

TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: “Experiencias actuales del procedimiento y comportamiento de cuerpo de terraplenes mediante materiales arcillosos con cal hidratada”

AUTORES: D. Francisco Javier Castanedo Navarro, Ingeniero de Caminos, Profesor UCM
D. Rafael Pérez Arenas, Dr. Ingeniero de Caminos, Profesor UPM
D. Carlos Oteo Mazo, Dr. Ingeniero de Caminos, Catedrático Ingeniería del Terreno

RESUMEN

Se ha desarrollado en la siguiente comunicación una metodología para la modificación de propiedades de suelos arcillosos mediante el tratamiento con cal hidratada, y trabajando con humedades claramente por encima de la óptima Proctor, que ha sido utilizada con buenos resultados en bastantes obras ejecutadas en España. Es decir, se resume la experiencia personal de los autores, tras diez años de trabajo en estos temas.

Esta metodología sería aplicable únicamente a los tratamientos de modificación de propiedades de los suelos arcillosos, y por tanto no debe considerarse como válida para la realización de los suelos S-EST1 y S-EST2 considerados en la Norma 6.1-IC para las explanaciones y cuyo procedimiento de ejecución y propiedades a exigir se desarrollan en el artículo 512 del PG-3, 2004.

Se incluye en esta publicación el procedimiento para el tratamiento de suelos marginales para modificación de propiedades con empleo de cal y humedades claramente por encima de la óptima, así como los métodos para el control del producto tratado. La comunicación viene a resumir la experiencia personal de los autores de la misma y diversas investigaciones sobre el tema, entre las que se encuentra la Tesis Doctoral del segundo de los autores.

1. INTRODUCCION

La diferenciación entre tratamientos de modificación, cuya finalidad fundamental es la posibilidad de colocación de suelos cohesivos en cuerpo de terraplenes, frente a los tratamientos de estabilización que buscan mejorar la calidad del suelo de cara a aumentar su rigidez de forma que pueda colocarse en las capas superiores de terraplén y explanación (capping en nomenclatura anglosajona), está considerada en la mayor parte de las normativas internacionales, tal y como puede verse en la tabla adjunta:

Método o Normativa	Tratamientos para aprovechamiento en capas de base, subbase, capa de forma o explanada mejorada	Tratamiento en “subgrade” o cuerpo de terraplen
Eades y Grim	Basado en el pH con el que se obtiene mayor resistencia	No sería aplicable
Estado de California	Considerados independientes de la modificación	Reducción del límite plástico o valor del índice CBR
Estado de Oklahoma	Se basa en los procedimientos de Eades y Grim	Basado en la modificación del índice de plasticidad
Dakota del sur	Método del pH completado con ensayos CBR	No considera
Estado de Texas	Basado en la resistencia a compresión de probetas. Incluye un gráfico para la obtención del porcentaje de cal en función de la disgregación y de la plasticidad de los finos	No considera
Thompson	Se basa en la resistencia a compresión de probetas	Se utiliza el índice CBR sin inmersión (IPI)
Estado de Virginia	Se basa en la resistencia a compresión simple de probetas	Se basa en la resistencia a compresión simple de probetas
Recomendaciones francesas SETRA-LCPC (1972)	Se basa en el índice CBR tradicional (con inmersión)	Se utiliza el índice CBR sin inmersión (IPI)
Recomendaciones francesas SETRA-LCPC (1997)	Se establece además la resistencia a compresión del material estabilizado	Igual que versión anterior
Reino Unido	Control por MCV y CBR	Control mediante el MCV limitando el porcentaje de huecos al aire al 5%
Ministerio de Fomento PG-3, 2004	Se basa en el índice CBR y sólo contempla el empleo de cal hidratada	La NS 5/2006 indica que es aplicable el art. 512
Normativa de GIASA	Se basa en el índice CBR y su evolución en el tiempo a 1, 4 y 7 días	Considera el tratamiento en capas de asiento del firme y cuerpo de terraplenes

Esta metodología para un tratamiento de refuerzo con cal se basa en la disgregación y mezclado con pata de cabra y arado o grada de rejas, adición de suficiente cantidad de agua al terreno para que el mismo tenga una consistencia plástica, de forma que sus peores características de resistencia las presente en el momento de su colocación. Es decir, la filosofía de este tratamiento es un refuerzo del material arcilloso compactado, con un aglomerante que reduzca claramente su expansividad, reduzca algo su plasticidad y aumente su resistencia contra la erosión. Por ello, todo el tratamiento está pensado para utilizar una maquinaria convencional (la “pata de cabra” es ya muy habitual para arcillas antes de que empezáramos a reforzarla con cal) y utilizada en estabilización de explanada o en firmes de vías secundarias. Se consigue así un “minisandwich” en cada tongada y no hace falta que la mezcla arcilla-cal sea perfectamente homogénea.

Se ha incluido igualmente un resumen del procedimiento para la colocación de estos materiales que debe elaborarse en cada caso, así como los criterios de control del material colocado, todo ello basado en la experiencia citada.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Las singularidades de este procedimiento son:

- Las humedades de colocación de la arcilla están claramente por encima de la óptima Proctor, lo que facilita el mezclado con la cal por la disolución de ésta última.
- El estado de pegajosidad de la arcilla del lado húmedo impide, o al menos dificulta, prácticamente el mezclado con estabilizadora.
- El mezclado se realiza con grada de rejas o arado de volteo y/o pata de cabra, consiguiéndose unos resultados con la homogeneidad deseable en este tipo de tratamiento. En algunos casos (M-45. Tramo II) se probó este sistema y el de mezcla con estabilizadora. Los resultados fueron más favorables, económicamente para la “pata de cabra”, y técnicamente, ligeramente a favor de la “pata de cabra”.
- Al colocarse el material tratado del lado húmedo, sus condiciones iniciales son las peores a las que va a estar sometido el terreno tratado, y por tanto está garantizada su estabilidad frente a la saturación.

Este procedimiento se ha empleado sin problemas en las siguientes obras:

- Tramo II de la M-45
- Carretera de Pinto a San Martín de la Vega
- Ferrocarril de Pinto a San Martín de la Vega
- Tramo Carrión de los Condes-Osorno de la autovía León-Palencia
- Variante de Palencia
- Variante de Cuenca
- Radial 3
- Concesión Autovía peaje en sombra CL-601 Tramo Acceso Sur a Cuellar-Intersección con CL-603.
- Sustitución y cimiento de terraplenes en el tramo Naharro-Torrejoncillo de la LAV a Levante.
- Centro Comercial Jerez XXI (Jerez de la Frontera), movimiento de tierras de gran extensión
- Ampliación de las vías del ferrocarril a Andalucía (Pinto). En construcción

En la mayoría de las obras aquí reseñadas se ha utilizado cal hidratada, lo que no es óbice para que también este método fuera aplicable con el empleo de cal viva, siempre y cuando se dosifique el contenido de agua a añadir considerando también el de la hidratación de la cal (caso de Jerez XXI). Cuando los volúmenes a mover son muy grandes, puede haber dificultades en el aprovisionamiento de cal hidratada. No se contempla dentro del procedimiento descrito en esta comunicación el tratamiento con cal viva como elemento desecante de suelos con exceso de humedad.

3. PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE MATERIALES TRATADOS CON CAL CON HUMEDADES POR ENCIMA DE LA ÓPTIMA PROCTOR

3.1 Maquinaria a emplear

La maquinaria para la colocación de este suelo tratado deberá ser:

- Para el extendido de la tierra, un bulldozer de cadenas.



- Para el extendido de la cal, la misma cisterna en que se suministre, con un dosificador trasero de aire comprimido. Las máquinas especiales de extendido presentan el inconveniente de que retrasan el proceso y sueltan mucho polvo de cara a la atmósfera.



- Mezclado y trituración mediante pata de cabra.



- Volteo de la capa para regularizar el mezclado, mediante arado de volteo o grada de rejas.



- Cuba para humectación de la capa.



3.2 Condiciones para la colocación del material

- El material traído del desmonte se extenderá en tongadas antes de la compactación, mediante el empleo de bulldozer de cadenas, que permita realizar una primera disgregación del mismo.
- Al paso de las orugas del bulldozer, podrá observarse cómo los bolos de arcilla dura o nivel carbonatado van sufriendo una disgregación, que luego se irá aumentando con las sucesivas pasadas de pata de cabra.
- Se realizará el extendido de la cal, en la cuantía definida por metro cuadrado, y en dos pasadas. Por tanto, en esta fase se realizaría únicamente la primera pasada. Puesto que se considera necesario el extendido de cal en dos fases, sería obligado el empleo de una máquina dosificadora de cal distinta de la cisterna, a fin de que quede garantizada su movilidad sobre terreno previamente humedecido.
- Realización de una pasada de cuba de agua con volquete a presión máxima que permita una apertura en un ancho de 10 a 15 m.
- Inmediatamente detrás de la cuba, una pasada simple de la pata de cabra para el primer mezclado de la cal con la arcilla y el agua.
- Realización de otra pasada de cuba.
- Inmediatamente detrás, una pasada doble (o dos pasadas simples) de pata de cabra.
- Paso del arado de volteo, grada de rejas o vertederas, para elevar a superficie el material de fondo de tongada. Al realizar esto, se verá cómo el material que aflora a superficie, procedente de la base de la tongada, presenta bolos no disgregados, así como una textura de aspecto mucho más seco.
- Realización de la segunda pasada de la dosificadora de cal.
- Realización de una pasada de cuba.
- Realización de una pasada simple de pata de cabra.
- Realización de una pasada de cuba.
- Realización de una pasada doble de pata de cabra.
- Comprobación, si ha lugar, del grado de disgregación de la capa.
- Cierre de la capa mediante una pasada simple de rodillo vibrante.

3.3 Condiciones de acabado

- En el acabado de cada capa deberá garantizarse una pendiente mínima del 4%, de forma que se asegure la no formación de encharcamientos.
- Una vez realizado el acabado de la capa, deberá dejarse un tiempo de curado antes de proceder a colocar por encima de ella la siguiente. El tiempo necesario de curado va a depender fundamentalmente de la temperatura durante la colocación, y así a título orientativo pueden considerarse los siguientes tiempos, que deberán comprobarse para la elaboración del procedimiento para la colocación del material: a) En tiempo cálido con

temperaturas medias superiores a 20°, 4 horas; b) En tiempo suave, con temperaturas medias comprendidas entre 10 y 15°, 24 horas; c) En tiempo frío, con temperaturas medias comprendidas entre 5 y 10°, mínimo de 48 horas; d) En tiempo muy frío, con temperaturas medias inferiores a 5°, no se recomienda el tratamiento.

- Una vez comenzado el extendido de la cal, debe completarse, sin ninguna parada, el proceso completo hasta el paso del rodillo liso para cierre de la capa.
- Aunque, como se ha comentado, es admisible el extendido de la arcilla en la tarde anterior para su tratamiento, en la mañana del día siguiente, una vez realizado el extendido de la cal, debe completarse el proceso totalmente, no pudiendo interrumpirse en ningún caso, ni dejarse para completar en la siguiente jornada.

4. PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL

El control del material se realizará según las siguientes actividades:

- * Control de préstamos.
- * Control en el material colocado.
- * Control en el comportamiento del procedimiento.
- * Controles sucesivos de la evolución del material a lo largo del tiempo.

Siempre que se cumpla el procedimiento para la colocación de los materiales, y se respeten los espesores y número de pasadas de la distinta maquinaria, debe asumirse que el resultado es bueno, y los controles del producto colocado deben ir por tanto encaminados a comprobar si hay una evolución en las condiciones climáticas o del material que haga recomendable una modificación del procedimiento.

4.1 Control en préstamos

- Se pedirá a la Constructora que facilite los sistemas de explotación de los desmontes para ataque frontal, con direcciones de ataque y alturas de banco.
- Se realizará para estas explotaciones una calicata cada 2.000 m² (de profundidad igual a 4 m, que es la altura de banco) tomándose una muestra de la mezcla del material.
- De esta mezcla, se realizarán:
 - * Determinación de plasticidad con secado en estufa a 60°.
 - * Determinación de plasticidad con secado en microondas.
 - * Determinación de humedad natural con secado en estufa a 60°.
 - * Determinación de humedad natural con secado en microondas.
 - * Determinación del contenido en sulfatos.
 - * Determinación de las densidades aparentes mediante secado en estufa a 60°, de 3 muestras o bloques tomados de cada cata (a 1 m, 2 m y 3 m).
 - * Determinación de las densidades aparentes mediante secado en microondas, de 3 muestras o bloques tomados de cada cata (a 1 m, 2 m y 3 m).

4.2 Control de la tongada colocada

Se controlará la disgregación obtenida antes del cierre de la capa, determinando el porcentaje de material con tamaño menor de 5 mm. Para realizar esto, antes del cierre de la capa, se tomará una muestra en el propio tajo de peso en el entorno de 2 kg. Esta muestra, una vez pesada, se verterá en el cedazo de apertura de malla de 5 mm, disgregando el material con la

mano y la ayuda de un secador de pelo, que puede ir conectado a un grupo electrógeno transportable. Se entiende que es razonable suponer que, con el disgregado manual, nunca podrán romperse bloques existentes en arcilla de tamaño superior, y que con la ayuda del secado puede reproducirse la granulometría real final del material.

En el caso de que el porcentaje menor de 5 mm sea inferior al 65%, deberán darse dos nuevas pasadas sencillas de pata de cabra, y volverse a realizar el ensayo.

En principio, el personal con experiencia de la asistencia técnica, puede fácilmente controlar la calidad de la disgregación obtenida, y este ensayo no es necesario que se realice de forma sistemática en cada tongada, salvo de forma ocasional o cuando lo precise la asistencia técnica.

En cuanto al control de humedades y densidades aparentes mediante métodos radioactivos, se hará hincando el punzón del instrumento a una profundidad de 15 cm y con una operatividad mínima de 8 puntos por cada 2.000 m² de tongada colocada. De estos puntos deberá incluirse en informe la media de densidad y humedad, ya que cada valor puntual no es significativo de cara a la modificación del procedimiento.

4.3 Controles del procedimiento

Exteriormente al terraplén a realizar, se ejecutarán 3 tongadas de ancho de 15 m y longitud no inferior a 40 m. Estas tongadas deberán realizarse cada vez que se varíe el procedimiento o cuando lo estime adecuado la dirección de obra y su asistencia. En ocasiones, con terraplenes altos, estas tongadas pueden hacerse en el interior de un terraplén definitivo.

Sobre esas tongadas de prueba, se realizará un ensayo de la huella, siguiendo la norma suiza, traducida por el C.E.D.E.X., y con medidas a los siguientes periodos de maduración, para lo que se ha denominado como tiempo cálido (temperaturas medias superiores a 20°):

- * Primera medida a las 4 horas
- * Segunda medida a las 24 horas
- * Tercera medida a las 72 horas
- * Cuarta medida en 1 semana

En el caso de lo que se ha denominado como tiempo suave, los tiempos anteriores deben multiplicarse por 3, y en el caso de tiempo frío por 6.

Habida cuenta que el incremento de resistencia del material, en las condiciones climáticas actuales, se va a producir en primera fase entre 12 y 24 horas, los valores de huella que se consideran admisibles son: a) Primera medida, 30 mm; b) Segunda medida, 8 mm; c) Tercera medida, 3 mm; d) Cuarta medida, 2 mm.

Sobre estas mismas explanadas de prueba se realizarán ensayos de placa de carga, con placa circular de 56 ó 76 cm de diámetro y para los siguientes periodos de maduración, independientemente de las condiciones climáticas: a) 3 días; b) 7 a 15 días; c) > 30 días.

En principio puede preverse que se realice un grupo de placas de carga por cada 3 grupos de ensayos de huella, así como tomar muestras en bloque para la realización de ensayos de resistencia y deformabilidad.

En las explanadas de ensayo, se tomarán un mínimo de 2 series de 4 bloques inalterados. El primer grupo de muestras inalteradas se tomará para un periodo de curado in situ de 7 días, y el segundo para 30 días.

En cada uno de los bloques conviene realizar los siguientes ensayos:

- * Determinación de la densidad aparente
- * Determinación de la densidad mediante secado en estufa a 50°
- * Determinación de la densidad mediante secado en microondas.
- * Tallado de muestra y determinación del hinchamiento libre.
- * Tallado de muestra y determinación del colapso para presión vertical actuante de 1 kp/cm².
- * Determinación de la resistencia al corte sin drenaje para una presión vertical de 1 kp/cm².

4.4 Estimación del comportamiento final del terraplén

Antes de colocar la explanada mejorada, o cuando la altura del terraplén sea mayor de 5 m, se realizarán ensayos de penetración dinámica tipo borro, midiéndose el número de golpes necesarios para que la varilla penetre 5 cm. A partir de los resultados de estos ensayos, podrá conocerse la evolución e incremento de resistencia de las capas según su maduración.

Alcanzada la coronación de los terraplenes, y para material cuyo tiempo de maduración sea como mínimo superior a 1 mes, en caso de clima templado o cálido, o de 3 meses en caso de clima frío, se realizarán placas de carga con inundación previa, de acuerdo con la metodología fijada en ese momento.

5. BIBLIOGRAFÍA

Aashto-AGC-Artba (1990) "Guidelines and Guide Specifications for Using Pozzolanic Stabilized Mixture (Base Course or Subbase) and Fly Ash for In-Place Subgrade Soil Modification"

Anon (1963), "Subgrade Improvment UIT Drill-Lime Stabilisation", Rural and Urban Roads, October.

British Lime Association (1990) "Lime Stabilisation Manual", BLA.

British Standards Institution (1990b), BS 1924 "Stabilised Materials for Civil Engineering Purposes", BSI, London.

British Standars Institution (1990) "Methods of Test for Stabilised Soils" BS 1924 HMSO. London.

Buxton Lime Industries (1990) "Lime Stabilisation Manual" 2nd Edition.

Clare, K.E. y Cruchley, A.E. (1957). "Laboratory experiments in the stabilization of clays with hydrated lime" Geotechnique, 7, 97-111.

Cobbe, M.I. (1981) "A Preliminary Investigation into Lime Modification of Heavy Clays" Postgraduate Diploma Dissertation, Middlesex Polytechnic.

Currin, D.D., Allen, J.J y Little D.N. (1976). "Validation of Soil Stabilization Index System with Manual Development" Report FJSRL-TR-76-0006, Frank J. Seiler Research Laboratory, United States Air Force Academy, Colorado.

Davidson, L.K., Demirel, T. y Handy, R.L. (1965) "Soil Pulverisation and Lime Migration in Soil Lime Stabilisation" Highway Research Record No 92, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C. USA.

Department of Transport (Amendment August 1994) "Specification for Highway Works", Seventh Edition, HMSO, London.

Diamond W. y Kinter, B. (1965) "Mechanisms of Soil-Lime Stabilisation", Highway Research Record No. 92 TRB, Washington D.C. p. 83-102.

Domingo Ayuso, A. Olías, I. Torroja, J. Castanedo Navarro, F y Oteo Mazo, C (2000) "Metodología y estudio de la reutilización con tratamiento de cal de materiales arcillosos clasificables como marginales o inadecuados en la M-45 de Madrid". Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte. Sociedad Española de mecánica del suelo e Ingeniería geotécnica.

Dupraz, J. (2000). "Le traitement des sols a la Chaux vive en vue de leur utilisation en remblai et en couche de forme II". Congreso Andaluz de Carreteras. Cádiz

Dumbleton, M.J. (1962) "Investigations to Assess the Potentialities of Lime For Soil Stabilisation in the United Kingdom" Road Research Laboratories Technical Paper No. 64, Crowthorne.

Eades, J. L. (1962). "Reactions of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with Clay Minerals in Soil Stabilization". Ph. D. Dissertation, University of Illinois – Champaign. Urbana.

Eades, J.L. y Grim R.E. (1966) "A Quick Test to Determine Lime Requirements for Lime Stabilisation" Highway Research Record No. 3, TRB, Washington D.C. p. 61-71.

Eades. J.L. y Grim, R. (1960) "Reactions of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization" Highway Research Board Bull. 262, 51-63.

Eades, J. L. Nichols, F.P y Grim, R.E. (1962). "Formation of New Minerals with Lime Stabilization as Proven by Field Experiments in Virginia". Highway Research Board Bulletin No. 335.

HA 74 (1995) "Design and Construction of Lime Stabilised Capping" Design Manual for Roads and Bridges, Vol, 4. Section 1. Par 6 (DMRB 4.1.6.) HMSO, London.

Hilt, G.H. y Davidson, D.T. (1960) "Lime fixation in clayey soils" Highway Research Bull. 262, 20-32.

HMSO (1986). "Notes for guidance on the specification for highway works". Department of Transport (United Kingdom)

Hoover, J.M (1965) Evaluation of Experimental Stabilised Soil Base Construction, Webster Country Iowa "Highways Research Record No 92, p.21-42.

Ingles O.G. y Metcalfe, J.B. (1972) "Soil Stabilization Principles and Practice" Butterworths, Melbourne, Australia.

Junta de Andalucía, (1999). Instrucción para el Diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía.

Little, D.L. (1995). "Stabilization of Pavement Subgrades & Base Courses with Lime".

Little, D.L. (1991) "X-Ray Diffraction, Energy Dispersive Spectra and Scanning Electron Microscopic Evaluation of Stabilized Denver Clay Soils Containing Sulfates" Report to Chemical Lime Company, Fort Worth, Texas.

Little, D.N. y Petry, T.M. (1992). "Recent Developments in Sulfate-Induced Heave in Treated Expansive Clays" Second Interagency Symposium on Stabilization of Soils and Other Materials, Metairie, Louisiana.

Little, D.N. Thompson, M.R., Terrel, R.L., Epps, J.A. y Barenbeg E.J. (1987). "Soil Stabilization for Roadways and Airfields" Report ESL-TR-86-19, Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base, Florida.

Mateos, M. (1964) "Soil-Lime Research at Iowa State University" Proceedings of the ASCE 90 (SM 2), p. 127-153.

McDowell, C. (1959) "Stabilisation of Soils with Lime. Lime-Fly ash, y Other Reactive Materials", Highway Research Board, Bull, 231, p. 60-66.

Mitchell, J.K. y Hooper, D.R. (1961) "Influence of time between mixing and compaction on properties of a lime-stabilized expansive clay" Highway Research Board Bull. 304, 14-31.

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (2004). "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes". PG-3,.

MOPT (1989). "Terraplenes y pedraplenes"

New Civil Engineer (1982) "Lime Stabilised Subgrade", 23.09.82, Thomas Telford, London.

Olalla, D.C. Fernández, D.T. y Fraile D.M.J. (2004). "El ataque por los sulfatos a las estabilizaciones de suelos con cal". IV Simposio Nacional de Geotecnia Vial.

Ortuño Abad, L. y Rodríguez, J.L. (2000). "La estabilización del suelo con cal como mejora de suelos. Estudio realizado en el tramo V de la Autovía A-381: Jerez - Los Barrios II". Congreso Andaluz de Carreteras. Cádiz

Oteo Mazo C. (2004). "Los suelos marginales; características y aprovechamientos". IV Simposio Nacional de Geotecnia Vial.

Pérez Arenas, Rafael (2007). "Tratamiento de suelos marginales o inadecuados con aditivos cementantes para Terraplenes viarios". Tesis Doctoral no publicada presentada en la ETS ICCP de Madrid.

Perry, J. Snowdon, R.A y Wilson, P.E. (1996) "Site Investigation for Lime Stabilisation of Highway Works" Advances in Site Investigation Practice, ISBN 0-72-772513-0. Thomas Telford, p.85-96.

Petry, T.M. (1994). "Studies of factors causing and influencing localized heave of lime treated clay soils (sulphate induced heaved)". Contract Rep., U.S. Army engineers, waterways experiment station, Vicksburg, Mississippi.

Puente Tamayo, E.M. (1986) "Estudio de la estabilización de suelos arcillosos utilizando cal". Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

Rogers. C.D. y Glendinning, S. (1996) "Modification of Clay Soils Using Lime" Lime Stabilisation, Edited by C D F Rogers, S. Glendinning and N Dixon, Thomas Telford, London.

SETRA-LCPC (1994). "Le traitement des sols á la chaux et/ou liants hydrauliques, Guide technique en projet".

SETRA LCPC, (1992) ."Realisation des Remblais et des couches de forme" (Fascículos I y II)

SETRA-LCPC (1972). *"Recommandation pour le traitement en place des sols fins à la chaux"*

Sglendinning y N. Dixon (1996) . "Lime Stabilisation", Ed. CAF ROGERS,

Sherwood, P.T. (1993), "Soil Stabilisation With Cement and Lime" Transport Research Laboratory State of the Art Review, HMSO, London.

Sherwood, P.T. (1992) "Stabilised Capping Layers Using Either Lime, or Cement, or Lime and Cement", Department of Transport, TRRL Contractor Report 151, Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Snedker, E.A. y Temporal, J. (1990) "M40 Motorway Bandury IV Contract – Lime Stabilisation" Highways and Transportation, December, p.7-8.

Sopeña Mañas, L. (2000). "Terraplenes". Simposio Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte.

Sweeney D. (1987) "Site Report on the Construction of a Lime Modified Subgrade on Highways No. 339-01 and 334-02", Departament of Civil Engineering, University of Saskatchewan. Canada.

Sweeney, D.A., Wong, D.K.H. y Fredlund, D.G. (1988) "Effect of Lime on Highy Plastic Clay with Special Emphasis on Ageing", Transportation Research Record No 1190 p. 13-23.

Sweeney, D.A. Fredlund, D.G., Gan, J.K. y Widger, R.A. (1989) "Evaluation of Environmental Influences on a Lime-Modified Highy Plastic Soil, Paper Presented to RTAC Meeting, Calgary, Alberta, September 17-21, 1989.

Taylor, W. H y Arman, A (1960) "Lime Stabilisation Using Preconditioned Soils" Highway Research Board, Bull No 262, p. 1-19.

Thomas, C.E. Jones, W. G. Y Davis, W.C. (1965) "Lime and Phosphoric Acid Stabilisation in Missouri", Highway Research Record No 92, 43-68.

Thompson, M.R. (1967) "Factors Influencing the Plasticity and Strength of Lime-Soil Mixtures" Bulletin 492, Engineering Experiment Station, University of Illinois –Champaign- Urbana.

Thompson, M.R. (1966) "Lime Reactivity of Illinois Soils" Journal of Soil Mechanics and Foundation, ASCE, Vol. 92, No. SMS.

Thompson, M.R. (1970) "Suggested Method of Mixture Design Procedures for Lime-Treated Soils" American Society of Testing and Materials, Special Technical Publication No. 479.

Thompson, M.R. y Eades J.L. (1970) "Evaluation of Quick Test for Lime Stabilisation" Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE. Vol. 96 SM2 p.795-800.

Transportation Research Board (1987) "State of the Art Report No 5. Lime Stabilization. Yong, R.N. and Warkentin, B.P. (1966). Introduction to Soil Behavior, MacMillian, New York.

Transportation Research Board (1987). "Lime Stabilization. Reactions, properties de sing and construction research council"

Varios, (2000) "Jornada sobre el uso de la cal en la estabilización de suelos en Andalucía", Córdoba.