

METODOLOGÍA PARA EL ENCAPSULADO Y ESTABILIZACIÓN DE YESOS

AUTOR: D. Francisco Javier Castanedo Navarro,
Ingeniero de Caminos, Profesor Asociado U.C.M.

RESUMEN:

Se realiza en la presente comunicación un análisis de la metodología y condicionantes para la reutilización de formaciones yesíferas en terraplenes de infraestructuras de transporte.

Se incluye una relación de experiencias españolas y extranjeras sobre la reutilización de este tipo de materiales u otros similares. En base a esta experiencia se realizan las recomendaciones para la adaptación a la naturaleza de los materiales que se encuentran en España de metodologías internacionalmente publicadas y elaboradas para materiales similares.

1. *INTRODUCCIÓN*

Se estudian dentro de esta comunicación los criterios y metodología para la reutilización en rellenos de obras lineales y urbanizaciones de materiales yesíferos, bien sean yesos, margas yesíferas o limos yesíferos, estableciendo un procedimiento que permita garantizar la calidad y estabilidad de los terraplenes así construidos.

La ventaja principal de esta reutilización sería tanto económica como medioambiental, ya que se evitaría la formación de vertederos en donde se eliminarían dichos materiales yesíferos, y la necesidad de abrir préstamos para contar con materiales con que realizar los terraplenes.

Sin embargo, este tipo de materiales son de los que presentan unas condiciones más complejas de cara a su reutilización, no sólo por su solubilidad (la disolución de yesos en el cuerpo de terraplenes situados en zonas no inundables durante el tiempo de vida de una obra sería despreciable) sino sobre todo por sus condiciones de colapsabilidad, que van asociadas a la propia naturaleza del material yesífero que tiende a formar puentes cementados entre las distintas partículas, aunque éstas se encuentren en una estructura floja e inestable.

2. *NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA LA COLOCACIÓN DE MATERIALES DE COMPORTAMIENTO SIMILAR AL DE LAS FORMACIONES YESIFERAS*

Los yesos estarían incluidos dentro de un conjunto de materiales que se caracterizaría por su baja cementación y la sensibilidad de ésta a la humectación, lo que hace que se produzca el aplastamiento de los contactos entre partículas y por tanto un fuerte incremento de asiento, que es lo que se denomina como colapso. Además también, tanto en los yesos como en otros materiales con presencia de sales solubles, se tendría el efecto del riesgo de pérdida de partículas sólidas por disolución.

De este tipo de materiales pueden destacarse tanto los yesos como las limolitas y areniscas escasamente cementadas (que son objeto de comunicaciones en todos los congresos sobre suelos duros o rocas blandas) y especialmente las cretas, denominadas como “chalk” en la literatura internacional.

Las cretas son formaciones calcáreas que pueden presentar hasta más de un 30% de sulfatos en porcentaje de SO_3 y que tienen su origen en restos fosilíferos. Se ubican fundamentalmente en Inglaterra y Francia, siendo característicos de este material los acantilados de Dover.

Las similitudes entre las cretas y los yesos van a ser por tanto:

- Son materiales que han quedado cementados antes de consolidar, con lo que su estructura es floja y sus densidades no son altas.

- Al tener una alta porosidad, su contenido en humedad puede ser notable, pero manteniendo igualmente una porosidad al aire elevada.
- Al disgregarse estos materiales con una compactación enérgica, y dado además su bajo límite líquido, puede ocurrir que en el material disgregado el contenido en humedad sea algo inferior o del orden del límite líquido, con lo que se produciría una pérdida total de consistencia del material compactado. Esta es una de las principales características de la colocación de este tipo de materiales, como “suelo” en tongadas reducidas y con compactación muy enérgica.
- En el caso de que este material se coloque como pedraplén, se produce una fuerte caída de resistencia con generación de finos al incrementarse su régimen de humedades, lo que hace que estos materiales puedan presentar asientos importantes en el caso de su saturación, y que como se ha comprobado vienen asociadas con cambios en su composición granulométrica.

Dentro de la publicación “Chalk”, 1989, de acuerdo con la introducción del Profesor Burland, pueden considerarse como conocidas las curvas ICL y CSL de la creta desestructurada, así como la familia de las curvas que representan la rotura de la creta original, y en base a esto definir el “yield locus” o punto de rotura de las muestras intactas de creta.

Igualmente, dentro de la anterior publicación Higginbottom destaca las siguientes propiedades que caracterizarían geotécnicamente a las cretas:

- Tamaño de partículas comprendidas entre las de las arcillas o limos, pero estando ausentes los materiales que constituyen las arcillas.
- Comportamiento predominantemente friccional en el material desestructurado con plasticidad baja.

- Porosidad alta y comportamiento condicionado por la presencia de la cementación entre granos.
- Valor elevado de la humedad de saturación y natural.
- Alta susceptibilidad a la helada.
- Solubilidad.

Como puede verse, únicamente se diferenciarían los comportamientos geotécnicos de la creta y el yeso en lo referente a la mayor porosidad y humedad natural de la primera (lo que es debido a que el grano de la creta está constituido por un fósil de sulfato y carbonato cálcico con mayor presencia de huecos).

Si en la metodología existente para la caracterización y definición de las propiedades de las cretas se modifican los parámetros de porosidades y humedades a los rangos equivalentes de formaciones de limos yesíferos a yesos compactos, se podrá tener una herramienta que permita caracterizar y predecir el comportamiento geotécnico de este material.

Sin embargo, los yesos pueden presentar además otras tres diferencias, que son su mayor solubilidad, la presencia de intercalaciones arcillosas y margosas y sus densidades aparentes claramente superiores.

De acuerdo con esto, podrían aplicarse para la realización de rellenos con materiales yesíferos todas las recomendaciones y normativas, tanto francesas como inglesas. Únicamente debe tenerse en cuenta la mayor solubilidad que presenta el yeso, y por tanto reforzar la protección o encapsulado del mismo frente a las acciones ambientales.

- ***Recomendaciones de Gran Bretaña***

La gran extensión que dentro de Gran Bretaña ocupa el sustrato de cretas (“chalk”) hace que no sólo exista una normativa general del Reino Unido, sino también normativas o recomendaciones locales en cada condado.

Por ejemplo, en la Normativa del Condado de Hampshire, se recomienda:

- Colocación de creta en tongadas gruesas de 300 a 700 mm
- Compactación mínima para no romper los módulos, siendo suficiente 4 pasadas de rodillo liso de carga estática de 20 KN/m a 80 KN/m.
- Igualmente en el condado de Kent se recomienda:
 - * Colocación en capas de 450 a 550 ml
 - * En caso de cretas de resistencia dudosa, reducir el esfuerzo de compactación.

Aparte de estas metodologías por condados, hay una normativa general, que es la reflejada en la Norma LR-806 (Ingoldby y Parsons) sobre la utilización de cretas en rellenos, incluida dentro de la Normativa del TTRL.

De acuerdo con esta Normativa general, se recomienda la colocación de la creta en tongadas gruesas de 300 a 700 mm, con compactación mínima para evitar romper los nódulos, siendo suficiente por ejemplo 4 pasadas de rodillo liso de 20 KN/m a 80 KN/m.

Las condiciones de compactación, variarán según la naturaleza de la creta y en función de los siguientes parámetros:

- Un nuevo parámetro definido como “Chalk crushing value” o ccv equivalente al ensayo tradicional de carga sobre zahorras, y realizado en el mismo molde que el utilizado para arcillas blandas con el MCV.

En la foto nº 1 se muestra el equipo de laboratorio necesarios para el estudio del aprovechamiento de los materiales yesíferos, de acuerdo con la norma inglesa habiéndose incluso adaptado los gráficos a las diferencias debidas a la distinta climatología y a la mayor densidad de partículas del material yesífero respecto a los fósiles que constituyen la creta.

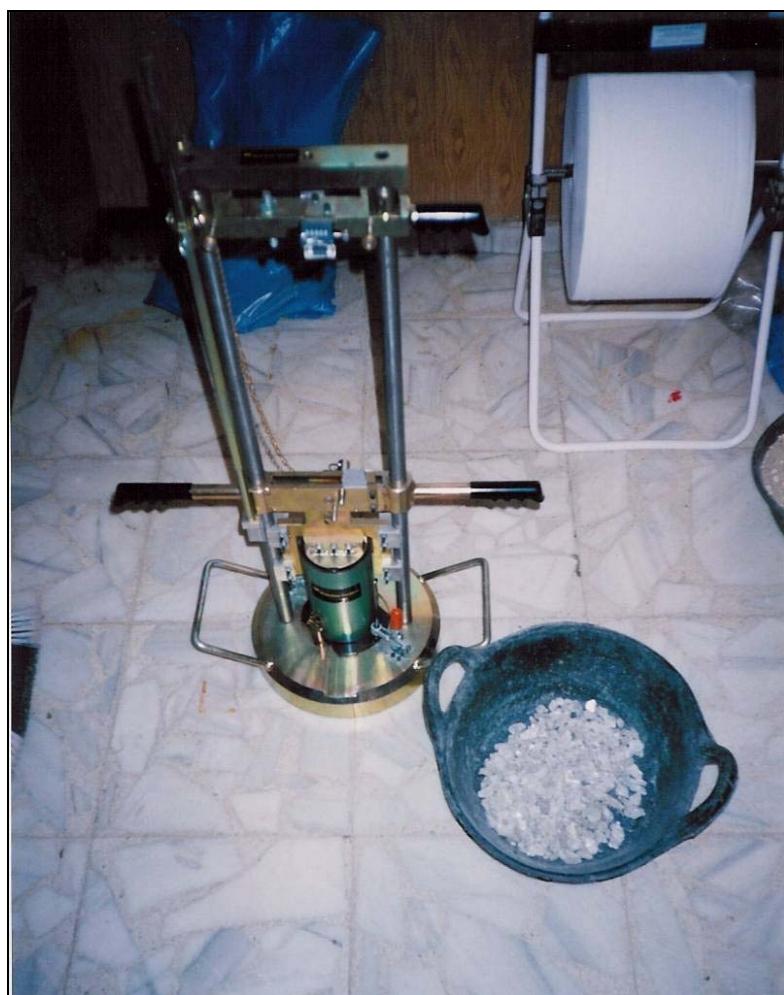


Foto nº 1.- Detalle del equipo MCV con el que se obtiene el índice “CCV”

- Porcentaje de humedad para la saturación de la creta o el yeso, lo que viene a indicar qué volumen de porosidad al aire le queda a esta formación para evitar el riesgo de colapso por contenido en agua superior al límite líquido en caso de su disgregación.

Definiéndose cuatro calidades “A, B, C y D” que se representan en la figura 1.

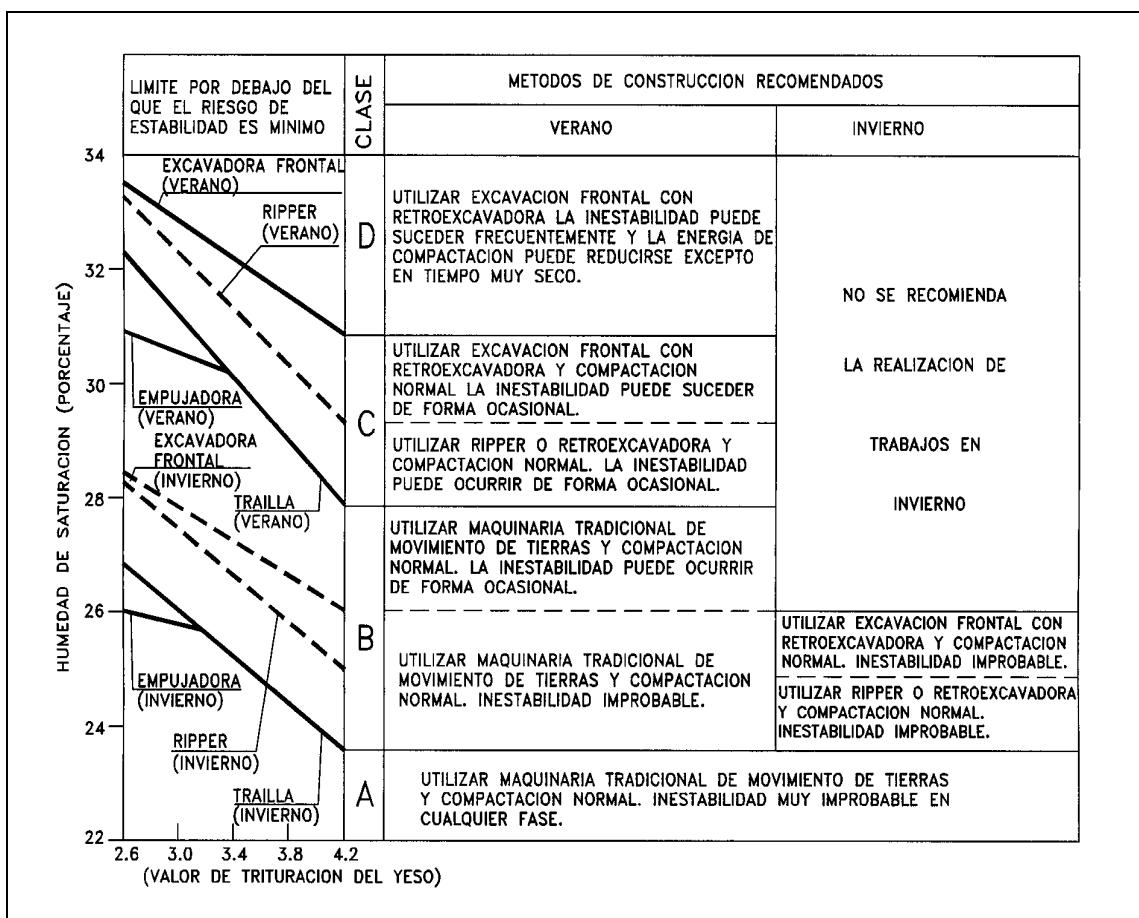


Figura 1 – Condiciones de colocación de cretas

- **Normativa Francesa**

La Normativa Francesa ha sido realizada fundamentalmente por M. Rat y M. Schaeffner., los cuales comentan que la Norma Inglesa del LR-806, tiene los siguientes inconvenientes:

- a) El CCV es un procedimiento poco repetitivo, ya que depende de la fuerza del operario.
- b) La categoría del yeso o creta “A, B, C ó D” depende poco del CCV
- c) No se tiene en cuenta el grado de saturación del yeso o creta, sino únicamente su humedad máxima.
- d) La determinación de la humedad de saturación de los trozos de yeso o creta es un proceso largo, y que claramente puede no ser útil.
- e) En yesos o cretas muy duras o muy alteradas no se puede realizar el ensayo CCV.

En función de estos inconvenientes, recomiendan otro tipo de clasificación y recomendaciones que siguen en general las normas básicas de la Normativa Francesa.

Así, en el gráfico de la figura 2 se representan los parámetros de clasificación basados en:

- Densidad seca de los bloques de yeso.
- Humedad de los bloques de yeso

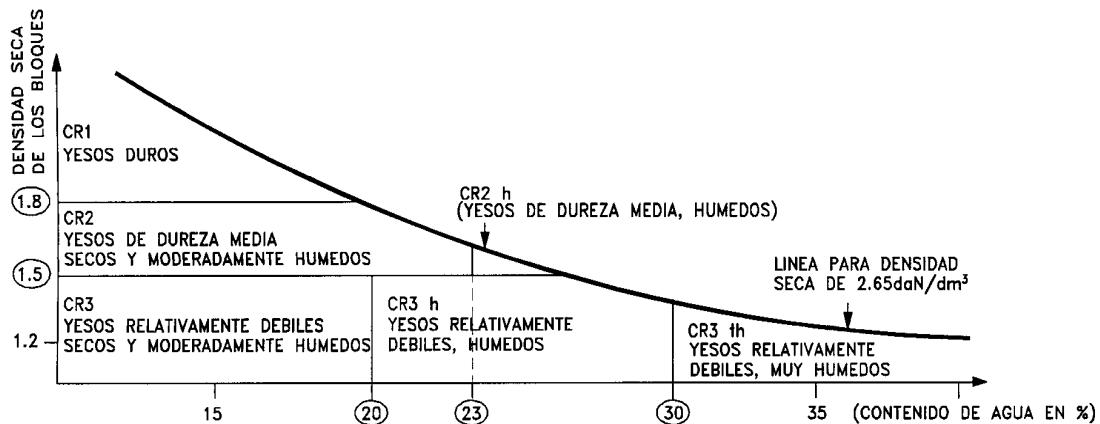


FIGURA 2: SISTEMA DE CLASIFICACION DE YESOS USADO EN FRANCIA

TIEMPO	CODICIONES DE USO EN TERRAPLEN
LLUVIA MODERADA O FUERTE	SITUACION EN LA QUE NO ES POSIBLE ALCANZAR UNA ADECUADA CALIDAD EN LOS TERRAPLENES
LLUVIA LIGERA	R CAPAS DE ESPESOR MEDIO A PEQUEÑO. C ALTA ENERGIA DE COMPACTACION. H LA COMPLICACION DE MEZCLAR EL CONTENIDO DE AGUA JUNTO CON LAS DIFICULTADES DE LA COMPACTACION, QUE AUMENTAN EL RIESGO DE UN POSTERIOR EMPEORAMIENTO, IMPLICA QUE BAJO ESTAS CONDICIONES DEBERIA LIMITARSE SU USO PARA TERRAPLENES DE ALTURA MEDIA A BAJA.
SIN LLUVIA	SOLUCION 1 E EXTRACCION DE FINAS CAPAS PARA ASEGURAR UNA BUENA FRAGMENTACION. R EXTENSION DE DELGADAS CAPAS PARA CONSEGUIR LA TOTAL FRAGMENTACION Y ASEGURAR UNA BUENA COMPACTACION. C ALTA ENERGIA DE COMPACTACION. SOLUCION 2 R CAPAS DE ESPESOR MEDIO O PEQUEÑO. C ALTA ENERGIA DE COMPACTACION. H LA DIFICULTAD DE ALCANZAR UNA ELEVADA COMPACTACION MEDIANTE EL EMPLEO DE COMPACTADORES IMPLICA QUE ESTA SOLUCION SOLO PUEDA SER CONSIDERADA UNICAMENTE PARA TERRAPLENES DE ALTURA BAJA A MEDIA.

FIGURA 3: CONDICIONES DE USO DE LA CLASIFICACION CR₃ m Y S EN TERRAPLENES.

Figura 2 – Criterios para la colocación de creta

La variación en el criterio de la Normativa Francesa se basa pues fundamentalmente, en que puede entenderse que los yesos no tienen por que estar saturados, lo que por el contrario es mucho más usual en climas más húmedos como en el Reino Unido.

3. ANTECEDENTES DE UTILIZACIÓN DE MATERIALES YESIFEROS EN ESPAÑA

Aunque pueda existir una mayor experiencia en la reutilización de materiales yesíferos en cuerpo de terraplenes, únicamente se hace referencia a los casos que han sido publicados, y en los que lógicamente se ha realizado una mayor elaboración del procedimiento para su colocación y condicionantes que afectan al mismo.

a) Autopista Burgos-Malzaga

Una primera referencia es el Tramo entre Burgos y Pancorbo de la Autopista Burgos-Malzaga, con alturas de terraplenes de 3,0 a 30,0 m y construidos en los años 1976-1977, y que viene citado en el Manual de Terraplenes y Pedraplens del MOPT.

El porcentaje de yeso se mantenía en valores del 30 al 40 %, con granulometría de predominio del tamaño grava, y englobados en una matriz arcillosa.

Los rellenos se construyen sin protecciones especiales, en tongadas de 30-40 cm y con una compactación muy cuidada para garantizar que las gravas de yeso quedan englobadas en una matriz arcillosa.

La compactación que se realizó del lado seco y con rodillo vibratorio de 12 Tn.

Para documentar la decisión de utilizar este material especial, se investigaron además Terraplenes del FF.CC. Madrid- Irún construidos con estos materiales y con más de cincuenta años de vida.

b) CN-340 en la zona de Xátiva

Otra referencia bibliográfica de mayor interés es la publicada por Morilla (1994), en el III Simposio Nacional de Geotecnia Vial de Vigo, en la que se expone el empleo de las arcillas con yesos del Triásico en la zona de Xátiva (Valencia).

En esta publicación se recoge un estudio exhaustivo de mezclas de yeso/arcillas con porcentajes del 0/100, 40/60, 55/45, 70/30, 85/15 y 100/0.

Las arcillas son de plasticidad media, con predominio de illita y contenido reducido de montmorillonita; el límite líquido es del orden de 40 y con índice de plasticidad de 13-14.

Como conclusión del estudio, para su empleo en el núcleo se recomienda como viable la compactación mediante rodillo vibrante y alta energía de compactación, en tongada de 30 cm, y con humedad no superior a la óptima Proctor menos 2 %.

La densidad mínima a asegurar en el núcleo sería de acuerdo con las Normas Alemanas del 95 % del P.N., pero limitando además la porosidad ocupada por aire. Las Normas Suizas exigen un 97 % del P.N. en el núcleo y con módulo de placa $M_E > 15$ Mpa (o equivalente CBR in situ, sin inmersión superior a 8). Según las Normas Británicas, este material se clasificaría como 2B, y si su límite plástico es inferior a 50, puede compactarse del lado seco con rodillo vibrante pesado de más de 20 Tn y tongada de 25 cm. Según la Norma Francesa, la mezcla de arcilla y yeso puede clasificarse como A25 y A35, con compactación con humedad no superior a 2 % bajo la óptima de Proctor, tongadas de 25 a 30 cm de terreno compactado y rodillo de 3,5 a 4,5 Tn/ml; el parámetro de la energía de compactación N/S no debe ser inferior a 0,04, equivalente a más de 8 pasadas de rodillo de 13 Tn con tongadas de 0,30 de espesor una vez compactado.

No se analiza en este estudio el riesgo de formación de ettringita, por reacción entre la cal, los silicatos y los sulfatos de los yesos.

Igualmente en este mismo estudio se analiza el tratamiento para capas de coronación con una estabilización con cal en porcentaje del 2,5 % del peso seco. El espesor de coronación puede ser de 60 cm, con tres tongadas de 20 cm, estabilizadas con un 2,5 % de peso de cal apagada sobre el peso seco del material compactado.

Las recomendaciones de este estudio, pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Excavación favoreciendo la mezcla y trituración. Puede admitirse el acopio para homogeneización pero controlando la humedad de puesta en obra.
- Extendido con tractores oruga.
- Compactación con pata de cabra, o rodillos pesados de impacto. También puede utilizarse rodillo vibratorio mejor con patas en forma de almenas y carga estática superior a 5 Tn/m.
- Humedad no superior a 2 % por debajo de la óptima Proctor (Norma Francesa) o 4 % por debajo del límite plástico (Norma Británica).
- Protección de los taludes mediante capa de tierra vegetal de 50 cm de espesor.

c) Pedraplens de yesos en paso sobre Tramo II de M-45

Dentro del Tramo II de la M-45, ejecutado por una UTE constituida por ACS y FERROVIAL, se realizaron mediante pedraplén yesífero los terraplenes de aproximación de una estructura de paso sobre la misma que estaba situada entre la N-III y el vertedero de Mercamadrid.

El estudio realizado para el empleo de este material se basó en los siguientes puntos:

- El material a utilizar debía proceder del ripado, con lo que su granulometría sería bastante extendida.

- La granulometría del material colocado correspondería por tanto a yeso totalmente disgregado, esto es cumpliendo el siguiente huso granulométrico:

% que pasa # 0.40 UNE	65.6%
% que pasa # 0.080 UNE	53.4%

- Los índices IPI (CBR sin inundar) deben ser superiores a 20, con colapsos inferiores al 2% y en un rango de humedades que debe estar comprendido entre el 9 y 13%, de acuerdo con el gráfico adjunto (figura 3):

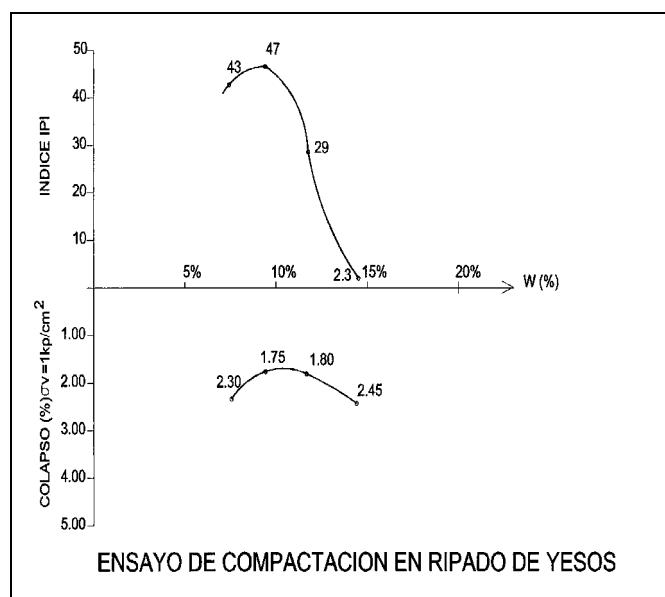


Figura 3

- Estructura de terraplén zonado constituido por las siguientes partes:
 - * Cimiento de bloques de yeso con espesor de 1 m en una única tongada y compactado con el paso de maquinaria de cadenas.
 - * Núcleo de yeso ripado compactado en tongadas de 50 a 60 cm y con los valores anteriores de la humedad. Se compactará mediante el paso de maquinaria de cadenas.

- * Espaldones de yeso ripado, con ancho de 4.50 m, colocado en tongadas de la mitad de espesor que la del núcleo y compactado enérgicamente mediante pata de cabra.
- * Capa de transición de 50 cm de yeso ripado colocado en dos tongadas e intensamente compactado con pata de cabra.
- * Geotextil impermeabilizante y anticontaminante.
- * Coronación de terraplén de espesor de 1 m de un suelo asimilable a adecuado, preferiblemente suelo arcilloso tratado con cal o material poco permeable que presente un índice CBR superior a 10.

En la figura 4 puede verse el esquema de la sección tipo de terraplén con yesos que se realizó en la M-45.

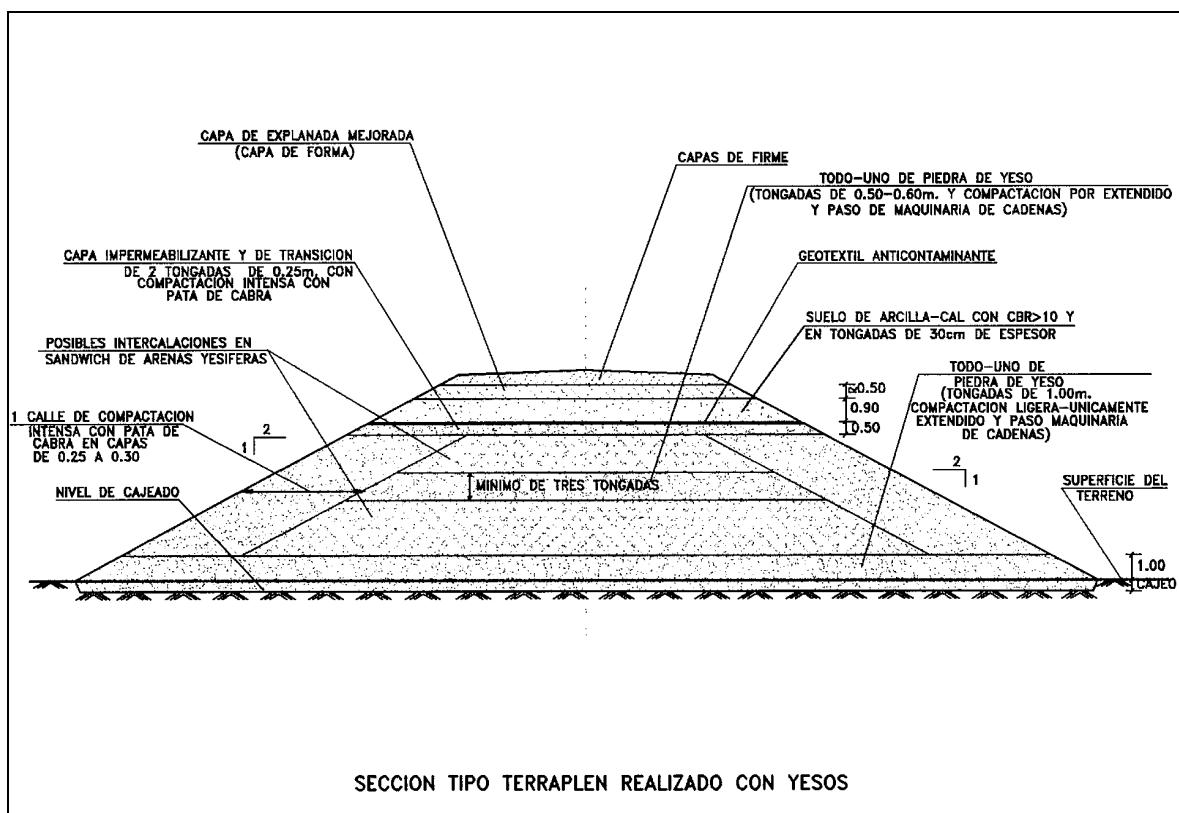


Figura 4

El procedimiento constructivo elaborado era un sistema mixto entre las recomendaciones inglesas y francesas que seguidamente se exponen, y así se tenía:

- Para cimiento y núcleo, pedraplén de yeso realizado según la normativa inglesa y controlado por las especificaciones de ésta para materiales de clase 3 (TRRL Laboratory Report 806).
- Para espaldones y capa de transición, terraplén de yeso ripado realizado según las recomendaciones francesas (Rat y Schaeffner, 1979).

No se realizó ninguna instrumentación a estos rellenos de aproximación a un paso superior que daba servicio a un camino en ese momento no afirmado, y del que por tanto no puede tenerse constancia de cuál haya sido su comportamiento, salvo que hasta el momento no ha presentado problemas.

d) Rellenos del ferrocarril de Pinto a San Martín de la Vega

La obra del ferrocarril de cercanías de Pinto a San Martín de la Vega, con parada en el Parque Temático de la Warner, fue promovido por la Comunidad de Madrid, adjudicada su construcción a una UTE constituida por ACCIONA y SACYR, y cedido en su explotación a Cercanías de RENFE.

La mitad más próxima a S. Martín de la Vega de los terraplenes de la traza se realizaron con su núcleo constituido por yeso procedente de voladura, con alturas alcanzadas superiores a 20 m.

Para la ejecución de todos estos terraplenes se elaboró un procedimiento completo, que incluía la caracterización del material a emplear, las correcciones de humedad y granulometría necesarias para su incorporación, el control del material colocado, etc.

Los criterios generales que se siguieron para la ejecución de los terraplenes fueron:

- En principio se intentó que el material colocado procediera del ripado de los yesos, pero dada la dureza que presenta en esta zona este material, hacía inviable este procedimiento de ejecución, con lo que hubo que recurrir a la voladura. En la foto 2 puede verse la

maquinaria que se utilizó para intentar el ripado del yeso, incluso mediante ripado en cruz.



Foto nº 2.- Equipo utilizado para el ripado

En la foto 3 puede verse la distribución de tamaños que se obtenían procedente de la voladura en yesos.



Foto nº 3.- Distribución de tamaños obtenidos en una zona volada y retirada a vertedero

Para garantizar el empastado del material colocado e independientemente de que el material procediera de ripado o voladura, se exigieron las siguientes limitaciones granulométricas:

- * Tamaño máximo menor de 1 m (el tamaño máximo será el diámetro de la esfera ideal que contuviera todo el volumen del bloque).
- * Porcentaje en superficie proyectada de tamaños superiores a 50 x 50 cm menor del 60%.
- * Porcentaje en superficie de material de tamaño superior a 20 cm > 70%
- * Porcentaje < 5 mm inferior a 40% del porcentaje con tamaño inferior a 20 cm.

Con esta prescripción se trata de evitar la introducción dentro del material utilizable para núcleo de yesos, de las intercalaciones de arenas yesíferas correspondientes al paso de fallas.

El material se colocaría como relleno zonado con la siguiente diferenciación:

- Base de geotextil semipermeable
- Cimiento de todo-uno de yeso ripado colocado en dos tongadas de 60 cm de espesor.
- Núcleo de todo-uno o pedraplén de yeso colocado en capas de 0.60 a 1 m de espesor.
- Capa de transición por encima del núcleo, constituido por yeso colocado como todo-uno en dos tongadas de 0.40 m.
- Lámina impermeabilizante protegiendo transición núcleo y cimiento.
- Espaldón de 2.40 m de anchura (ancho de pata de cabra) constituido por arcilla tratada con cal.
- Coronación de terraplén constituida por 3 tongadas de 30 cm de arcilla tratada con cal.

En la figura 5 puede verse la sección de terraplén zonado para reutilización de yeso definida en Pinto-San Martín de la Vega.

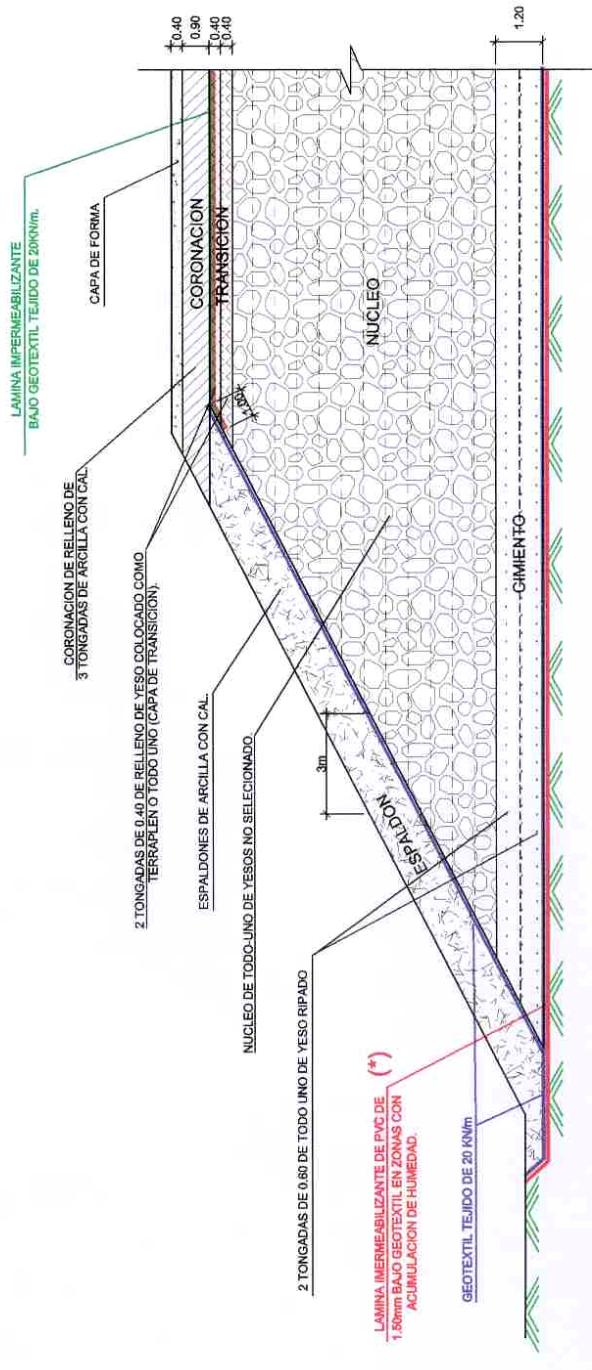


Figura 5 – Esquema sección tipo relleno para aprovechamiento de materiales yesíferos

e) Variante de la Carretera M-307 en San Martín de la Vega

Esta obra, promovida por la Comunidad de Madrid, y adjudicada a AZVI, se realizó principalmente durante el año 2.006, en que quedó finalizado el movimiento de tierras. Discurre por la misma zona geológica que la anteriormente expuesta, e igualmente afectaría no sólo a los yesos masivos de San Martín de la Vega, en donde se ubican explotaciones de este material, sino también escombreras de arcillas yesíferas cuyo menor porcentaje en yeso no permite su explotación.

La metodología seguida tanto para el encapsulado como para la colocación, fue similar a la utilizada en el ferrocarril de Pinto a San Martín de la Vega, y así se tenía:

- Encapsulado constituido por una lámina impermeabilizante tipo PEAD y espaldones de material tolerable procedente de préstamo, y que cumpliera unas condiciones suficientes de impermeabilidad. Coronación de suelo arcilloso tratado con cal para conseguir un material de suficiente capacidad portante pero que al mismo tiempo mantenga unas condiciones suficientes de impermeabilidad.
- Procedimiento de colocación, con humedad, espesor de capa, etc., definido en base a las recomendaciones inglesas y francesas para materiales similares, de forma que se consiga durante este proceso eliminar todos los contactos débiles entre granos.

En la figura 6 puede verse la sección tipo de terraplén utilizada para terraplenes en esta obra en zona no encharcable.

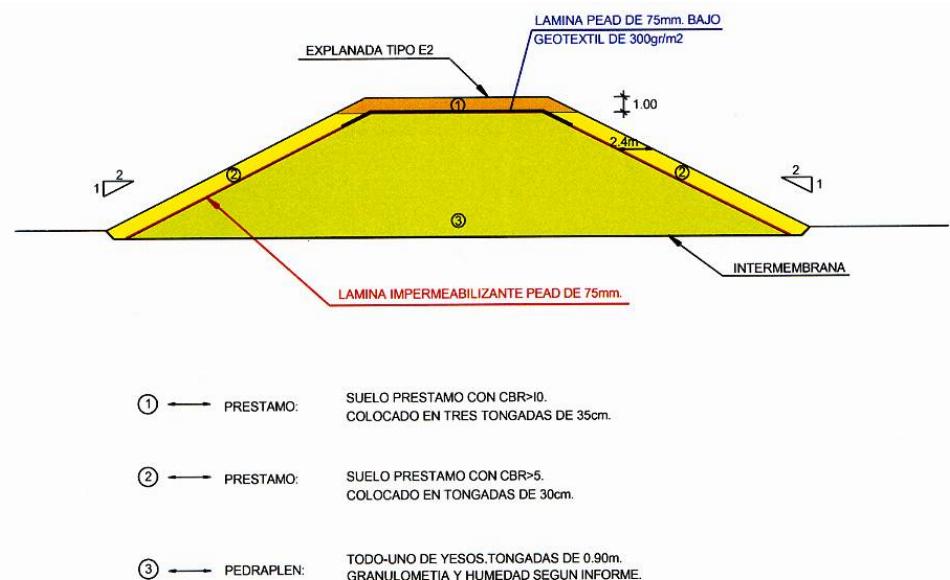


Figura 6

El ancho de los espaldones, construidos retrasados respecto al núcleo y con material procedente de préstamos, se redujo a 2.40 m que es la dimensión mínima de maquinaria de extendido y compactación.

Para la caracterización del terreno a utilizar se partió de muestras tomadas en calicatas y en los frentes de las canteras existentes, con los resultados que se ven en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Ensayos de caracterización de yesos

Calicata	P. K.	Formación	Ensayo identificación		Ensayo compactación			
			γ_d	W_n	CCV	S (%)	γ_d (comp)	W_c
M-1	0+768	Yeso empastado (YE)	1,96	2,53	2,33	21,16	1,72	8,3
M-2	0+768	Yeso empastado (YE)	2,02	0,21	2,21	22,08	1,69	7,43
M-3	0+920	Yeso blanco con margas (YT)	2,08	1,73	2,16	16,69	1,86	6,88
M-4	0+965	Yeso blanco (TM)	1,94	3,64	2,16	19,92	1,76	11,66
C-4	1+020	Yeso empastado (YE)	1,81	8,2	1,99	25,33	1,60	13,59
M-5	1+020	Yeso empastado (YE)	1,97	5,96	2,05	24,29	1,63	10,95
M-6	1+141	Yeso blanco tableado (YT)	2,09	1,29	2,27	21,67	1,70	6,57
C-5	1+220	Yeso blanco (YM)	1,74	11,82	2,99	34,02	1,41	15,89
M-7	1+228	Yeso empastado (YE)	1,96	4,62	2,33	20,71	1,73	10,03
C-6	1+320	Yeso empastado (TE)	1,72	5,34	2,21	26,4	1,58	5,16
C-9	1+530	Yeso blanco (TM)	1,90	5,95	2,27	23,24	1,66	10,94

Siendo:

γ_d : Densidad seca en condiciones naturales
 W_n : Humedad natural (%)
 CCV: Índice “Chalk Crushing Value”
 S (%) Grado de saturación
 γ_c : Densidad seca tras compactación
 W_c : Humedad de compactación (%)

Los materiales colocados fueron tanto yesos empastados, yesos masivos, yesos cristalizados tableados y rellenos de escombreras yesíferos. Para cada uno de estos materiales se obtuvieron los valores de su densidad de partículas, grado de saturación óptimo e índice CCV.

Las necesidades de colocación y compactación se dedujeron en base a los valores del índice CCV y del grado de saturación.

Como en los casos anteriores se realizó primeramente un terraplén de ensayo incluido dentro de la propia traza para comprobar la validez del procedimiento elaborado en base a los resultados de los ensayos.

En la foto 4 puede verse el aspecto del material extendido, en la foto 5 la colocación de la lámina protegiendo el núcleo en el derrame del terraplén y la posterior colocación del espaldón, y en la foto 6 el tratamiento con cal del material de coronación mezclado con grada de rejas y pata de cabra.



Foto 4



Foto 5

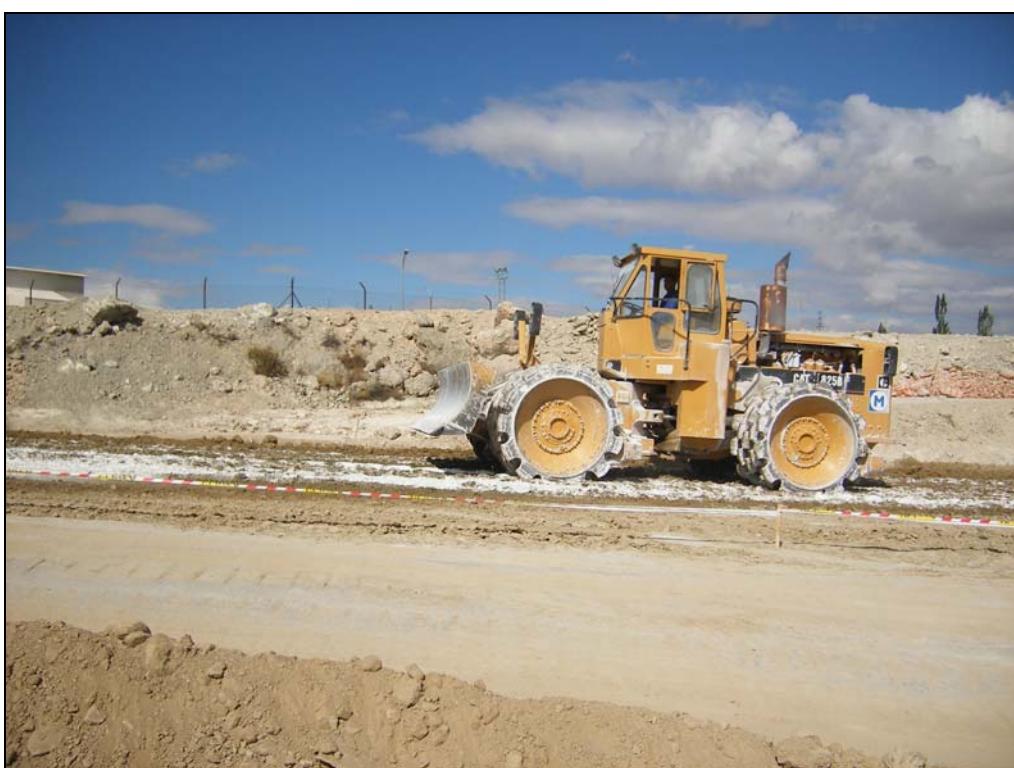


Foto 6

4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha incluido en la presente comunicación un análisis de los condicionantes para la reutilización de yesos en rellenos de obras lineales.

Las principales características que presentan los yesos de cara a su reutilización son su solubilidad y su colapsabilidad, debido a la formación de estructuras flojas inestables con las partículas unidas por cementación mediante sulfatos.

Para la colocación de estos materiales pueden aplicarse normativas y recomendaciones existentes en otros países europeos, como Inglaterra y Francia, basadas en la reutilización de otros materiales como las cretas, cuyo comportamiento sería similar al de los materiales yesíferos existentes en la península. En base a estas normativas pueden establecerse las condiciones de colocación en lo referente a espesor de tongada, humedad de colocación, método de extendido, control de la tongada, etc.

En cualquier caso, la mayor solubilidad que pueden presentar los yesos respecto a las cretas hace obligado el encapsulado de los mismos y que su colocación se limite por tanto al núcleo de terraplenes zonados.

Se ha incluido la exposición de diversas obras realizadas en España con este tipo de materiales.

5. BIBLIOGRAFÍA

Clayton, D. (1977) “*Chalk in Earth works*” PERFORMANCE AND PREDICTION. Journal of the Institute of Highway Engineering.

DEPARTAMENT OF TRANSPORT (UNITED KINGDOM) HMSO (1986) “*Notes for guidance on the specification for highway works*”.

Domingo Ayuso, et al.(2000), “Caracterización de los materiales yesíferos del Mioceno de la Cuenca de Madrid para su utilización en cuerpo de terraplenes y realización de un terraplén experimental”. Congreso Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte.

GIF “*Pliego General para rellenos*” Documento G108.

Greenwood, J. (1989) “*Specification of Chalk for highway works*” CHALK ICS 89, BRIGHTON POLYTECHNIC.

Guy, D.G. (1989) “*Classification and assessment of chalk on the M25 around the Gade valley, Kings Langley, Hertfordshire*” CHALK ICS 89, BRIGHTON POLYTECHNIC.

Hinojosa, J. A y Royo, J.L. (1986) “*Resultados de la encuesta nacional sobre el comportamiento de terraplenes y pedraplenes*”. SIMPOSIO SOBRE TERRAPLENES, PEDRAPLENES Y OTROS RELLENOS.

MINISTERIO DE FOMENTO (2000) Orden Circular 326/00 “*Geotecnia vial en lo referente a materiales para la construcción de explanadas y drenajes*”.

MOPT (1989) “*Terraplenes y pedraplenes*”.

Morilla, I. (1994), “*Propuesta de utilización de materiales yesíferos del triásico en el proyecto de terraplenes*” III SIMPOSIO NACIONAL DE GEOTÉCNIA VIAL.

Quibel, A. (1989) “*Compaction of chalk*” CHALK ICS 89, BRIGHTON POLYTECHNIC.

Rat, M. & Schaeffner, M. (1989) “*Classification of Chalks and conditions of use in embankments*” CHALK ICS 89, BRIGHTON POLYTECHNIC.

SETRA-LCPC (1992), “*Réalisation des remblais et des couches de forme*”.

TRRL REPORT 806 (1977) “*The classification of chalk for use as a fill material*”.