0,002 m	-0,003 m
A-16	404944,702 m	4617353,681 m	319,216 m	-0,008 m	-0,006 m	-0,012 m
A-20	404895,246 m	4617383,214 m	313,265 m	-	-	-
A-21	404942,003 m	4617306,772 m	309,140 m	-0,031 m	-0,024 m	0,005 m
A-22	404917,834 m	4617318,437 m	297,922 m	-0,002 m	-0,001 m	-0,004 m

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,156 m	4617744,327 m	296,956 m	0,005 m	0,008 m	0,012 m
N-11	404444,092 m	4617724,682 m	298,024 m	-0,009 m	-0,005 m	-0,002 m
N-12	404446,404 m	4617703,559 m	299,139 m	-0,011 m	-0,007 m	-0,009 m
N-13	404449,164 m	4617681,744 m	300,552 m	0,025 m	0,036 m	0,000 m
N-14	404451,555 m	4617661,122 m	301,900 m	-	-	-
N-15	404453,732 m	4617641,933 m	302,719 m	-0,009 m	0,001 m	0,006 m
N-21	404504,329 m	4617736,254 m	315,926 m	-0,023 m	-0,012 m	-0,009 m
N-22	404509,273 m	4617689,898 m	318,563 m	-0,032 m	0,005 m	-0,021 m
N-23	404514,561 m	4617646,248 m	321,160 m	-0,012 m	0,014 m	-0,017 m
N-24	404517,462 m	4617614,851 m	323,029 m	-0,002 m	0,016 m	0,002 m
N-25	404519,303 m	4617584,548 m	324,613 m	0,000 m	0,011 m	0,003 m
F-2	404453,581 m	4617607,738 m	303,396 m	-0,003 m	-0,001 m	0,004 m

Fecha: 28/07/2007

Método: GPS en modo RTK

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,944 m	4617409,236 m	346,092 m	-0,025 m	0,012 m	0,002 m
A-4	405039,604 m	4617438,925 m	348,934 m	-0,051 m	0,001 m	0,016 m
A-7	404990,940 m	4617347,721 m	336,159 m	-0,006 m	0,009 m	0,004 m
A-8	404920,952 m	4617433,044 m	335,784 m	-0,042 m	-0,005 m	0,016 m
A-9	404885,781 m	4617437,101 m	331,551 m	-0,033 m	-0,005 m	0,008 m
A-13	404959,922 m	4617360,262 m	326,707 m	-0,032 m	0,008 m	0,017 m
A-14	404881,174 m	4617426,945 m	326,437 m	-0,029 m	0,005 m	0,021 m
A-15	404871,233 m	4617413,170 m	318,993 m	0,000 m	0,000 m	0,000 m
A-16	404944,739 m	4617353,736 m	319,242 m	-0,026 m	-0,016 m	0,022 m
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404942,060 m	4617306,839 m	309,159 m	-0,027 m	0,009 m	0,037 m
A-22	404917,878 m	4617318,477 m	297,936 m	-0,032 m	-0,002 m	0,007 m

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,160 m	4617744,293 m	296,970 m	-0,036 m	0,015 m	0,028 m
N-11	404444,111 m	4617724,655 m	298,040 m	-0,025 m	0,004 m	0,002 m
N-12	404446,441 m	4617703,543 m	299,159 m	-0,032 m	0,005 m	0,016 m
N-13	404449,346 m	4617681,724 m	300,558 m	-0,035 m	0,017 m	0,004 m
N-14	404451,596 m	4617661,101 m	301,912 m	-0,037 m	0,023 m	0,052 m
N-15	404453,769 m	4617641,892 m	302,715 m	-0,047 m	-0,001 m	0,059 m
N-21	404504,368 m	4617736,227 m	315,935 m	-0,026 m	0,004 m	-0,003 m
N-22	404509,318 m	4617689,865 m	318,575 m	-0,048 m	0,002 m	0,014 m
N-23	404514,611 m	4617646,229 m	321,172 m	-0,028 m	0,018 m	0,018 m
N-24	404517,514 m	4617614,830 m	323,030 m	-0,029 m	0,008 m	0,021 m
N-25	404519,345 m	4617584,523 m	324,622 m	-0,026 m	-0,020 m	0,013 m
F-2	404453,608 m	4617607,716 m	303,415 m	-0,027 m	0,008 m	0,024 m

Fecha: 30/07/2007

Método: GPS en modo cinemático

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,948 m	4617409,222 m	346,474 m	0,004	-0,014	0,012
A-4	405039,636 m	4617438,922 m	349,309 m	0,032	-0,003	0,005
A-7	404990,956 m	4617347,720 m	336,532 m	0,016	-0,001	0,003
A-8	404920,970 m	4617433,040 m	336,151 m	0,018	-0,004	-0,003
A-9	404885,798 m	4617437,101 m	331,916 m	0,017	0	-0,005
A-13	-	-	-	-	-	-
A-14	404881,188 m	4617426,940 m	326,805 m	0,014	-0,005	-0,002
A-15	404871,213 m	4617413,166 m	319,377 m	-0,02	-0,004	0,014
A-16	404944,751 m	4617353,726 m	319,619 m	0,012	-0,01	0,007
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404942,079 m	4617306,837 m	309,525 m	0,019	-0,002	-0,004
A-22	404917,897 m	4617318,476 m	298,299 m	0,019	-0,001	-0,007

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,175 m	4617744,283 m	297,334 m	0,015	-0,01	-0,006
N-11	404444,128 m	4617724,651 m	298,399 m	0,017	-0,004	-0,011
N-12	404446,442 m	4617703,532 m	299,504 m	0,001	-0,011	-0,025
N-13	404449,353 m	4617681,706 m	300,921 m	0,007	-0,018	-0,007
N-14	404451,600 m	4617661,089 m	302,263 m	0,004	-0,012	-0,019
N-15	404453,786 m	4617641,900 m	303,091 m	0,017	0,008	0,006
N-21	404504,361 m	4617736,222 m	316,310 m	-0,007	-0,005	0,005
N-22	404509,319 m	4617689,869 m	318,941 m	0,001	0,004	-0,004
N-23	404514,601 m	4617646,220 m	321,524 m	-0,01	-0,009	-0,018
N-24	404517,510 m	4617614,820 m	323,382 m	-0,004	-0,01	-0,018
N-25	404519,349 m	4617584,525 m	324,969 m	0,004	0,002	-0,023
F-2	404453,631 m	4617607,713 m	303,783 m	0,023	-0,003	-0,002

Comparativa entre GPS en modo cinemático y RTK del mes de julio

Fecha: 10/09/2007

Método: Radiación mediante topografía clásica

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,953 m	4617409,203 m	346,081 m	0,001 m	-0,012 m	-0,018 m
A-4	405039,624 m	4617438,903 m	348,921 m	0,001 m	-0,002 m	-0,005 m
A-7	404990,867 m	4617347,580 m	336,131 m	-0,039 m	-0,066 m	-0,002 m
A-8	-	-	-	-	-	-
A-9	404885,780 m	4617437,048 m	331,526 m	0,013 m	-0,010 m	-0,006 m
A-13	404959,860 m	4617360,148 m	326,683 m	-0,028 m	-0,043 m	-0,001 m
A-14	404881,159 m	4617426,879 m	326,415 m	0,005 m	-0,028 m	-0,001 m
A-15	404871,181 m	4617413,146 m	318,982 m	0,003 m	0,005 m	-0,006 m
A-16	404944,664 m	4617353,613 m	319,221 m	-0,038 m	-0,068 m	0,005 m
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404941,978 m	4617306,759 m	309,146 m	-0,025 m	-0,013 m	0,006 m
A-22	404917,798 m	4617318,401 m	297,917 m	-0,036 m	-0,036 m	-0,005 m

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,143 m	4617744,320 m	296,947 m	-0,013 m	-0,007 m	-0,009 m
N-11	-	-	-	-	-	-
N-12	404446,406 m	4617703,562 m	299,119 m	0,002 m	0,003 m	-0,020 m
N-13	404449,168 m	4617681,738 m	300,523 m	0,004 m	-0,006 m	-0,029 m
N-14	404451,554 m	4617661,123 m	301,891 m	-0,001 m	0,001 m	-0,009 m
N-15	404453,742 m	4617641,928 m	302,718 m	0,010 m	-0,005 m	-0,001 m
N-21	404504,338 m	4617736,237 m	315,915 m	0,009 m	-0,017 m	-0,011 m
N-22	404509,286 m	4617689,893 m	318,538 m	0,013 m	-0,005 m	-0,025 m
N-23	404514,565 m	4617646,248 m	321,138 m	0,004 m	0,000 m	-0,022 m
N-24	404517,474 m	4617614,848 m	323,017 m	0,012 m	-0,003 m	-0,012 m
N-25	404519,308 m	4617584,537 m	324,612 m	0,005 m	-0,011 m	-0,001 m
F-2	404453,575 m	4617607,729 m	303,395 m	-0,006 m	-0,009 m	-0,001 m

Fecha: 01/09/2007

Método: GPS en modo RTK

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,924 m	4617409,223 m	346,080 m	-0,020 m	-0,013 m	-0,012 m
A-4	405039,613 m	4617438,933 m	348,922 m	0,009 m	0,008 m	-0,012 m
A-7	404990,921 m	4617347,735 m	336,144 m	-0,019 m	0,014 m	-0,015 m
A-8	404920,966 m	4617433,032 m	335,772 m	0,014 m	-0,012 m	-0,012 m
A-9	404885,808 m	4617437,151 m	331,551 m	0,027 m	0,050 m	0,000 m
A-13	404959,944 m	4617360,267 m	326,694 m	0,022 m	0,005 m	-0,013 m
A-14	404881,201 m	4617426,944 m	326,430 m	0,027 m	-0,001 m	-0,007 m
A-15	404871,217 m	4617413,175 m	318,999 m	-0,016 m	0,005 m	0,006 m
A-16	404944,742 m	4617353,739 m	319,237 m	0,003 m	0,003 m	-0,005 m
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404942,065 m	4617306,854 m	309,161 m	0,005 m	0,015 m	0,002 m
A-22	404917,884 m	4617318,477 m	297,946 m	0,006 m	0,000 m	0,010 m

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,159 m	4617744,283 m	296,961 m	-0,001 m	-0,010 m	-0,009 m
N-11	404444,112 m	4617724,658 m	298,048 m	0,001 m	0,003 m	0,008 m
N-12	404446,435 m	4617703,567 m	299,153 m	-0,006 m	0,024 m	-0,006 m
N-13	404449,344 m	4617681,709 m	300,549 m	-0,002 m	-0,015 m	-0,009 m
N-14	404451,575 m	4617661,101 m	301,914 m	-0,021 m	0,000 m	0,002 m
N-15	404453,691 m	4617641,903 m	302,721 m	-0,078 m	0,011 m	0,006 m
N-21	404504,364 m	4617736,241 m	315,929 m	-0,004 m	0,014 m	-0,006 m
N-22	404509,288 m	4617689,867 m	318,556 m	-0,030 m	0,002 m	-0,019 m
N-23	404514,580 m	4617646,225 m	321,158 m	-0,031 m	-0,004 m	-0,014 m
N-24	404517,500 m	4617614,834 m	323,027 m	-0,014 m	0,004 m	-0,003 m
N-25	404519,338 m	4617584,526 m	324,624 m	-0,007 m	0,003 m	0,002 m
F-2	404453,619 m	4617607,719 m	303,402 m	0,011 m	0,003 m	-0,013 m

Fecha: 13/10/2007

Método: Radiación mediante topografía clásica

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,915 m	4617409,200 m	346,077 m	-0,038 m	-0,003 m	-0,004 m
A-4	405039,596 m	4617438,882 m	348,919 m	-0,028 m	-0,021 m	-0,002 m
A-7	404990,948 m	4617347,678 m	336,136 m	0,081 m	0,098 m	0,005 m
A-8	404920,943 m	4617433,095 m	335,751 m	-	-	-
A-9	404885,808 m	4617436,111 m	331,402 m	-	-	-
A-13	404959,932 m	4617360,218 m	326,686 m	0,072 m	0,070 m	0,003 m
A-14	404881,194 m	4617426,926 m	326,416 m	0,035 m	0,047 m	0,001 m
A-15	404871,208 m	4617413,137 m	318,987 m	0,027 m	-0,009 m	0,005 m
A-16	404944,734 m	4617353,685 m	319,223 m	0,070 m	0,072 m	0,002 m
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404942,060 m	4617306,802 m	309,135 m	0,082 m	0,043 m	-0,011 m
A-22	404917,867 m	4617318,435 m	297,918 m	0,069 m	0,034 m	0,001 m

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,134 m	4617744,357 m	296,942 m	-0,009 m	0,037 m	-0,005 m
N-11	404444,078 m	4617724,717 m	298,008 m	-	-	-
N-12	404446,391 m	4617703,600 m	299,104 m	-0,015 m	0,038 m	-0,015 m
N-13	404449,291 m	4617681,781 m	300,496 m	-	-	-
N-14	404451,536 m	4617661,165 m	301,881 m	-0,018 m	0,042 m	-0,010 m
N-15	404453,711 m	4617641,970 m	302,708 m	-0,031 m	0,042 m	-0,010 m
N-21	404504,314 m	4617736,266 m	315,902 m	-0,024 m	0,029 m	-0,013 m
N-22	404509,272 m	4617689,919 m	318,521 m	-0,014 m	0,026 m	-0,017 m
N-23	404514,569 m	4617646,282 m	321,132 m	0,004 m	0,034 m	-0,006 m
N-24	404517,483 m	4617614,868 m	323,017 m	0,009 m	0,020 m	0,000 m
N-25	404519,330 m	4617584,542 m	324,604 m	0,022 m	0,005 m	-0,008 m
F-2	404453,542 m	4617607,765 m	303,383 m	-0,033 m	0,036 m	-0,012 m

Fecha: 13/10/2007

Método: GPS en modo RTK

Proyección UTM – Huso 31 Hemisferio Norte, Sistema de referencia ED-50. Datum Europeo.

-Elipsoide Internacional de Hayford

-Potsdam Datum (Torre de Helmert)

-Altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante.

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero clausurado:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	404975,914 m	4617409,216 m	346,074 m	-0,010 m	-0,007 m	-0,006 m
A-4	405039,617 m	4617438,937 m	348,916 m	0,004 m	0,004 m	-0,006 m
A-7	404990,912 m	4617347,742 m	336,135 m	-0,009 m	0,007 m	-0,009 m
A-8	404920,973 m	4617433,026 m	335,744 m	0,007 m	-0,006 m	-0,028 m
A-9	404885,821 m	4617437,176 m	331,949 m	-	-	-
A-13	404959,955 m	4617360,269 m	326,686 m	0,011 m	0,002 m	-0,008 m
A-14	404881,214 m	4617426,943 m	326,427 m	0,013 m	-0,001 m	-0,003 m
A-15	404871,209 m	4617413,177 m	318,999 m	-0,008 m	0,002 m	0,000 m
A-16	404944,743 m	4617353,740 m	319,235 m	0,001 m	0,001 m	-0,002 m
A-20	-	-	-	-	-	-
A-21	404942,072 m	4617306,871 m	309,124 m	0,007 m	0,017 m	-0,037 m
A-22	404917,907 m	4617318,477 m	297,931 m	0,023 m	0,000 m	-0,015 m

Puntos de control de asentamiento situados en el vertedero actual:

Punto	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	404442,158 m	4617744,278 m	296,957 m	-0,001 m	-0,005 m	-0,004 m
N-11	404444,113 m	4617724,659 m	298,048 m	0,001 m	0,001 m	0,000 m
N-12	404446,432 m	4617703,579 m	299,150 m	-0,003 m	0,012 m	-0,003 m
N-13	404449,343 m	4617681,702 m	300,553 m	-0,001 m	-0,007 m	0,004 m
N-14	404451,565 m	4617661,101 m	301,914 m	-0,010 m	0,000 m	0,000 m
N-15	404453,661 m	4617641,908 m	302,721 m	-0,030 m	0,005 m	0,000 m
N-21	404504,362 m	4617736,248 m	315,926 m	-0,002 m	0,007 m	-0,003 m
N-22	404509,273 m	4617689,868 m	318,547 m	-0,015 m	0,001 m	-0,009 m
N-23	404514,565 m	4617646,223 m	321,151 m	-0,015 m	-0,002 m	-0,007 m
N-24	404517,493 m	4617614,836 m	323,026 m	-0,007 m	0,002 m	-0,001 m
N-25	404519,335 m	4617584,527 m	324,614 m	-0,003 m	0,001 m	-0,010 m
F-2	404453,624 m	4617607,720 m	303,396 m	0,005 m	0,001 m	-0,006 m

Como se ha comentado anteriormente debido a los trabajos realizados en el vertedero e incluso por causas meteorológicas es frecuente la pérdida de puntos de asentamiento. Por consiguiente, durante el seguimiento que se ha realizado se recolocaron N-13 y A-9 durante los meses de julio y octubre respectivamente. Por lo que se refiere a A-20 se tomó el mes de mayo, en junio resultó destruido pero no fue repuesto, ya que estaba en una zona donde las posibilidades de su conservación eran escasas.

A continuación se muestra una tabla donde se puede apreciar el asentamiento acumulado de nuestros puntos, tanto en el vertedero clausurado como en el vertedero actual, durante el periodo de tiempo entre mayo del 2007 a octubre del mismo año.

Asentamiento acumulado en el vertedero clausurado mediante topografía clásica:

Punto	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	-0,022 m	-0,005 m	-0,028 m
A-4	-0,039 m	-0,028 m	-0,003 m
A-7	0,023 m	-0,022 m	-0,022 m
A-8	0,015 m	0,068 m	-0,027 m
A-9	0,027 m	-0,050 m	-0,016 m
A-13	0,032 m	-0,025 m	-0,017 m
A-14	0,046 m	-0,009 m	-0,013 m
A-15	0,029 m	-0,006 m	-0,004 m
A-16	0,023 m	-0,022 m	-0,016 m
A-20	-	-	-
A-21	0,026 m	0,006 m	0,000 m
A-22	0,031 m	-0,003 m	-0,008 m

Asentamiento acumulado en el vertedero actual mediante topografía clásica:

Punto	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	-0,008 m	0,048 m	0,004 m
N-11	-0,013 m	0,036 m	-0,015 m
N-12	-0,015 m	0,038 m	-0,049 m
N-13	0,045 m	0,045 m	-0,008 m
N-14	-0,019 m	0,055 m	-0,018 m
N-15	-0,030 m	0,043 m	-0,001 m
N-21	-0,043 m	0,011 m	-0,038 m
N-22	-0,028 m	0,033 m	-0,075 m
N-23	0,001 m	0,059 m	-0,050 m
N-24	0,016 m	0,029 m	-0,010 m
N-25	0,032 m	-0,002 m	0,001 m
F-2	-0,037 m	0,027 m	-0,003 m

Asentamiento acumulado en el vertedero clausurado mediante GPS en modo RTK:

Punto	ΔX	ΔY	ΔH
A-3	-0,028 m	0,003 m	-0,038 m
A-4	-0,001 m	0,022 m	-0,012 m
A-7	-0,052 m	0,019 m	-0,030 m
A-8	0,021 m	-0,014 m	-0,046 m
A-9	-0,006 m	0,045 m	0,008 m
A-13	0,017 m	0,013 m	-0,031 m
A-14	0,041 m	-0,002 m	-0,011 m
A-15	0,010 m	0,001 m	-0,010 m
A-16	-0,001 m	0,002 m	-0,021 m
A-20	-	-	-
A-21	-0,015 m	0,041 m	0,002 m
A-22	-0,003 m	-0,002 m	0,002 m

Asentamiento acumulado en el vertedero actual mediante GPS en modo RTK:

Punto	ΔX	ΔY	ΔH
N-10	-0,017 m	-0,003 m	-0,018 m
N-11	-0,007 m	0,018 m	-0,001 m
N-12	0,006 m	0,045 m	-0,030 m
N-13	-0,038 m	-0,005 m	-0,001 m
N-14	-0,025 m	0,031 m	0,008 m
N-15	-0,112 m	0,020 m	-0,011 m
N-21	-0,014 m	0,034 m	-0,034 m
N-22	-0,089 m	0,003 m	-0,056 m
N-23	-0,069 m	0,031 m	-0,046 m
N-24	-0,029 m	0,035 m	-0,002 m
N-25	-0,015 m	-0,003 m	0,002 m
F-2	0,004 m	0,017 m	-0,012 m

Era previsible carecer de movimientos de asentamiento de valores excesivamente elevados debido al corto periodo de tiempo durante el cual han sido observados, pero es posible sacar conclusiones sobre la forma en que se comporta el movimiento de asentamiento en el *Abocador de Bufalvent*.

Observando los resultados obtenidos, en primer lugar se puede apreciar que ha existido un mayor movimiento en los puntos del vertedero actual comparándolos con el vertedero clausurado.

También se observa que existe un movimiento más elevado en lo que respecta a los puntos situados en capas más jóvenes, es decir, en zonas que hace menos tiempo que fueron selladas.

Este movimiento se puede apreciar claramente en los puntos de asentamiento del vertedero clausurado, A-3, A-7 y A-8, y en lo que se refiere al vertedero actual a los puntos N-21, N-22 y N-23.

Comparando los resultados obtenidos por ambos métodos, topografía clásica y GPS, observamos que pese a haber obtenido valores ligeramente distintos, las conclusiones a las que llegamos son las mismas, en que zona del vertedero se centra el mayor movimiento de asentamiento y en que puntos se han obtenido mayores variaciones durante el período de observación.

Centrándonos en el mes de julio, donde las observaciones fueron realizadas mediante GPS en modo cinemático y RTK se puede apreciar que las diferencias entre ambos métodos no son demasiado elevadas, 3 cm en los puntos máximos, pero alrededor del centímetro en la mayoría.

En conclusión se puede afirmar que los tres tipos de observación se pueden considerar adecuados para este tipo de control.

5. Conclusiones

Tal y como se puede observar a lo largo del estudio realizado los vertederos controlados necesitan la aplicación de trabajos topográficos de forma regular.

También se muestra que estos trabajos no son solo de topografía de campo, sino que la mayoría de éstos son realizados en gabinete.

Se ha podido observar ejemplos de cálculo de volúmenes a partir de perfiles transversales, actualizaciones cartográficas, realización de planos de isopacas, realización de perfiles longitudinales, diseño de celdas, cálculo de asentamientos, entre otros...

Respecto a la toma de puntos de asentamiento (apartado 4) se llega a la conclusión que puede ser realizada tanto por topografía clásica como por técnicas GPS, ya que las precisiones obtenidas por ambos métodos son aceptables para este tipo de control.

Esto es debido a que con este tipo de control se intenta localizar movimientos elevados en los puntos de asentamiento que pudieran afectar a la estabilidad de las celdas clausuradas.

Obviamente las observaciones realizadas mediante topografía clásica son mas precisas, pero tal y como se ha comentado anteriormente las precisiones obtenidas mediante GPS son más que aceptables para este tipo de estudio.

Centrándonos en el uso del GPS se recomienda el método RTK ya que el tiempo necesario para cada una de las observaciones es mucho menor en comparación con el método cinemático, pese a que el segundo pudiera ser mas preciso, además en el modo cinemático el tiempo invertido en gabinete para la realización de los cálculos a post-proceso es mucho mayor que en el caso del RTK.

Se llega a la conclusión que los trabajos topográficos pueden llevarse a cabo tanto por topografía clásica como por técnicas GPS aunque se debería estudiar cada caso particular por separado.

En el ejemplo del “*Abocador de Bufalvent*” se ha observado que los resultados obtenidos por ambos métodos son aceptables. Esto es debido a que el tamaño del vertedero ha permitido la colocación de bases en terreno fuera del movimiento de asentamiento para trabajar mediante topografía clásica. Con lo cual, tanto los resultados como el tiempo invertido para la realización de las observaciones han sido muy similares.

También se debe decir que el proceso de obtención de los resultados en gabinete resulta mucho menor mediante topografía clásica y GPS en modo RTK, de hecho en ambos casos las observaciones pueden ser consultadas in situ, mientras que el posicionamiento cinemático de GPS requiere el cálculo de las coordenadas en post proceso.

En cambio, si este estudio hubiera sido realizado en un vertedero de mayor tamaño se hubiera comprobado que la dificultad para encontrar zonas fuera de dicho movimiento provocaría un aumento considerable en el tiempo necesario para la realización de las

tomas de datos mediante topografía clásica y en consecuencia en el coste económico de dichos trabajos topográficos.

Esto es debido a que para cada toma de datos trimestral se deberían realizar diversos itinerarios topográficos para poder observar los puntos de asentamiento, mientras que utilizando técnicas GPS se podrían observar todos los puntos de asentamiento mediante una sola estación, transformando trabajos que podrían realizarse en una jornada laboral en varios días de trabajo, elevando demasiado el coste económico de este tipo de estudio.

De hecho se puede aplicar la preferencia por el uso de GPS en modo RTK en la mayoría de los trabajos de campo que se acostumbran a realizar en vertederos; levantamientos topográficos para actualizaciones cartográficas, inventario de pozos de lixiviados, toma de puntos de clausura, etc. a excepción de trabajos puntuales de replanteos que requieran precisiones mayores, ya sea el caso de replanteo de nuevas estructuras, edificios, naves, accesos asfaltado, en cuyo caso se deberá recurrir a la utilización de topografía clásica.

7. Bibliografía

Domínguez García-Tejero, F. 1989. *Topografía general y aplicada*. Madrid. Editorial Dossat.

Ojeda Ruiz, J.L. 1984. *Métodos topográficos y oficina técnica*. Madrid. El autor..

De Corral Manuel de Villena I. 1996. *Topografía de obras*. Barcelona. Ediciones UPC.

Sowers, G.F. 1997. *Settlement of waste disposal fills*. Moscú. Proc. 8th Int. Conf. on soil mechanics and foundation engineering.

Kamon, M. 1997. *Geotechnical properties of waste landfill*. Geo- environment Engineering. Londres, Ed. Thomas Telford.

Páginas Web consultadas:

Agencia de Residus de Catalunya <http://www.arc-cat.net/>

Consorti del Bages per a la Gestió de Residus <http://www.consorcidelbages.org>

Institut Cartogràfic Català <http://www.icc.cat/portal/>

Documentos de legislación <http://www.belt.es>