

UTILIZACIÓN DE MATERIALES PROCEDENTES DE RELLENOS ANTRÓPICOS INORGÁNICOS

D. José Manuel Castellanos Bautista

Ingeniero de C., C. y P.

Director de Obra

Dirección General de Carreteras Comunidad de Madrid

D. Francisco Javier Castanedo Navarro

Ingeniero de C., C. y P.

EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A.

D. Alejandro Soler Crespo

Ingeniero de C., C. y P.

Jefe de Obra

CORSAN CORVIAM CONSTRUCCIÓN, S.A.

D. Luis de la Torre Abietar

Ingeniero de C., C. y P.

Departamento Asistencia Técnica a Obra y Proyectos

CORSAN CORVIAM CONSTRUCCIÓN, S.A.

1. INTRODUCCIÓN

Las grandes infraestructuras exigen cada vez mayores volúmenes de tierras para su construcción. Esta circunstancia da lugar a que las afecciones medioambientales por necesidades de préstamos y vertederos sean cada vez mayores.

En este sentido la Unión Europea viene estableciendo desde 1991, año en el que nació la Estrategia Comunitaria de Gestión de Residuos, una serie de directivas destinadas a minimizar la afección medioambiental y sanitaria de los residuos, regular su gestión y vertido, fomentar su reciclado y crear un mercado para los materiales que sean susceptibles de un aprovechamiento posterior.

Con el fin de adaptarse a estos nuevos condicionantes ambientales y necesidades de reciclaje se aprueba el 17 de febrero de 2000 la Orden Circular 362/00 por la que se actualizan entre otros los artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3) referentes a la parte 3 Explanaciones. Dicha orden se vio refrendada por la aprobación, el 16 de mayo de 2002 de la ORDEN MFOM/1382/2002 publicada en el B.O.E. el 11 de junio del mismo año y cuyo contenido es prácticamente el mismo que el de la citada O.C. 326/00. En concreto sufren modificaciones importantes los capítulos referidos a Terraplenes y Pedraplenes. Estas modificaciones no sólo se limitan a aprobar la utilización de nuevos materiales que bajo la normativa anterior serían desechados, sino que además dan indicaciones exhaustivas sobre cuál debe ser su empleo, zonificación, condiciones de puesta en obra y control de calidad. En concreto, este nuevo PG-3 define una nueva categoría de materiales, llamados marginales, intermedia entre los tolerables y los inadecuados.

Dentro de este grupo de nuevos materiales, que pueden aprovecharse bajo determinadas condiciones y siempre con un estudio especial, se encontrarían los vertidos de inertes de

origen antrópico, mezcla de diversos materiales y con contenidos a veces importantes de elementos extraños de desecho como maderas, chatarra, plásticos, aceites usados, etc. Estos materiales no presentan problemas graves de utilización salvo por la gran heterogeneidad de su granulometría y por el hecho de que su origen desconocido debe dar lugar a clasificarlos como potencialmente colapsables por la presencia de elementos orgánicos y/o degradables.

En esta Comunicación se pretende mostrar la experiencia con este tipo de materiales procedentes de un vertedero incontrolado de inertes que se han utilizado como núcleo de terraplén en un tramo de las obras de la Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe) promovida por la Dirección General de Carreteras de la Comunidad Autónoma de Madrid cuyas obras están siendo ejecutadas por CORSAN-CORVIAM (GRUPO ISOLUX CORSAN).

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El tramo de carretera proyectado está situado en el límite sureste del área metropolitana de Madrid, discurriendo entre los términos municipales de Madrid y Getafe.

La actual M-301 presenta un trazado con una sola calzada con arcenes a ambos lados. Teniendo adosado en su margen derecha un carril ciclista. Dicha vía es de capacidad insuficiente para el tráfico que soporta hoy en día y para el que está previsto en un futuro. Por este motivo se ha previsto la ejecución de una nueva carretera con doble calzada de 10 m de ancho separadas entre sí por una mediana de 3 metros.

En los primeros 900 metros discurre al sur de la actual, desde el by pass de la A-4 con la actual M-301; cruza sobre la M-45 y continúa en variante con la misma disposición rodeando el núcleo urbano de Perales del Río con una amplia curva para enlazar finalmente con la M-50, después de cruzar sobre las vías del AVE Madrid Sevilla.

El área de actuaciones está situada en la parte NO de la Cuenca Meso Terciaria del Tajo, localizada sobre el sistema de terrazas del río Manzanares, presentando una topografía suave. La zona ha sido fuertemente antropizada, con un paisaje natural muy alterado.

Los materiales que afectan al trazado son mayoritariamente de edad terciaria y cuaternaria. Dentro de los de edad terciaria se han definido tres unidades: Yesos masivos con intercalaciones de arcillas, arcillas limosas grises y arcillas verdes con yeso. Dentro de la edad cuaternaria se han definido las unidades de rellenos antrópicos, terrazas de arenas y limos, aluvial de limos y arcillas arenosas y aluvial indiferenciado.

No obstante, la afección geotécnica más importante al trazado es un vertedero incontrolado de inerte (vertedero de San Martín de Valdeiglesias) situado entre la M-45 y el trazado actual de la M-301, estando limitado al sur por el arroyo de la Abulera. Este relleno es atravesado por el nuevo trazado entre los pp.kk. 1+300 y 1+800 y cuenta con una potencia estimada de 15 m.

El vertedero está formado por una mezcla de materiales de construcción, hierros y plásticos envueltos en una matriz areno arcillosa. A pesar de su antigüedad (la datación por fotografía aérea determina que ya existían vertidos en la zona antes de 1.972) el grado de consolidación es bastante bajo lo que puede hacer temer por la existencia de asientos a largo plazo importantes. Asimismo, la presencia no cuantificada de materiales metálicos,

maderas, etc, puede ser causa de asentos incontrolados a largo plazo. Es por estos motivos que en el Proyecto Constructivo se decide como mejor opción la completa retirada del vertedero y sustitución por material de préstamo.

La sección tipo planteada en este proyecto consiste, por tanto, en la ejecución de un desmante en todo el trazado afectado por el vertedero, en toda la profundidad del mismo, seguido de un relleno hasta alcanzar la cota definitiva de la rasante proyectada. Los taludes previstos para la excavación en el antrópico son 2H:1V pero pueden variar en función de las inestabilidades locales provocadas por la mayor presencia de huecos macroscópicos o materiales colapsables que pueden presentarse.

El cimiento de los rellenos estaría formado por los limos y arcillas arenosas que aparecen inmediatamente por debajo del vertedero y que tienen capacidad portante suficiente como terreno de cimentación.

En la figura nº 1 se recoge la sección tipo planteada en el proyecto. En la siguiente figura se incluye un perfil longitudinal de la carretera en la zona atravesada por el vertedero y los perfiles transversales propuestos.

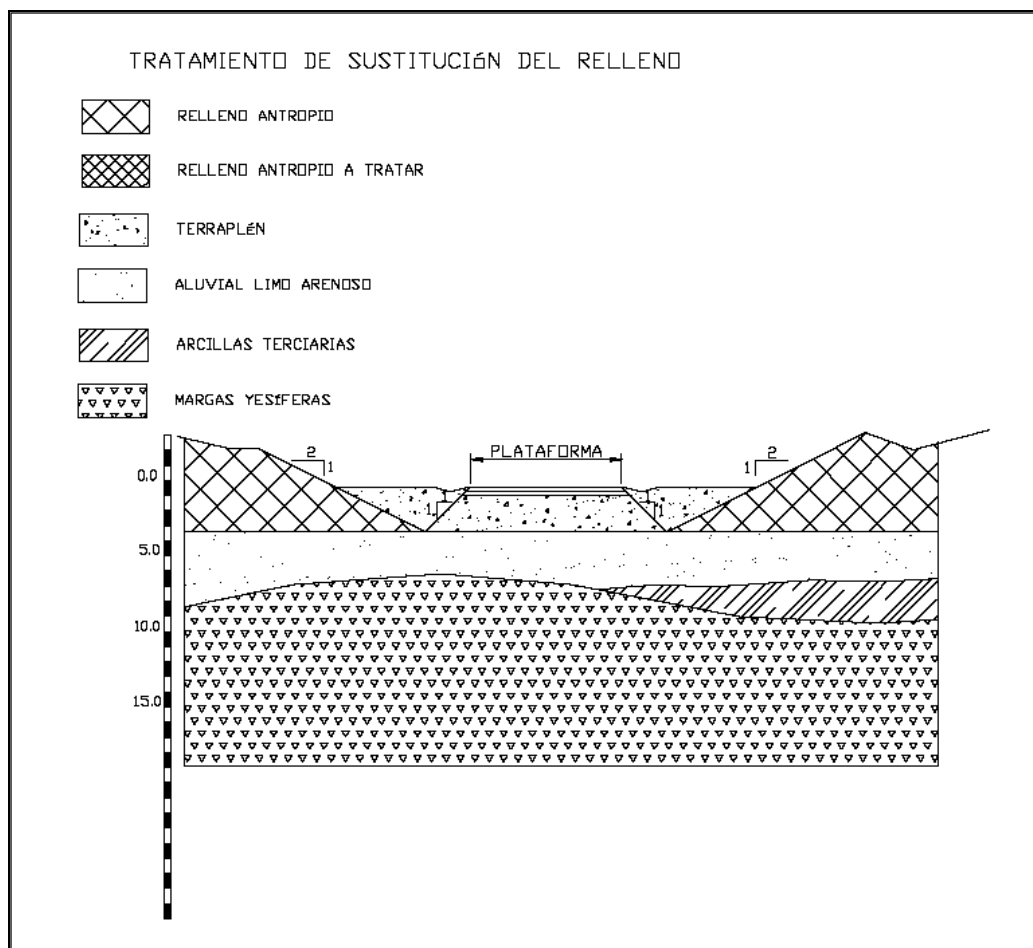


figura 1: Tratamiento de sustitución del relleno en “falso terraplén” propuesto en el Proyecto de Construcción

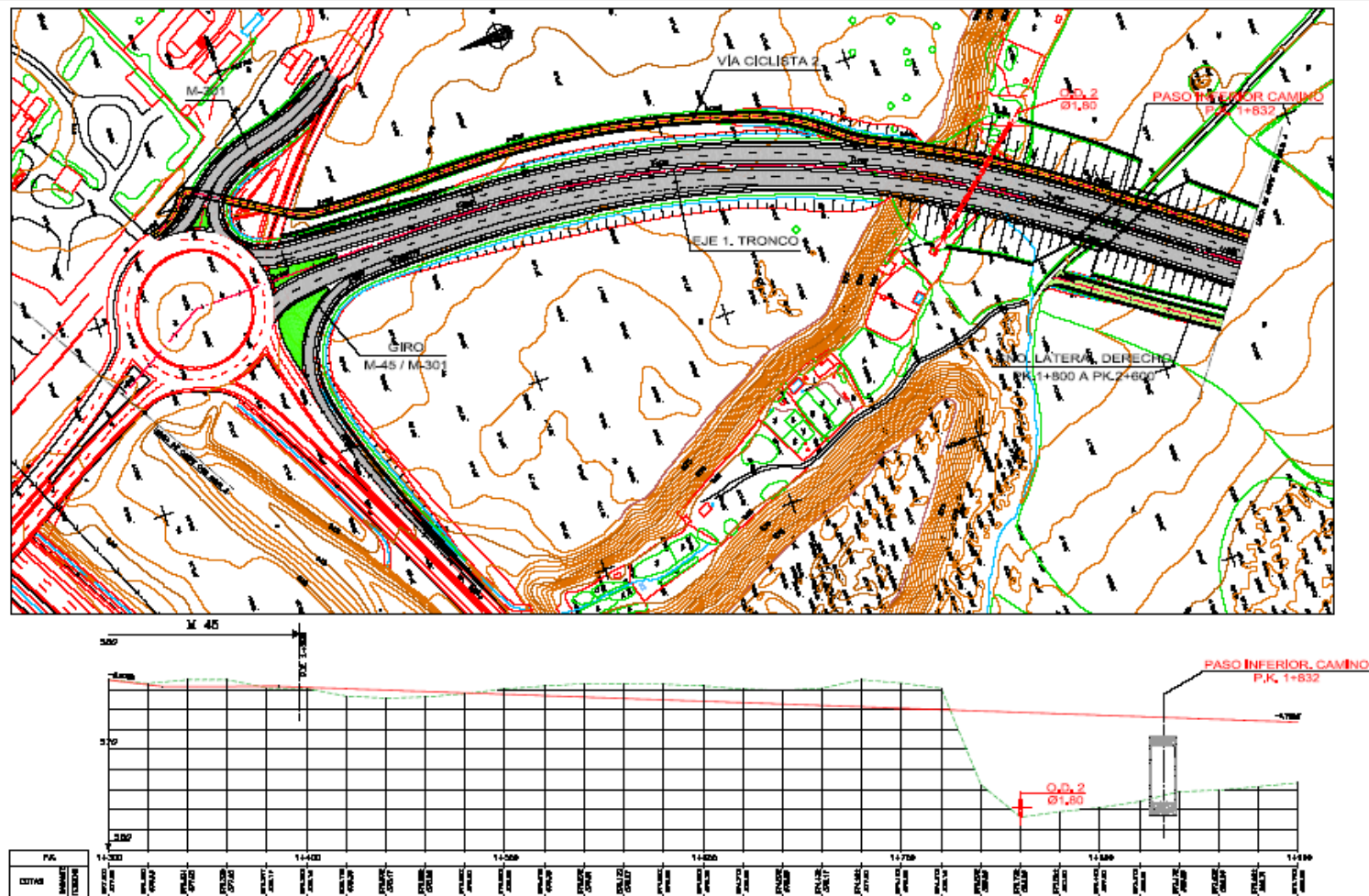


figura 2: Planta y perfil longitudinal de la carretera en la zona del vertedero de San Martín de Valdeiglesias (P.K. 1+300 a 1+800) (fuente Proyecto de Construcción SAETEC)



figura 3: Vista general del vertedero de San Martín de Valdeiglesias antes del comienzo de las obras

Esta sección presenta el claro inconveniente de enviar un gran volumen de material de excavación vertedero y requerir que todo el material necesario para ejecutar los terraplenes sea de préstamo. Por tanto, una vez adjudicada la obra, y siguiendo las experiencias similares con este mismo vertedero en la ejecución de la M-45, se optó por la búsqueda de una solución alternativa que pasase por el aprovechamiento de los materiales de desecho mediante un tratamiento específico.

3. CARACTERIZACIÓN DEL VERTEDERO

Para la caracterización geotécnica del vertedero en el Proyecto de Construcción se realizó un sondeo de 26 m de profundidad localizado sobre la traza en el P.K. 1+720 así como un penetrómetro dinámico sobre el P.K. 1+545 que alcanzó rechazo a 14,20 de profundidad. Estas prospecciones se acompañaron de una calicata mecánica situada sobre el P.K. 1+480.



figura 5: Vista del montón de una de las catas realizadas en la campaña geotécnica complementaria con mayor porcentaje de cascotes

Para una caracterización más profunda de la zona, en la fase de construcción, se realizó una campaña geotécnica complementaria bajo la dirección de D. Francisco Javier Castanedo, cuyo fin fundamental era determinar las características geotécnicas de los materiales del vertedero en aras de un posible aprovechamiento posterior. La campaña geotécnica realizada por EPSA comprendió dos sondeos mecánicos con un total de 44,65 m de perforación y nueve calicatas destinadas a determinar la naturaleza de los rellenos, su porcentaje de cascotes y a determinar cuál es la magnitud y el tipo de otros elementos contaminantes (maderas, hierros, colchones, plásticos, aceites, etc.)

Los sondeos se intercalaron con el realizado en fase de proyecto para tener aproximadamente uno por cada 100 m de trazado sobre el vertedero. Las nueve calicatas se ejecutaron con intervalos de 40 m de separación aproximadamente.

En el ámbito de esta campaña geotécnica complementaria se realizaron los siguientes tipo de ensayos: Granulometría, Límites de Atterberg, Humedad natural, Densidad seca, Contenidos en materia orgánica, sulfatos y sales solubles y Próctor Modificado.

Para una interpretación adecuada de los resultados de los ensayos fue necesario realizar una corrección de la granulometría para tener en consideración el volumen de gruesos y cascotes que acompañan a la matriz arenosa o arcillosa, que es la fracción realmente ensayada en el laboratorio.

Para la corrección granulométrica se estimaron los porcentajes de gruesos a partir de fotografías de las calicatas, en las cuales se cuenta a escala, para poder saber el tamaño real de los cascotes.

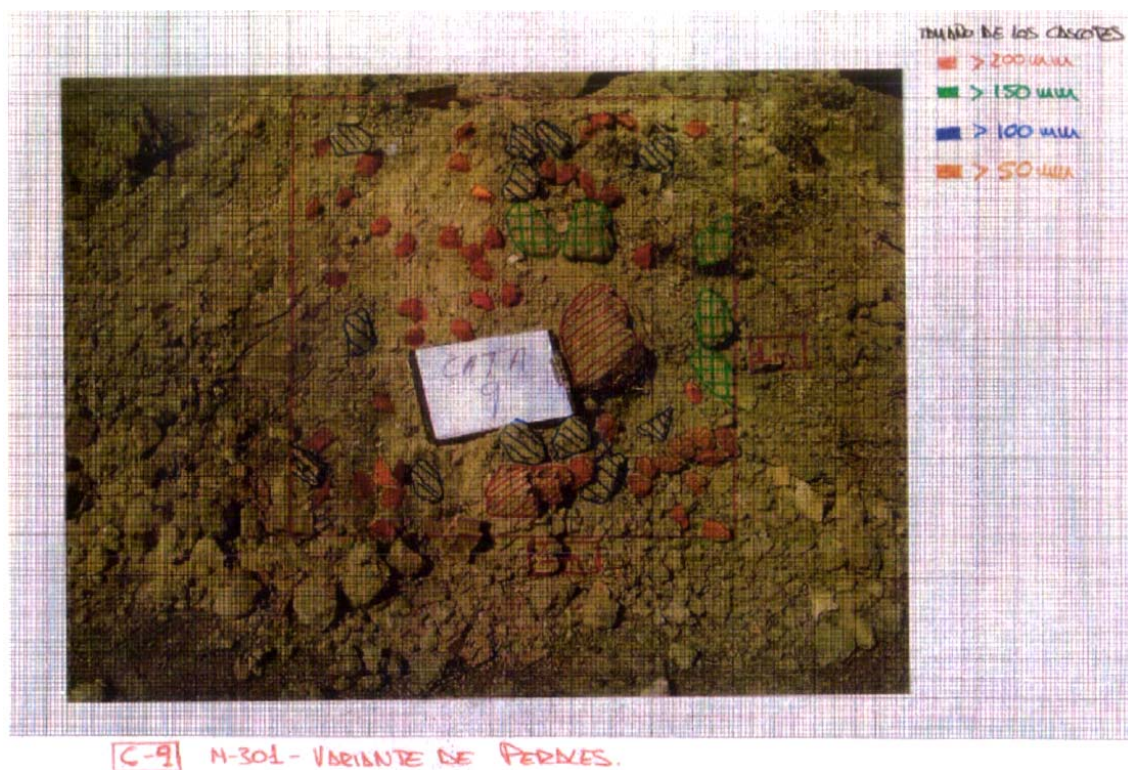


figura 4: Corrección granulométrica realizada a partir de fotografías en catas (fuente EPSA)

Para ello se hace una fotografía tamaño DIN A4 del montón de la calicata en la que es posible medir a escala el tamaño de los gruesos. Se procede, en primer lugar, a una diferenciación de los mismos, aplicando distintos colores en función de su diámetro equivalente (de acuerdo con los tamaños de tamices UNE, de 200, 150, 100 y 50 mm). Una vez separados por colores se puede efectuar un conteo de los mismos, con lo que es inmediato calcular la curva granulométrica de la fracción gruesa.

En base a la campaña de ensayos realizada se ha llegado a la siguiente columna estratigráfica:

- 0 a 12 m Rellenos Antrópicos (Q_{ant})
- 12 a 16 m Depósitos de Terraza (Q_t)
- >16 m Arcillas negras con yesos (M_{ly})

3.1. DATACIÓN

Con el fin de ahondar más en el origen de los vertidos y definir exactamente la potencia de los rellenos se utilizó el estudio fotohistórico realizado por EPSA para la reutilización de este vertedero en las obras de la M-45.

En este estudio se compararon los pares estereoscópicos de los vuelos de los años 1972, 1985, 1988 y 1991. A partir de la fotografía aérea más antigua se efectuó una restitución cartográfica con equidistancias cada 2 m

No obstante, debido a que gran parte del vertedero afectada por las obras de la M-301 ya existía en 1.972, con la cartografía histórica no pudo detectarse el espesor de los rellenos.

3.2. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

Los materiales estudiados han sido los siguientes:

3.2.1. Rellenos antrópicos

Debido a la antigüedad de los rellenos, su origen resulta muy heterogéneo por lo que se han podido diferenciar diversos niveles entre ellos. En general todos ellos presentan una matriz arenosa o arcillosa y pueden distinguirse en función del porcentaje de cascotes reconocidos en las prospecciones efectuadas.

La clasificación realizada ha sido la siguiente:

- Q_{ANT1} : Rellenos antrópicos con matriz arenosa y con porcentaje de cascotes y restos de obra comprendido entre el 40 y el 60%.
- Q_{ANT2} : Rellenos antrópicos con matriz arenosa y con porcentaje de cascotes y restos de obra comprendido entre el 10 y el 40%.
- Q_{ANT3} : Rellenos antrópicos con matriz arenosa y con porcentaje de cascotes y restos de obra del 20% aproximadamente

En la figura siguiente se incluyen los husos granulométricos obtenidos para todas las muestras obtenidas. Esta granulometría incluye los porcentajes de gruesos determinados por el procedimiento descrito anteriormente, por lo que puede considerarse completa.

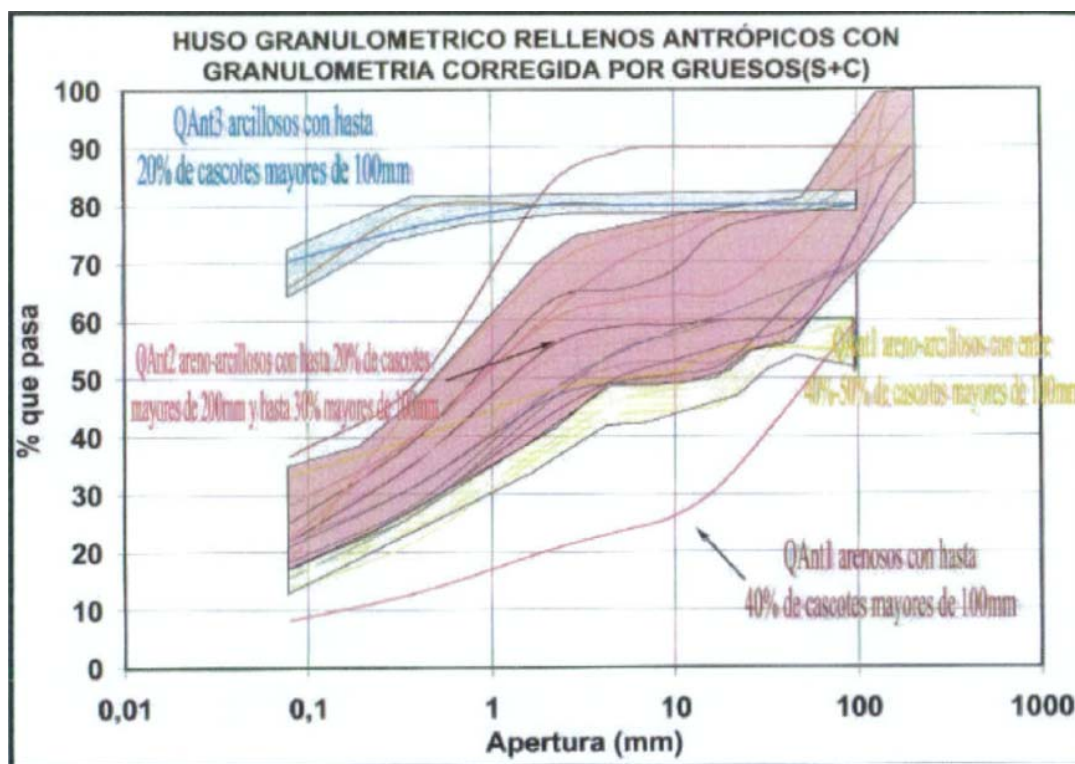


figura 6: Granulometría completa obtenida de sondeos y catas

En la tabla siguiente se incluyen las características generales de los rellenos diferenciados

		Q _{ANT1}	Q _{ANT2}	Q _{ANT3}
% que pasa	# 200	93	85-100	
	# 100	60-78	55-90	80
	# 2	20,16-45,6	4-83	80
	# 0,08	8,28-16,2	17-36,6	66-70,48
LL		30,4-38,6	23,2-55,2	32,6-35,7
IP		13,3-20	10,3-35,4	16,7-21,5
MO (%)		0,114-0,93	NC-0,545	0
SO ₃ (%)		1,97-3,10	0,077-2,49	0,0016-0,218
Yeso (%)		4,25-6,6	0,165-5,35	0,033-0,46
SS (%)		1,52-1,66	0,39-2,58	0,467
Próctor Modificado	γ_{max} (g/cm ³)	1,56	1,67-1,85	-
	W _{opt} (%)	19,65	13,36-20,24	-

tabla 1: Intervalos de variación de la caracterización geotécnica de los rellenos diferenciados



figura 7. Vista de una cata donde el material es predominantemente arenoso con menor presencia cascotes grandes

Como puede comprobarse, las características de estos rellenos los hacen asimilables a un suelo tolerable-adequado, siempre que se realice la limpieza de cascotes y otros elementos gruesos y que el material no presente restos orgánicos (maderas, aceites, etc.).

Hay que indicar que el contenido de materia orgánica afectado por el trazado de la M-301 se mantiene de forma general por debajo del 1%, sin que se observen manchas de contaminación por aceites, que sí son visibles en otras partes del vertedero.

3.2.2. Depósitos de terraza (Q_t)

Aparecen asociadas a la antigua red fluvial (hoy cubierta por el vertedero). Se trata de arenas limosas bien graduadas y de baja o nula plasticidad.

3.2.3. Arcillas negras con yesos (T_{ly})

Bajo la unidad anterior aparecen unas arcillas de tonos negros – azulados, con presencia esporádica de yesos.

En general se trata de un estrato de consistencia dura a muy dura con valores de N_{SPT} comprendidos entre 30 y rechazo, si bien en el contacto con los yesos pueden encontrarse algo reblandecidas.

Las propiedades medias de estos materiales se incluyen en la tabla nº 2:

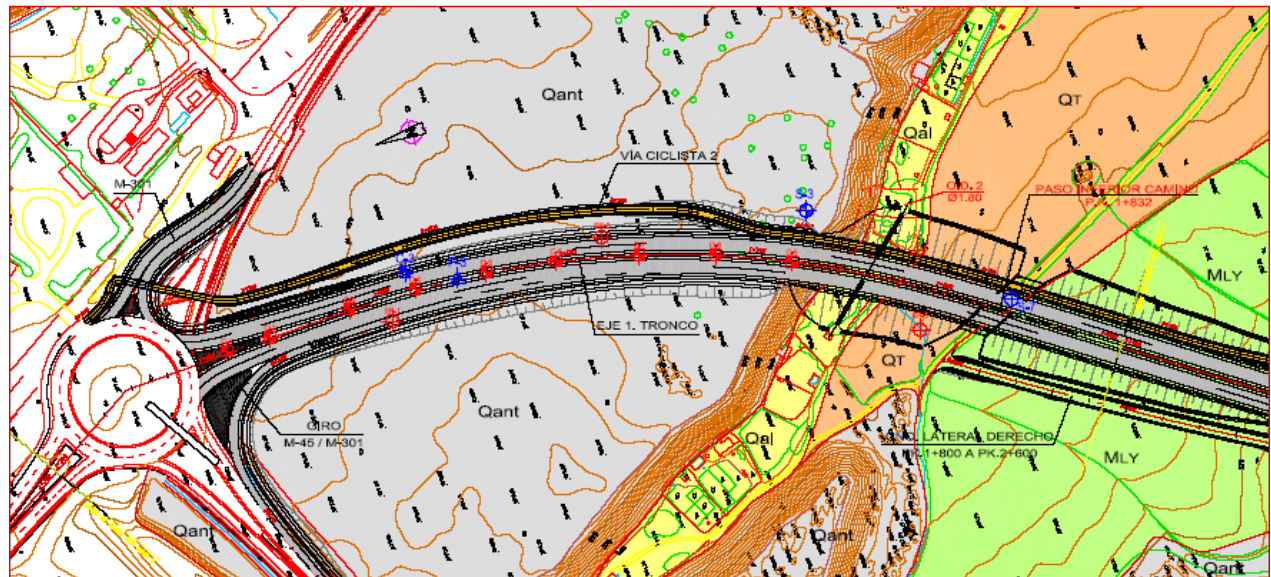
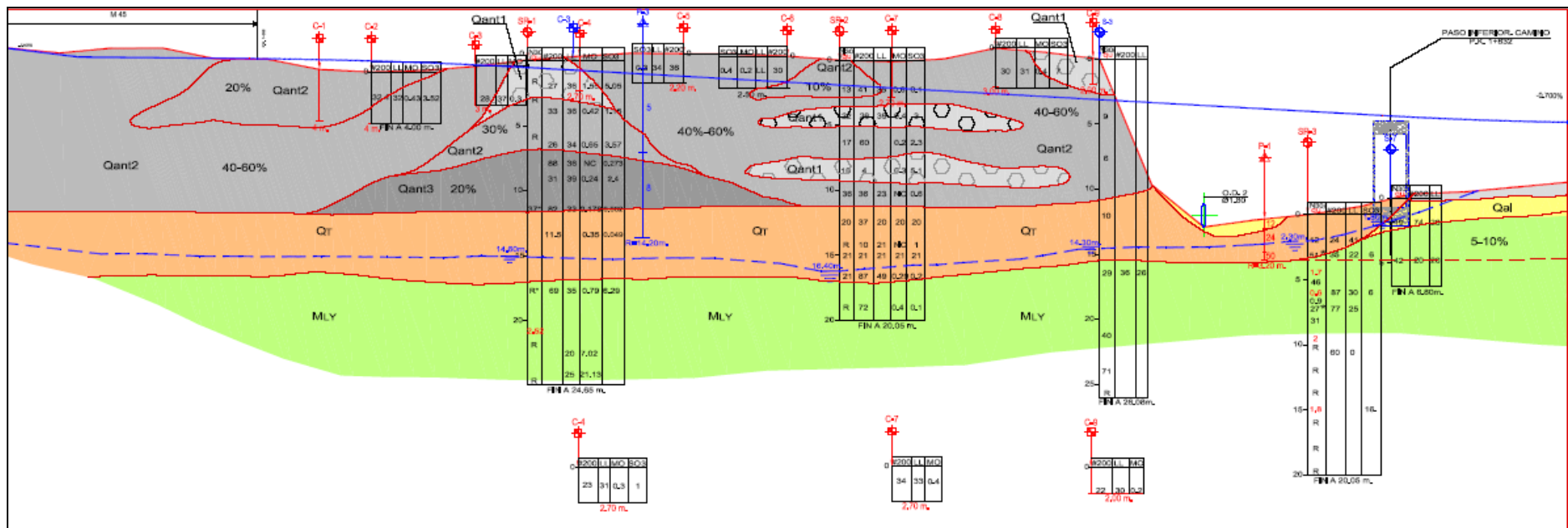


figura 8: Planta y perfil geotécnico de la zona afectada por el vertedero

% que pasa por tamiz 0,08 UNE	40,1-87,3
Límite líquido	16,6-78,3
Índice de plasticidad	2,7-79,4

tabla 2 Características generales de las arcillas negras con yesos

En lo que se refiere a componentes secundarios:

- Contenido de sulfatos SO_3^{-2} : 0,019-21,13%
- Contenido en materia orgánica: 0,11-1,1%

Los valores de CBR obtenidos para estos materiales oscilan entre 1,74 y 11,3

En la figura 8 se incluye el perfil geotécnico definitivo de la zona del vertedero.

4. SECCIONES TIPO EJECUTADAS

De acuerdo con la literatura técnica existente respecto al comportamiento de los vertederos, debe destacarse que el asiento previsible es más bien debido a fenómenos de colapso de estructuras flojas que a asientos de consolidación. Estos fenómenos se ven agravados durante los períodos de saturación por lluvias. Por tanto, no es posible asegurar que el hecho de retirar la sobrecarga de tierras de la trinchera de desmonte sea motivo para justificar que la explanada resultante está suficientemente compactada y sobre todo que no sufrirá asientos a lo largo del tiempo. Asimismo, hay que contar con que al poner en contacto el fondo de la excavación con los fenómenos atmosféricos, estos materiales pueden verse sometidos a reblandecimientos y asientos a causa del aumento de la humedad.

Por tanto en el caso de que el espesor de vertidos bajo el fondo de la explanada sea muy importante, debe recurrirse a un tratamiento del cimiento, que puede ser de dos tipos:

- Retirada total del material de vertedero y recolocación de material compactado.
- Compactación dinámica de la base de la excavación antes de recolocar el material, con un espesor adecuado de capas de refuerzo, de acuerdo con secciones de terraplén diseñadas específicamente para aprovechamiento del material de vertedero y que se detallan a continuación.

Por motivos de economía y rapidez de ejecución se ha optado por la opción de la compactación dinámica. Con la compactación dinámica se ha garantizado que el asiento provocado durante el proceso de compactación sea igual o superior al asiento esperable a largo plazo en el vertedero.

Esta medida ha venido acompañada con una ligera depresión de la rasante con lo que se ha conseguido optimizar al máximo el movimiento de tierras, reduciendo la excavación necesaria y garantizando que bajo el cimiento del falso terraplén no habrá rellenos antrópicos sin compactar.

La solución elegida para los espesores de refuerzo en las secciones de terraplén con aprovechamiento de material de vertedero ha sido la misma que se utilizó en el tramo de la M-45 que va desde el río Manzanares hasta la N-IV, un sandwich formado por:

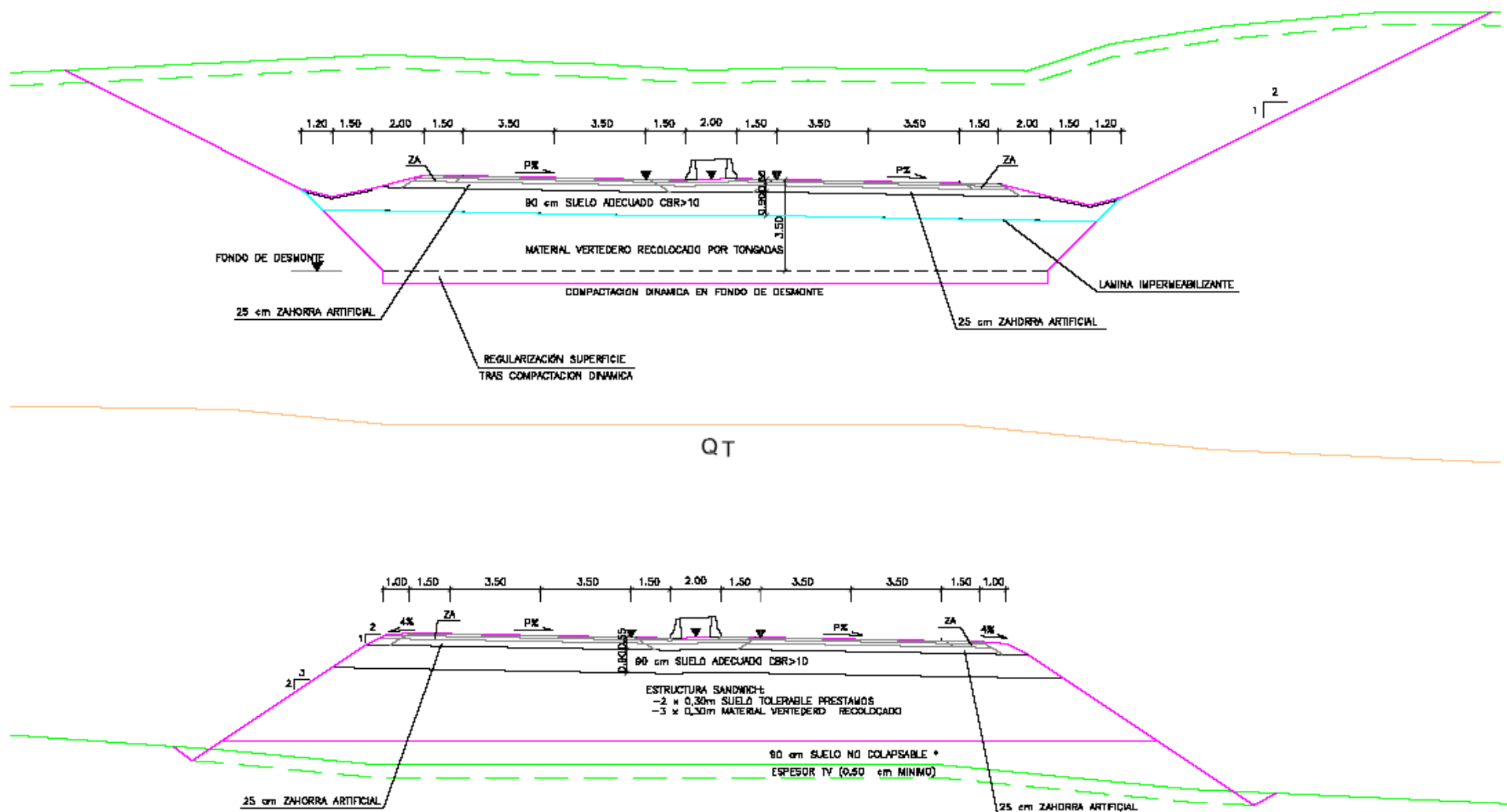


figura 9: Sección tipo de desmonte en vertedero y terraplén de más de 5,50 m de altura con estructura tipo sandwich y material recolocado del vertedero



figura 10: Vista general de la ejecución de la excavación del desmonte en el vertedero y comienzo de los trabajos de compactación dinámica

- Cimiento de material de préstamo.
- Cuerpo de terraplén constituido por una estructura tipo sandwich con tres tongadas de 30 cm de material procedente del vertedero alternando con 2 tongadas de 30 cm de espesor de material de préstamo.
- Coronación con material de préstamo.

A los suelos procedentes de préstamo se les ha exigido la condición de ser tolerables o adecuados con un $CBR > 5$.

5. PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN OBRA DEL MATERIAL DEL VERTEDERO

El procedimiento de puesta en obra de los materiales extraídos del vertedero ha sido similar al utilizado en la M-45. Se ha realizado una retirada de gruesos con la misma maquinaria de extendido ya que, debido al escaso volumen de terreno a reutilizar (unos 30.000 m³), no ha sido necesario utilizar una criba móvil de ángulo fijo como se hizo en la M-45. Se han retirado únicamente aquellos elementos gruesos con un diámetro equivalente superior a los 2/3 del espesor de la tongada (20 cm), ya que los cascotes o restos de demoliciones de menor tamaño embebidos en el cuerpo del relleno no representan mayor problema ni supondrán una merma de las condiciones resistentes del suelo.

La presencia de plásticos, bolsas y otros restos antrópicos diversos ha sido muy escasa por lo que ha bastado con hacer una retirada manual durante el extendido del material. Hay que aclarar que la presencia de estos elementos no alteraría las características resistentes y deformaciones del relleno ejecutado, no obstante, se ha procedido a su retirada por el mal aspecto general que darían al cuerpo del terraplén así ejecutado.

Como ya se ha indicado al hablar de los materiales, la presencia de materia orgánica ha sido escasa (en todo caso inferior al 1%) por lo que no ha sido necesario tomar especiales precauciones con respecto a este asunto.

En cuanto a las humedades y densidades de colocación hay que indicar que los resultados de los ensayos Próctor realizados en las muestras de material de vertedero indican un gran rango de variación de densidades y humedades de colocación

		Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio
Próctor Modificado	$\gamma_{\max}$ (g/cm ³)	1,56	1,85	1,76
	W_{opt} (%)	11,61	20,24	15,38

tabla 3: Valores de ensayo Próctor Modificado de las muestras ensayadas en materiales de vertedero

Sin embargo, tal y como se deduce de la experiencia de la M-45 un vertido suficientemente envejecido tiende espontáneamente a alcanzar una humedad del orden de 1 ó 2 puntos por debajo de la óptima. Así en las muestras inalteradas extraídas de sondeos, se han detectado humedades naturales del orden de 9% en vertidos granulares y del orden de 21% en vertido más finos.

Por tanto, para la puesta en obra de estos materiales solamente hubo que realizar una ligera corrección de la humedad, entre 1 y 2 puntos por encima de la que tenían en estado natural,

destinadas a compensar las posibles pérdidas de humedad por evaporación. La corrección se materializó mediante 2 pasadas de cuba durante el extendido antes de la compactación.

El procedimiento de puesta en obra finalmente seguido fue el siguiente:

- Extendido del material si compactar con bulldozer, en tongadas de 35 cm.
- Eliminación a los derrames laterales de elementos mayores de 20 cm, junto con otros elementos extraños (maderas, hierros y plásticos).
- 1 ó 2 pasadas de cuba dependiendo de la humedad inicial.
- 1 pasada de rodillo vibrante.
- Medida de densidad.
- 5 pasadas de rodillo con carga estática igual o mayor que 20 t.
- Comprobación de densidades y espesores.

Con este procedimiento se han obtenido un resultado final positivo, sin que hayan surgido problemas de asientos excesivos o blandones durante la obra.

6. TRATAMIENTOS DEL CIMIENTO (COMPACTACIÓN DINÁMICA)

Como se ha indicado, para garantizar una adecuada compactación de la base de excavación en desmonte sobre la que iba a disponerse el falso terraplén, fue necesario someter a los vertidos existentes a un proceso de compactación dinámica.

Como es bien sabido, la compactación dinámica consiste en la densificación del material mediante el impacto sucesivo de un maza que se deja caer a altura suficiente.

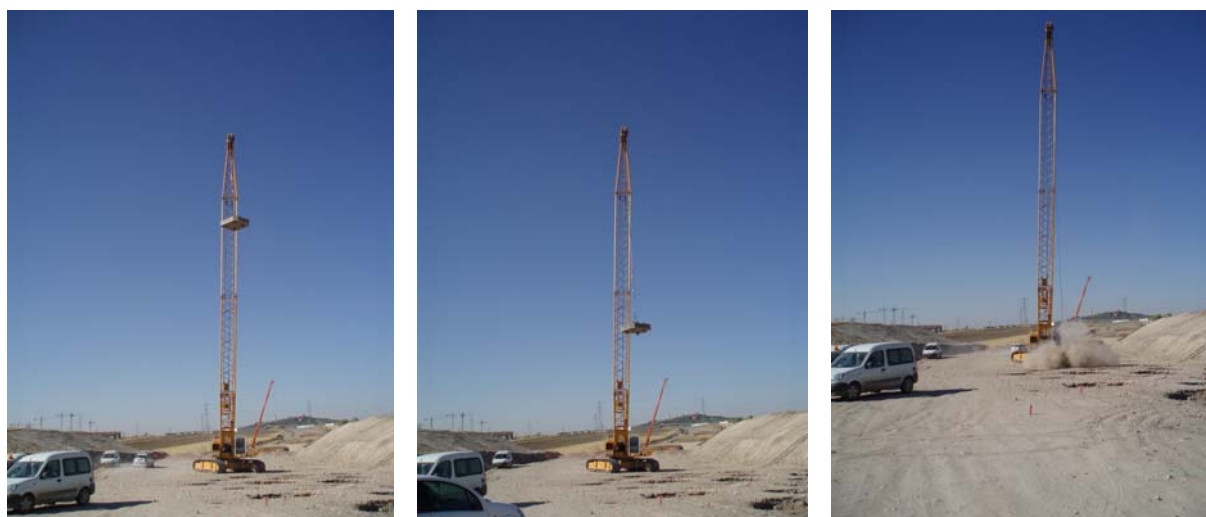


figura 11: Procedimiento de ejecución de la compactación dinámica

La densificación lograda en el terreno depende por tanto de la intensidad con que se produzca esta compactación, esto es, del peso de la maza, de la altura de caída, del número de golpes por punto de la malla y la densidad de la malla. A partir de estos parámetros combinados con el tipo de terreno se determinará la profundidad a la que el tratamiento es efectivo.

Para determinar estos parámetros básicos del proceso se realizó un tramo de pruebas sobre el vertedero. Los condicionantes de estas pruebas fueron los siguientes:

- Maza de 15 t: Se trata de una maza cuadrada con esquinas achatadas de 2,5 m de lado teórico, cuya huella puede asimilarse a un círculo de igual diámetro.
- Compactación en dos fases según una malla cuadrada con golpes en los vértices y centro en la primera fase y centros de los lados en la segunda. La energía aplicada en la segunda fase deberá ser del orden del 60 al 80% de la primera fase para evitar romper los bulbos de compactación de la primera fase.

El procedimiento de regulación de la superficie seguido en la fase de la obra fue el de excavación de la parte superior de la plataforma de trabajo y relleno de la base de los cráteres con el mismo material, aunque en fase de pruebas no se realizó el decapado superficial por motivos de agilidad.

Se ejecutaron tres tramos de prueba con mallas de 8, 6 y 4 m de lado. Las energías de golpeo utilizadas en todos los casos fueron:

- 8 golpes con 20 m de altura en primera fase
- 6 golpes con 15 m de altura en segunda fase.

Los resultados obtenidos en los tramos de prueba en cuanto a descensos y porcentajes de asientos fueron los siguientes:

Malla	Descenso medio por cráter (cm)		Asiento medio total en el terreno tratado (cm)	% de asiento
	1ª fase	2ª fase		
8x8	85	70	23	1,53
6x6	85	60	40	2,66
4x4	100	55	95	6,33

tabla 3 Resultados del tramo de pruebas de compactación dinámica

Para vertederos con poca materia orgánica como este, la experiencia ha determinado que los porcentajes de asiento en función de la altura no serán superiores al 2%, por tanto, considerando que en el peor de los casos la altura de material flojo bajo la excavación puede ser de 15m, el asiento que deberá garantizarse en la compactación dinámica será de 30 cm. Por este motivo se optó por una malla de 6x6 m para la compactación. Al ser el cráter medio previsible de 85 cm se diseñó un rebaje de la plataforma de trabajo entre la primera y la segunda fase de 80 cm.

La superficie finalmente tratada fue de 10.000 m². Los resultados de las compactaciones dinámicas realizadas en la primera fase de obra oscilaron entre 0,80 y 1,20 m por cráter con un valor predominante entre 0,90 y 1 m, por lo tanto se mantuvieron dentro de las previsiones realizadas a partir de los tramos de prueba (descenso medio de 85 cm). Estos descensos debidos al tratamiento suponen un asiento medio en primera fase de más de 25 cm.

En la segunda fase se produjeron descensos muy homogéneos entre 50 y 70 cm (con algunas zonas puntuales menores de 50 cm por la presencia de un mayor porcentaje de gruesos). No obstante, el hecho de haber una mayor homogeneidad en los descensos

indican la regularización con respecto a la compacidad que ha supuesto la primera fase, confirmando la idoneidad del diseño del tratamiento realizado. El descenso medio supuso unos 60 cm lo que implica un asiento de uno 16 cm. Esto implica unos asientos superiores a los 40 cm en toda la zona tratada que es el objetivo que se trataba de cubrir.

En las páginas siguientes se incluyen los planos de distribución de descensos de los cráteres en la primera y segunda fase.

Como suele ser habitual en este tipo de tratamientos, se han realizado ensayos de penetración dinámica antes y después de la compactación con el objetivo de poder estimar el grado medio de incremento de compactación del relleno tratado.

De estos ensayos se ha deducido que la profundidad efectiva de terreno tratado ha llegado hasta los 5 – 6 m, que los valores medios de golpes después del tratamiento se han incrementado entre 7 y 12 y que todos los valores mínimos ha estado por encima de 8. Siguiendo el criterio habitual de realizar la sustitución del terreno para valores de golpeo por debajo de 8, después de la compactación dinámica ya no es necesario ningún tratamiento adicional de mejora o sustitución.



figura 12. Vista de algunos de los cráteres dejados tras la primera fase del tratamiento

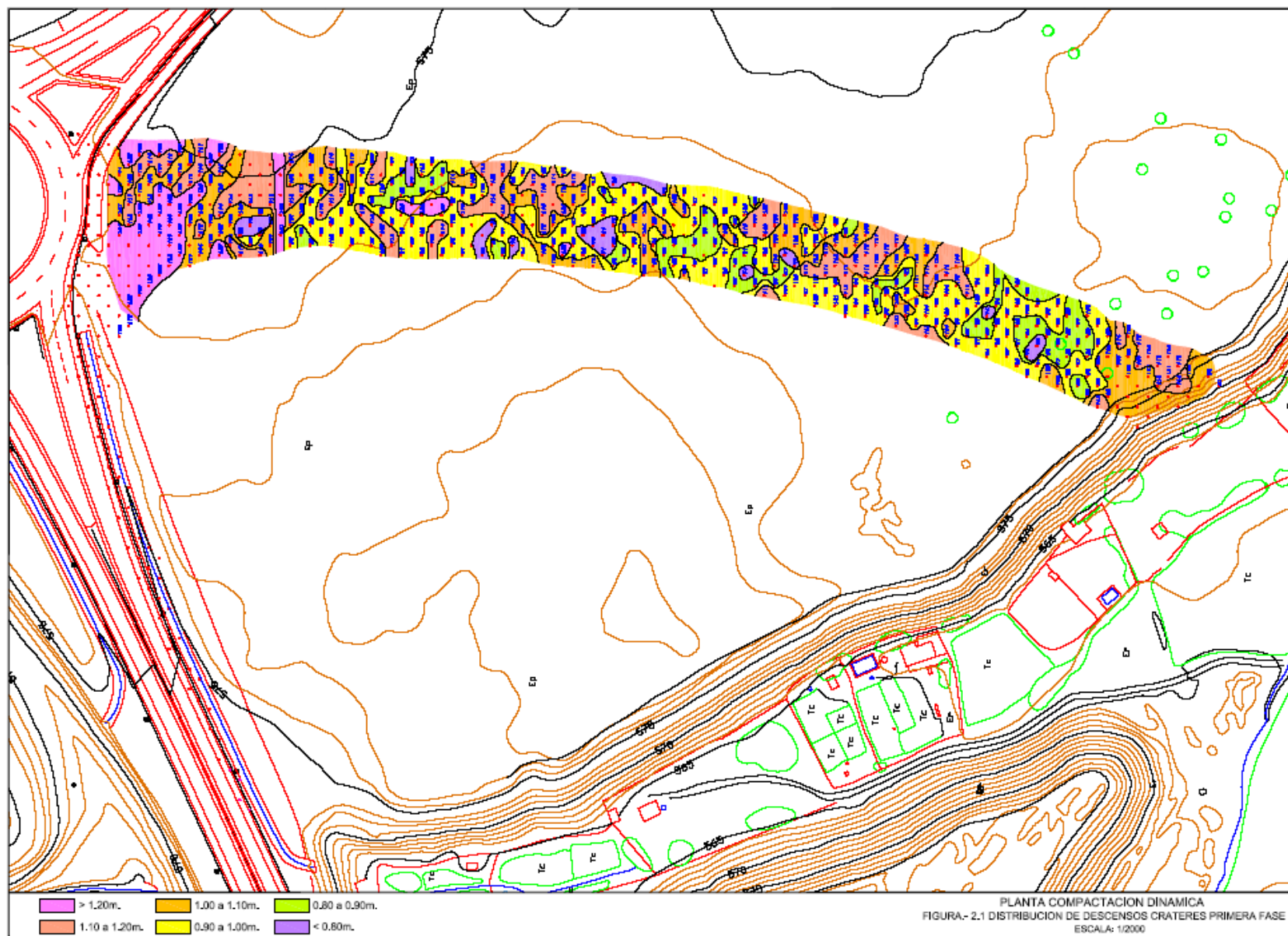


figura 13: Distribución de cráteres en la primera fase de la compactación dinámica

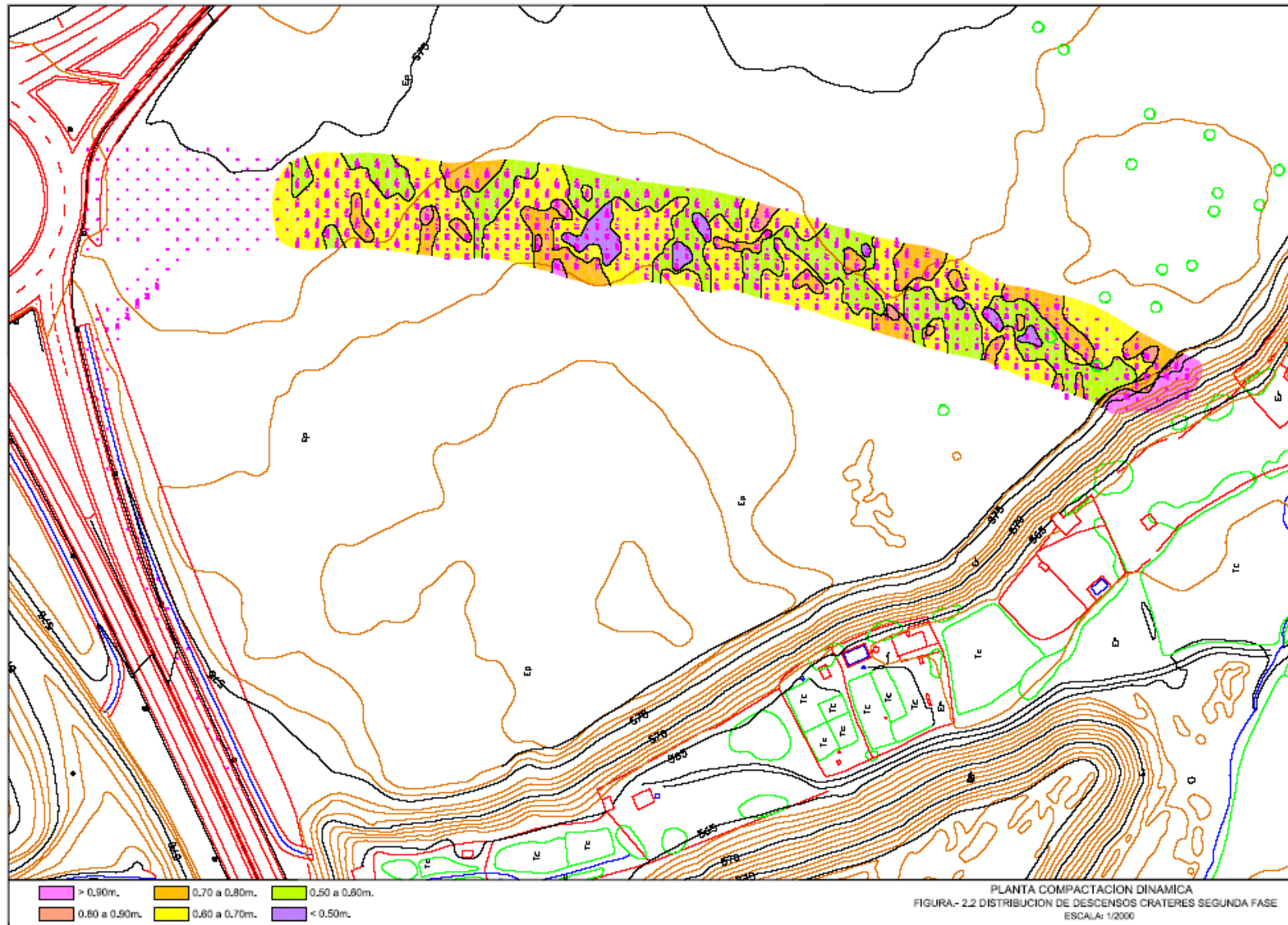


figura 14: Distribución de cráteres en la segunda fase de la compactación dinámica



figura 15: Vista general del tramo afectado por el vertedero tras la compactación dinámica

7. CONCLUSIONES

- Los materiales procedentes del Vertedero de Inertes de San Martín de la Vega tienen unas características adecuadas para su reaprovechamiento en obras de tierra, con un tratamiento previo de retirada de gruesos, en secciones tipo sandwich.
- La presencia de cascotes y restos de demolición no orgánicos de pequeño tamaño envueltos en el cuerpo areno arcilloso del terraplén no ha presentado mayor problema en cuanto a sus características resistentes y deformacionales.
- El vertedero de inertes estudiado presenta unas buenas características para su tratamiento por medio de compactación dinámica, obteniéndose unos resultados idóneos en cuanto a densidad y grado de compactación finales que evitan la ejecución de otros tratamientos o retiradas de volúmenes importantes de material.

8. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

- Proyecto Constructivo de la Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe). (SAETEC, marzo 2004).
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe). Estudio Geológico Geotécnico Complementario (EPSA Marzo 2006).
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe). Estudio especial para la reutilización del material procedente del vertedero existente entre los PP.KK. 1+400 y 1+745 (EPSA, Abril 2006).
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe). Definición de estructuras de tierra (EPSA Abril 2006).
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe) Procedimiento para la colocación de los materiales procedentes del Vertedero de San Martín de la Vega en terraplenes tipo sandwich (EPSA Julio 2006)
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe). Procedimiento para la realización de los tramos de prueba de la compactación dinámica del vertedero de San Martín de la Vega (EPSA Julio 2006)
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe). Informe de ejecución de Compactación dinámica clásica (GEOCISA, Agosto 2006)
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe).Diseño del tratamiento de Compactación Dinámica en base a los tramos de prueba realizados. (EPSA Septiembre 2006)
- Variante de la M-301 a su paso por Perales del Río (Getafe).Informe sobre los resultados obtenidos con el tratamiento de compactación dinámica (EPSA Septiembre 2006).