

Estudio de firmes tratados con cemento con aplicación de adiciones

Nombre y apellidos del alumno:

Arnau Ricart de la Fuente

Tutor del TFG:

Julio Hernández Miguel

Fecha de Adjudicación:

Marzo de 2017

Fecha de presentación:

Febrero de 2018

Introducción, colaboraciones y agradecimientos



Capítulo I

Índice

2.1. Introducción	3
2.2. Agradecimientos y colaboraciones.....	6

2.1. Introducción

La línea de trabajo, desarrollada en el marco de este Trabajo de Fin de Grado, del Grado en Ingeniería Civil; desarrolla el estudio de la adición de polímeros sobre el suelo cemento y el análisis de la relación entre la densidad seca y la resistencia a compresión simple del material. No obstante, el profesor Julio Hernández Miguel, del Departamento de Construcción y Agronomía de la Escuela Politécnica Superior de Zamora, impulsó una campaña de investigación de mayor alcance. En el ámbito de los trabajos de fin de grado se ha propuesto la realización del estudio de las capacidades mecánicas del suelo cemento de altas prestaciones a diversos alumnos. En este sentido, los alumnos Gemma Hernández Joya, Beatriz Zarza Severino, Eduardo Bragado Pascual, Víctor Mateos Ramírez y Arnau Ricart de la Fuente han versado su Trabajo de Fin de Grado en dicho estudio, generando resultados en distintas

áreas de conocimiento relacionadas con el suelo cemento.

La metodología, que se ha seguido para la realización de la investigación, se ha basado en una primera etapa de investigación documental para determinar espacios que se han considerado para la posterior investigación. Así, se determinó que la estabilización mixta cemento-polímero es una tendencia en auge que, sin embargo, ha tenido un soporte investigador reducido y, a menudo, promovido desde las propias empresas fabricantes o comercializadoras de polímeros.

En segundo lugar, se ha desarrollado una notable campaña de ensayos para determinar el comportamiento mecánico del material. Para ello, se ha llegado a acuerdos de colaboración con laboratorios independientes, en concreto, con Inzamac, Pavimentos Asfálticos Salmantinos y el Departamento de Calidad de

Cementos Molins, además de usar los recursos del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Politécnica Superior de Zamora. La última fase del proyecto ha consistido en el estudio de los resultados obtenidos, su análisis y la interpretación de resultados que no eran objeto propiamente de la investigación pero que han resultado de interés.

La motivación para llevar a cabo una investigación sobre el suelocemento de altas prestaciones viene dada por el potencial de este material en la actualidad y como una solución de futuro. Así, la sostenibilidad económica y ambiental del suelocemento junto con su buen comportamiento mecánico han convertido a este material en una alternativa ampliamente aplicada en la construcción de explanaciones y capas de firme en obras lineales. Pero más allá de su uso actual, muchos países plantean el empleo de suelocemento de prestaciones mejoradas, lo que en el contexto de este trabajo, denominamos como suelocemento de altas

prestaciones, como una única capa estructural y de rodadura. En un contexto de racionalización económica y medioambiental este material puede erigirse en una solución para la pavimentación de caminos rurales, aparcamientos o zonas de especial interés ambiental.

En cuanto a la organización del trabajo, este se ha dividido en capítulos. Así, el documento consta de siete capítulos que plantean distintas vertientes que permitan hacerse una idea integral, desde distintas ópticas, de la solución objeto de este estudio. Así, además de abordar la campaña de investigación con su metodología y análisis de resultados, se ha pretendido introducir la materialización en la obra de la solución mediante la descripción de los equipos y el proceso constructivo. Y, también, se ha planteado un capítulo dedicado al estudio del estado del arte de la solución, tomando como referencia, investigaciones previas que se han considerado de especial interés.

Por último, el espacio dedicado a las conclusiones tiene por objeto ilustrar los principales resultados que se pueden inferir de esta investigación, pero además, proponer soluciones a algunos de los problemas detectados en la misma y, las limitaciones que puede presentar la solución analizada.

Para facilitar la interpretación del documento, puesto que los capítulos se organizan desde perspectivas distintas; los índices, las tablas de contenidos y las referencias bibliográficas se han estructurado de forma independiente para cada capítulo.

Hay que tener en cuenta también las limitaciones que han acompañado a la realización de este trabajo. La falta del equipamiento necesario para la realización de este proyecto en las instalaciones de la Escuela Politécnica Superior de Zamora ha hecho necesario llegar a acuerdos de colaboración con laboratorios externos. Esta circunstancia es importante reseñarla puesto que estas empresas externas han

colaborado de forma desinteresada y ha sido necesario compaginar sus actividades con las propias de este trabajo. Pero además, esta investigación se ha desarrollado en el marco de los trabajos de fin de grado de distintos alumnos, de forma que, sus autores no están integrados en ningún grupo de investigación acreditado de la Universidad de Salamanca. Este hecho limita la capacidad económica de la investigación, que no obstante, requiere la disposición de medios importantes. A modo ilustrativo los ensayos enmarcados en este proyecto han requerido trasladar más de 1.500kg de suelos desde distintos emplazamientos repartidos por la geografía española hasta los distintos laboratorios en los que se ha trabajado.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.2. Agradecimientos y colaboraciones

Como se ha expuesto anteriormente, el desarrollo de esta investigación ha supuesto el esfuerzo altruista de muchas personas y empresas.

En este sentido, agradecer, en primer lugar, al tutor de este proyecto y profesor, Julio Hernández Miguel por el tiempo, el asesoramiento y el empeño que ha dedicado. No cabe duda de que su implicación ha desbordado sus obligaciones como tutor de un Trabajo de Fin de Grado.

Por otra parte, agradecer a mis compañeros Gemma Joya Hernández, Beatriz Zarza Severino, Víctor Mateos Ramírez y Eduardo Bragado Pascual su colaboración, ayuda e implicación para la realización de este trabajo que ha sido resultado de la contribución de todos.

Agradecer también al Departamento de Construcción y Agronomía de la Escuela Politécnica Superior de Zamora su implicación en dotar al Laboratorio de Materiales de

Construcción del equipamiento que nos ha permitido desarrollar buena parte de esta investigación.

Y, por último, agradecer a las empresas que sin ninguna motivación económica han apoyado este trabajo.

En este sentido, agradecer a los responsables y al personal del laboratorio de Inzamac su disposición para colaborar con nosotros.

Agradecer del mismo modo al Departamento de Calidad de Cementos Molins su cooperación en la realización del proyecto, ajustando incluso su propio calendario, para poder llevar a cabo este trabajo.

Hay que reseñar que sin la confianza que nos han brindado sus responsables y sin el esfuerzo que sus técnicos y personal de laboratorio han realizado la consecución de este proyecto jamás habría podido lograrse. Así,

agradecer personalmente a Jordi Altet, director del Departamento de Calidad de PROMSA y, a Iris Márquez, responsable de I+D+i del Departamento de Calidad de PROMSA su implicación y confianza.

Por último, agradecer a las empresas que han suministrado, de forma desinteresada, sus materiales para someterlos a esta campaña de investigación. En este sentido, dar las gracias a Matec-Q, a Geocompact, a CEMEX y a Cementos Molins por su aportación.



La Técnica del Suelocemento in situ



Capítulo II

Índice

2.1. Definiciones.....	3
2.2. Desambiguación.....	7
2.3. Ventajas e inconvenientes.....	9
2.4. Evolución Histórica del Suelo Cemento.....	13
2.5. Historia del Suelo Cemento en España.....	16
2.6. Experiencias del Suelo Cemento de Altas Prestaciones.....	17
2.7. Evolución del marco normativo estatal.....	21
2.8. Normativa Autonómica.....	25
2.9. Documentos sectoriales.....	30
2.10. Abstracto del marco normativo a nivel internacional.....	32
Figura 1. Probeta de CTB. Fuente: PCA.....	5
Figura 2. Obra de ensanche ejecutada con suelocemento in situ. Fuente: IECA.....	10
Figura 3. Planta de suelocemento. Fuente: Intrame.....	11
Figura 4 Figura 2. Condiciones para la prefisuración de capas de suelocemento colocadas directamente bajo mezcla bituminosa. Fuente: Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco.....	29
Figura 5.Tabla de distancia entre juntas transversales de contracción. Fuente: Norma de Secciones de Firme de la Comunitat valenciana.....	29
Figura 6. Colección de documentos de referencia editados por la PCA. Fuente PCA.....	34
Figura 7. Resumen de las resistencias mínimas requeridas por distintas direcciones de carreteras. Fuente: ACI.....	36
Figura 8. Ensayo de viga a flexión. Fuente: Austroads.....	37
Figura 9. Resistencias prescritas para el suelocemento en Colombia. Fuente INVIAS.....	39

2.1. Definiciones.

Es conveniente considerar distintas definiciones de los términos relacionados con el suelocemento in situ. Estudiar las interpretaciones del suelocemento propuestas por fuentes y normativas diversas ayuda a comprender el empleo, evolución, prescripciones y empleabilidad que tiene el material para cada uno de los autores. Además, merece la pena detenerse en estudiar la terminología que rodea al suelocemento puesto que las distintas tendencias investigadoras y legislativas frecuentemente proponen términos diferentes para referirse a una misma expresión. Esto es especialmente relevante para acotar y diferenciar materiales que son muy semejantes en cuanto a su fabricación, puesta en obra o capacidades mecánicas. Sin embargo, la rigidez de las normas y prescripciones de materiales no dan margen para la interpretación subjetiva.

- Suelocemento (Dirección General de Carreteras; Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento, 2015): Se define como material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada, se utiliza como capa estructural en firmes de carretera. Dependiendo del material granular utilizado se distinguen dos tipos de materiales tratados con cemento: suelocemento y gravacemento.
- Suelocemento (Consejería de Fomento; Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Junta de Castilla y León, 2004): El suelocemento es el material para capa de firme resultante de la mezcla homogénea y

uniforme de un suelo, cemento, agua y eventualmente aditivos, como un retardador de fraguado, realizada en central o en ocasiones in situ y convenientemente compactada, al que se le exigen una determinada resistencia mecánica y unas ciertas características de acabado.

- Suelocemento (Portland Cement Association, 1995): El suelo cemento es una mezcla de suelo pulverizado y cantidades dosificadas de cemento Portland y agua, compactado a alta densidad. A medida que el cemento se hidrata, la mezcla se convierte en un material de pavimentación duro y duradero. Una capa de rodadura bituminosa se coloca sobre la base de suelo cemento para completar el pavimento. El

suelo para suelo cemento puede ser casi cualquier combinación de arena, limo, arcilla y grava o piedra de machaqueo. Los materiales granulares locales como escoria, caliche o cantos, más una amplia variedad de materiales de desecho (como cenizas, cenizas volantes y desechos de canteras y graveras) se pueden usar para hacer suelo cemento. Además, las antiguas carreteras de base granular, con o sin sus superficies bituminosas, se pueden reciclar para hacer un buen suelo cemento. El suelo cemento a veces se llama base tratada con cemento o base granular estabilizada con cemento. Independientemente de cómo se llame, los principios que rigen su composición y construcción son los mismos.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

Además del suelocemento existen otros términos cercanos etimológicamente que merece la pena describir, de tal forma que, a posteriori sea posible diferenciar y desambiguar la terminología.

- Base tratada con cemento (E. Halsted Gregory, 2006): es un término general que se aplica a una mezcla íntima de suelos nativos y / o agregados manufacturados con cantidades medidas de cemento portland y agua que se endurece después de la compactación y curado para formar un material de pavimentación fuerte, duradero y resistente a las heladas. A veces se usan otras descripciones, como base de suelo-cemento, base de agregados tratada con cemento, lecho de cemento estabilizado y la base estabilizada con cemento. La base tratada con cemento (CTB) se puede mezclar in situ utilizando materiales del lugar, o se puede mezclar en una planta central usando

material seleccionado (a menudo áridos fabricados).



Figura 1. Probeta de CTB. Fuente: PCA

El CTB mezclado en el lugar se compacta después de la mezcla, y el CTB mezclado en una planta de fabricación se transporta al área de colocación en camiones y se coloca en la carretera con una niveladora, pavimentadora o esparcidor tipo Jersey. Para completar el pavimento, se coloca hormigón bituminoso u hormigón de cemento Portland en la parte superior del CTB. Guía para PCA con tratamiento de cemento.

- Materiales tratados con cemento (Austroads Inc., 2008): Los materiales cementados se pueden

describir como una combinación de un conglomerante cementoso, agua y material granular que se mezclan entre sí y se compactan en las primeras etapas del proceso de hidratación para formar una capa de pavimento que posteriormente se cura. El conglomerante cementoso puede consistir en cemento Portland, cemento mixto, cal u otro conglomerante químico y puede incluir uno o más materiales cementosos suplementarios, como ceniza volante o escoria granulada de alto horno. El aglutinante debe agregarse en una cantidad suficiente para producir una capa unida con una resistencia a la tracción significativa.

- Suelo Estabilizado in situ (Dirección General de Carreteras; Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento, 2015): Se define como suelo estabilizado in

situ la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con un conglomerante, del tipo cal o cemento, y eventualmente agua, con el objetivo de disminuir su plasticidad y susceptibilidad al agua o aumentar su resistencia, y que convenientemente compactada, se utiliza en la formación de explanadas y rellenos tipo terraplén.

2.2. Desambiguación

De las definiciones anteriores se desprende una importante heterogeneidad en la descripción de un mismo término -el suelocemento- según el autor o la institución de la que surge dicha descripción. Pero además, observamos una situación todavía más compleja, y es que, se emplean distintos términos para referirse a un mismo concepto. Tanto es así, que por ejemplo en la definición propuesta por la PCA se admiten distintas terminologías (Portland Cement Association, 1995) para referirse el suelocemento.

La lexicología entorno al término suelocemento ha ido evolucionando siguiendo las tendencias constructivas de cada región y además existe un fenómeno de retraso en la transferencia del estado de la técnica con respecto al marco normativo. Ejemplo de ello es la diferencia que existe en el marco legislativo español. En tanto que son numerosas las regiones que

prescriben la posibilidad de ejecutar el suelocemento in situ, la norma de referencia estatal -el PG-3- impide esta posibilidad. Tras múltiples obras ejecutadas siguiendo esta técnica y que han tenido un notable resultado, la legislación del Ministerio de Fomento sigue apostando por una posición conservadora respecto a la inclusión de esta solución.

Otro punto determinante para tratar de desambiguar el término suelocemento se encuentra en la exigua distancia que existe entre unidades de obra semejantes. Tanto es así, que incluso el propio regulador, en este caso, la Dirección de Carreteras a través de su Norma 6.1.-IC permite indistintamente poner en obra suelocemento o suelo estabilizado tipo SEST-3 en determinadas situaciones. Para evitar situaciones de esta índole, otras instituciones como Austroads apuesta por hablar de materiales tratados con cemento (Austroads,

2014) asumiendo que los materiales que constituyen la solución –con las posibles diferencias en cuanto a dosificación- son los mismos, los equipos para ejecutarla lo son del mismo modo y las capacidades mecánicas por consiguiente pueden evaluarse desde la misma perspectiva no tiene sentido establecer una diferenciación formal entre ellos. De la misma forma, la normativa francesa propone un mismo marco para evaluar las soluciones de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos (Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Le service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 2000).

En conclusión y, a efectos de la investigación que nos concierne, el término suelocemento no conviene restringirlo al dictado de un marco normativo concreto puesto que el avance de la técnica, las condiciones socio-económicas del entorno, la experiencia constructiva, el conocimiento técnico y experimental de la solución determinan la definición del concepto. Más allá de ello, conviene conocer múltiples planteamientos y partir de una definición de suelocemento más abstracta y sin restricciones impuestas a priori.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.3. Ventajas e inconvenientes

El suelocemento in situ constituye una solución que persigue la eficiencia en la consecución de una obra. La filosofía de este planteamiento es emplear el material del que se dispone en la propia traza de la obra en lugar de recurrir a la extracción y transporte de áridos de calidad hasta la misma. Sin duda, esta solución redundará en una apuesta por la sostenibilidad medioambiental de los proyectos y una reducción de los costes económicos de los mismos. Podemos clasificar los beneficios del suelocemento in situ en:

Ventajas técnicas:

- Reducción de la sensibilidad del firme a los cambios de humedad, los ciclos hielo-deshielo y, en general, a las agresiones climáticas.
- Disminución de la transferencia de tensiones generadas por el tráfico hacia la explanada y menores deformaciones en las capas superiores del firme, de tal forma que, se mayorará la vida útil de la infraestructura.
- Incremento del espesor de trabajo frente al extendido con extendidora de suelocemento.
- Reducción del tráfico asociado al transporte de material hacia la obra. Este tráfico, con características de tráfico pesado, muy agresivo para las infraestructuras colindantes, que puede generar una caída del nivel de servicio en dichas vías adyacentes y molestias para los usuarios.
- Aumento del plazo de trabajabilidad de la solución frente al suelocemento mezclado en planta, especialmente en condiciones de altas temperaturas y baja humedad relativa.
- Idoneidad de la solución en obras de ensanche (Instituto

Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2015) en las que se ejecuta en el firme existente un reciclado con cemento. Esta solución permite dotar a toda la calzada de homogeneidad en el comportamiento estructural.



Figura 2. Obra de ensanche ejecutada con suelocemento in situ. Fuente: IECA

Ventajas económicas:

- Reducción de los plazos de ejecución puesto que el rendimiento de los equipos es superior al que pueda lograrse ejecutando el suelocemento en planta y extendiéndolo.
- Eliminación del coste de implantación de la planta de fabricación así como todos

los trámites administrativos correspondientes.

- Reducción del volumen de áridos nobles a emplear y el coste asociado de transporte.
- Programación de la ejecución de la obra por fases que no redunde en inactividad de la planta de fabricación.
- Ahorro significativo en la redacción de estudios y proyectos de préstamos y vertederos.

Ventajas medioambientales

- Disminución de la necesidad de vertederos y la explotación de nuevos préstamos al aprovechar el material de la traza.
- Adecuación de la técnica al empleo de cementos con altos contenidos en adiciones. Este hecho reduce la necesidad de emplear cementos con dotaciones importantes de clinker cuya producción está asociada a costes energéticos elevados

y a la emisión de contaminantes.

- Eliminación del impacto medioambiental y de la afección sobre el suelo generado por la instalación de la planta de fabricación.



Figura 3. Planta de suelocemento. Fuente: Intrame

Inconvenientes:

- Las capas de materiales tratados con cemento tienen una importante sensibilidad al espesor puesto que la reducción del mismo conlleva la disminución de la resistencia a la fatiga del mismo, de modo que, la vida útil se ve drásticamente reducida. Esta situación de control del espesor es más compleja cuando el suelocemento se ejecuta in

situado que la precompactación del material a la salida del tambor de la estabilizadora es escasa. Por ello, las operaciones de nivelación son fundamentales para asegurar la homogeneización de los espesores de capa. Esta situación es la que ha llevado a las Administraciones a prescribir un aumento del espesor de capa en la ejecución in situ.

- El control de la dotación de conglomerante aplicado y la homogeneización del material es compleja. Factores como la velocidad de avance de los equipos, la naturaleza del suelo, la velocidad de rotación del tambor, el estado de las picas o la obstrucción de difusores puede generar heterogeneidad en el tratamiento del material o dejar bandas poco tratadas.
- Los ensayos prescritos normativamente para el

control de la unidad requieren un plazo largo, contrapuesto con el gran rendimiento de los equipos. Así, cuando se detectan deficiencias, las reparaciones son costosas.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.4. Evolución Histórica del Suelo Cemento.

La técnica de la estabilización de suelos se conoce desde tiempos antiguos, por ejemplo de la mano de la civilización maya, con los conocidos como caminos blancos (Rodríguez, 2007), donde sobre suelos cohesivos se disponían puzolanas para lograr un efecto estabilizador. En la construcción de los caminos romanos también se tuvieron en cuenta las propiedades estabilizadoras de los conglomerantes, empleándose cal o puzolanas naturales para ejecutar tramos sobre materiales marginales.

Hasta finales del siglo XIX la ingeniería de carreteras tuvo un desarrollo lento dado que el transporte terrestre estaba condicionado a la tracción animal, la producción de materiales de construcción era costosa, el plazo de ejecución de las obras era muy dilatado en el tiempo y la falta de mecanización hacía complejo abordar construcciones de grandes dimensiones. Sin embargo, con la

llegada de la Revolución Industrial la producción de materiales se disparó y llegaron los primeros equipos mecánicos capaces de abordar el trabajo de decenas de hombres. Además, este entorno económico creciente empujó la producción y a su vez el transporte que demandaba mejores viales para satisfacer la demanda. Este contexto tuvo también repercusión en la técnica de la estabilización y se comenzaron a llevar a cabo las primeras experiencias modernas.

A lo largo del siglo XX podemos diferenciar cuatro etapas del desarrollo del suelo cemento.

- Inicios de siglo XX hasta la década de 1930. Podemos considerar como el precursor de las estabilizaciones modernas el ingeniero inglés Brooke Bradley, quien trató con éxito un suelo arcilloso mediante el empleo de cemento. Además, en esta etapa comenzaron a estudiarse los resultados satisfactorios de las

obras, de carácter esporádico, que se llevaron a cabo y que sirvieron como base a las futuras investigaciones en este campo.

- Década de 1930 a la década de 1950. Fue durante estos años cuando se instrumentalizó el estudio de los suelos estabilizados. De la mano de varios entes norteamericanos como la Portland Cement Association (PCA), la Bureau of Public Roads o la National Lime Association se realizaron numerosos estudios de laboratorio y tramos experimentales que determinaron las propiedades fundamentales del suelo cemento, el comportamiento del material, y que sirvieron como base para sugerir procedimientos constructivos, análisis de dosificaciones o diseño de espesores.

Durante la Segunda Guerra Mundial la necesidad de abrir nuevas vías, pistas de aeropuerto y todo tipo de infraestructuras bélicas demandó el empleo de suelo-cemento como un material capaz de estabilizar de una forma rápida y efectiva los suelos

donde debían asentarse estas infraestructuras que se desarrollaban a un ritmo frenético.

- Década de 1950 a la década de 1970. El papel del suelo cemento fue incluso más importante durante esta etapa en la que muchos países europeos debían llevar a cabo una fase de reconstrucción de sus infraestructuras.

- Década de 1970 hasta la actualidad. La estabilidad social, económica y política de los países occidentales ha conllevado un aumento del nivel de vida de las personas que cada vez demandan más y mejores infraestructuras. Además, la creciente importancia de la sostenibilidad económica y ambiental de las obras ha empujado al suelo cemento a convertirse en un material de referencia en la construcción de firmes. Este aumento de la demanda del suelo cemento se ha visto respaldada por una industria que produce equipos estabilizadores de gran capacidad, conglomerantes en grandes cantidades y con una calidad

mucho más contrastada. Y además,
las instituciones han generado un

importante marco normativo que
respalda el producto.

2.5. Historia del Suelo Cemento en España

La estabilización de firmes en España se inició a finales de los años 50 y comienzo de la década de los 60. En esas fechas el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, más conocido por su acrónimo CEDEX, así como el Instituto Eduardo Torroja comenzaron una labor de investigación para caracterizar los materiales y proponer fórmulas de dosificación. Además, se acometieron algunas obras con carácter experimental y se inició una actividad modesta entorno a la técnica. Sin embargo, a mediados

de los años noventa la estabilización sufrió un notable auge con la ejecución de las grandes autovías del noroeste peninsular enmarcadas en el Plan de Autovías. Con esta técnica se ejecutaron tramos de la Autovía de la Plata, la Autovías de las Rías Baixas, La Autovía de Castilla o la Autovía del Camino de Santiago.

En el momento de mayor inversión en obras públicas, antes de la crisis económica de 2008, llegaron a existir 80 equipos de estabilización en España.

2.6. Experiencias del Suelo Cemento de Altas Prestaciones.

La técnica del suelo-cemento es en la actualidad extendida a nivel internacional, sin embargo, las experiencias entorno al suelo-cemento de altas prestaciones han sido mucho más escasas.

Esta técnica no ha tenido apenas desarrollo en los países europeos puesto que no ha existido una aplicación que la demandara. No obstante, en países iberoamericanos se han desarrollado ya procesos constructivos en este sentido puesto que allí convergen circunstancias que les llevan a demandarlos. Por una parte, una red vial poco pavimentada que sirve a una población que en buena parte vive en zonas rurales. Y, por otra parte, unas condiciones climáticas que les empujan a buscar alternativas a las operaciones de reposición y nivelado de zahorra que deben llevarse a cabo periódicamente. Todo ello además, buscando un

criterio de sostenibilidad medioambiental y económica.

En esta línea de trabajo se enmarca la llevada a cabo por el Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC) desde el año 2000, donde se desarrollaron los Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño (PUAD) entendidos como “una estructura de pavimento formado por el suelo existente en el camino, mezclado con un porcentaje de cemento, según diseño, que forma una sola capa compactada capaz de soportar cargas normales y el desgaste producido por el tránsito, y que proporcione una superficie de rodaje adecuada para caminos rurales y vías secundarias”.

Así, en el año 2002 se ejecutó en El Salvador, en la planta de cemento El Ronco, el primer tramo de prueba que sirvió para obtener parámetros de diseño de este tipo de pavimento. Se obtuvieron notables resultados con resistencias a

compresión a largo plazo de hasta 7,5MPa.

Desde entonces, el empleo de la solución Unicapa se ha extendido a otros países latinoamericanos como Panamá, la República Dominicana, Bolivia, Méjico o Colombia. Además, la ejecución de distintos tramos ha permitido a técnicos del ISCYC determinar las propiedades mecánicas del PUAD así como su comportamiento real tras la puesta en obra.

Hay que entender que el Pavimento Unicapa basa sus prestaciones resistentes en un aumento de la dotación de conglomerante hasta alcanzar valores comprendidos entre el 11 y el 20%.

Del mismo modo, el Soil-Cement Laboratory Handbook publicado en 1959 por la Portland Cement Association también propone altas dotaciones de cemento para aquellos suelos clasificados por la ASHTOO en las categorías más desfavorables. Sin embargo, en este caso la norma de dosificación no pretende alcanzar altas

prestaciones sino que propone dotaciones elevadas para lograr resistencias usuales en el cálculo de paquetes de firme.

Además de lograr una mejoría de las prestaciones del suelo mediante la aportación de altas dotaciones de cemento, existen otras técnicas encaminadas a lograr un suelo-cemento de altas prestaciones.

El uso de polímeros como forma de lograr suelo cemento de altas prestaciones es una tendencia creciente en el mercado que, en países como Estados Unidos o Australia, viene desarrollándose desde hace años. El empleo de polímeros como estabilizante estuvo en un principio limitado a actuar como fijador superficial de finos y su aplicación principal estaba dirigida a la reducción de la generación de polvo en caminos rurales. Sin embargo, la técnica ha evolucionado de tal forma que, actualmente, se ejecutan obras de estabilización mixta en las que cemento y polímeros se mezclan in-situ con el suelo a estabilizar. De

esta forma, el cemento permite una mejoría de la capacidad portante del suelo pero además los polímeros complementan esta acción y permiten también otorgar otras propiedades al suelo como la reducción de la permeabilidad, el aglomerado superficial que disminuye las pérdidas por abrasión, la mejoría del comportamiento frente a ciclos de hielo-deshielo.

En esta misma dirección ha surgido la técnica de estabilización mixta con cemento y organosilanos. Se trata de una aplicación nanotecnológica de los compuestos orgánicos de silicio que tiene por objeto rellenar los huecos intersticiales del suelo cemento. Esta acción reduce la permeabilidad de la capa, la absorción del material y el hinchamiento libre del mismo pero además tiene capacidad conglomerante lo que por sí mismo aporta un aumento de la resistencia mecánica del suelo.

Otro producto innovador en la estabilización de suelos es el

conocido como cemento de vidrio, comercializado bajo la marca ECO'STABIL por la empresa francesa ESPORTEC ECO-INDUSTRIEL. Se trata de un conglomerante a base polvo de vidrio reciclado micronizado además de cenizas volantes y otros residuos. Dicho conglomerante sirve para la ejecución de estabilizados y la elaboración de suelo-cemento en central. Un ejemplo es el producto ARIPAC que comercializa CEMENTS MOLINS. Se trata de un suelo cemento elaborado en central cuya composición está formada por ligante ECO'STABIL y árido calizo. La aplicación de este producto ha sido notable en los últimos años, especialmente, erigiéndose como una solución de pavimentación en espacios protegidos medioambientalmente donde no se permitiría la ejecución de firmes convencionales.

El campo del suelo cemento con adiciones para mejorar sus prestaciones ha sufrido un importante desarrollo en los últimos años como consecuencia de las

exigencias normativas en materia ambiental, la creciente consciencia en el empleo racional de los recursos naturales y el contexto de racionalización de gastos en infraestructuras impuesto en muchos países. En este contexto, han surgido iniciativas como las descritas anteriormente, sin embargo, puesto que todas estas experiencias son recientes y en muchos casos todavía no han tenido gran aceptación en el mercado, existe una escasa base técnica y científica que los ampare y su inclusión en las normas sectoriales es prácticamente nula.

La concurrencia de múltiples productos, para la estabilización

mixta de suelos o la adición sobre suelo cemento, cuyas características técnicas se desprenden de ensayos y campañas de investigación promovidas por los propios promotores de los productos han generado una situación un tanto anárquica.

Se espera que a medida que la empleabilidad de éstos vaya aumentando se promuevan catálogos y un marco normativo que especifique las prescripciones técnicas, así como herramientas que permitan a los proyectistas proponer su empleo con mayores garantías.

2.7. Evolución del marco normativo estatal.

El empleo de suelocemento en España está regulado mediante el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3. La primera versión del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, el PG-3/75, aprobado por la Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976, dedicaba a las técnicas de estabilización de suelos los artículos: “Artículo 510. Suelos Estabilizados “In Situ” con Cal”, “Artículo 511. Suelos Estabilizados “In Situ” con Productos Bituminosos”, “Artículo 512. Suelos Estabilizados con Cemento”, y “Artículo 513. Gravacemento”. Así pues, originalmente el PG-3 establecía artículos diferenciados para cada técnica de estabilización.

El “Artículo 512. Suelos Estabilizados con Cemento” definía el suelo estabilizado con cemento como “la mezcla íntima, convenientemente compactada de suelo, cemento, agua y

eventualmente adiciones, a la cual se exigen unas determinadas condiciones de insusceptibilidad al agua, resistencia y durabilidad. Además, en dicho artículo, se distinguían dos métodos de construcción según el lugar donde se efectúa la mezcla de cemento, suelo y agua: mezcla “in situ” y mezcla en central.

Dicho articulado estuvo vigente hasta su modificación por la Orden Ministerial de 21 de enero de 1988 mediante la “Orden Circular 297/1988T: Recomendaciones sobre Estabilizaciones de Suelos “In Situ” y Tratamientos Superficiales con Ligantes Hidrocarbonados”. Esta modificación normativa supuso la supresión del “Artículo 511. Suelos Estabilizados “In Situ” con Productos Bituminosos” puesto que era una unidad de obra con escaso empleo y la inclusión de un nuevo artículo. El “Artículo 511. Suelos Estabilizados “In Situ” con Cemento” que recogía la parte del “Artículo

512. Suelos Estabilizados con Cemento” relativa a las estabilizaciones con cemento “in situ”.

Se produjo una etapa de desarrollo normativo importante con la aprobación mediante Orden Ministerial del 23 de mayo de 1989 de la “Instrucción 6.1 y 2 IC. Secciones de Firme” así como el “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos RC-88” aprobado por el Real Decreto 1312/1988. Como consecuencia, la Dirección General de Carreteras aprobó con fecha de 12 de junio de 1989 la “Nota de Servicio sobre la Dosificación de Cemento en Capas de Firme y Pavimento”. Este documento suponía la aplicación a las unidades de obra de estabilización con cemento de las disposiciones recogidas en la Norma 6.1 y 2 IC así como el RC-88, además de esclarecer conceptos relativos a la puesta en obra del cemento mixto tipo-V.

Con posterioridad, la Dirección General de Carreteras emitió una nueva Nota de Servicio con fecha de 13 de mayo de 1992. La “Nota de Servicio sobre Capas Tratadas con Cemento (Suelocemento y Gravacemento)” ponía en alerta sobre los daños producidos por los fenómenos de retracción y desarrollaba una serie de medidas para paliarlos. Así, se recomendaba el empleo de Cemento tipo II-35 puesto que el empleo masivo de Cemento tipo-IV y su desarrollo tardío de resistencias había generado problemas de retracción en numerosas obras. Además, se limitaban las resistencias a compresión simple a 7 días a 3,0MPa.

La siguiente modificación legal vino de la mano de la Orden Circular 10/2002 que modificaba la “Instrucción 6.1 y 2 IC. Secciones de Firme” de 23 de mayo de 1989 así como determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3. En lo referente a la estabilización con cemento se

modificaron los artículos de la Orden Circular 297/1988T “Artículo 511. Suelos Estabilizados “In Situ” con Cemento” y “Artículo 510. Suelos Estabilizados “In Situ” con Cal” de tal forma que se substituyeron por el “Artículo 512. Suelos Estabilizados “In Situ””. De este modo, las prescripciones relativas a las técnicas de estabilización “in situ” ya fuera con cal o con cemento quedaban recogidas en un mismo artículo.

Esta estructura en el articulado se ha mantenido hasta la actualidad, de tal forma que, se dedica un artículo a las estabilizaciones “in situ” en tanto que el “Artículo 513. Gravacemento” recogido en el PG-3/75 fue substituido en la Orden Circular 10/2002 por el “Artículo 513. Materiales Tratados con Cemento (Suelocemento y Gravacemento)”. Dicho artículo 513 contiene las prescripciones relativas a los materiales tratados con cemento mezclados en planta.

Sin embargo, des del año 2002 se han introducido modificaciones a las

prescripciones técnicas de los suelos tratados con cemento.

Así pues, el 1 de marzo de 2004 entró en vigor la “ORDEN FOM/891/2004, de 1 de marzo, Por la que se actualizan determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, relativos a Firmes y pavimentos”. Dicha Orden Ministerial incorporó modificaciones sobre el “Artículo 512. Suelos Estabilizados “In Situ”” y el “Artículo 513. Materiales Tratados con Cemento (Suelocemento y Gravacemento)”, derogando los artículos vigentes hasta la fecha.

De nuevo, el 12 de diciembre de 2014, los artículos relativos a la estabilización o tratamiento de suelos con cemento se vieron afectados por una modificación de sus correspondientes artículos en el PG-3. Dicha modificación se llevó a cabo mediante la “ORDEN FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, Por la que se actualizan determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales

para Obras de Carreteras y Puentes,
relativos a Materiales Básicos, a
Firmes y Pavimentos, y a

Señalización, Balizamiento y
Sistemas de Contención de
Vehículos”.

2.8. Normativa Autonómica

Por otra parte, el Artículo 148 de la Constitución Española prevé:

“1. Las Comunidades Autónomas podrán asumir las competencias en las siguientes materias:

5ª. Los ferrocarriles y carreteras cuyo itinerario se desarrolle íntegramente en el territorio de la Comunidad Autónoma y, en los mismos términos, el transporte desarrollado por estos medios o por cable.”

De conformidad con lo dispuesto anteriormente, las Comunidades Autónomas han asumido en sus Estatutos de Autonomía la competencia exclusiva en materia de carreteras. Esto, se traduce en la práctica, en que las autonomías han asumido la exclusividad competencial en todas aquellas carreteras que pasan o discurren por su territorio a excepción de las comprendidas en la Red de Carreteras del Estado por razones de interés general.

De este modo, algunas Comunidades Autónomas han desarrollado normativa de carácter autonómico en materia de diseño y proyecto de carreteras, así como sus firmes y pavimentos. Las Administraciones Autonómicas, responsables de la ejecución de numerosas obras de carreteras, fueron adoptando paulatinamente el suelocemento in situ como una unidad de referencia debido a la inviabilidad del montaje de plantas de suelocemento para ejecutar obras del tamaño al que debían enfrentarse estas Administraciones, además de la mayor economía y la reducción de plazos de ejecución de esta solución.

Sin embargo, existe en cualquier caso, en estas normas autonómicas recelo por las posibles deficiencias de la ejecución in situ frente a la mezcla en planta, especialmente derivado de la tolerancia de espesor. En este sentido, como práctica habitual, el marco

normativo autonómico exige un incremento de espesor de la capa frente al que se hubiera proyectado con mezcla en planta. El artículo “6.8.5.2. Materiales y unidades de obra. Suelocemento. Suelocemento in situ” de las Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de Castilla y León, 2004 impone un incremento de 3cm en los espesores mínimos indicados en las secciones de firme de nueva construcción.

La Instrucción para el Diseño de la Red de Carreteras de Andalucía, 2007 establece que el suelocemento in situ tipo SC-4 podrá fabricarse in situ incrementando los espesores mínimos de proyecto en 3cm y solo para tráfico T3B o inferiores.

La “Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco, Noviembre 2012” permite la ejecución de suelocemento in situ para tráfico inferiores a T1. En este caso, deberá incrementarse en 3cm los espesores mínimos definidos en

el “Capítulo 9. Secciones de firme en calzada”.

Las “Recomendaciones para el dimensionamiento de firmes de la Red Autonómica Aragonesa, Abril 2011” permiten el empleo de la técnica de suelocemento in situ, previa autorización del Director de Obra, siempre que el tráfico sea inferior a T3a y estableciendo un incremento de espesor de capa de 5cm frente al establecido en el catálogo de firmes.

La generalización de la puesta en obra de suelocemento in situ impulsada en buena medida desde su introducción normativa a nivel autonómico ha supuesto una acumulación de experiencia que en algunos casos no ha dado los resultados esperados. Por ello, desde la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de Castilla y León con fecha de 7 de abril de 2006 se publicó una Instrucción C.E.-2/2006. Prescripciones para el empleo del suelocemento in situ. Este documento redactado para

enmendar las deficiencias detectadas en el cumplimiento de las prescripciones de las Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de Castilla y León sometía el proyecto o realización de suelocemento in situ a la autorización previa y expresa de la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras.

Como se desprende del marco normativo actual, el suelocemento in situ a pesar de ser una solución ampliamente utilizada, tiene una regulación legislativa poco sólida e incluso contradictoria. Tanto es así que las normas de ámbito nacional, en este caso, la Norma 6.1. Secciones de Firme de la Instrucción de Carreteras no admite la puesta en obra del suelocemento in situ exceptuando una salvedad: “Si se justifica por razones constructivas, y en el caso de que no se emplee en el firme de la calzada, en la categoría de tráfico pesado T1 el suelocemento podrá sustituirse por un suelo seleccionado o adecuado

estabilizado in situ con cemento tipo S-EST3 (artículo 512 del PG-3), con una resistencia a compresión simple a 7 días no inferior a 2,5 MPa y prefisurado con espaciamentos comprendidos entre 3 y 4 m.”

De tal forma que, la norma permite substituir el suelocemento por S-EST3 en los arcenes de carreteras con tráfico iguales o inferiores a T1.

Otro punto de contradicción entre la normativa estatal y autonómica lo encontramos en las limitaciones de resistencia a compresión simple y la eventual necesidad de prefisurar el material. En tanto que la resistencia mínima y el contenido mínimo de cemento son compartidos por todo el marco legal español, existen normas autonómicas que no limitan la resistencia a compresión simple máxima siempre que se lleve a cabo la prefisuración de la forma convenida en estas regulaciones.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

Propiedades	Pliego PG-3 del Ministerio de Fomento, 2015	Instrucción de Firmes de Andalucía, 2007	Norma Comunidad Valenciana, 2008	Recomendaciones de Castilla y León, 2004	Recomendaciones de Aragón, 2011	Norma País Vasco, 2012
Tamaño Máximo (mm)	<50	=PG3	<40	<50 (recomendable <40)	=PG3	=PG3
Husos	SC-40 y SC-20 para $IMDp < 200$	Para $IMDp \geq 100$ = PG3. El resto sin limitación	Sin limitación	Sin limitación	SC-40 y SC-20 para todo tipo de tráfico	SC-40 y SC-20 para todo tipo de tráfico
Pasa #2 UNE (%)	SC-40: entre 20 y 52 SC-20: entre 36 y 94	=PG3	Sin limitación	$\geq 20\%$	=PG3	=PG3
Pasa #0,063 UNE (%)	SC-40: entre 2 y 20 SC-20: entre 2 y 35	Entre 3 y 30	Sin limitación	$\leq 35\%$	=PG3	=PG3
Plasticidad	LL<30 & IP<12	LL<30 & IP<12 (Preferiblemente 10)	=PG3	=PG3	=PG3	=PG3
Materia Orgánica (%)	<1%	=PG3	=PG3	=PG3	=PG3	=PG3
Sulfatos (%)	En suelocemento no dice nada. Árido de gravacemento <1%	=PG3	=PG3	=PG3	<0,5% & $Si \geq 0,5\% \rightarrow$ CEM SR	=PG3
Empleabilidad	6.1-I.C.: Sólo arcenes $IMDp \leq T1$.	$IMDp \leq T3b$. Incremento espesor 3cm.	Arcenes con $IMDp \leq T1$.	Para todos los tráficoes. Incremento espesor 3cm.	$IMDp \leq T3a$. Incremento espesor 5cm.	$IMDp \leq T1$. Incremento espesor 3cm.
Resistencia Compresión simple mínima/máxima (MPa)	2,5/4,5	2,5/-*	2,5/-*	2,5/-*	2,5/-*	2,5/-*
Prefisuración	-Longitudinal: en tráficoes de T00 a T2 si ancho es >4m, si ancho >5m en todos los casos.	-Longitudinal: si calzada >7m -Transversal, cada 3m: En T00 a T2 obligatorio si	Cada 3 metros, ver figura 4.	-Transversal, cada 3 o 4m: Para tráficoes T21 y T22 con espesores de SC de 35cm. En el resto a	-Transversal, cada 3m: Si resistencia a compresión simple $\geq 4,5MPa$	Cada 3 metros, ver figura 5.

	-Transversal: Cada 3 o 4m	capa MBC<18cm. En T2 a T4.2. recomendable		critero del proyectista.	Si la resistencia es ≤4,5MPa en tráficos T3a o superiores	
--	------------------------------	--	--	-----------------------------	---	--

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	Zona térmica	Suelocemento	Gravacemto
T00 a T22	ZT1	3,5	3,0
	ZT2	3,0	2,5
	ZT3 y ZT4	4,0	3,5
T31 a T42	ZT1	-	3,5
	ZT2	4,0	3,0
	ZT3 Y ZT4	-	4,0

Tabla 18. Distancia entre juntas transversales de contracción [m].

Figura 5. Tabla de distancia entre juntas transversales de contracción. Fuente: Norma de Secciones de Firme de la Comunitat valenciana.

Tabla 7.3 Condiciones para la prefisuración de capas de suelocemento colocadas directamente bajo mezcla bituminosa

TRÁFICO	ZONA CLIMÁTICA	RCS7 < 4,5 Mpa	RCS7 ≥ 4,5 MPa
ALTO (< T3)	CONTINENTAL	Obligatorio ^(*)	Obligatorio
	LITORAL	Recomendable ^(*)	
BAJO (≈ T3)	CONTINENTAL	Recomendable	Recomendable ^(**)
	LITORAL	No necesario	

RCS7: Resistencia compresión simple a 7 días del material tratado con cemento.

^(*) No necesario cuando el espesor de MB ≥ 20 cm.

^(**) No necesario para Tráfico de Proyecto T4B.

Figura 4 Figura 2. Condiciones para la prefisuración de capas de suelocemento colocadas directamente bajo mezcla bituminosa. Fuente: Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco.

2.9. Documentos sectoriales.

A nivel estatal, el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) ha impulsado la divulgación de conocimiento sobre las obras de estabilización con cemento y el empleo de suelocemento. Así, ha colaborado en la redacción de los artículos del PG-3 referentes a estas unidades de obra y, además, ha realizado publicaciones que constituyen una buena referencia para proyectistas y contratistas para la puesta en obra de estos materiales.

En referencia a la estabilización con cemento encontramos la “Guía Técnica: Estabilización de suelos con cemento en obras ferroviarias, marzo de 2013”, “Guía Técnica: Firmes con capas de materiales tratados con cemento, marzo 2017”, “Guía Técnica: Estabilización de suelos con cemento, febrero 2015”. Además, esta institución ha sido una de las precursoras en el impulso del empleo del suelocemento in situ. En este sentido, publicó en febrero de

2015 la “Guía Técnica: Suelocemento in situ,”. Este documento presenta una retrospectiva del uso del suelocemento in situ, su situación normativa en el estado español y además presenta una serie de recomendaciones para su puesta en obra derivadas de la acumulación de experiencia sobre dicha solución.

Des del IECA también se llevó a cabo la redacción del “Pliego de Prescripciones Técnicas para Suelocemento fabricado in situ para obras ferroviarias” de Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). Este documento constituye el marco normativo por el que se regula la unidad de obra del suelocemento in situ en las obras ferroviarias en España e introduce cambios y matices a la legislación de carreteras con el fin de adaptar la solución a la realidad de las obras ferroviarias.

Otro de los documentos de referencia publicados por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones en colaboración con el Ministerio de Fomento, el Ministerio

de Medio Ambiente y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) es el “Manual de Firmes con Capas Tratadas con Cemento”.

2.10. Abstracto del marco normativo a nivel internacional

Las experiencias en el empleo de suelocemento a nivel internacional son, a día de hoy, ya muy numerosas y extensas a nivel internacional. Además, la base normativa sobre la que se afirma esta solución está muy consolidada, de tal forma que, muchos países incorporan el suelocemento en sus especificaciones y prescripciones técnicas para la ejecución de obras de vialidad. Sin embargo, existen notables diferencias en las prescripciones relativas a su empleo, ejecución, control o caracterización mecánica, de tal forma que, a continuación se presentan a modo de ilustración algunas características requeridas a dicha unidad de obra en distintos países.

- Francia:

La “Guide Technique: Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques: Application à la réalisation des remblais et des couches de forme” editada en enero

del 2000 por el Laboratorio Central de Puentes y Caminos (LCPC) y el Servicio de Estudios Técnicos de Vías y Autovías (SETRA) constituye el documento de referencia en la aplicación de suelos tratados con ligantes hidráulicos en obras carreteras.

Como hecho diferencial, dicho documento propone una división en niveles de estudio en la caracterización del suelocemento a emplear. Estos niveles de estudio se corresponden con la fase de estudio en la que se encuentra el proyecto, de tal forma que por ejemplo, a un anteproyecto le corresponde un nivel de estudio 1 en tanto que el nivel de estudio 2 es preceptivo en la fase de redacción del proyecto constructivo, etc.

La profundidad de estudio del material avanza conforme el nivel de estudio es superior. Sin embargo, ya en la fase de anteproyecto correspondiente a un nivel de estudio 1, la caracterización de la

solución es bastante avanzada y se deben caracterizar los siguientes ítems:

- Identificación de todos los componentes de la mezcla.
- Elección de los productos de tratamiento y dosificación de los mismos.
- Características de la puesta en obra de las mezclas: densidad y humedad óptimas, índice portante inmediato (IPI).
- Plazo de trabajabilidad.
- Estudio de capacidades mecánicas:
 - o Determinación de la edad a la que se autoriza la circulación. Edad para una $R_c \geq 1 \text{MPa}$.
 - o Resistencia a la inmersión a corto plazo. $R_{ci}/R_{c60} > 0,80$
 - o Resistencia al hielo $R_f \geq 0,25 \text{MPa}$.
 - o Capacidades mecánicas a largo plazo, mediante R_{190} y E_{90} .

A nivel constructivo, la guía permite la ejecución del suelocemento in situ y propone la estabilización mixta cal-cemento como una solución habitual.

- Estados Unidos:

El marco normativo estadounidense tiene una importancia capital por dos motivos fundamentales: el empleo de suelocemento como solución para bases de carreteras ha tenido una enorme aplicación y, por otra parte, las directrices norteamericanas han servido como referencia a buena parte de las normas y prescripciones de los países latinoamericanos.

Así pues, la American Institute Concrete (ACI) afirma que en Estados Unidos entre los años 1915 y 2009 se han ejecutado más de 200.000km de carreteras de ancho equivalente a 7,3m con suelocemento como material constitutivo de base.

El desarrollo regulador en E.E.U.U. ha venido de la mano de las

experiencias empíricas desarrolladas por la Portland Cement Association (PCA) desde el año 1935. La PCA ha editado tres manuales de referencia en este ámbito. Por una parte, el documento dedicado a los aspectos de diseño de mezcla y ensayos, el “Soil-Cement Laboratory Handbook”; otro dedicado a la puesta en obra del material y prescripciones constructivas, el “Soil-Cement Construction Handbook”; y, por último, el manual dedicado al control e inspección de las obras ejecutadas con suelocemento, el “Soil-Cement Inspector’s Manual”. Además, la Portland Cement Association publicó el “Thickness Design for Soil-Cement Pavements”. Este documento constituye una herramienta para el dimensionado de capas de suelocemento en pavimentos. Pues bien, de la acción experimental e investigadora de la PCA que recogió en estos manuales los criterios y fundamentos del suelocemento han surgido las actuales normas AASHTO y ASTM

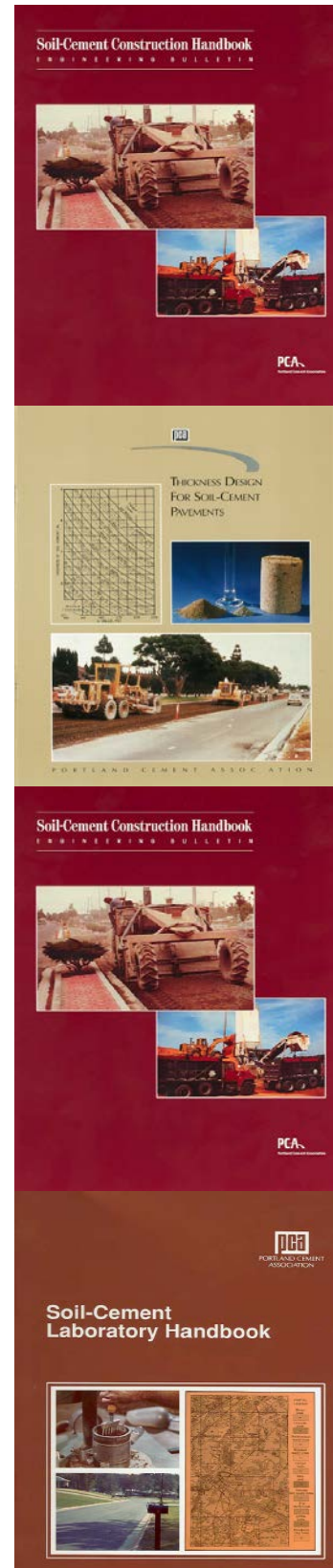


Figura 6. Colección de documentos de referencia editados por la PCA. Fuente PCA.

que recogen y adaptan los criterios desarrollados por la PCA. A nivel de diseño de mezcla, la PCA propone un esquema que se fundamenta en:

- Clasificación de suelos según la norma “AASHTO M-145: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes”.
- Determinación de la humedad y densidad óptimas, según la “AASHTO T-134: Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures”.
- Ensayos de durabilidad por ciclos de humectación, desecación y cepillado, conforme a la norma “AASHTO T-135: Standard Method of Test for Weeting-and-Drying Test of Compacted Soil-Cement Mixtures”.
- Ensayos de durabilidad por ciclos de hielo, deshielo y cepillado, conforme a la

norma “AASHTO T-136: Standard Method of Test for Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures”.

Para este método la norma propone unas dotaciones mínimas de cemento para cada tipo de suelo. Se elaboran dos probetas con dicho contenido, otras dos con un aumento de dotación del 2% y dos más con defecto del 2%. Se someten a los ensayos de durabilidad y se limita su pérdida de peso máxima. A posteriori, se tomará como dotación mínima aquella que satisfaga la pérdida máxima de peso interpolando entre las tres series.

Sin embargo, este método requiere una gran cantidad de tiempo, aproximadamente 45 días (Arturo Madrid, y otros, 1983) para dosificar la mezcla. De tal forma que la PCA desarrolló un método simplificado, sólo apto para algunos tipos de suelos, basado en la determinación de la resistencia a compresión simple.

Con el empleo de ábacos y entrando con los parámetros de granulometría y densidad aparente se determina la resistencia a compresión simple mínima que deberá satisfacerse con los resultados obtenidos experimentalmente.

considerar que la PCA recomienda para suelos, según clasificación AASHTO, A-7 una dotación de cemento de entre el 10 y el 16% (Portland Cement Association, 1992) en peso de cemento.

A nivel de ejecución los equipos de

Table 2.3: Summary of minimum strength requirements of cementitious bound materials

Road agency	7-day UCS	28-day UCS	Test density
Roads and Maritime Services New South Wales (RMS)	GP cement: 4 MPa Slow setting ¹ : 3 MPa	–	100% standard MDD
Roads Corporation, Victoria (VicRoads)	GP cement: 5 MPa GB cement: 3.5 MPa Supplementary cementitious blends: 3 MPa	–	100% modified MDD
Department of Transport and Main Roads Queensland (Queensland TMR) ²	Category 1: 3 MPa Category 2: 2 MPa	–	100% standard MDD unsoaked
Department of Planning, Transport, and Infrastructure, South Australia (DPTI)	–	GB cement: 4 MPa	96% modified MDD

¹ 3 MPa limit applies provided at least 1 MPa strength gain between 7 and 28 days.

² The minimum 7-day UCS shown is based on a cementitious blend of 75% cement and 25% fly ash. Where another combination of stabilising agent is to be used, the minimum 7-day UCS is to be determined through laboratory testing to ensure a one year UCS equivalent to the 75/25 cement/fly ash blend.

Figura 7. Resumen de las resistencias mínimas requeridas por distintas direcciones de carreteras. Fuente: ACI

Las normas de dosificación americanas prevén dotaciones de cemento muy superiores a las usualmente empleadas en los países europeos. La tendencia en Europa, aunque está revirtiéndose en los últimos años, es utilizar materiales de buena calidad para la fabricación de suelocemento en tanto que en Estados Unidos se aprueba la utilización de materiales de muy baja calidad incrementando las dotaciones de cemento. De esta forma, se propicia la ejecución de suelocemento in situ. Hay que

estabilización in situ y reciclado son ampliamente utilizados en los Estados Unidos para la puesta en obra del suelo cemento in situ sin que existan limitaciones en su empleo más allá de la obtención de una mezcla homogénea y una correcta disgregación del material que en ningún caso puede tener un tamaño superior a 50mm.

- Australia:

La Austroads ha realizado en los últimos años un notable trabajo en la caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales

cementados. Este trabajo culminó con la publicación en junio de 2014 del “Final Report: Cemented Materials Characterisation”. Este documento ha servido como base para la elaboración de la normativa técnica “Guide to Pavement Technology Part 4D: Stabilised Materials”. Además sus resultados se han aplicado a la revisión de “Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design”. La diferencia más notable con respecto a las normas europeas y americanas propuesta por la regulación australiana es que la caracterización mecánica del material viene dada por parámetros mecánicos derivados del comportamiento a flexión del material. Así, se propone que el valor de referencia en el control del suelocemento sea el módulo elástico obtenido por ensayo a flexotracción del material. Esto introduce la necesidad de elaborar vigas en laboratorio cuyo proceso de fabricación es notablemente más complejo que los estándares adoptados por otras legislaciones.

Figure 3.7: Flexural beam test

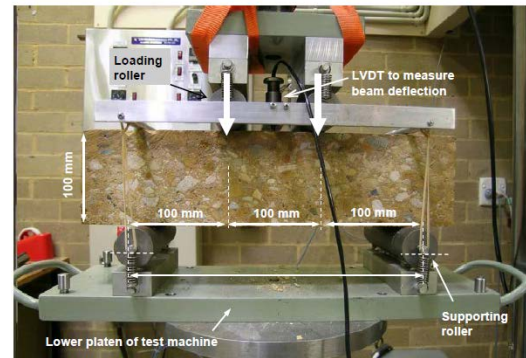


Figura 8. Ensayo de viga a flexión. Fuente: Austroads.

Para ello y, tras caracterizar una importante muestra de suelos, el documento publicado por Austroads propone que $E_{FLEX} = k \cdot UCS$ (Austroads, 2014).

Siendo E_{FLEX} el módulo elástico a flexión, k un valor que toma valores comprendidos entre 1.000 y 1.250 y, UCS la resistencia a compresión simple sin confinar.

- Ecuador

Las prescripciones relativas al suelocemento recogidas por la legislación ecuatoriana vienen recogidas en la “Norma Ecuatoriana Vial. Volumen 3. Especificaciones Generales de Construcción de Caminos y Puentes. Sección 404. Bases. Artículo 404.5. Base de

Suelocemento”. Dicho artículo propone el estudio de la dosificación de la mezcla conforme a la norma estadounidense “AASHTO T-144: Standard Method of Test for Cement Content of Soil-Cement Mixture”. En Ecuador se prescribe una resistencia a compresión simple a 7 días mínima de 1,8MPa y se permite la fabricación in situ de la mezcla. Además y, a modo anecdótico por su poca empleabilidad en otros países, se permite tanto la operación de curado mediante el recubrimiento con tierras como la dosificación del cemento en sacos.

- Perú:

La Dirección General de Caminos y Ferrocarriles de Perú introduce en el “Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Sección 403.A. Base de Concreto Hidráulico Poroso” una unidad de obra fundamentada en el suelocemento y que se prescribe para su empleo en capas de base de pavimentos. La terminología

base de concreto hidráulico poroso describe un suelocemento cuyas características resistentes deben satisfacer una $RCS_7 \geq 4,5 \text{MPa}$ y una dotación mínima mayor de 118kg/m^3 . Sin embargo, en el marco normativo actual dicho material no se permite que se ejecute in situ.

- Argentina:

En el “Pliego de especificaciones Técnicas Generales del Departamento Nacional de Vialidad, 1998” no está prescrita la ejecución de suelocemento in situ. En cualquier caso, la dosificación del suelocemento en planta está sometida a los ensayos de pérdida de peso por humedad-secado o congelamiento-deshielo.

- Colombia:

Las “Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. Capítulo 3.1. Afirmados, Subbases y Bases” definen en su “Artículo 350. Suelo-Cemento” y

“Artículo 351. Bases Tratadas con Cemento”. Ambos materiales pueden ser ejecutados in situ según las prescripciones técnicas colombianas y las diferencias entre ambas redundan en las capacidades mecánicas y la dosificación mínima de cemento establecidas para cada una de las unidades. Así, la dosificación del suelocemento se regula mediante la adaptación de los métodos de la PCA, siempre con dotaciones mayores del 3% y, se limita la resistencia a compresión simple a 7 días por debajo de 4,5MPa. Por su parte, las capas tratadas con

4% de cemento sobre el peso seco del material a tratar y, la RCS_7 para la clase R3.5. será igual o mayor a 3,5MPa, en tanto que, para la clase R5.2. será mayor o igual 5,2MPa.

- CEPRENDAC:

El Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENDAC) publicó en el año 2010 el “Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras”. Dicho manual presenta un interés especial porque recoge a nivel normativo una unidad de obra

Tabla 351 - 6. Criterios de diseño para la mezcla de base tratada con cemento

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE RESISTENCIA	
		R 3.5	R 5.2
Resistencia			
Comportamiento de la resistencia con: - Incremento en el contenido de cemento - Incremento en la edad	E-614 ajustado	Crece Crece	
Resistencia a la compresión a 7 días, MPa - Mínima - Máxima	E-614 ajustado	3.5 7.0	5.2 7.0

Nota 1: el ajuste en la norma de ensayo INV E-614 se refiere a la modificación de las dimensiones de las probetas, las cuales serán elaboradas según las indicaciones de la Tabla 351 - 5.

Figura 9. Resistencias prescritas para el suelocemento en Colombia. Fuente INVIAS

cemento pueden ser de la clase R3.5 o R5.2. en dichas capas la dosificación mínima prescrita es del

novedosa como son los Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño (PUAD). Esta solución, desarrollada

por el Instituto Salvadoreño del cemento (ISCYC) desde finales de los años 90 ha sido incorporada como unidad de obra prescrita para los trabajos de mantenimiento en las vías de los países integrados en el CEPRENDAC. La principal diferencia respecto a un suelocemento in situ usual recae en el hecho de que la capa de suelocemento constituye un pavimento en si misma sin que sea necesario la aplicación de capas de aglomerado u hormigón. El “Artículo 206. Pavimento Unicapa de Alto Desempeño” prescribe para esta solución de suelocemento fabricado in situ unas características mecánicas superiores a las

habituales. Así pues, se exige a los PUAD una resistencia a compresión simple a 28 días superior a 7 MPa. Además, se somete a las probetas a un Ensayo de desgaste de Los Ángeles en el cual no se introducen esferas de acero. El material debe tener una pérdida de peso inferior al 50% tras 200 revoluciones.

Además de incorporar los PUAD, el Manual Centroamericano para el Mantenimiento de Carreteras consta del “Artículo 314. Colocación de base estabilizada de suelocemento in situ”. Dicho artículo prescribe una $RCS_7 \geq 3,5 \text{ MPa}$ y una pérdida de peso tras 12 ciclos del ensayo secado-mojado inferior al 10%.

2.11. Bibliografía

American Concrete Institute. 2009. *Report on Soil Cement ACI 230.1 R-09.* Farmington Hills : American Concrete Institute, 2009. 978-0-87031-333-2.

Arturo Madrid, M. Carlos y Norman Santander, R. 1983. *Dosificación de Mezclas de Suelo-Cemento.* Medellín : Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 1983.

Austrroads. 2014. *Final Report: Cemented Materials Characterisation.* Sydney : Austrroads, Ltd., 2014.

Austrroads Inc. 2008. *Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design.* Sydney : Austrroads Inc., 2008. 978-1-921329-51-7.

Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC). 2010. *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras.* Centroamérica : CEPREDENAC, 2010.

Centro de Publicaciones; Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento. 2003. *Norma 6.1-IC Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras.* Madrid : Centro de Publicaciones; Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, 2003.

Comunitat Valenciana. Direcció General d'Obres Públiques. 2009. *Norma de secciones de firme de la Comunitat Valenciana.* Valencia : Conselleria d'Infraestructures i Transports, 2009. 978-84-482-5198-7.

Consejería de Fomento; Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Junta de Castilla y León. 2004. *Recomendaciones de Proyecto y Construcción de Firmes y Pavimentos.* Valladolid : Consejería de Fomento; Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Junta de Castilla y León, 2004.

Departamento de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes; Gobierno de Aragón. 2011. *Recomendaciones Técnicas para el Dimensionamiento de Firmes de la Red Autonómica Aragonesa.* s.l. : Departamento de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes; Gobierno de Aragón, 2011.

Departamento de Vivienda, Obras Públicas y Transportes. Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco. 2012. *Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco.* Vitoria-Gasteiz : Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2012. VI 502-2012.

Dirección General de Carreteras; Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento. 2015. *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)*. s.l. : Dirección General de Carreteras; Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento, 2015.

E. Halsted Gregory, R. Luhr David, S. Adaska Wayne. 2006. *Guide to Cement-Treated Base (CTB)*. Skokie, Illinois : Portland Cement Association, 2006. 0-89312-253-X.

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). 2008. *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2008. 978-84-89702-23-3.

—. *Pliego de Prescripciones Técnicas para Suelocemento Fabricado in situ para Infraestructuras Ferroviarias*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

—. **2015.** *Suelocemento in situ*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2015.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Le service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes. 2000. *Guide Technique: Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques*. Paris CEDEX : Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Le service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 2000. 2-7208-3810-1.

Portland Cement Association (PCA). 1970. *Thickness Design for Soil-Cement Pavements*. Skokie : Portland Cement Association (PCA), 1970.

Portland Cement Association. 1995. *Soil-Cement Construction Handbook*. s.l. : Portland Cement Association, 1995.

—. **1992.** *Soil-Cement Laboratory Handbook*. Illinois : Portland Cement Association, 1992.

Rodriguez, Carlos Antonio Quintanilla. 2007. *El Estado del Arte del Suelocemento en Estructuras de Pavimentos*. Panamá : Federación Interamericana del Cemento, FICEM, 2007. 978-9962-8918-1-9.

Subsecretaría de Infraestructuras del Transporte, Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. 2013. *Norma Vial Ecuatoriana, Volúmen nº3. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito : MTOP, 2013.

Proceso constructivo



Capítulo III

Índice

2.1.	Procedimiento constructivo.....	4
2.2.	Equipos de trabajos previos.	11
2.3.	Equipos de dosificación.....	14
2.4.	Equipos de mezcla	19
2.5.	Equipos de compactación	25
2.6.	Equipos de nivelación.....	28
2.7.	Equipos de prefisuración	30
2.8.	Equipos de curado.....	32
2.9.	Bibliografía.....	34

Tabla de contenidos

Figura 1.	Resumen gráfico del procedimiento constructivo para ejecutar suelocemento in situ. Fuente: SOLTEC.....	10
Figura 2.	Máquina despedregadora. Fuente: Diario Vasco	11
Figura 3.	Motoniveladora con ripper. Fuente:	11
Figura 4.	Trituradora de piedra trabajando sobre fondo de desmonte. Fuente: FAE..	12
Figura 5.	Criba móvil sobre orugas. Fuente: Powerscreen	13
Figura 6.	Dosificador de conglomerantes autopropulsado. Fuente: COLAS	15
Figura 7.	Acople de estabilizadora y cuba de agua. Dosificación por vía seca con humectación simultánea a la mezcla. Fuente: Alvac	15
Figura 8.	Dosificador de conglomerantes remolcado. Fuente: Streumaster	16
Figura 9.	Acople de estabilizadora, dosificador de lechada y cuba de agua. Fuente: Soltec	17
Figura 10.	Inyección de lechada y (eventualmente) agua al tambor del rotor. Fuente: Wirtgen.....	18
Figura 11.	Rotovator agrícola en tareas de mezcla, apoyado por motoniveladoras. Fuente: COMYCSA.....	20
Figura 12.	Grada de discos mezclando suelocemento. Fuente: Desconocida.....	20
Figura 13.	Motoniveladora mezclando suelocemento in situ. Fuente: Administración Boliviana de Carreteras	21
Figura 14.	Máquina estabilizadora autopropulsada con motor trasero. fuente: Bomag	22
Figura 15.	Estabilizador accionado por tractor. Fuente: Wirtgen	22

Figura 16. Compactador vibratorio liso mixto. Fuente: Triexplanada	25
Figura 17. Compactador pata de cabra. Fuente: Caterpillar	26
Figura 18. Compactador de neumáticos. Fuente: Caterpillar	26
Figura 19. Motoniveladora con sistema 3D embarcado. En primer plano, estación total robotizada. Fuente: Mobile Automation	28
Figura 20. Motoniveladora con sistema GPS embarcado. Fuente: Caterpillar	29
Figura 21. Detalle de la uña empleada en el sistema CRAFT. Fuente: ATC-PIARC....	30
Figura 22. Equipos empleados en el sistema OLIVIA. Fuente: ATC-PIARC.....	30
Figura 23. Sistema JOINT-ACTIF. Pala cargadora para ejecutar surco y excavadora de neumáticos para disponer el perfil plástico. Fuente: ATC-PIARC.....	31
Figura 24. Quad adaptado para ejecutar prefisuraciones. Fuente: ATC-PIARC	31
Figura 25. Cuba sobre camión aplicando riego de polímeros. Fuente: SOLID I+C	32
Figura 26. Cuba de agua remolcada por tractor. Fuente: COPUGASA	32
Figura 27. Gravilladora sobre camión. Fuente: SECMAIR	33
Figura 28. Cuba de riego de emulsión asfáltica. Fuente: ECOASFALT	33

2.1. Procedimiento constructivo

La ejecución de suelocemento in situ requiere una serie de operaciones cuyo dimensionamiento es fundamental para lograr el correcto desarrollo de la obra, la reducción de los plazos y el ahorro de costes. Al tratarse de una unidad de obra que debe ejecutarse con medios materiales y humanos especializados la necesidad de organizar previamente el tajo resulta imprescindible y la fórmula de trabajo a aplicar condiciona en buena medida el desarrollo de los trabajos. Además, es fundamental que dicha fórmula haya sido suficientemente probada y contrastada puesto que de lo contrario y, si se obtuvieran en obra resultados inadecuados, los costes de reparación y/o reposición serían muy elevados.

Por todo ello, conviene diferenciar las etapas que constituyen el procedimiento constructivo, los equipos asociados a cada una de

ellas y los elementos más determinantes para establecer si la obra se está desarrollando satisfactoriamente. En cuanto a las etapas podemos distinguir:

1. Trabajos previos
2. Dosificación
3. Mezcla
4. Precompactación
5. Nivelación
6. Compactación
7. Prefisurización
8. Curado y protección

Los trabajos previos tienen por objeto facilitar el desarrollo de las etapas posteriores partiendo de un material que reúna las condiciones para poder ser trabajado. En este sentido, hay dos parámetros esenciales que pueden ser susceptibles de verse afectados por los trabajos previos. De una parte, la granulometría del suelo y, de otra, la humedad del mismo. La modificación granulométrica puede responder a la necesidad de

eliminar o aportar áridos para obtener una granulometría modificada que satisfaga las necesidades planteadas. Así, en terrenos con bolos o áridos muy gruesos será preceptivo retirar a los mismo u optar por realizar la trituración in situ de estos. La compacidad de los suelos también será objeto de atención puesto que una compacidad muy elevada podrá generar problemas durante la ejecución de la unidad de obra. Por otra parte, en cuanto la humedad es fundamental referenciarla a la del ensayo Próctor Modificado. Dicha humedad es la que permitirá alcanzar un grado de compactación óptimo y para lograrla es posible que haya que actuar. Las actuaciones podrán ir dirigidas a aumentar la humedad del suelo mediante el riego del mismo o bien a reducirla mediante la ejecución y mantenimiento de un correcto drenaje durante toda la fase de obras. Otra opción será recurrir al tratamiento previo del suelo con cal para disminuir la humedad de éste. En cualquier caso, la necesidad de

controlar las humedades ya nos da una idea de la importancia que tendrá la meteorología durante la obra. Así, es habitual que durante los períodos en los que se esperan precipitaciones sostenidas los trabajos de ejecución de suelocemento se vean interrumpidos. Y, si se procediera al secado del suelo con cal se deberá asegurar un período seco suficiente para ejecutar el suelocemento puesto que la rehidratación del suelo, especialmente en caso de suelos muy cohesivos podría dar lugar a la reactivación de los finos arcillosos de forma que el trabajo previo ejecutado se vería reducido al absurdo.

Otra de las tareas a ejecutar antes de la puesta en obra del suelocemento es la nivelación de la subrasante. Es fundamental en aras a garantizar el espesor de la capa que la subrasante haya sido nivelada y compactada adecuadamente. De otro modo, se generaría la necesidad durante la nivelación de la capa de suelocemento de remover el mismo

para nivelar el suelo y cubrir las deficiencias anteriores. Esta situación resulta inaceptable porque la capacidad estructural de los materiales tratados con cemento está afectada directamente y de forma muy importante por el espesor de capa.

Dentro de los trabajos previos podemos del mismo modo considerar todas las operaciones auxiliares a la ejecución. En este sentido, el transporte de la maquinaria, especialmente los dosificadores de lechada y estabilizadores es un punto a tener en consideración por el elevado coste que supone derivado de la necesidad de emplear medios de transporte especial y de realizar largos desplazamientos puesto que la presencia de máquinas de esta índole a nivel nacional no es especialmente abundante. Otro punto importante que puede condicionar el avance de la obra es el suministro de materiales en las fases posteriores. En este sentido, el consumo de conglomerantes y agua con los rendimientos de ejecución

actuales son elevados, de modo que, uno de los trabajos previos podrá consistir en el dimensionado de los acopios y los puntos de abastecimiento. Como alternativa para asegurar el correcto suministro de cemento sin que se generen esperas o demoras existe la posibilidad de disponer un silo de cemento fijo o móvil.

Tras la ejecución de los trabajos previos se procederá al extendido de conglomerante. Este puede ser ejecutado por vía seca o vía húmeda como se describe más adelante. Sin embargo, es importante desambiguar que es posible inyectar agua directamente a la máquina de estabilizado y estar trabajando por vía seca. Este método consiste en el extendido del conglomerante por vía seca y la posterior humectación y estabilización del suelo en un mismo proceso. Se logra acoplado una cuba de agua y una estabilizadora de forma que por los inyectores del tambor de ésta última se inyecta únicamente agua lo que redundará en una humectación más homogénea.

En el proceso de dosificación de conglomerante cuando se ejecute por vía seca hay que prestar especial atención a la acción del viento puesto que ésta puede eliminar o remover el conglomerante generando una situación de infra-dotación o heterogeneidad en el material. En cuanto a la dosificación por vía húmeda la principal limitación vendrá dada cuando el suelo presente un exceso de humedad de forma que podrá efectuarse un rebaje de la humedad mediante la aplicación de cal o bien optar por la estabilización por vía seca. Cuando se dosifiquen polímeros en la mezcla será preferible trabajar por vía húmeda, en este caso, fabricando en lugar de una lechada de cemento una disolución de polímeros. Este método permitirá una aplicación mucho más homogénea que la habitual mediante el riego. Una de las operaciones fundamentales de control de la dosificación es comprobar el correcto funcionamiento del equipo de forma periódica. Así, problemas

mecánicos en los sistemas de distribución en vía seca o inyección y mezcla en vía húmeda pueden generar la aplicación de una cantidad de conglomerante distinta a la especificada en la fórmula de trabajo lo que generará sobrecostes si se está sobredimensionando la cantidad pero también si se deben asumir reparaciones. Así pues, conviene controlar periódicamente la calibración de los equipos para evitar estas situaciones.

La fase de mezcla es de vital importancia para garantizar que el material tiene la homogeneidad requerida. Existe además una relación directa entre la cantidad de conglomerante aplicado y la dificultad para su correcto mezclado. Así, cuando se ejecuta suelocemento in situ de altas prestaciones es muy importante emplear equipos especializados. Incluso en este caso es necesario controlar la velocidad de avance de forma que la mezcla sea completamente homogénea. Es necesario que en la mezcla el equipo avance en calles de anchura

correspondiente a su ancho de trabajo eficaz y que cuando retroceda para ejecutar la calle aneja se ejecute una franja de solape de unos 20 centímetros para asegurar que no se genera una junta longitudinal que daría lugar a fallos posteriores. La longitud de las calles deberá ser aquella que permita ejecutar todo el ancho a estabilizar en el plazo de trabajabilidad y considerando el resto de operaciones a efectuar. Durante esta etapa también habrá que controlar el suministro de conglomerante y agua a la máquina para no detener su avance ni ralentizar el mismo.

La precompactación es una operación de compactado del material a la salida del tambor de la máquina estabilizadora. Esta tiene por objeto compactar el fondo de la capa y reducir el volumen del suelo que ha sido esponjado de modo que la motoniveladora pueda perfilar el terreno. Esta precompactación se efectúa con la máxima amplitud de impacto para asegurar que la compactación llega al fondo de la

capa y pretende llegar a densidades cercanas al 90 o 92% de la densidad máxima. Esta fase debe ser rápida para no tomar mucho tiempo en el plazo de trabajabilidad del material y es habitual que se efectúe con una o dos pasadas dobles de un compactador vibrante liso mixto.

La nivelación debe ejecutarse para garantizar una regularidad adecuada. En el caso de disponerse materiales de rodadura el coste de los mismos es muy elevado, de modo que, deben reducirse al mínimo los sobrespesores de éstos dejando la capa de suelocemento con el perfil de proyecto. En el caso de que el suelocemento vaya a conformar la propia capa de rodadura, evidentemente, la fase de nivelación deberá garantizar la rasante final de proyecto y deberá ejecutarse con especial atención para garantizar el drenaje de la capa. Para ello, la motoniveladora deberá refinar toda la superficie compensando los excesos de material y trasladándolos a las zonas de déficit. No obstante, como ya se

ha remarcado, es importante partir de una subrasante correctamente perfilada para no incurrir en la heterogeneidad de espesores de material. En cuanto a los medios empleados es importante disponer una motoniveladora con sistema 3D embarcado para garantizar el perfil proyectado y ejecutar la nivelación en el menor plazo posible.

La compactación final tras el refinado del suelocemento es la que deberá garantizar la densidad de la capa. En este sentido, es fundamental alcanzar densidades del orden del 97 o 98% del Próctor Modificado para que la capa tenga un comportamiento resistente acorde al ensayado en la campaña previa de dosificación. El proceso de compactación debe empezar nada más terminar el refinado del material para evitar la pérdida de humedad del mismo y terminar el proceso dentro del plazo de trabajabilidad del suelocemento que suele ser de entre 2 y tres horas pudiendo disminuir como consecuencia de altas temperaturas y/o viento. En materiales donde sea necesario

garantizar el sellado superficial el empleo de compactadores de neumáticos es preceptivo. Puede ser el caso de suelocemento como última capa del firme donde el rodillo de neumáticos puede hacer entre 3 y 5 pasadas dobles tras el riego con polímeros para cerrar la superficie del material y facilitar la penetración por amasado en los primeros centímetros del material.

Tras la compactación final es habitual prefisurar el material. Esta operación es fundamental para aquellos materiales de altas prestaciones con resistencias mecánicas importantes puesto que la rigidez del material podría producir fisuras de retracción que en caso de que se dispusiera una capa de aglomerado de poco espesor generarían una reflexión de fisuras. En el caso de suelocemento como capa de rodadura una fisuración excesiva puede generar un mecanismo de rotura superficial que derive en un problema de resistencia a la abrasión del material.

Los últimos trabajos que deberán ejecutarse están relacionados con el curado y la protección. El riego con agua puede ser suficiente para mantener la humedad del material durante el curado si en un plazo breve de tiempo va a ejecutarse la capa superior. En el caso de que vaya a permanecer a la intemperie por un período más prolongado o vaya a ponerse en servicio será



Figura 1. Resumen gráfico del procedimiento constructivo para ejecutar suelocemento in situ. Fuente: SOLTEC

preceptivo un riego con emulsión asfáltica de rotura rápida. Este riego será acompañado por un engravillado, en caso que, vayan a circular vehículos sobre la capa en edades tempranas.

2.2. Equipos de trabajos previos.

Los Trabajos previos para la ejecución del suelocemento in situ están básicamente relacionados con la adecuación del suelo. Los trabajos pueden consistir en un ripado previo en caso de encontrar suelos con una compacidad elevada que impida desarrollar a la máquina estabilizadora su correcto avance, que no garantice la profundidad de trabajo del equipo o pueda generar un desgaste excesivo de las picas. El ripado o disgregación también puede tener como objeto la aireación del suelo en caso de presentar un exceso de humedad que impida alcanzar la óptima de compactación.

En el caso de suelos cuya granulometría presente cantos de un tamaño excesivo, o bien, tamaños cuya gradación sea muy discontinua se puede optar por operaciones de trituración del suelo previas a la ejecución del suelocemento o bien emplear máquinas despedregadoras.



Figura 2. Máquina despedregadora. Fuente: Diario Vasco

Para la primera de las operaciones, el ripado, se puede ejecutar mediante un bulldozer o motoniveladora. Estos equipos, constan de ripper o arados que accionados hidráulicamente se hincan al terreno y que tienen como función el arado de un estrato de suelo.



Figura 3. Motoniveladora con ripper. Fuente:

La potencia de los equipos así como el número y morfología de los ripper determinará la profundidad de trabajo. En obras de menor entidad,

o cuando los suelos tengan unas características que lo permitan, se pueden emplear equipos de naturaleza agrícola como gradas de discos, desterronadores, gradas de rejas o rotovator.

Las operaciones de trituración del terreno se llevan a cabo con equipos especializados. Normalmente, son implementos que se acoplan a los tres puntos de la parte posterior de un tractor. Para operaciones de preparación previa del terreno para la ejecución de suelocemento in situ se requiere de equipos de gran potencia por la profundidad de capa a tratar. Así, es habitual que estos equipos estén accionados por tractores de entre 220 i 370kW.



Figura 4. Trituradora de piedra trabajando sobre fondo de desmonte. Fuente: FAE

Otro de los trabajos previos que puede ser necesario llevar a cabo es la mezcla de suelos cuando se hace necesaria la aportación de áridos de préstamo. Puede recurrirse al empleo de motoniveladoras que en pasadas sucesivas remueven y vuelven a uniformizar el suelo para tratarlo con cemento. En otras ocasiones, es la máquina estabilizadora la que podrá desarrollar esta operación, ya sea en el momento de ejecutar el suelocemento o, si se considera que la homogeneización no será la adecuada, se puede hacer una pasada previa para mezclar los suelos y, posteriormente, tratar la capa.

Otra opción para la modificación de la naturaleza del árido cuando por los procesos anteriores no es posible llevarla a cabo es el uso de cribas móviles. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el empleo de cribas móviles conlleva un ciclo de movimiento de tierras complejo que puede implicar la no rentabilidad de la solución in situ frente al extendido de suelocemento

fabricado en planta. En cualquier caso, el material de la traza deberá ser excavado en el volumen suficiente como para conformar la capa a tratar. Posteriormente, debe trasladarse hasta la criba donde se obtendrán áridos clasificados según su granulometría, de tal forma que, los áridos que vayan a emplearse en la capa a estabilizar deberán ser de nuevo extendidos y refinados sobre la traza. Los áridos de rechace se podrán valorizar para otras aplicaciones pero en todo caso deberán ser retirados de la traza de la obra y transportados hasta su destino. Esta secuencia de movimientos de tierra tiene asociados unos importantes costes que son precisamente los que trata de minimizar la técnica in situ, pero es una solución técnicamente viable y que puede encontrar su aplicación

en determinados contextos. Por otra parte, una criba móvil es un equipo dotado de una tolva de vaivén que deberá ser alimentada mediante una pala cargadora o retroexcavadora. Desde dicha tolva el material se distribuye sobre una serie de



Figura 5. Criba móvil sobre orugas. Fuente: Powerscreen

tamices vibrantes a la salida de los cuales hay una cinta transportadora. Así, el material que no pasa por un determinado tamiz es expulsado por la cinta transportadora formando un acopio de material de una fracción determinada.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.3. Equipos de dosificación

La dosificación de conglomerante puede llevarse a cabo por vía seca o vía húmeda. En el primer caso, el conglomerante en forma de polvo se distribuye uniforme y directamente sobre el suelo a tratar. En el segundo caso, esta operación se realiza mediante un equipo que genera lechada que es una mezcla homogénea de agua y conglomerante. La lechada se bombea hasta el tambor de la máquina donde mediante difusores se distribuye en el suelo.

Cuando se ejecutan suelocementos con altas dotaciones de conglomerante es preceptiva la dosificación por vía húmeda puesto que los resultados de homogeneización en la distribución de conglomerante son mucho más satisfactorios. La dosificación por vía seca deberá reservarse a casos donde no quepa otra alternativa. En caso de que la humedad del suelo esté cercana a la humedad óptima de compactación se deberá airear el

terreno o bien dosificar por vía seca. También cabría la posibilidad de secar el suelo con la distribución por vía seca de cal.

Dosificación por vía seca

En la dosificación por vía seca la humectación y distribución de conglomerante pueden constituir dos etapas simultáneas o diferenciadas. La humectación puede llevarse a cabo mediante un riego de agua con cisterna tradicional. En este caso, el control de la homogeneidad y la dotación de agua es más complejo y puede requerir una escarificación previa del suelo para garantizar la penetración del agua en la capa completa. Otra opción para ejecutar la humectación puede consistir en la aportación de agua en el tambor de la máquina estabilizadora una vez el conglomerante ya ha sido repartido sobre el suelo. Para ejecutar la solución de este modo es necesario que la máquina estabilizadora sea

una máquina que pueda trabajar por vía húmeda y, por lo tanto, que tenga un tambor dotado de inyectores. Esta solución presenta evidentes ventajas ya que el control sobre la aportación de agua es mucho más preciso gracias a la bomba volumétrica que regula el flujo de agua según la lectura instantánea del cabalímetro. Además, la homogeneidad de la humectación es mucho mayor puesto que se lleva a cabo en el momento en que se está mezclando el suelo, de tal forma que, toda la capa gozará de la misma humedad. No en vano, este método tiene un coste mayor puesto que el acople de estabilizadora y cisterna de agua tiene un menor rendimiento al de la estabilizadora.



Figura 7. Acople de estabilizadora y cuba de agua. Dosificación por vía seca con humectación simultánea a la mezcla. Fuente: Alvac

Para la dosificación del conglomerante se emplean equipos cuya misión es la de distribuir homogéneamente sobre el suelo la cantidad de cemento prescrita en el proyecto. La calidad del extendido de conglomerante depende en gran medida del sistema de dosificación que monta el equipo. Así, se pueden distinguir:



Figura 6. Dosificador de conglomerantes autopropulsado. Fuente: COLAS

- Dosificación volumétrica, independiente de la velocidad: la regularidad en el avance del equipo determina que se extienda la cantidad adecuada de conglomerante.
- Dosificación volumétrica proporcional a la velocidad de avance: el equipo está dotado de un mecanismo que regula la cantidad de conglomerante extendido

proporcionalmente a la velocidad de avance del mismo. Para ello constan de un tambor alveolar o el propio sistema de transporte de conglomerante desde el depósito, pudiendo ser mediante tornillo sinfín, sistema neumático o cinta transportadora.

- Dosificación volumétrica proporcional a la velocidad de avance con corrección ponderal discontinua: estos equipos introducen unas células de carga capaces de controlar instantáneamente el peso de conglomerante del que dispone el equipo. Así, se puede llevar un control continuo de la dotación extendida y llevar a cabo las correcciones respecto al objetivo teórico cuando sea procedente.

Los equipos que no disponen de corrección ponderal requieren calibración. Esta se lleva a cabo mediante bandejas que se disponen sobre el suelo y que recogen el conglomerante. A posteriori, se calcula el peso por superficie que ha repartido el equipo y se comprueba

que esté en el rango de tolerancia de la dosificación, de no ser así se procederá a la calibración del mismo.

Además del sistema de dosificación, que puede ser más o menos preciso como se ha visto anteriormente, existen otras características técnicas y equipamientos cuya función es la de facilitar las tareas de reparto de conglomerante y asegurar la calidad de las mismas.



Figura 8. Dosificador de conglomerantes remolcado. Fuente: Streumaster

En este sentido, existen:

- Dispositivos indicadores de la dosificación, el nivel de conglomerante y medida de la cantidad de conglomerante extendido.
- Sistema de guía para el extendido de calles paralelas.

- Procesador para el cálculo de la dosificación real aplicada y automatismo para autocorrección de la misma.
- Registro de datos de dosificación, archivo o impresión de datos.
- Faldón antipolvo.
- Filtro para la supresión de polvo en el proceso de carga y distribución.
- Sistema de pulverización de agua para la supresión de polvo durante el extendido.

En las tareas de dosificación por vía seca cuando las condiciones de viento sean susceptibles de transportar el material produciendo una merma del mismo o la heterogeneidad en su distribución las operaciones de extendido deberán cesar.

Dosificación por vía húmeda

El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en la fabricación de una mezcla de agua y cemento en suspensión denominada lechada de cemento. Para ello, los equipos constan de un tanque de agua, un silo de cemento, un mezclador de suspensión y un equipo de bombeo que transporta la lechada hasta el rotor de la máquina estabilizadora. Los equipos de dosificación por vía húmeda convencionales son remolques que trabajan solidariamente con la máquina de estabilizar.



Figura 9. Acople de estabilizadora, dosificador de lechada y cuba de agua. Fuente: Soltec

Así, la máquina estabilizadora es la encargada de proveer al remolque de tracción, pero el resto de operaciones las realiza el equipo dosificador de forma autónoma.

Incluso, el equipo está dotado de ruedas orientables, independientes, que deben ser dirigidas por un operario, de forma que, el equipo sea capaz de maniobrar. Esto es fundamental puesto que la longitud del tren de trabajo compuesto por estabilizadora y dosificadora es muy importante y, de otra manera, no podría garantizarse la maniobrabilidad.

produce puesto que el conglomerante, al estar en fase de disolución, tiene una mayor capacidad para mezclarse con el suelo y además esta mezcla se produce en el mismo momento en el que se distribuye la lechada.

De esta forma la penetración del conglomerante en profundidad es totalmente efectiva y no existen pérdidas o mermas.

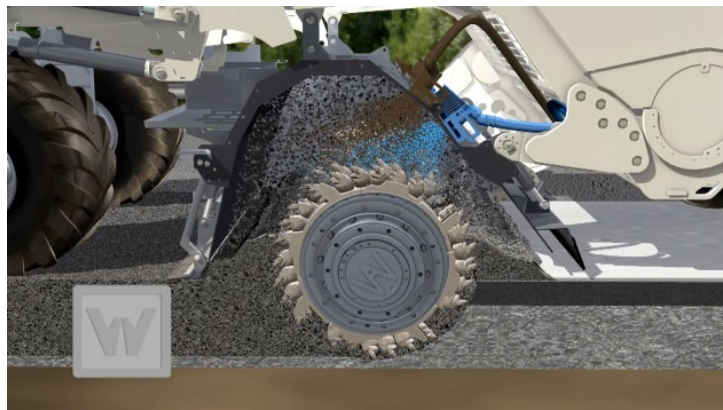


Figura 10. Inyección de lechada y (eventualmente) agua al tambor del rotor. Fuente: Wirtgen

El sistema de dosificación por vía húmeda garantiza una homogeneidad a la mezcla muy superior a la obtenida mediante la dosificación por vía seca. Esto se

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.4. Equipos de mezcla

Los equipos de mayor importancia en la ejecución de suelocemento in situ son las máquinas de mezcla o estabilizadoras. La función de éstas es la de pulverizar, triturar, airear, esponjar y mezclar el suelo con materiales de aportación. En función del grado de especialización de los equipos con respecto a la tarea propia de la estabilización podemos distinguir: máquinas agrícolas adaptadas o maquinaria de obra pública especializada.

Las máquinas de origen agrícola no están concebidas para llevar a cabo tareas de estabilización de suelos, sin embargo, en los países europeos fueron ampliamente utilizadas entre mediados del siglo XX y los años 70; período durante el cual no existían equipos especializados o su implementación era testimonial. Actualmente, estos equipos siguen utilizándose en algunos países en desarrollo o en la ejecución de obras de pequeña entidad que no serían económicamente viables de otro

modo. No obstante, en la medida de lo posible es preceptivo evitar su empleo puesto que las garantías de homogeneidad y regularidad del trabajo desempeñado son muy escasas. Además, hay que tener en cuenta que el rendimiento de los equipos agrícolas es muy inferior, de modo que, en cualquier obra de mediana entidad el empleo de equipos especializados se justificará por razones de competitividad.

Dentro de los equipos de origen agrícola se pueden distinguir:

- Arado de reja: es un implemento para tractores convencional que consta de 3 a 6 ripper de corte y placas volteadoras. Permite trabajar profundidades importantes cuando la tracción viene dada por un equipo de suficiente potencia, sin embargo, requiere sucesivas pasadas por el espaciado entre cuchillas. Además la

homogeneización de la mezcla lograda es baja y existe un importante riesgo de crear juntas de trabajo longitudinales.

- Grada de discos: su funcionamiento se basa en el volteo y mezcla del material que producen los distintos discos adosados a los ejes. Los espesores de trabajo son pequeños, especialmente, si no se ha ejecutado una disgregación previa del suelo.



Figura 12. Grada de discos mezclando suelocemento. Fuente: Desconocida

- Rotovator: es el equipo que más se asemeja a la maquinaria especializada. Como ésta, consta de un eje dotado de picas cuyo accionamiento se realiza mediante la toma de fuerza

del tractor. Sin embargo, la morfología de las picas así como la poca profundidad de trabajo no garantizan resultados suficientes.



Figura 11. Rotovator agrícola en tareas de mezcla, apoyado por motoniveladoras. Fuente: COMYCSA

Hay que tener en cuenta que la maquinaria agrícola no está implementada para la ejecución de obras de estabilizado, de tal forma que, cuando se empleen para dicha finalidad los resultados del trabajo serán de dudosa calidad. Especialmente compleja será la ejecución de suelocemento in situ de altas prestaciones puesto que los equipos de trabajo juegan un papel fundamental para lograr unas prestaciones mecánicas superiores. La necesidad de mezclar suelos con mayores dotaciones de conglomerante y, eventualmente

aditivos logrando un alto grado de homogeneidad no será posible con los medios agrícolas.

Del mismo modo, se ha venido empleando maquinaria de obras públicas no especializada. Es el caso de emplear la motoniveladora como equipo mezclador dando sucesivas pasadas y removiendo el material. Esta práctica con la que incluso se han ejecutado tramos con altas dotaciones -18% de cemento- se demuestra muy ineficaz por la necesidad de sobredimensionar la dotación de conglomerante para obtener buenos resultados de resistencias mecánicas. Además, puede generar distorsiones entre las fórmulas de trabajo especificadas en laboratorio en las que se ensayan materiales homogéneamente



Figura 13. Motoniveladora mezclando suelocemento in situ. Fuente: Administración Boliviana de Carreteras

mezclados con los resultados reales obtenidos en obra tras una mezcla inadecuada.

Para lograr una mezcla adecuada y unos rendimientos de trabajo mayores existen en el mercado equipos especializados denominados máquinas estabilizadoras.

Independientemente de su accionamiento, son máquinas con un rotor dotado de picas de disposición helicoidal y alojado en un tambor. La rotación de este elemento es el que permite realizar la mezcla del suelo, el cemento y eventualmente agua. Además, estos equipos pueden emplearse en unidades de obras anejas como la estabilización de suelos con cal, con cemento o con productos bituminosos. También se emplean en las obras de reciclado de firmes con cemento o ligantes bituminosos.

Existen distintos equipos en el mercado que, básicamente, pueden clasificarse en: máquinas autopropulsadas y máquinas

accionadas. Las máquinas autopropulsadas son equipos de gran potencia y rendimiento, en tanto que, las máquinas accionadas permiten la ejecución de obras más modestas.



Figura 15. Estabilizador accionado por tractor.
Fuente: Wirtgen

Las máquinas autopropulsadas disponen el rotor en la parte central o ventral y el motor puede situarse en la parte trasera de la máquina o sobre el propio rotor. Esta configuración con el rotor ventral permite un mayor control de la profundidad de trabajo puesto que buena parte del peso de la máquina gravita sobre el rotor.

Los equipos autopropulsados con motor sobre el rotor más comunes son los comercializados por la empresa Wirtgen. Encontramos una gama de modelos con anchuras de estabilizado de entre 2.000 y



Figura 14. Máquina estabilizadora autopropulsada con motor trasero. fuente: Bomag

2.400mm, con profundidades de trabajo de hasta 560mm y, el tope de gama, la WR2500 desarrolla una potencia de 571kW. Pero además existen otros fabricantes como Caterpillar o Bomag, que por ejemplo ofrecen estabilizadoras con una morfología de motor trasero.

Por otra parte, los rotores como ya se ha dicho, equipan picas de forma habitual. Estos útiles están sometidos a gran desgaste y es habitual tener que reponer parte de ellos a lo largo de una jornada de trabajo de modo que la facilidad de acceso y de reposición de los mismos es importante para lograr una buena productividad de los equipos. Además, existen rotores cuyas picas pueden ser reemplazadas por otros útiles, de

modo que, las máquinas puedan ejecutar distintos tipos de trabajo y ser más versátiles. En este sentido, existen equipos que pueden equipar martillos para la trituración de piedra, paletas o cuchillas para disgregación de suelos cohesivos. Cuando los porta-útiles adosados al rotor no admiten equipar la máquina con útiles distintos existe la posibilidad de intercambiar el rotor completo para dar mayor versatilidad a la máquina. También habrá que tener en cuenta que los propios porta-útiles así como el rotor son elementos susceptibles de sufrir desgaste especialmente cuando se enfrenten a suelos muy abrasivos, con alta compacidad o con materiales gruesos y no se hayan llevado a cabo tareas de acondicionamiento previo del terreno. Por ello, los fabricantes diseñan todos los componentes del tambor o cámara de mezcla de forma que sean sencillos de reponer. Otro de los componentes fundamentales de la cámara de mezcla es el equipo de dosificación. Este consiste en una barra que

dispone de inyectores desde los cuales se pulveriza agua, lechada o aditivos en forma de suspensión acuosa. Desde el puesto de conducción se puede gobernar la inyección puesto que la máquina dispone de una batería de válvulas que permiten abrir o cerrar los inyectores y regular el paso. Así, se pueden cerrar determinados inyectores para ejecutar un solape o cambiar la dotación de agua o conglomerante que se aplica al suelo (*ver Figura 9.*)

Los equipos autopropulsados son equipos de alto rendimiento y equipan una serie de funcionalidades dirigidas a la ejecución específica del mezclado in situ. En primer lugar, la dirección de rotación del rotor puede ser intercambiable en algunos de equipos, de tal forma que, independientemente del sentido de avance de la máquina se pueda estabilizar al suelo sin tener que recurrir a maniobrar y ejecutar las calles en un solo sentido. Esta opción, sin embargo, debe venir acompañada de compuertas de la

cámara de mezcla regulables hidráulicamente a ambos lados. La regulación de las compuertas a la entrada y salida del material es importante puesto que determina la profundidad de trabajo de la máquina, el tiempo de mezcla del material y la precompactación del mismo a la salida. En segundo lugar, el control de profundidad de trabajo podrá efectuarse mediante dispositivos externos como palpadores mecánicos o sistema láser o bien con el sistema embarcado en la propia máquina. La materialización de la profundidad de trabajo se efectúa por una parte regulando hidráulicamente las compuertas de la cámara de mezcla y por otra actuando hidráulicamente sobre la superestructura de la máquina que soporta el tambor. Así,

es posible incluso dar pendientes transversales a la estabilizadora. Por otro lado, para evitar sobrecargar mecánicamente a la máquina es importante controlar una serie de parámetros. En este sentido, la profundidad de trabajo, la velocidad de avance, la velocidad del rotor, la cantidad de conglomerante aportado y la resistencia del suelo determinan el esfuerzo al que se ve sometido la máquina. Puesto que los otros son parámetros invariables se actúa sobre la velocidad de avance y la velocidad del rotor para ajustar el esfuerzo de la máquina a sus capacidades y, en caso que no fuera suficiente, se debería optar por una mezcla en dos capas reduciendo el espesor de trabajo y aliviando el esfuerzo de la máquina.

2.5. Equipos de compactación

La elección del equipo de compactación más adecuado es fundamental para conseguir las densidades de proyecto. La tipología del suelo y el grado de humedad del mismo determinan en gran medida la tipología de los equipos necesarios, pero también, influyen otros factores como la accesibilidad a la obra. Habitualmente, los equipos que se emplean en obras de suelocemento in situ son: compactadores vibratorios lisos, compactadores de neumáticos y, de forma más eventual, compactadores pata de cabra.

Compactadores vibratorios lisos

Este tipo de compactadores es el más empleado en la compactación de suelocemento in situ por su capacidad de trabajo tanto en suelos arenosos como en suelos semi-cohesivos. Los compactadores vibratorios generan tres tipos de fuerzas sobre el material a compactar. Por una parte,

la presión estática generada por la masa del equipo, por otra parte la fuerza de impacto, inducida por una excéntrica dentro del tambor de la máquina y, por último, la vibración. Los equipos más requeridos acostumbra a ser compactadores autopropulsados mixtos de más de 16 toneladas, sin embargo, cuando se esté trabajando en capas superiores de la explanada o en capas de base de podrá recurrir a compactadores tándem.



Figura 16. Compactador vibratorio liso mixto.
Fuente: Triexplanada

Compactadores de neumáticos

Estos equipos tienen un principio de compactación basado en la presión estática que ejercen sobre los materiales. Así, los equipos acostumbra a ser lastrados para ganar masa y desarrollar una presión en los neumáticos superior a

0,7MPa y un peso por rueda de hasta 5.000kg. A pesar de que su utilización se asocia a la compactación de mezclas bituminosas, su empleo en suelocemento puede ser interesante por la capacidad de trabajar con mezclas con suelos cohesivos y, especialmente, para realizar el sellado superficial del material.



Figura 18. Compactador de neumáticos. Fuente: Caterpillar

Compactadores pata de cabra

Reciben su nombre por las protuberancias trapezoidales adosadas al tambor del compactador. A pesar de que existen compactadores pata de cabra estáticos, los más habituales son los compactadores vibratorios pata de cabra. Este tipo de compactador tiene asociado un comportamiento de compactación

en el que genera un amasado del suelo y esa característica lo hace especialmente interesante para trabajar con suelos arcillosos. La presión estática que generan sobre el suelo es mucho mayor a la de los compactadores lisos puesto que la superficie de apoyo que conforman las “patas de cabra” es muy reducida. Algunos equipos de compactación pueden ser adaptables de modo que el tambor sea intercambiable usando indistintamente un tambor liso o pata de cabra.



Figura 17. Compactador pata de cabra. Fuente: Caterpillar

Existe la posibilidad de que en una misma obra sea preceptivo el empleo de medios de compactación distintos. Así, es habitual encontrar compactadores vibratorios lisos mixtos que ejecutan la primera compactación a la salida de la

estabilizadora y posteriormente, tras el refino, se ejecutan otras pasadas con el mismo compactador para terminar sellando la superficie con un compactador de neumáticos.

2.6. Equipos de nivelación

La nivelación o refino de la superficie es una operación muy importante puesto que el material tras pasar por el rotor de la máquina estabilizadora presenta una consistencia esponjada e irregular. Al tratarse de una capa estructural de importancia no se puede emplear el suelocemento para corregir imperfecciones severas de la rasante subyacente puesto que esto generaría heterogeneidad de espesores en la capa inaceptables, sin embargo es cierto que, se ejecutan ligeras correcciones de rasante en la nivelación de la capa puesto que el nivel de tolerancias geométricas en esta capa será muy exigente. Especialmente, cuando el material vaya a recibir una capa de firme encima pero también en el caso de suelocementos que vayan a estar sometidos a rodadura. Es por ello que, habitualmente, se emplean motoniveladoras con sistemas 3D embarcados si bien para obras donde la precisión geométrica no lo precise u obra de pequeña entidad

se podrá recurrir a la nivelación a cabeza de estaca.



Figura 19. Motoniveladora con sistema 3D embarcado. En primer plano, estación total robotizada. Fuente: Mobile Automation

El sistema de 3D integrado está compuesto por una estación total robotizada con capacidad de seguir a un prisma que se instala sobre la cuchilla de la motoniveladora. Así, la estación total tiene información constante de la posición de la cuchilla en el espacio. Esta información es transmitida a la cabina de conducción donde el operario dispone de un ordenador de abordo en el cual se ha introducido previamente un modelo digital del proyecto. Y, es este ordenador, el encargado de dar a la máquina las consignas para actuar sobre la cuchilla y materializar la

geometría indicada en el modelo digital. El sistema con estación total robotizada es actualmente el sistema de mayor precisión, sin embargo, existen sistemas anejos en los que las referencias no son tomadas por una estación total sino por datos GPS.

sustancial puesto que el suelocemento dispone de un plazo de trabajabilidad limitado.



Figura 20. Motoniveladora con sistema GPS embarcado. Fuente: Caterpillar

En cualquier caso, las operaciones de nivelación mediante este tipo de implementos son mucho más eficaces y precisas. El operario habitualmente procede a hacer un refino basto del material sin emplear la asistencia puesto que el volumen de material a mover es mayor y, posteriormente, permite que el sistema 3D se encargue de conformar la geometría final de la sección. Este procedimiento permite ahorrar tiempo y esta es una ventaja

2.7. Equipos de prefisuración

Los equipos de prefisuración en nuestro país son muy diversos sin que el marco normativo delimite o proponga equipos específicos. La Instrucción de Carreteras solamente establece una prefisuración que debe alcanzar $2/3$ de la profundidad de la capa y un espaciado entre juntas que es función del tráfico de proyecto. No obstante, no hay referencia de los sistemas o equipos a emplear. Dadas las circunstancias a nivel estatal se han importado las técnicas francesas. El sistema CRAFT, el sistema OLIVIA y el sistema JOINT-ACTIF. Pero además algunas de las grandes constructoras españolas han desarrollado métodos propios. Así, básicamente, en el primero de los sistemas una uña con vibración acoplada al brazo de una excavadora mixta genera un surco que posteriormente es rellenado con emulsión catiónica de rotura rápida mediante un dispositivo integrado en la propia máquina.



Figura 21. Detalle de la uña empleada en el sistema CRAFT. Fuente: ATC-PIARC

El segundo, consiste en una viga fija que está sustentada por una carretilla elevadora de carga frontal. Sobre esta viga se desplaza otra viga, en este caso móvil que está dotada de una cuchilla que genera una hendidura en el firme. La máquina es capaz de distribuir una cinta de plástico de poco espesor aprovechando el movimiento de corte, de forma que, se corta el material y se distribuye la cinta a la vez.



Figura 22. Equipos empleados en el sistema OLIVIA. Fuente: ATC-PIARC

Por último el sistema JOINT-ACTIF requiere una pala cargadora que

lleva montado un implemento que genera un surco transversal al eje de la calzada. Posteriormente una excavadora introduce un perfil de plástico de forma sinusoidal. Por último un tractor lleva a cabo la operación de cierre del surco.



Figura 23. Sistema JOINT-ACTIF. Pala cargadora para ejecutar surco y excavadora de neumáticos para disponer el perfil plástico. Fuente: ATC-PIARC

dosificación de emulsión que emula al método CRAFT.

La empresa OHL también desarrolló un sistema parecido al JOINT-ACTIF empleando un perfil capaz de hacer un surco e introducir una banda plástica en el mismo proceso.

Los métodos alternativos usados en España son variantes del método francés. Existen equipos más económicos como una minicargadora o un quad equipado



Figura 24. Quad adaptado para ejecutar prefisuraciones. Fuente: ATC-PIARC

con un ripper y un equipo de

2.8. Equipos de curado.

La última operación en la ejecución del suelocemento in situ está relacionada con el curado del material y la protección del mismo. El proceso de curado tiene por objeto garantizar la humedad suficiente al suelocemento para que éste pueda desarrollar un proceso de hidratación del cemento, fraguado y aumento de las resistencias. Para garantizar esta humedad es habitual el regado mediante cubas de agua que pueden ser remolcadas o montadas sobre camiones. Las cubas disponen de un sistema de bombeo que traslada el agua hasta una barra regadora que distribuye el líquido por la superficie



Figura 26. Cuba de agua remolcada por tractor.
Fuente: COPUGASA

En el caso que el suelo no vaya a tener capa de rodadura y él mismo constituya la última capa del firme, un riego con polímeros sellantes se convierte en una alternativa para dotar al material de mayor resistencia a la abrasión y insusceptibilidad al agua. Este riego se puede ejecutar de forma análoga al riego de agua previa dosificación y mezcla del polímero en agua.



Figura 25. Cuba sobre camión aplicando riego de polímeros. Fuente: SOLID I+C

Cuando el suelocemento vaya a estar cubierto por una capa de mezcla bituminosa u hormigón, se ejecutará un riego con emulsión. Dicha emulsión tiene por objeto crear una capa protectora que mantiene la humedad del suelocemento aislándolo del ambiente.



Figura 28. Cuba de riego de emulsión asfáltica.
Fuente: ECOASFALT

Además, si fuera necesario poner en servicio la vía sin ejecutar la capa superior del firme puede optarse por distribuir gravilla superficialmente lo que confiere mayor protección al material.



Figura 27. Gravilladora sobre camión. Fuente: SECMAIR

2.9. Bibliografía

CEDEX. 2003. *Manual de firmes con capas tratadas con cemento (2ª Ed.)*. Madrid : Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento, 2003. 978-84-7790-489-2.

Dirección General de Carreteras; Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento. 2015. *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)*. s.l. : Dirección General de Carreteras; Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento, 2015.

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). 2008. *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2008. 978-84-89702-23-3.

—. *Pliego de Prescripciones Técnicas para Suelocemento Fabricado in situ para Infraestructuras Ferroviarias*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

—. **2015.** *Suelocemento in situ*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2015.

Técnicas de prefisuración. **Ferruelo, Carlos Centeno. 2010.** 136, Madrid : Asociación Técnica de Carreteras, 2010, págs. 23-35. M-7028 - 1986.

Wirtgen GmbH. 2013. *Tratamiento de suelos. Capas de base con ligantes hidráulicos*. Windhagen : Wirtgen GmbH, 2013. 2344284.

Medios, materiales y ensayos



Índice

2.1.	Instalaciones.....	4
2.2.	Materiales	6
2.3.	Equipos.....	9
2.4.	Cronología y desarrollo trabajos	14
2.5.	Método de trabajo.....	18
2.6.	Descripción de los ensayos realizados.....	20
2.7.	Estudio del alcance económico de la investigación.....	31
2.8.	Bibliografía.....	33

Tabla de contenidos

Figura 1.	Secado del suelo del Préstamo de la LAV en la Hiniesta. Fuente: propia.....	6
Figura 2.	Disolución del polímero con batidora eléctrica para garantizar la correcta dilución en agua. Fuente: propia	8
Figura 3.	Polímero GeoCompact A4 en formato de presentación de 1L. Fuente: propia	8
Figura 4.	Báscula empleada en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la EPSZ. Fuente: propia.....	9
Figura 5.	Cubo con material ya homogeneizado y batidor empleado en la EPSZ. Fuente: propia	10
Figura 6.	Introducción de material para determinar la humedad en estufa de la EPSZ. Fuente: propia	10
Figura 7.	Amasadora de 200 lts. de capacidad empleada en las instalaciones de Cementos Molins. Fuente: propia	11
Figura 8.	Compactación de probetas cilíndricas mediante martillo vibratorio en el laboratorio de Cementos Molins. Fuente: propia	11
Figura 9.	A la izda. Material ya mezclado y homogeneizado. A la dcha. mezcla de suelo, polímeros y cemento antes de ser amasada. Fuente: propia	11
Figura 10.	Probetas confeccionadas en la EPSZ con molde de 152,4x177,8mm. Fuente: propia	12
Figura 11.	Máquina de desgaste de Los Ángeles. Fuente: propia	13
Figura 12.	Ensayo Próctor Normal realizado en el marco de la presente investigación sobre materiales que cumplían prescripciones para ser ensayados mediante este método. Fuente: propia	13

Figura 13. Probetas conservadas en cámara húmeda. Fuente: propia	13
Figura 14. Cuadro resumen de la cronología del proyecto SCAP. Fuente: propia.....	17
Figura 15. Separación de materiales por tamizado. Fuente: propia	21
Figura 16. Ensayo de determinación del límite plástico. Fuente: propia.....	22
Figura 17. Ensayo de determinación de la humedad óptima y la densidad máxima por el Próctor Modificado. fuente: propia.....	23
Figura 18. Probetas curadas en bolsa hermética en el laboratorio. Fuente: propia....	25
Figura 19. Condiciones de curado en cámara húmeda. 20°C y 65% humedad. Fuente: propia	26
Figura 20. Bandejas con material ya seco en estufa para determinar su humedad. Fuente: propia	26
Figura 21. Aspecto de la probeta prismática confeccionada y desmoldada. Fuente: propia	27
Figura 22. Prensa para llevar a cabo las roturas a compresión simple. Fuente: propia	28
Figura 23. Control informático de la prensa para configuración de los parámetros de rotura. fuente: propia	28
Figura 24. Probetas sumergidas durante 48h. Fuente: propia.....	28
Figura 25. Comparativa de la probeta sumergida y la curada en cámara húmeda. Fuente: propia	29
Figura 26. Material a la salida del ensayo cántabro con 100 revoluciones. Fuente: propia	29
Figura 27. Excelente resultado de una probeta sometida al ensayo de desgaste. Fuente: propia	30
Tabla 1. Resumen económico de la campaña de ensayos	31

2.1. Instalaciones

A lo largo de la investigación del suelo cemento de altas prestaciones se ha trabajado en las instalaciones de la Escuela Politécnica Superior de Zamora (EPSZ) así como en los laboratorios de Inzamac, Pavimentos Asfálticos Salmantinos (PAS) y Cementos Molins. En una primera fase de la investigación todos los trabajos se llevaron a cabo en las instalaciones de Inzamac y PAS puesto que en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Politécnica Superior de Zamora todavía no se disponía del equipamiento necesario para llevar a cabo los trabajos. Esta primera fase tenía como objetivo evaluar el comportamiento mecánico del suelocemento llevando a cabo modificaciones en distintas variables, además de consolidar los métodos de ensayo y generar unos resultados previos que condujeran a crear distintas líneas de investigación.

A posteriori, con la adopción por parte de los integrantes del grupo de investigación del suelocemento de altas prestaciones de líneas de investigación diferenciadas, el entorno de trabajo de cada uno de los integrantes del equipo se diferenció. Así, en el laboratorio de PAS se desarrolló la investigación relacionada con la adición de reciclado de cemento y reciclado de hormigón por una parte y, por otra parte, la investigación centrada en las variaciones de humedad y el empleo de nanofibras de carbono.

El laboratorio de materiales de construcción de la EPSZ se equipó con la adquisición de un martillo vibratorio -"kangoo"- y moldes para elaborar las probetas para ensayar a resistencia a compresión simple. Con la adquisición de este material se puso en marcha el estudio del empleo de polímeros como aditivo al suelocemento.

Por último y, ya en una tercera fase de la investigación, centrada de

nuevo en el empleo de polímeros, se ha llegado a un acuerdo de colaboración con el Departamento de Calidad de Cementos Molins que han prestado su laboratorio y personal especializado en sus instalaciones de Sant Vicenç dels Horts.

2.2. Materiales

Suelos

Los suelos que se han empleado en este proyecto de investigación han sido tomados mayoritariamente de obras de estabilización de suelos y/o ejecución de suelocemento in situ. En este sentido, se ha trabajado con suelo procedente de los caminos de acceso a la presa de Mularroya, con suelo de una obra de estabilización en Caldearenas, con suelo procedente de los accesos a las Bodegas Vivancos, con material procedente del préstamo para la capa de forma de la línea de Alta Velocidad Madrid-Galicia en el subtramo de Valorio y con material de rechazo de la cantera del Garraf explotada por Cementos Molins. Esta heterogeneidad de los suelos permite observar como influyen determinadas variables del suelo en las prestaciones del suelocemento. La granulometría del suelo, la plasticidad del mismo, el contenido de finos, el tamaño máximo de los gruesos, etc han sido factores

analizados. En cuanto a la humedad del suelo, inicialmente, se optó por el secado en estufa de todo el material. Sin embargo, la capacidad de la estufa del laboratorio de materiales de construcción era demasiado reducida para secar la gran cantidad de material necesaria para conformar las probetas. Así que finalmente se optó por el secado al aire al material y el control posterior de la humedad que realmente se comprobó que tenía variaciones muy pequeñas con la humedad teórica.



Figura 1. Secado del suelo del Préstamo de la LAV en la Hiniesta. Fuente: propia

La granulometría del material en todo momento se ha limitado a

40mm para evitar concentraciones de tensiones dentro de las probetas. Sin embargo, a lo largo de la investigación y, especialmente en la primera etapa, se llevaron a cabo numerosas variaciones granulométricas especialmente retirando gruesos de los suelos originales para estudiar su comportamiento en estas condiciones.

Agua

El agua de amasado que se ha empleado en todas las instalaciones y laboratorios ha sido tomada de la red de agua potable de las respectivas poblaciones, en este caso, en la de Zamora y Sant Vicenç dels Horts. Esta agua cumple con las prescripciones establecidas en el Artículo 312 del Pliego General de Prescripciones Técnicas (PG-3).

Cemento

Los cementos empleados durante los ensayos han sido suministrados por CEMEX y Cementos Molins. Los cementos que suministró CEMEX

fueron un CEM IV/B (V) 32,5N y un CEM II B-M (V-LL) 32,5N. En cuanto al cemento que ha proporcionado Ciments Molins se trata de un CEM II B-L 32,5N. Todos ellos son cementos con una clase de resistencia mecánica baja indicados principalmente para trabajos de albañilería. El cemento tipo IV de naturaleza puzolánica sería el más indicado para la ejecución de suelocemento por su bajo calor de hidratación y una fisuración reducida. No obstante, la mayor disponibilidad en la geografía nacional de los cementos tipo II ha sido decisiva para tomar este tipo de cemento como referencia para llevar a cabo esta investigación. Todos los cementos empleados en la presente investigación cumplen con las prescripciones impuestas por la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-16). Los cementos empleados en el laboratorio tenían la presentación en formato de sacos de 25 kg, sin embargo, en las instalaciones de Cementos Molins se emplearon bidones estancos de cemento a granel.

Polímeros

A lo largo de la investigación se han empleado dos polímeros distintos. El primero de ellos, el Matec AP-20 comercializado por MATEC-Q es un aditivo conglomerante de alta actividad para estabilización de terrenos. Su presentación es pulverulenta, de color marrón y debe ser diluido a razón de un 60%. La dotación habitual recomendada es de 0,75kg/m² cuando se dosifica en seco.



Figura 3. Polímero GeoCompact A4 en formato de presentación de 1L. Fuente: propia

Por otra parte, se ha empleado el GeoCompact A4. Se trata de un polímero acuoso desarrollado para la estabilización de suelos de

carácter aniónico. Su aspecto es el de un líquido blanco con tono amarillento y tiene un contenido de sólidos de entre el 40 y el 50%. La dosificación recomendada varía entre un 0,25% y un 2% respecto al peso del suelo.



Figura 2. Disolución del polímero con batidora eléctrica para garantizar la correcta dilución en agua. Fuente: propia

Desencofrante

Como agente desencofrante se ha empleado mayoritariamente el comercializado por Sika bajo el nombre de Sika Desencofrante D. Se trata de un aceite desencofrante diluible en agua en una proporción de 1:5 o 1:10.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.3. Equipos

Básculas

Para la medición con precisión de los materiales dosificados en el suelocemento se han empleado dos tipos de básculas. Por una parte, para pesar el suelo antes de su amasado así como las probetas ya fabricadas para la determinación de la humedad y densidad se han empleado básculas de gran capacidad. En el caso del Laboratorio de Materiales de Construcción de la EPSZ se empleó una báscula con capacidad máxima de 30kg y una resolución de 0,1gr.



Figura 4. Báscula empleada en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la EPSZ.
Fuente: propia

Para tener una mayor precisión en la dosificación del cemento, agua y polímeros se ha empleado una segunda tipología de básculas de menor capacidad pero con una resolución de hasta 0,1gr.

Estufa

Las estufas empleadas en todos los casos se han programado a una temperatura de 110°C. Todas ellas son del mismo fabricante con la diferencia que en el caso de la estufa de la EPSZ, ésta tenía una capacidad mucho más pequeña comparada con las estufas de Inzamac o Cementos Molins. En cualquier caso el procedimiento de secado en estufa para la determinación de la humedad, en todos los casos, se ha ejecutado dejando la muestra durante 24h sometida a una temperatura de 110°C. En el caso del secado del suelo para la fabricación de probetas el tiempo de secado fluctuaba en función de la necesidad de introducir más suelo.

Sin embargo, este procedimiento de secado previo en estufa solo se empleó en la EPSZ y posteriormente se substituyó por el secado al aire del material.



Figura 6. Introducción de material para determinar la humedad en estufa de la EPSZ. Fuente: propia

Amasadora

Para el amasado del material se han empleado 3 procedimientos distintos en función de las instalaciones en las que se desarrollase la investigación. En el laboratorio de Inzamac el procedimiento de amasado era manual. Para ello, se disponía una gaveta sobre una mesa de trabajo a medida en la que encajaba la

gaveta para evitar su movimiento. A posteriori se dosificaba para cada una de las probetas el suelo y el cemento haciendo un pre-amasado y después se añadía el agua amasando todo el conjunto hasta obtener una mezcla homogénea. En el Laboratorio de Materiales de Construcción el amasado se realizaba con la ayuda de un batidor industrial de pintura.



Figura 5. Cubo con material ya homogeneizado y batidor empleado en la EPSZ. Fuente: propia

Para ello se disponía el material necesario para la fabricación de todas las probetas de una misma serie. A continuación, a una velocidad baja se removía el suelo y el cemento hasta obtener un color

uniforme. Por último se añadía el agua y, eventualmente, polímeros y con ayuda del batidor se seguía removiendo con una velocidad de rotación creciente hasta obtener un material plenamente homogéneo. Antes de dar por concluida la operación, con ayuda de una rasqueta se limpiaban los bordes del cubo de amasado para asegurar que no quedase material sin mezclar.



Figura 9. A la izda. Material ya mezclado y homogeneizado. A la dcha. mezcla de suelo, polímeros y cemento antes de ser amasada. Fuente: propia

Por último, en el laboratorio de Cementos Molins se ha empleado una amasadora de eje vertical con capacidad para 200 litros de material. El procedimiento de amasado se realizaba de la misma forma, dosificando primero el suelo y el cemento y amasándolo hasta tener una mezcla homogénea e

introduciendo a posteriori el agua y/o polímeros.



Figura 7. Amasadora de 200 lts. de capacidad empleada en las instalaciones de Cementos Molins. Fuente: propia



Figura 8. Compactación de probetas cilíndricas mediante martillo vibratorio en el laboratorio de Cementos Molins. Fuente: propia

Martillo vibrante –kangoo- Para la confección de las probetas se ha empleado un martillo vibrante o kangoo en todos los laboratorios en los que se ha trabajado. Los kangoo empleados en Inzamac y la EPSZ disponían de guías, contrapeso y sistema de palanca, en tanto que, el empleado en Cementos Molins no disponía de sistema de palanca pero disponía de sistema temporizador automático.

El compactador kangoo también ha sido empleado para realizar rampas de densidad-humedad para obtener las humedades y densidades óptimas, según la “NLT 311/79. Densidad máxima y humedad óptima de compactación, mediante martillo vibrante, de materiales granulares con o sin productos de adición”.

Moldes

En el laboratorio de Inzamac y en el de la EPSZ se han empleado moldes cilíndricos de Ø15,24cm y una altura de 17,78cm. En Inzamac se contaba con una numerosa serie de estos moldes, en tanto que, en la EPSZ se

adquirieron 6 moldes. En cuanto a la investigación desarrollada en Cementos Molins los moldes empleados han sido moldes cilíndricos de Ø15,24cm i una altura de 12,70cm. En este caso, se contaba con 12 moldes para desarrollar los trabajos.



Figura 10. Probetas confeccionadas en la EPSZ con molde de 152,4x177,8mm. Fuente: propia

Equipo de Próctor Modificado

Se elaboraron a lo largo de la investigación ensayos de Próctor Modificado para corroborar los datos procedentes de la caracterización del suelo. En este sentido, se ha empleado el equipo de maza manual del Laboratorio de Geotecnia de la EPSZ.



Figura 12. Ensayo Próctor Normal realizado en el marco de la presente investigación sobre materiales que cumplían prescripciones para ser ensayados mediante este método. Fuente: propia

Cámara Húmeda

El procedimiento de curado mediante cámara húmeda solo ha sido empleado en la investigación realizada en las instalaciones de Cementos Molins. En este sentido, la cámara se encuentra en unas condiciones de 20°C i un 65% de



Figura 13. Probetas conservadas en cámara húmeda. Fuente: propia

humedad. El resto de probetas elaboradas fueron curadas a temperatura ambiente y dentro de bolsa hermética.

Máquina de desgaste de Los Ángeles

La máquina de desgaste de Los Ángeles se ha empleado en la investigación llevada a cabo en Cementos Molins. Con ella se ha ejecutado un ensayo para conocer



Figura 11. Máquina de desgaste de Los Ángeles. Fuente: propia

el desgaste del material.

2.4. Cronología y desarrollo trabajos

La presente investigación se ha desarrollado en tres períodos diferenciados. El primero de ellos se llevó a cabo en las instalaciones de Inzamac y sirvió para llevar a cabo una serie de probetas en las que se realizaron pruebas que consistieron en:

1. Empleo de suelos procedentes de distintas obras.
2. Ensayos para dotaciones de cemento distintas.
3. Ensayos para dosificaciones de agua distintas.
4. Cambios en la granulometría de los suelos por tamizado de áridos gruesos.
5. Aportación de reciclado de hormigón.
6. Aportación de reciclado de aglomerado bituminoso.

Estos ensayos se desarrollaron con la finalidad de establecer la metodología de trabajo, las pautas en el desarrollo de la investigación, los resultados más concluyentes

que pudieran dar lugar a una línea de investigación y los medios y equipos necesarios para realizar los ensayos.

Esta etapa se desarrolló entre febrero y mayo de 2017 y se conformaron 31 probetas cilíndricas de $\varnothing 152,4 \times 177,8$ mm para la determinación de la resistencia a compresión simple, según UNE-EN 13286-41:2003. Además durante este período sobre algunos suelos se efectuaron ensayos adicionales como 3 ensayos de determinación de la granulometría, según UNE-EN 933-1:2012 y 2 ensayos para la determinación de la densidad máxima y humedad óptima mediante Próctor Modificado, según UNE-EN 103-501:1994.

De esta etapa se obtuvieron notables resultados en la adición de reciclado de hormigón y reciclado de aglomerado bituminoso al suelocemento. Dicha línea de investigación fue posteriormente desarrollada por el compañero

Víctor Mateos Ramírez. Por otra parte, la compañera Beatriz Zarza Severino tomó como referencia los importantes cambios de resistencia surgidos de las variaciones de humedad en la fabricación del suelocemento. Así, desarrolló este punto de la investigación pero además su trabajo también incluye el empleo de nanofibras de carbono como adición al suelocemento.

En este punto, los compañeros citados anteriormente se trasladaron a las instalaciones de Pavimentos Asfálticos Salmantinos, en tanto que, las instalaciones del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Politécnica Superior de Zamora se equipó con la adquisición de 6 moldes y un martillo compactador vibrante. Con este equipamiento se ejecutó una segunda fase de la presente investigación, en este caso, centrada en la adición de polímeros al suelocemento.

Durante esta etapa se elaboraron 46 probetas cilíndricas de las cuales 37 se sometieron al ensayo de

resistencia a compresión simple. De esas 46, tres se rompieron durante la manipulación y otras seis fueron elaboradas con una densidad insuficiente. La elaboración de las probetas, como se ha dicho anteriormente, se llevó a cabo en la EPSZ, sin embargo, el ensayo de rotura a compresión simple se ejecutó en las instalaciones de Inzamac por no disponer en la Escuela de una prensa adecuada para llevar a cabo el ensayo.

Esta etapa estuvo caracterizada por la obtención de densidades de probeta muy bajas lo que llevó a obtener unos resultados de resistencia a compresión simple inusualmente bajos. Para corroborar los ensayos previos de determinación de humedad óptima y densidad máxima se procedió a realizar una rampa de humedades con el martillo kangoo, según la “NLT -311/79 Densidad máxima y humedad óptima de compactación, mediante martillo vibrante, de materiales granulares con o sin productos de adición”. Y, efectivamente, dicho ensayo

corroboró que en rangos de humedades muy dispares las densidades logradas en probeta seguían siendo bajas y, además arrojó una particularidad del material, y es que, éste tiene dos densidades máximas según se trabaje en la rama húmeda o en la rama seca.

El trabajo en el Laboratorio de Materiales se prolongó desde mediados de mayo de 2017 hasta finales de junio de 2017. En este breve período de tiempo se elaboraron una gran cantidad de probetas y el avance de los trabajos fue tan rápido que impidió profundizar más en los problemas de densidad en probeta. Sin embargo, para corroborar el buen funcionamiento del equipo de compactación se elaboró una probeta de prueba en el laboratorio de Inzamac que alcanzó una densidad un 15% mayor a la alcanzada por ninguna de las probetas elaboradas en la EPSZ, lo que nos lleva a pensar en alguna disfunción en el martillo compactador. Durante esta fase

además, se testó el polímero comercializado por Matec-q y denominado Matec AP-20.

La tercera etapa de investigación se desarrolló en las instalaciones de Cementos Molins durante el mes de enero y febrero de 2018. El objeto de esta nueva fase de investigación era asentar los resultados obtenidos en el trabajo con polímeros con nuevos ensayos que pudieran dar unos resultados más representativos del comportamiento del material así como corroborar experimentalmente lo ventajoso de la técnica de estabilización mixta cemento-polímero en determinadas situaciones. Para ello se preparó un calendario de trabajo en el que se elaborarían hasta 24 probetas cilíndricas de $\varnothing 152,4 \times 127,0$ mm. De éstas la mitad serían probetas de referencia con 3 dosificaciones distintas de cemento, en tanto que la otra mitad, serían probetas con dosificación única de cemento y tres dotaciones distintas de polímero. En este caso, se pretendía, además de evaluar el eventual incremento de resistencia a compresión simple que

podieran aportar los polímeros, estudiar la aportación al incremento de durabilidad que pudiera ofrecer la solución basada en la dosificación de polímeros. Así, para cada serie de 4 probetas, dos de ellas eran sometidas al ensayo de compresión simple, en tanto que una de ellas se sometía al ensayo de compresión simple tras un período de 48h sumergida en agua – para evaluar el daño del agua sobre el material y compararlo entre las muestras con y sin polímero- y, la última de las probetas se sometió a un ensayo no normativo basado en las experiencias del Instituto Salvadoreño del Cemento y

Concreto que pretende evaluar el desgaste del material sometido a un ensayo de abrasión con la máquina de desgaste de Los Ángeles.

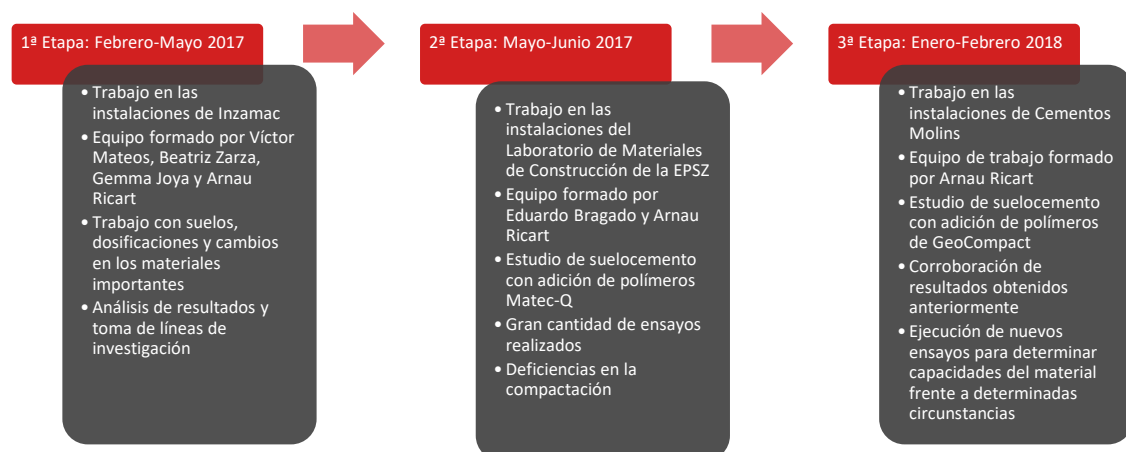


Figura 14. Cuadro resumen de la cronología del proyecto SCAP. Fuente: propia

2.5. Método de trabajo

Para la realización de esta investigación se ha partido de suelos obtenidos mayoritariamente de obras de estabilización. Esta elección responde a poder trabajar con suelos que efectivamente van a ser empleados en la ejecución de suelos tratados con cemento, de forma que, los problemas y circunstancias que puedan producirse en la obra van a reproducirse en el laboratorio. Pero además, dichos suelos han sido previamente sometidos a ensayos por parte de la asistencia técnica de dichas obras y este hecho reduce la necesidad de llevar a cabo ensayos previos. Así, la caracterización del suelo no ha sido objeto de esta investigación y los ensayos de caracterización ejecutados solo respondían a la necesidad de corroborar los ensayos previamente solicitados en caso de discrepancia. Así, con los suelos ya caracterizados, la segunda etapa de la investigación práctica consistía en

determinar las dosificaciones y/o las eventuales modificaciones a ejecutar sobre el suelo. En este sentido, la primera fase del proyecto que se ha descrito anteriormente perseguía el objetivo de abrir posibles líneas de investigación y, fue en este período cuando la heterogeneidad y dispersión de las dosificaciones y cambios en el suelo fueron mayores. A medida que el trabajo de cada uno de los integrantes de la investigación avanzó, las dosificaciones y cambios respondían a objetivos más concretos o a la necesidad de evaluar determinados parámetros.

Una vez decidida la dosificación y/o los eventuales cambios en los suelos el siguiente paso era el de conformar las series de probetas para posteriormente ser ensayadas para determinar la resistencia a compresión simple.

Por último, con los ensayos ya efectuados y tras el análisis de los

resultados se planteaban nuevos escenarios de forma que si era necesario se volvían a elaborar series de probetas con las

dosificaciones y cambios que pudieran resultar más interesantes para evaluar y confirmar los planteamientos ya obtenidos.

2.6. Descripción de los ensayos realizados

En el marco de esta investigación se han realizado ensayos de dosificación, caracterización granulométrica, determinación de los límites de Atterberg, ensayo de humedad óptima y densidad máxima mediante ensayo Próctor Modificado y por medio de martillo vibratorio, elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas, determinación de la resistencia a compresión simple del suelocemento seco y sumergido y determinación de pérdida de peso por desgaste de Los Ángeles.

Ensayo de dosificación

El ensayo de dosificación tiene por objeto determinar la dotación de conglomerante necesaria para alcanzar la resistencia a compresión simple prescrita en proyecto. En este sentido, es necesario compactar las probetas en el rango normativo de compactación, es decir, alcanzar una compactación mínima del 98% de la densidad

máxima del Próctor Modificado. Así, es necesario ejecutar un ensayo Próctor Modificado para cada dosificación de conglomerante y confeccionar las probetas para dicha dotación y su correspondiente densidad máxima y humedad óptima, posteriormente, se efectúa la rotura a compresión simple a 7 días y se determina la tensión de rotura. Por último y, por interpolación, se obtiene la dosificación que permite alcanzar la resistencia prevista en proyecto.

Este procedimiento como tal no se ha llevado a cabo puesto que no es objeto de este proyecto de investigación alcanzar una resistencia prescrita sino estudiar el comportamiento mecánico del suelocemento en función de la variación de determinadas variables con el objetivo de alcanzar altas prestaciones. Sin embargo, el método de investigación se basa en invertir el proceso de ejecución del ensayo de dosificación. En este

sentido, se parte de una dosificación preestablecida y a posteriori se analizan los resultados de la misma. Con dichos resultados, si son concluyentes, se realizan nuevas dosificaciones que permitan alcanzar los objetivos previstos.

Caracterización Granulométrica

La caracterización granulométrica se ha llevado a cabo en aquellos suelos sobre los que se ha ejecutado una modificación de la granulometría en laboratorio, o bien, cuando se ha considerado que los ensayos previos proporcionados por fuentes externas no respondían con precisión al material ensayado. Esta situación es habitual y puede producirse por la dificultad de la trazabilidad del material especialmente en grandes obras lineales o en acopios de material de grandes dimensiones. Para la realización del ensayo debe tomarse una fracción representativa de suelo mediante cuarteo de la muestra. Dicha muestra será secada en

estufa durante 24 h a 110° para que el suelo esté completamente seco. En este caso, el análisis granulométrico se ha llevado a cabo por vía seca, sin lavado de material.



Figura 15. Separación de materiales por tamizado. Fuente: propia

Después, prepara una batería de tamices ordenados de arriba abajo en orden decreciente de luz de malla. Se efectúa el tamizado del material por medios mecánicos, con máquina tamizadora y, posteriormente, se procede al pesado de cada tamiz. Para determinar el material retenido en cada tamiz, es suficiente con sustraer al valor medido la tara del tamiz previamente conocida. Por último, se calcula el porcentaje de material retenido en cada tamiz en relación a la muestra total de suelo y su complementario, es decir, el porcentaje que pasa por cada tamiz.

Es con este último valor con el que se traza la curva granulométrica, enfrentando apertura de malla y porcentaje que pasa.

Determinación de los Límites de Atterberg

A lo largo de la campaña de investigación se ha llevado a cabo, únicamente, un ensayo de determinación de los Límites de Atterberg. Habitualmente, este valor viene definido en la caracterización externa del material. Durante la fase de trabajo en Cementos Molins la caracterización previa del suelo procedente de la cantera del Garraf incluía ensayos de control para cada una de las voladuras efectuadas, sin embargo, la determinación de los Límites de Atterberg solo se había efectuado en uno de esos ensayos de control y con resultado de suelo no plástico. Sin embargo, el material empleado tenía una visible cantidad de finos y su comportamiento en la compactación parecía el propio de un suelo plástico. Para disipar cualquier duda, se efectuó un

ensayo para conocer el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad del material.



Figura 16. Ensayo de determinación del límite plástico. Fuente: propia

Ensayo de Próctor Modificado

En las instalaciones de la Escuela Politécnica Superior de Zamora se llevaron a cabo dos ensayos de determinación de humedad óptima y densidad máxima mediante Próctor Modificado, según “UNE 103501:1994. Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado”. Dichos ensayos se ejecutaron tras llevar a cabo una significativa modificación sobre la granulometría del suelo de Mularroya de la que se disponían ya del ensayo Próctor Modificado previo. Sobre el suelo

original se efectuó una retirada del árido grueso de tamaño superior al tamiz de 8mm y una aportación, respectivamente, del 25% y del 50% en peso de reciclado de hormigón.

Los ensayos se efectuaron sobre moldes de $\varnothing 152,4$ mm x 177,8 mm con disco espaciador hasta lograr una altura de 127,0mm.



Figura 17. Ensayo de determinación de la humedad óptima y la densidad máxima por el Próctor Modificado. fuente: propia

Para el ensayo Próctor Modificado se secaron 36 kg en estufa a 110°C y posteriormente se le aportó un primer punto de humedad del 6%. Se homogeneiza el material y se conforma la probeta en 3 capas a razón de 56 golpes por capa. La probeta se enrasa convenientemente, se pesa y se desmolda. Después se rompe la probeta por la mitad y se toma una muestra del centro de la misma en una bandeja tarada que se debe

pesar. La muestra tomada se introduce en la estufa para posteriormente determinar la humedad. La probeta es desechada y al material restante se le añade un nuevo punto de agua. Se homogeneiza de nuevo y se repite la operación anterior. Así, se efectúan 4 puntos de humedad. Por último, se elabora una gráfica que relaciona la densidad seca y la humedad para cada probeta, se traza una línea suave sobre los puntos y se determina la humedad óptima y densidad máxima.

Ensayo de determinación de la densidad máxima y humedad óptima mediante martillo vibrante

Para la determinación de la humedad óptima y la densidad máxima del material de rechazo procedente de la cantera del Garraf de Cementos Molins se ha empleado el método de compactación mediante martillo vibrante, según "NLT-311/79. Densidad máxima y humedad

óptima de compactación, mediante martillo vibrante, de materiales granulares con o sin productos de adición”. Este método constituye una alternativa al ensayo de Próctor Modificado, puesto que este último, requiere de mayor tiempo si se ejecuta con maza o bien disponer de un equipo automático de compactación del que no todos los laboratorios disponen. Además, permite obtener densidades máximas acordes con la que se va a lograr fabricar la probeta puesto que se han visto notables diferencias entre la compactación por el Próctor Modificado y la compactación mediante kangoo.

En el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Politécnica Superior de Zamora también se ejecutó este mismo ensayo ante las bajas densidades que se conseguían durante la fabricación de las probetas y las incoherencias con respecto al ensayo de compactación del suelo ejecutado por el laboratorio de la obra.

Para la ejecución del ensayo se deben amasar el agua, suelo y cemento con un contenido de agua relativamente bajo para realizar el primer punto de humedad. Con el material amasado se debe conformar una probeta de $\varnothing 152,4$ x 177,8mm en tres capas con una compactación de 20 ± 2 s por capa. Posteriormente se enrasa la probeta y se pesa, conociendo de antemano la tara del molde. A continuación, se rompe la probeta y se toma muestra de la zona central que se dispone en una bandeja, se pesa y se pone en estufa a 110°C durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo se vuelve a pesar y se determina la humedad de la probeta así como la densidad seca de la misma. Para cada uno de los puntos de humedad se procede de la misma forma, añadiendo cada vez una proporción de agua a la de la amasada original. Finalmente, se traza un diagrama de humedad y densidad seca cuyos puntos se unirán con una línea suavizada cuyo máximo corresponderá a la densidad máxima y humedad óptima del material. En el caso de

Cementos Molins y dado que el material ensayado ha sido ampliamente trabajado y caracterizado se tiene que el tiempo de compactación óptimo para conseguir una densidad máxima en dicho material es de 9 segundos por capa. Si bien, el molde empleado en dicho laboratorio es el $\varnothing 152,4 \times 127,0\text{mm}$. En el laboratorio de Zamora en vistas que las densidades alcanzadas en probeta eran muy distintas a las determinadas por el ensayo Próctor Modificado previo también se optó por ejecutar una calibración del equipo de compactación testando tiempos de compactación por capa superiores e incluso la compactación en un número mayor de capas sin que el resultado fuera satisfactorio.

Confección de probetas cilíndricas

La fabricación de las probetas correspondientes a la última etapa de esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones de Cementos Molins. Para fabricar las 24 probetas se realizaron ocho amasadas



Figura 18. Probetas curadas en bolsa hermética en el laboratorio. Fuente: propia

correspondientes a las ocho dosificaciones distintas empleadas. Así, se hicieron en dos días sucesivos cuatro y cuatro amasadas. Las correspondientes al primer día se elaboraron con cemento, en tanto que, el segundo días se elaboraron las probetas mixtas polímero-cemento. Para la fabricación de las probetas, en primer lugar, se añade a la amasadora el suelo y el cemento según la dosificación preestablecida, una vez homogeneizado el material, se añade el agua y se deja por un período de tiempo más largo hasta observar que el suelo presenta un aspecto homogéneo. El material se traslada hasta los moldes que han sido previamente pintados con desencofrante. Se introduce una primera capa en molde y se compacta según el tiempo óptimo, posteriormente, se efectúa un

rascado de la superficie para evitar la formación de una junta fría y se procede a realizar otra capa. Se sigue este procedimiento hasta tener las tres capas que se han ejecutado prestando atención a que su espesor sea aproximadamente igual. A continuación, se retira el collarín del molde y se enrasa la probeta con la ayuda de enrasadores metálicos, paleta o llana. En aquellas probetas cuyo acabado superficial sea más complejo de lograr se tamiza material por el tamiz de 4mm para ejecutar el cerrado de la capa superficial. El siguiente paso, es llevar las probetas a la báscula donde son pesadas y ya se pueden trasladar a la cámara húmeda o bien taparlas con bolsas.

Con el material sobrante de la amasada se toma una muestra en una bandeja, se pesa y se lleva a la estufa para su secado. Al día siguiente, las probetas son desmoldadas y, en caso de que su curado sea en bolsa hermética, son introducidas en una bolsa que se sella con cinta adhesiva. También se retira la bandeja con la muestra de suelo de la estufa, se pesa y ya se puede determinar la humedad y densidad seca de la probeta.



Figura 19. Bandejas con material ya seco en estufa para determinar su humedad. Fuente: propia



Figura 20. Condiciones de curado en cámara húmeda. 20°C y 65% humedad. Fuente: propia

Confección de probetas prismáticas

En el desarrollo de la presente investigación se confeccionaron dos probetas prismáticas de 150x150x600 mm. Para ello, se hizo una adaptación al martillo vibrante, de modo que se adaptó una chapa metálica cuadrada de 15x15cm sobre el pisón del martillo. Así, el procedimiento de elaboración de las probetas era análogo al de las probetas cilíndricas con la diferencia que la compactación se realizaba con el kangoo fuera de su soporte. En este sentido, se tomó como referencia la experiencia llevada a cabo en la Universidad del Salvador (*Manuel Antonio Artero Alvarado, 2003*).

Se empleó un tiempo de compactación de 100 segundos por capa en tres capas tal y como se expone en el trabajo citado anteriormente.

Las probetas confeccionadas nunca llegaron a ser ensayadas debido a la dificultad de manipularlas y la falta de medios disponibles en los laboratorios de la EPSZ para su

ensayo. Como anécdota no se disponía ni tan siquiera de una báscula capaz de pesar dichas probetas dadas las grandes dimensiones de las mismas. Además, las bajas resistencias a compresión simple obtenidas para la misma dosificación en las probetas cilíndricas ponían de manifiesto la excesiva fragilidad de las probetas para ensayarlas a

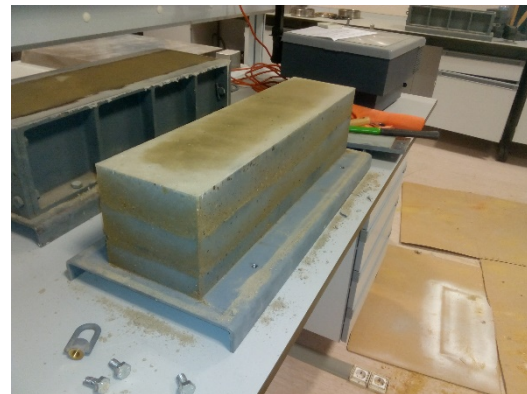


Figura 21. Aspecto de la probeta prismática confeccionada y desmoldada. Fuente: propia

edades tempranas a flexión.

Determinación de la resistencia a compresión simple

El ensayo para la determinación de la resistencia a compresión simple de las probetas cilíndricas se ha hecho conforme a lo dispuesto en la norma NLT 305/90. Las probetas una vez curadas, o bien en bolsa

hermética o en cámara húmeda, se someten a la aplicación de carga mediante la prensa hidráulica.

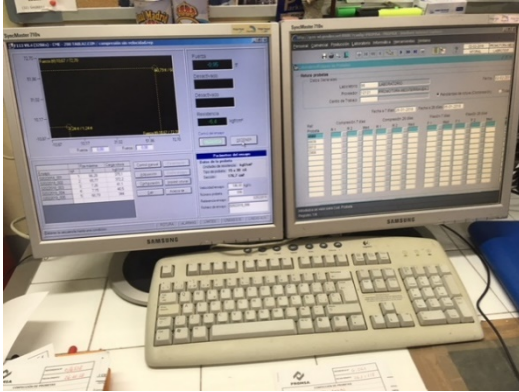


Figura 23. Control informático de la prensa para configuración de los parámetros de rotura. fuente: propia



Figura 22. Prensa para llevar a cabo las roturas a compresión simple. Fuente: propia

Dicha aplicación debe estar limitada a una velocidad de 0,1MPa/s. En las prensas utilizadas durante esta investigación este valor es necesario introducirlo en Kpf/s de forma que la

velocidad de aplicación de carga a emplear para las probetas de $\varnothing 152,4\text{mm}$ resulta de 186Kpf/s.

En los ensayos realizados en Cementos Molins, para evaluar la susceptibilidad al agua del material, se han efectuado las roturas a compresión simple tras inmersión de una de las probetas de cada serie. Para ello, una de las probetas ha sido sometida a un tiempo de curado de 5 días en cámara húmeda y 48 horas sumergida en agua. Antes de su rotura se ha dispuesto sobre papel absorbente para que drenara el exceso de agua. A



Figura 24. Probetas sumergidas durante 48h. Fuente: propia



Figura 25. Comparativa de la probeta sumergida y la curada en cámara húmeda. Fuente: propia

posteriori, para evaluar el comportamiento de la probeta sometida a la acción del agua se ha establecido una relación entre la tensión de la probeta sumergida y el promedio de tensiones de las probetas curadas en cámara húmeda.

$$r = \frac{\sigma_{\text{Probeta Sumergida}}}{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{\text{Probeta no sumergida}}}{n}}$$

Determinación de la pérdida de peso por desgaste de Los Ángeles

Este ensayo llevado a cabo en el marco de la investigación en el laboratorio de Cementos Molins tiene por objeto evaluar la pérdida de peso que experimenta una probeta de suelocemento tras un ciclo de desgaste en la máquina de

Los Ángeles. Se trata de una adaptación del ensayo cántabro utilizado por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC) para evaluar el comportamiento de los Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño (PUAD) al desgaste (*Mantenimiento de Caminos Rurales con Pavimentos Unicapa, 2015*). El ISCYC plantea el ensayo introduciendo la probeta dentro de la máquina de desgaste de Los Ángeles sin carga abrasiva y dándole 200 vueltas. En el caso del ensayo realizado en el marco de esta investigación se ha reducido el número de revoluciones de la



Figura 26. Material a la salida del ensayo cántabro con 100 revoluciones. Fuente: propia

máquina de Los Ángeles hasta las 100 revoluciones. Esta decisión está fundada en que las resistencias habituales en los PUAD son más elevadas que las alcanzadas en la presente investigación. Para evitar una disgregación total del material ha sido necesario introducir, entonces, esta modificación al ensayo.

$$Pérdida\ peso(\%) = 100 - \left[\frac{Peso_{retenido\ #50}}{Peso_{total\ probeta}} \right]$$



Figura 27. Excelente resultado de una probeta sometida al ensayo de desgaste. Fuente: propia

Tras completar el ciclo de revoluciones, el material se traslada a una bandeja donde se tamiza el material por el tamiz de 50mm. Posteriormente, se calcula la pérdida de peso.

2.7. Estudio del alcance económico de la investigación

Para estimar el alcance económico de la campaña de ensayos de este proyecto se ha tomado como referencia la publicación en el BOE de la Resolución de 22 de octubre de 2009, del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, por la que se fijan los precios públicos que han de regir las prestaciones de servicios. Así, tomando como referencia dichos precios públicos y de acuerdo con la medición de los trabajos realizados.

Téngase en cuenta que la rigidez de la tarifa propuesta no permite hacer una correspondencia tan estricta. Por ejemplo, se han asimilado los ensayos de Próctor

Modificado y martillo vibrante al precio del primero de ellos. En el caso del coeficiente de Los Ángeles el ensayo realmente ejecutado no cumple las prescripciones normativas, sin embargo se ha asimilado a éste. Por último, 9 de las probetas elaboradas no se rompieron a compresión simple, sin embargo, no se ha tenido en cuenta. Por otro lado, hay que considerar que una gran cantidad de los costes no se han considerado. Así, la toma de muestras de emplazamientos muy lejanos al punto de ensayo, los costes de material de laboratorio auxiliar, el coste de los conglomerantes y, especialmente, el coste de la dedicación del

Medición	Descripción	Precio unitario	Importe
3	ud. Análisis Granulométrico por tamizado	49,43 €	148,29 €
1	ud. Determinación de los límites de Atterberg	77,99 €	77,99 €
5	ud. Ensayo de apisonado por el método de Proctor Modificado	104,24 €	521,20 €
101	ud. Ensayo de compresión simple incluida preparación de la probeta	58,11 €	5.869,11 €
101	ud. Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa	17,47 €	1.764,47 €
6	ud. Coeficiente de Los Ángeles	128,21 €	769,26 €
	Subtotal		9.150,32 €
	IVA (21%)		1.921,57 €
	TOTAL		11.071,89 €

Tabla 1. Resumen económico de la campaña de ensayos

personal investigador además de profesores y personal de soporte no se incluyen a estos efectos. Simplemente, este análisis pretende poner de relieve el coste económico asociado a la ejecución de la campaña de ensayos de este proyecto.

2.8. Bibliografía

AENOR. 1994. *UNE 103103:1994. Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de casagrande.* s.l. : AENOR, 1994.

—. **1994.** *UNE 103501:1994. Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.* s.l. : AENOR, 1994.

—. **2010.** *UNE-EN 1097-2:2010. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.* s.l. : AENOR, 2010.

—. **2003.** *UNE-EN 13286-41:2003. Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 41: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de las mezclas de áridos con conglomerante hidráulico.* s.l. : AENOR, 2003.

—. **2012.** *UNE-EN 933-1:2012. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.* s.l. : AENOR, 2012.

CEDEX. 2003. *Manual de firmes con capas tratadas con cemento (2ª Ed.).* Madrid : Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento, 2003. 978-84-7790-489-2.

Centro de Estudios de Carreteras. 1979. *NLT-311/79. Densidad máxima y humedad óptima de compactación, mediante martillo vibrante, de materiales granulares con o sin productos de adición.* Madrid : Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1979.

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). 2008. *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2008. 978-84-89702-23-3.

—. 2015. *Suelocemento in situ*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2015.

Mantenimiento de Caminos Rurales con Pavimentos Unicapa. **Alfaro, Ing. MsC. Marcelo**. 2015. Santa Cruz : Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2015.

Manuel Antonio Artero Alvarado, Jorge Alberto Jovel Abrego, Manuel de Jesús Mejía Morán. 2003. *Propuesta para el diseño y construcción de pavimentos unicapa de alto desempeño como alternativa de aplicación a pavimentos rurales*. San Salvador : Universidad del Salvador, 2003.

Estado del arte en la estabilización de suelos con polímeros



Índice

2.1. Reseñas bibliográficas.....	3
2.2. Resumen de los resultados y conclusiones de las reseñas bibliográficas.....	6
2.3. Bibliografía.....	17

Tabla de contenidos

Figura 1. Gráfico de resistencia a compresión simple a la edad de 1 día.	7
Figura 2. Gráfico de resistencia a compresión simple a la edad de 7 días.	7
Figura 3. Gráfico de resistencia a compresión simple a la edad de 28 días.	8
Figura 4. Valores de resistencia a compresión simple para las probetas curadas en cámara húmeda (kg/cm ²). Fuente: Nanotecnología aplicada a la estabilización de suelos: Desempeño técnico.	9
Figura 5. Valores de resistencia a compresión simple para las probetas curadas al aire (kg/cm ²). Fuente: Nanotecnología aplicada a la estabilización de suelos: Desempeño técnico.....	9
Figura 6. Resistencia a compresión simple de suelocemento estabilizado con Corpi Seal. Fuente: Humicorp Nanopolímeros, S.L.	11
Figura 7. Resistencia a compresión simple de suelocemento. Fuente: Humicorp nanopolímeros, S.L.	10
Figura 8. Gráfico comparativo del índice CBR para distintos suelos con tratar y tratados con cemento y nanopolímeros. Fuente: Humicorp nanopolímeros, S.L.	12
Figura 9. Cuadro resumen de las características del suelo de estudio. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.	13
Figura 10. Resultados obtenidos en la campaña de laboratorio para distintas dotaciones de cal y polímero GB. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.	14
Figura 11. Acople de máquina estabilizadora y cuba de riego. Fuente. Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía	14
Figura 12. Dosificación de cal por vía húmeda en el tramo de prueba. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía	14
Figura 13. Gráfico de la evolución del CBR para el suelo-cal y el suelo-cal-GB. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.....	15
Figura 14. Gráfico de la evolución de la resistencia a compresión simple para el suelo-cal y el suelo-cal-GB. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía ...	15

2.1. Reseñas bibliográficas

Existen numerosos estudios e investigaciones sobre la estabilización de suelos. Sin embargo, la disponibilidad de bibliografía técnica relacionada con la técnica de estabilización mixta cemento-polímero es mucho más escasa.

En cuanto al suelocemento de altas prestaciones existen estudios específicos pero sobretodo se pueden hacer inferencias a partir de resultados de estudios sobre el suelocemento habitual. Así, el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto, ha sido el actor fundamental en el desarrollo de la investigación de los Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño (Manuel Antonio Artero Alvarado, 2003). Con este término se refieren a suelocementos con altas dotaciones de cemento que en vías rurales y/o de baja intensidad pueden servir como capa de pavimento integral, es decir, que no requieren la disposición de una

capa de rodadura superficial. Los Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño prescriben dotaciones habituales de entre el 11 y el 20% de cemento sobre el peso seco del suelo.

En cuanto a estudios de amplio espectro sobre el suelocemento, existe una gran cantidad de investigaciones que analizan el comportamiento de éste desde distintas ópticas. En este sentido, es habitual encontrar investigaciones en las que se han prescrito altas dotaciones de cemento y haciendo un análisis de los resultados obtenidos se pueden hacer inferencias.

No obstante, es menos habitual encontrar bibliografía técnica y especializada sobre la estabilización de suelos con polímeros. La inexistencia de un marco normativo que regule el campo de los polímeros aplicados a la estabilización de suelos dificulta la trazabilidad de los ensayos, la

comparación entre investigaciones y resultados de forma fiable. Así, es habitual encontrar estudios, realizados por los propios fabricantes del conglomerante, en el que se indican resultados de las capacidades mecánicas de sus materiales pero cuya extrapolación resulta inviable puesto que no se detalla las características y composición de los polímeros empleados en dichas investigaciones.

En cuanto a la bibliografía de referencia en el campo de la estabilización mixta cemento-polímero y su aplicación al suelo cemento las reseñas son de gran escasez y de nuevo la trazabilidad supone un reto. En este caso, es perfectamente extrapolable la dotación de cemento puesto que está sometido a una estricta regulación que obliga a su designación mediante un formato estricto de la cual podremos deducir la composición y características del material. Sin embargo y, del mismo modo, que en la estabilización con polímeros el problema redunda en

conocer con detalle qué tipo de polímero se está realmente empleando y sus características más allá de su nombre comercial.

En cualquier caso, se han tomado referencias bibliográficas que permitan comprender y comparar los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo. En este sentido se ha analizado el trabajo de Kent Newman y Jeb S. Tingle de la U.S. Army Engineer Research and Development Center, en su Trabajo “Emulsion Polymers for Soil Stabilization”. Esta investigación ofrece un análisis comparativo de la resistencia a compresión simple de un suelo arenoso sin tratar, tratado con distintas dotaciones de cemento y tratado con distintas dotaciones de polímero.

Otro de los trabajos analizados corresponde al desarrollado por Gerardo D. López y Horacio Tobías, “Nanotechnology in Soil Stabilization: Technical Performance”. Este estudio evalúa las diferencias que se producen en

la tensión de rotura a compresión simple de materiales tratados con dotaciones de cemento <5% según la no adición, la adición de dos polímeros distintos (Soiltec S1 y Soiltec S2), la adición de nanopartículas de hierro y la adición de polímero Soiltec S1 con nanopartículas de hierro.

La compañía Humicorp también dispone de ensayos de suelocemento con adición del polímero que comercializa, llamado Corpi Seal. Se han tomado como referencia también los ensayos a resistencia a compresión simple y la evaluación del daño a la acción del agua.

Por último, en el marco del “Convenio de Investigación: utilización de polímeros en la estabilización de suelos para su uso en carreteras” desarrollado por la Consejería de Fomento y Vivienda de Andalucía y la empresa COMSA se redactó un informe final que sirve

como referencia bibliográfica de interés por su representatividad al tratarse de una obra ejecutada en España. Se llevó a cabo el estudio previo, la aplicación en obra y la investigación posterior de la técnica de estabilización mixta cal-polímeros.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.2. Resumen de los resultados y conclusiones de las reseñas bibliográficas.

“Emulsion Polymers for Soil Stabilization” (Kent Newman, 2004)

Esta campaña de investigación, llevada a cabo por Kent Newman y Jeb S. Tingle de la U.S. Army Engineer Research and Development Center, evalúa la resistencia mecánica a compresión simple y el daño producido por el agua sobre una arena limosa tratada y el mismo material sin tratar. Para ello, se conforman 6 probetas por cada serie de Ø102,0 x 152,0mm. Se fabrican 10 series de probetas.

1. Material sin tratar
2. Material tratado con el 2,75% de cemento Portland.
3. Material tratado con el 6% de cemento Portland.
4. Material tratado con el 9% de cemento Portland.
5. Material tratado con el 2,75% de copolímero acetato de acrílico de vinilo. (P1)

6. Material tratado con el 2,75% de copolímero acetato de polietileno-vinilo. (P2)
7. Material tratado con el 2,75% de copolímero acrílico (P3)
8. Material tratado con el 2,75% de copolímero acrílico con propiedades poliméricas inorgánicas. (P4)
9. Material tratado con el 2,75% de copolímero acetato de acrílico de vinilo. (P5)
10. Polímero acrílico (P6)

Estas probetas se conforman mediante el ensayo de compactación giratoria para aglomerado bituminoso en 5 capas con una presión de 870kPa, un ángulo de rotación de 1,25° y con 90 vueltas de rotación, para obtener una compactación equivalente al 95% del Próctor Modificado.

De las seis probetas conformadas 3 son sometidas al ensayo de resistencia a compresión simple

después de curado en cámara húmeda a una temperatura de 23° y

Las probetas se ensayan a la edad de 1, 7 y 28 días respectivamente.

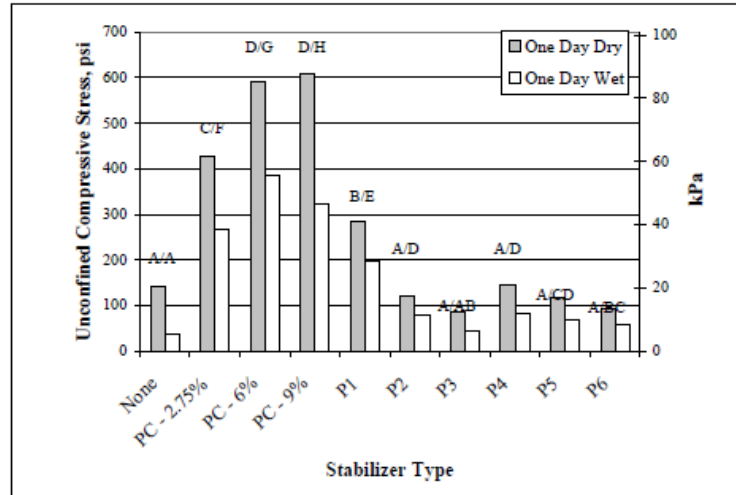


Figura 1. Gráfico de resistencia a compresión simple a la edad de 1 día.

una humedad del 50%. Las otras tres probetas tras el curado son sumergidas durante 15 minutos en agua y después drenadas 5 minutos antes de ensayar.

Los autores concluyen que la resistencia a compresión simple (UCS, por sus siglas en inglés) es significativamente mayor en el suelocemento que en el suelo-polímero. Además la UCS tras la

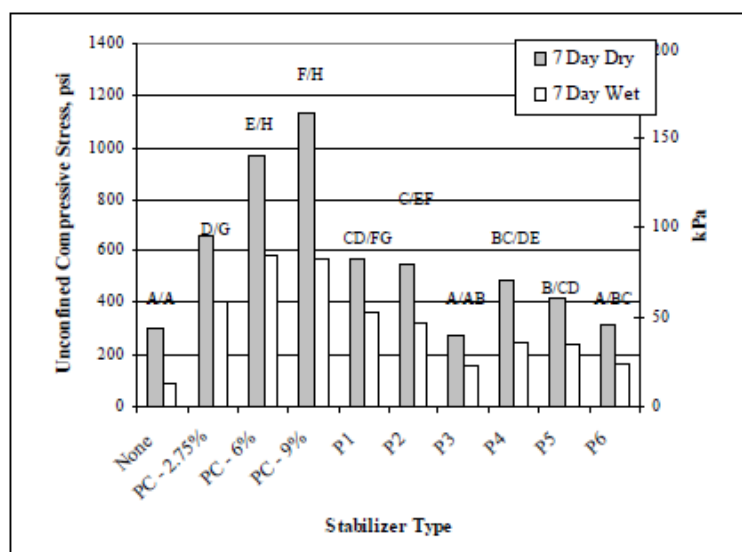


Figura 2. Gráfico de resistencia a compresión simple a la edad de 7 días.

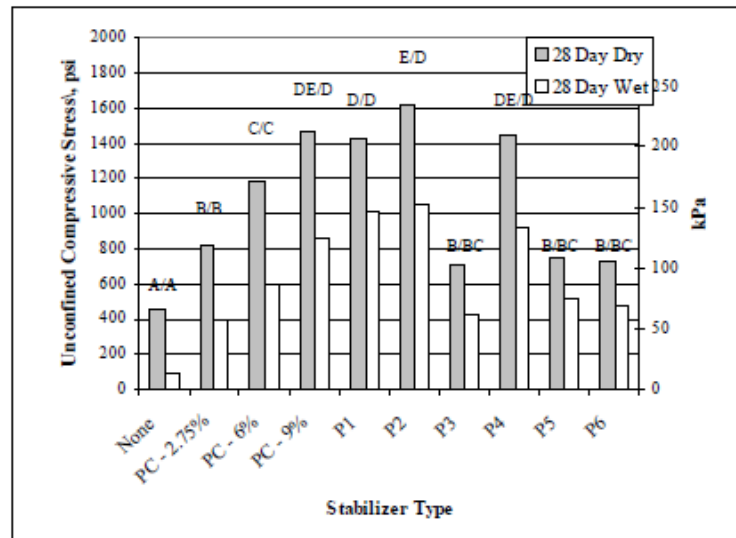


Figura 3. Gráfico de resistencia a compresión simple a la edad de 28 días.

inmersión se comporta de la misma forma.

En el caso de las probetas ensayadas a la edad de 7 días, el comportamiento resistente es análogo al determinado en el ensayo a un día de edad. Se observa, eso sí, un mejor comportamiento del suelo-polímero respecto al suelo no estabilizado.

Por último, en el análisis de las resistencias a 28 días si se observa que los valores de UCS para algunos de los suelo-polímeros ensayados obtienen valores cercanos, e incluso superior es, al suelocemento con una dotación del 9%.

En cuanto a la resistencia conservada tras la inmersión a 28 días los suelo-polímeros P1, P2 y P5 obtienen valores netamente superiores al suelocemento con la dotación del 9% de cemento Portland.

Nanotecnología aplicada a la estabilización de suelos: Desempeño técnico. (Gerardo D. López, 2013)

El trabajo desarrollado por Gerardo D. López y Horacio Tobías, presentado en el 13er Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales de 2013, tiene por objeto

evaluar la viabilidad del comportamiento mecánico de los suelos estabilizados con nanomateriales para su aplicación en vías rurales frente a la solución habitual de la pavimentación. En este sentido, la metodología experimental se sustenta en el ensayo de resistencia a compresión simple, la determinación del valor de soporte relativo y el hinchamiento. Para ello, se comparan dosificaciones de suelocemento convencional con dotaciones

polímero y de Soiltek con polímero S1 y mayor concentración de nanopartículas.

Los suelos ensayados corresponden a suelos A-4 y A-2-4 según la clasificación de la ASTM. También se compara el mecanismo de curado del material, enfrentando resultados de curado en cámara húmeda frente a curado al aire.

De los resultados alcanzados, los autores infieren que la mejora de las prestaciones mecánicas

Estabilizante / Curado	s/a	S1	S2	nFe	S1+
72 horas	4,2	6,4	6,1	6,1	6,2
168 horas	4,2	6,8	6,0	6,2	6,3
240 horas	6,7	4,7	6,0	5,8	6,4

Figura 4. Valores de resistencia a compresión simple para las probetas curadas en cámara húmeda (kg/cm²). Fuente: Nanotecnología aplicada a la estabilización de suelos: Desempeño técnico.

inferiores al 5% frente a dicho material con adición, respectivamente, de Soiltek con polímero tipo S1, de Soiltek con polímero tipo S2, de nanohierro sin

corresponde al nanohierro, en tanto que la matriz polimérica no aporta cambios significativos en este sentido. Sin embargo, los autores indican que la aportación de la

Estabilizante / Curado	s/a	nFe	S1+
72 horas	10,7	12,4	12,6
168 horas	10,7	12,4	12,6

Figura 5. Valores de resistencia a compresión simple para las probetas curadas al aire (kg/cm²). Fuente: Nanotecnología aplicada a la estabilización de suelos: Desempeño técnico.

matriz polimérica induce flexibilidad al material, una menor sensibilidad al agua y una mayor cohesión del suelo.

Ensayos internos de Humicorp
(Humicorp Nanopolímeros S.L., 2015)

El departamento técnico de la empresa Humicorp Nanopolímeros S.L. ha llevado a cabo trabajos en el marco de una campaña de investigación interna para caracterizar las capacidades mecánicas aportadas por los polímeros que comercializan. En este sentido, presentan dos campañas de investigación, la primera de ellas, evalúa la

resistencia a compresión simple de un suelocemento con una dotación del 2% de cemento frente a un suelocemento con polímero Corpi Seal con dotaciones del 2% de cemento y y 650ml/m³ de polímero.

Los ensayos realizados por el laboratorio Eptisa plantean dos amasadas, la primera de las cuales, se realiza con una dotación de cemento del 2% y de la que se elaboran tres probetas. De ellas, una es sometida al ensayo de resistencia a compresión simple a 3 días, en tanto que el resto se ensayan a 7 días. Por otra parte, se realiza una segunda amasada, con el 2% de cemento y 650ml/m³ de polímero

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE MATERIALES TRATADOS CON CONGLOMERANTES HIDRAULICOS (NLT-305 / 90)							
Peticionario: Humicorp Nanopolímeros, S.L.				Unidad de obra:			
Obra: Control Interno.				Descripción del material:			
Procedencia :				Tipo de material:			
Localización: Sin aditivos							
nº probeta	localización	edad (días)	fecha rotura	% cemento	humedad (%)	densidad (g/cm ³)	resistencia (Mpa)
1	Sin aditivos	3	12/06/2015	2,0	8,3	1,50	1,56
2	Sin aditivos	7	16/06/2015	2,0	8,3	1,50	1,69
3	Sin aditivos	7	16/06/2015	2,0	8,3	1,51	1,70

Figura 6. Resistencia a compresión simple de suelocemento. Fuente: Humicorp nanopolímeros, S.L.

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE MATERIALES TRATADOS CON CONGLOMERANTES HIDRAULICOS
(NLT-305 / 90)**

Peticionario: Humicorp Nanopolímeros, S.L.	Unidad de obra:
Obra: Control Interno.	Descripción del material:
Procedencia :	Tipo de material: Arena limoso con gruesos
Localización: Corpi Seal 650 ml/m ³ .	

nº probeta	localización	edad (días)	fecha rotura	% cemento	humedad (%)	densidad (g/cm ³)	resistencia (Mpa)
1	Corpi Seal 650 ml/m ³ .	3	12/06/2015	2,0	7,9	1,50	1,67

Figura 7. Resistencia a compresión simple de suelocemento estabilizado con Corpi Seal. Fuente: Humicorp Nanopolímeros, S.L.

Corpi Seal y se procede de forma análoga.

En el caso de las roturas a 3 días, el incremento de resistencia a compresión simple con la adición de polímero es del 7,05%. En las roturas a compresión simple a la edad de 7 días el incremento de las tensiones de rotura medias es del 40,71% en el caso de la adición de polímeros.

Otra de las investigaciones llevadas a cabo por la compañía es la evaluación del índice CBR para muestras sin tratar frente a muestras tratadas con cemento y aditivos poliméricos. Los ensayos fueron llevados a cabo por el laboratorio ICEC y se ensayaron en total 12

muestras de suelos estabilizados y en estado natural.

Así, se evalúan:

1. Muestra de suelos de grano grueso con limos (tipo A-2-4) estabilizada con 0,65 l/m³ de nanopolímero Corpi Seal® y 1,5% de cemento; sellado con 0,075 l/m² de nanopolímero Corpi direct®.
2. Muestra de suelos de grano grueso (zahorra natural) (tipo A-1-4) estabilizada con 0,65 l/m³ de nanopolímero Corpi Seal® y 1,5% de cemento; sellado con 0,075 l/m² de nanopolímero Corpi direct®.
3. Muestra de suelos de grano grueso (zahorra artificial) (tipo A-1-4) estabilizada con 0,65

- l/m³ de nanopolímero Corpi Seal® y 1,5% de cemento; sellado con 0,075 l/m² de nanopolímero Corpi direct®.
- 4. Muestra de suelos arcillosos (tipo A-6) estabilizada con 0,65 l/m³ de nanopolímero Corpi Seal® y 3,0 % de cemento; sellado con 0,075 l/m² de nanopolimero Corpi direct®.
- 5. Muestra de suelos de grano grueso con arcillas (tipo A-2-6) estabilizada con 0,65 l/m³ de nanopolímero Corpi Seal® y 3,0% de cemento; sellado con 0,075 l/m² de nanopolimero Corpi direct®.

- 6. Muestra de suelos de grano fino (tipo A-6) estabilizada con 0,65 l/m³ de nanopolímero Corpi Seal® y 2,0% de cemento; sellado con 0,075 l/m² de nanopolimero Corpi direct®.

Para cada una de las muestras se ensaya también el mismo suelo sin adición de cemento ni nanopolímeros. Los autores concluyen que el incremento del índice CBR tras la aplicación de los productos de estabilización varía entre un 200% y un 800%.

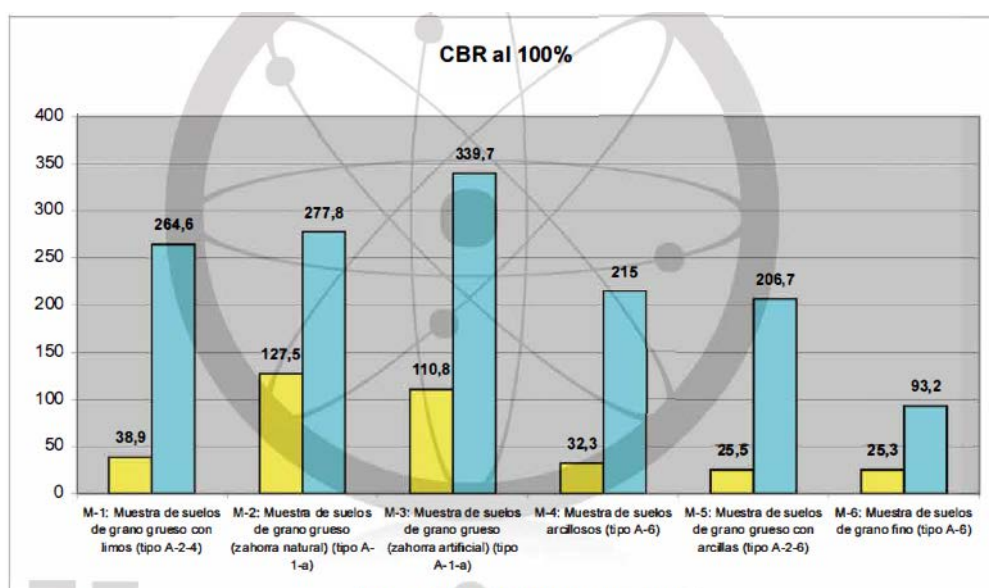


Figura 8. Gráfico comparativo del índice CBR para distintos suelos con tratar y tratados con cemento y nanopolímeros. Fuente: Humicorp nanopolímeros, S.L.

Convenio de Investigación:
utilización de polímeros en la
estabilización de suelos para su uso
en carreteras (Valentí Fontserè Pujol,
2012)

El convenio de investigación entre la contratista COMSA y la Consejería de Fomento y Vivienda de la Andalucía tenía como propósito estudiar una solución alternativa para la sección propuesta en el proyecto constructivo de la “Autovía A-382 de Jerez de la Frontera a Arcos de la Frontera. Tramo III: del P.K. 13+000 al 20+000 (Cádiz)”. En concreto, se estudió el cambio de sección que preveía una capa de 45cm de zahorra artificial por una capa del mismo espesor de suelo estabilizado con cal y polímero.

El estudio se estructuró en 3 partes.

1. Estudio de laboratorio para determinar dosificaciones óptimas.
2. Ejecución de las distintas secciones de obra en tramos de prueba ubicados en los ramales de enlace de la

nueva Autovía A-382 a la altura de la Jédula.

3. Seguimiento en el tiempo para analizar su comportamiento y evolución.

El suelo empleado fue el de la traza del tramo de prueba. Se trata de un suelo arcilloso, inadecuado según la clasificación del PG-3 con las

- **Densidad:** 1,66 Tn/m³
- **Humedad óptima de compactación:** 14,8%
- **Granulometría:**

Tamiz UNE	20	2	0,4	0,08
% pasa	100	99,9	99,7	97,3
- **Límites de Atterberg:**

Límite líquido:	59,1
Límite plástico:	20,0
Índice de plasticidad:	39,1
- **Hinchamiento libre en edómetro:** 7,9%

Figura 9. Cuadro resumen de las características del suelo de estudio. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.

siguientes características:

Para llevar a cabo el estudio de laboratorio se procedió a cruzar dosificaciones de 2, 3 y 4% de cal con 0,8l/m³, 1,2l/m³ y 1,6l/m³ de polímero estabilizador GB comercializado por Green Road Solutions. Con dichas dotaciones se llevaron a cabo ensayos de límites

de Atterberg, determinación del índice CBR, resistencia a compresión simple a 48 horas y

1,6l/m³ de polímero GB. Esta solución reunía las capacidades suficientes para sustituir la capa de

		Cantidad de GB (l/m ³)		
		0,8	1,2	1,6
Cantidad de cal (%)	2,00%	25,6	30,2	34,3
	3,00%	49,9	53,6	56,0
	4,00%	57,9	62,5	66,0

Tabla 1. Valores del CBR al 100% de densidad, para las distintas mezclas. CBR del suelo natural: 2,5.

		Cantidad de GB (l/m ³)		
		0,8	1,2	1,6
Cantidad de cal (%)	2,00%	10	10	11
	3,00%	13	15	14
	4,00%	16	18	18

Tabla 2. Valores de la RCS, en Kg/cm², para las distintas mezclas. RCS del suelo natural: 8 kg/cm².

		Cantidad de GB (l/m ³)		
		0,8	1,2	1,6
Cantidad de cal (%)	2,00%	1,70	1,50	1,45
	3,00%	1,35	1,30	1,20
	4,00%	1,00	0,85	0,80

Tabla 3. Valores del hinchamiento libre, para las distintas mezclas. Hinchamiento del suelo natural: 7,90%.

Figura 10. Resultados obtenidos en la campaña de laboratorio para distintas dotaciones de cal y polímero GB. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.

hinchamiento.

45cm de zahorra artificial.

Puesto que la finalidad de este estudio era obtener la mejor solución para posteriormente ejecutarla se eligió la mezcla con un 4% de cal y

Posteriormente, se llevó a cabo la ejecución de los tramos de prueba. Para llevarla a cabo se llevó a cabo la dosificación por vía seca de la cal



Figura 12. Dosificación de cal por vía húmeda en el tramo de prueba. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía



Figura 11. Acople de máquina estabilizadora y cuba de riego. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía

y la posterior estabilización características del material puesto mediante acople de máquina en obra.

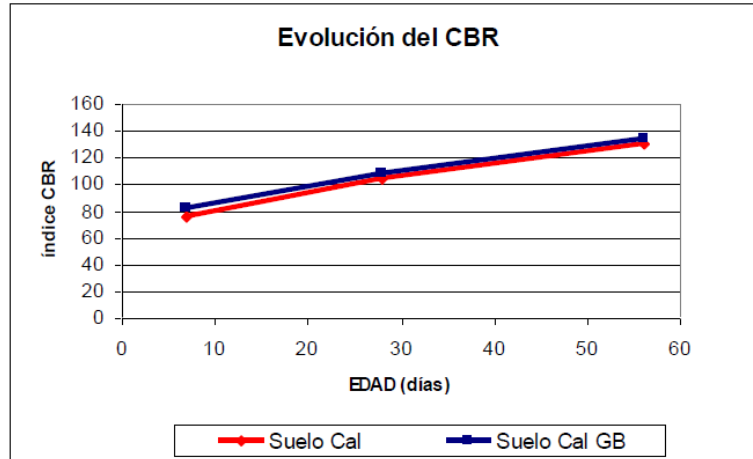


Figura 13. Gráfico de la evolución del CBR para el suelo-cal y el suelo-cal-GB. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía

estabilizadora y cuba. En la cuba se aplicó la dilución polimérica y la dosificación se reguló mediante el

En este sentido, se llevaron a cabo ensayos de determinación del índice CBR, resistencia a compresión

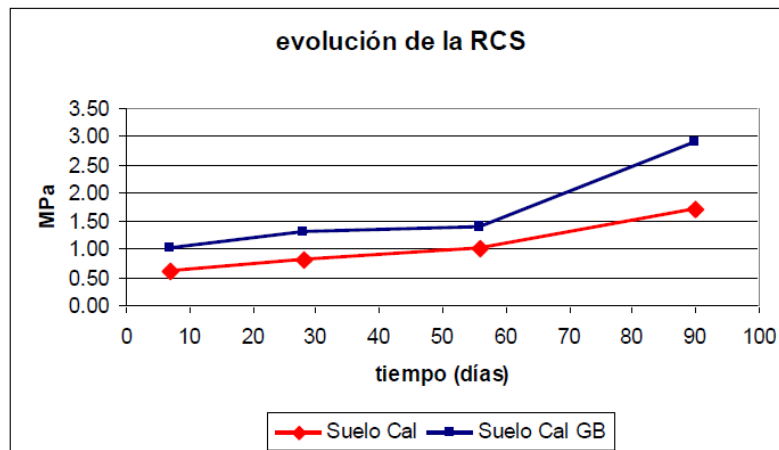


Figura 14. Gráfico de la evolución de la resistencia a compresión simple para el suelo-cal y el suelo-cal-GB. Fuente: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía

sistema computerizado de inyección de la máquina.

La última etapa de la investigación se centró en analizar la evolución en el tiempo de las propiedades y

simple e hinchamiento libre en edómetro. Los autores del estudio concluyen que la adición de polímeros al suelo-cal tiene una notable influencia en el desarrollo de resistencias, especialmente a medio

y largo plazo. Sin embargo, el índice CBR apenas sufre variaciones siendo en cualquier caso suficientemente alto para el propósito de esta mezcla. Los ensayos de deflexiones llevados a cabo a lo largo del tiempo concluyeron que la solución estabilizada con suelo-cal-polímero ofrece mejores resultados que la solución mediante zahorra artificial. Además, dichas deflexiones presentan un patrón estacional mucho más estable. En cuanto a la aparición de fisuras los autores concluyen que se espera la aparición de las mismas en los tramos estabilizados únicamente con cal debiendo quedar exentos de esta reología los suelos estabilizados con cal y polímero.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.3. Bibliografía

Gerardo D. López, Horacio Tobías. 2013. *Nanotecnología aplicada a la estabilización de suelos: desempeño técnico.* Santa Fe : Nanotek S.A. y Universidad Tecnológica Nacional de Santa Fe, 2013.

Humicorp Nanopolímeros S.L. 2015. *Suelocemento in situ mejorado con Corpi Seal®.* Barcelona : Humicorp Nanopolímeros, S.L., 2015.

Kent Newman, Jeb S. Tingle. 2004. *Emulsion Polymers for Soil Stabilization.* Vicksburg : U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2004.

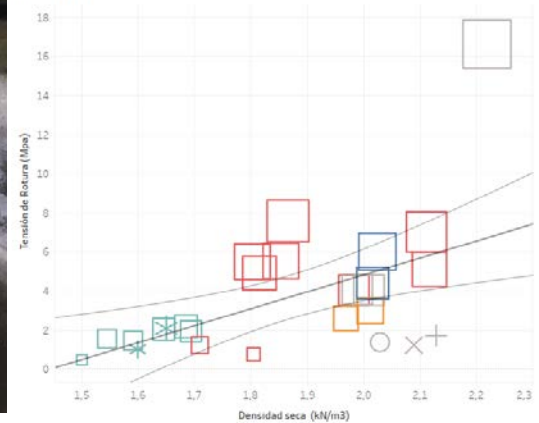
Manuel Antonio Artero Alvarado, Jorge Alberto Jovel Abrego, Manuel de Jesús Mejía Morán. 2003. *Propuesta para el diseño y construcción de pavimentos unicapa de alto desempeño como alternativa de aplicación a pavimentos rurales.* San Salvador : Universidad del Salvador, 2003.

Valentí Fontserè Pujol, Alejandro J. Solana de Quesada, Félix E. Pérez Jiménez, Noelia Sánchez Martínez, M^a José Sierra López. 2012. *Informe final del convenio de investigación: utilización de polímeros en la estabilización de suelos para su uso en carreteras.* s.l. : Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía y COMSA, 2012.

Análisis y presentación de resultados



Relación densidad seca-resistencia a compresión simple no discretizada



Índice

2.1. Determinación de las características de los suelos y clasificación	5
2.2. Análisis de la relación densidad seca-resistencia a compresión simple.....	11
2.3. Análisis de la relación dotación de cemento-resistencia a compresión simple	19
2.4. Prestaciones mecánicas del suelocemento con adición de polímeros. Resistencia a compresión.....	22
2.5. Prestaciones mecánicas del suelocemento con adición de polímeros. Resistencia conservada tras inmersión.	26
2.6. Prestaciones mecánicas del suelocemento con adición de polímeros. Resistencia al desgaste.....	28

Tabla de contenidos

Figura 1. Curva granulométrica del suelo de Mularroya	6
Figura 2. Curva granulométrica del suelo del préstamo de la Hiniesta.....	7
Figura 3. En la figura se aprecian las diferencias de tonalidad del suelo. Las más rojizas indican mayor presencia de arcillas. Fuente: propia	7
Figura 4. Curva del Próctor Modificado efectuado por laboratorio externo. Fuente: Inzamac.....	9
Figura 5. Curva granulométrica del suelo de la cantera del Garraf.	10
Figura 6. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple no discretizada.	11
Figura 7. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de Mularroya, discretizando aportación de reciclado de hormigón. Detalle: el número que acompaña a los marcadores corresponde a la dotación de cemento.....	13
Figura 8. Datos del análisis estadístico de Mularroya con adición del 25% de reciclado de hormigón	14
Figura 9. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de Mularroya, sólo se analizan las muestras con aportación de reciclado de hormigón.	14
Figura 10. Datos del análisis estadístico de Mularroya con adición del 50% de reciclado de hormigón	14
Figura 11. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo de Caldearenas	15
Figura 12. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo del préstamo de la LAV en la Hiniesta.....	16
Figura 13. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo de la cantera del Garraf	17

Figura 14. Relación tensión de rotura a compresión simple-dotación de cemento discretizando según cada uno de los suelos 20

Figura 15. Relación tensión de rotura a compresión simple-dotación de cemento para el suelo de los accesos a las Bodegas Vivancos 20

Figura 16. Comparativa de la relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de la hiniesta con y sin adición de polímeros..... 22

Figura 17. Diagrama de densidad seca y tensión de rotura para distintas dotaciones de cemento y polímero sobre el suelo de la Hiniesta 23

Figura 18. Comparativa de la relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros. 24

Figura 19. Diagrama de densidad seca y tensión de rotura para distintas dotaciones de cemento y polímero para el suelo de la cantera del Garraf 25

Figura 20. Relación tensión conservada tras inmersión-tensión de rotura a compresión simple para el suelo de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros..... 26

Figura 21. Relación entre la pérdida de peso y la resistencia a compresión simple para el suelo de la cantera del Garraf 28

Tabla 1. Resumen de los parámetros de caracterización del suelo de Mularroya..... 5

Tabla 2. Granulometría del suelo de Mularroya 5

Tabla 3. Densidad máxima y humedad óptima para suelo de Mularroya con el 8% de cemento..... 6

Tabla 4. Densidad máxima y humedad óptima para suelo de Mularroya con el 10% de cemento..... 6

Tabla 5. Densidad máxima y humedad óptima para suelo de Mularroya con el 12% de cemento..... 6

Tabla 6. Granulometría del suelo del préstamo de la Hiniesta..... 7

Tabla 7. Resumen de los parámetros de caracterización del suelo del préstamo de la Hiniesta..... 8

Tabla 8. Densidades y humedades de compactación con kangoo para suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento. En 5 capas 20s/capa..... 8

Tabla 9. Densidades y humedades de compactación con kangoo para suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento. En 3 capas 40s/capa..... 8

Tabla 10. Densidades y humedades de compactación con kangoo para suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento. En 5 capas 40s/capa..... 8

Tabla 11. Humedad óptima y densidad máxima del suelo de la cantera del Garraf 9

Tabla 12. Resum de los parámetros de la caracterización del suelo de la cantera del Garraf. 9

Tabla 13. Humedad óptima y densidad máxima del suelo de la cantera del Garraf con el 5% de cemento..... 9

Tabla 14. Granulometría del suelo de la cantera del Garraf. 9

Tabla 15. Datos del análisis estadístico para toda la muestra 11

Tabla 16. Datos del análisis estadístico para el suelo de Mularroya, se excluyen los resultados con adición de reciclado de hormigón.....	12
Tabla 17. Datos del análisis estadístico del suelo de Caldearenas	15
Tabla 18. Datos del análisis estadístico del suelo del préstamo de la LAV en la Hiniesta. No se considera la muestra de resultados con polímeros.	16
Tabla 19. Datos del análisis estadístico del suelo de la cantera del Garraf. No se considera la muestra de resultados con polímeros	16
Tabla 20. Resumen de las densidades secas y resistencias máximas del suelo de la cantera del Garraf.	17
Tabla 21. Datos del análisis estadístico del suelo de los accesos a las Bodegas Vivancos	19
Tabla 22. Tensión media conservada para suelocemento de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros	27
Tabla 23. Datos del análisis estadístico de la correlación entre pérdida de peso y resistencia a compresión simple	28

2.1. Determinación de las características de los suelos y clasificación

Suelo de Mularroya

El suelo de Mularroya procede de las obras de estabilización para la ejecución de los caminos de acceso a la presa de Mularroya. Es una grava arcillosa, mezcla de grava-arena y arcilla según la clasificación ASTM, corresponde al grupo GC. Según la clasificación de la AASHTO corresponde al grupo A-2-6, es decir, al de gravas o arenas arcillosas.

Sobre el suelo de Mularroya también se dispone de ensayos de Próctor Modificado para determinar la humedad óptima y densidad máxima para dotaciones de 8%, el 10% y el 12%, respectivamente.

Límite Líquido	26,3
Límite Plástico	14,5
Índice de Plasticidad	11,8
Terrones de Arcilla (%)	19,3
Caras de fractura (%)	99,9
Materia Orgánica (%)	0,55
Sulfatos (%)	<0,1
Equivalente de arena (%)	25
Azul de metileno (g/kg)	15
Hinchamiento libre	0,25
Índice de Colapso (I)	1,45
Potencial de Colapso (I _c)	1,48

Tabla 1. Resumen de los parámetros de caracterización del suelo de Mularroya.

Apertura de tamiz (mm)	100	40	32	20	12.5	8	4	2	0.5	0.063
Cernido Acumulado (%)	100	100	98.2	80.2	62	50.2	34.9	25.8	18.5	13.1

Tabla 2. Granulometría del suelo de Mularroya

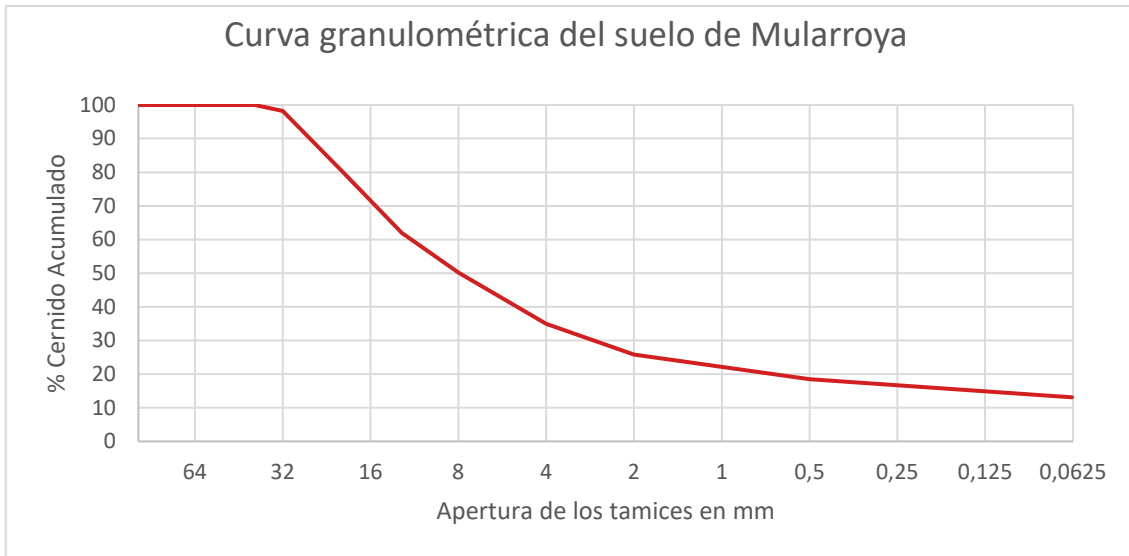


Figura 1. Curva granulométrica del suelo de Mularroya

	Suelo de Mularroya con el 8% de cemento
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,17
Humedad óptima (%)	8,3

Tabla 3. Densidad máxima y humedad óptima para suelo de Mularroya con el 8% de cemento.

	Suelo de Mularroya con el 10% de cemento
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,18
Humedad óptima (%)	6,4

Tabla 4. Densidad máxima y humedad óptima para suelo de Mularroya con el 10% de cemento.

	Suelo de Mularroya con el 12% de cemento
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,14
Humedad óptima (%)	9

Tabla 5. Densidad máxima y humedad óptima para suelo de Mularroya con el 12% de cemento.

Suelo del préstamo de la capa de forma de la LAV en la Hiniesta

El suelo del préstamo, para la capa de forma de la línea de alta velocidad Zamora-Ourense a la altura de la Hiniesta, es un suelo gravoso con finos. En concreto, se trata de una grava arcillosa, mezcla de gravas, arenas y arcillas según la clasificación ASTM, correspondiente al grupo GP-GC. Según clasificación de la AASHTO corresponde al grupo A-2-4.

Apertura de tamiz (mm)	100	80	50	40	25	20	10	5	2	0.4	0.08
Cernido Acumulado (%)	100	100	90.4	83.7	69.8	65.5	53.8	46.5	35.5	11.5	5.0

Tabla 6. Granulometría del suelo del préstamo de la Hiniesta.

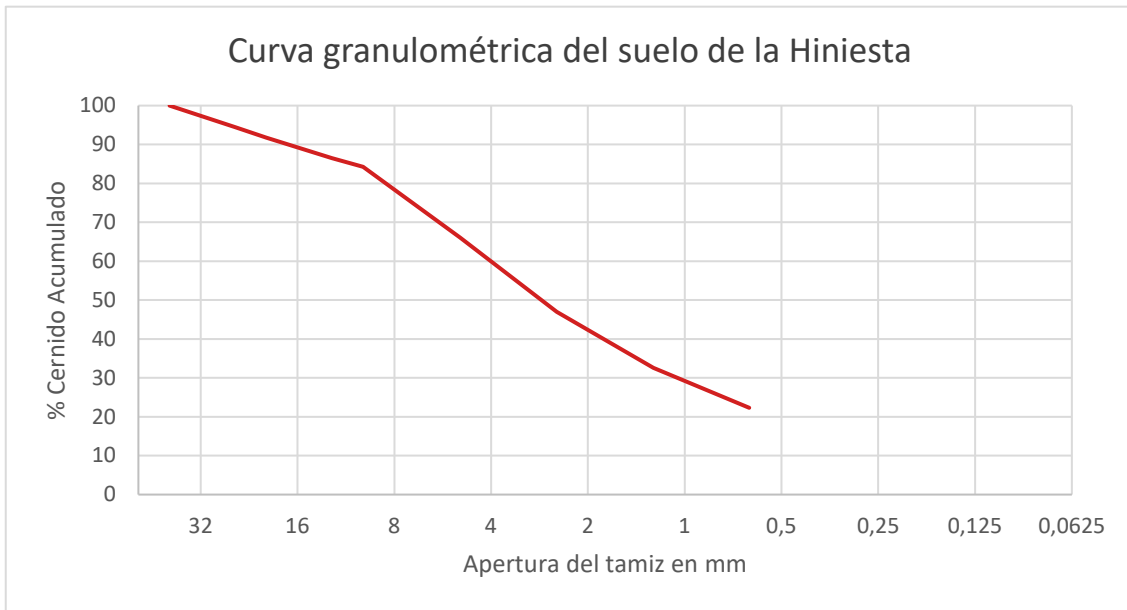


Figura 2. Curva granulométrica del suelo del préstamo de la Hiniesta.

El suelo de la Hiniesta procede de la descomposición de formaciones de arenisca. Dicha disgregación del material ha conllevado que los

estratos originales del material se hayan desmoronado durante la excavación del préstamo. Eso ha producido que durante la toma de muestras, los materiales recogidos, presenten heterogeneidad.



Figura 3. En la figura se aprecian las diferencias de tonalidad del suelo. Las más rojizas indican mayor presencia de arcillas. Fuente: propia

Los ensayos de caracterización previa del suelo de los que se disponían revelaban densidades máximas de compactación y humedades óptimas de valores distintos a lo observado en el desarrollo experimental. Con el fin de cotejar los ensayos previos se procedió a realizar un ensayo de determinación de la humedad óptima y la densidad máxima con martillo vibrante.

Límite Líquido	25
Límite Plástico	14.3
Índice de Plasticidad	10.7
Materia Orgánica (%)	0.13
Sulfatos (%)	0.01

Tabla 8. Resumen de los parámetros de caracterización del suelo del préstamo de la Hiniesta.

Además, se trató de densificar más el suelo ejecutando la rampa de

	Suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento, compactado en 5 capas, 40s/capa						
Densidad (gr/cm ³)	6.43	8.16	9.96	10.70	11.22	12.44	14.36
Humedad (%)	1.55	1.55	1.55	1.59	1.61	1.61	1.66

Tabla 10. Densidades y humedades de compactación con kangoo para suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento. En 5 capas 40s/capa

	Suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento, compactado en 5 capas, 20s/capa		
Densidad (gr/cm ³)	10.61	12.70	13.01
Humedad (%)	1.64	1.71	1.70

Tabla 9. Densidades y humedades de compactación con kangoo para suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento. En 5 capas 20s/capa

	Suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento, compactado en 3 capas, 40s/capa		
Densidad (gr/cm ³)	4.88	6.64	8.11
Humedad (%)	1.66	1.58	1.52

Tabla 7. Densidades y humedades de compactación con kangoo para suelo de la Hiniesta con el 10% de cemento. En 3 capas 40s/capa

humedades con tiempos de compactación más prolongados con resultados insatisfactorios. Incluso se realizaron algunas compactaciones en 5 capas sin obtener tampoco resultado. De los resultados anteriores se desprende que la mejor compactación se logra

para tiempos de compactación de 20 segundos por capa y en 5 capas.

Sin embargo, la compactación queda muy lejos de la definida en los

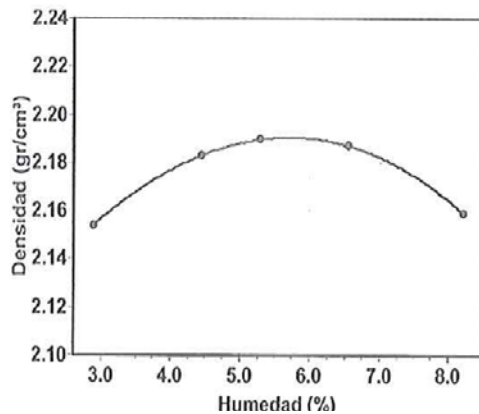


Figura 4. Curva del Próctor Modificado efectuado por laboratorio externo. Fuente: Inzamac

ensayos previos que definía una densidad máxima de 2,19kg/cm³ y una humedad óptima del 5,3%.

Suelo de la cantera del Garraf

El suelo de la cantera del Garraf es un rechazo de una cantera caliza que cumple con el huso granulométrico del SC-40. Su calificación ASTM corresponde con un suelo GW, es decir, una grava bien graduada, mezcla de grava y

arenas con pocos o sin finos. Y su clasificación AASHTO corresponde

Límite Líquido	17
Límite Plástico	16,5
Índice de Plasticidad	0,5

Tabla 12. Resumen de los parámetros de la caracterización del suelo de la cantera del Garraf.

	Suelo de la cantera del Garraf
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,06
Humedad óptima (%)	8,6

Tabla 11. Humedad óptima y densidad máxima del suelo de la cantera del Garraf

	Suelo de la cantera del Garraf con el 5% de cemento
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,26
Humedad óptima (%)	6,51

Tabla 13. Humedad óptima y densidad máxima del suelo de la cantera del Garraf con el 5% de cemento

Apertura de tamiz (mm)	40	31,5	22	20	16	14	12	10	8	6	5	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Cernido Acumulado (%)	100,0	94,5	94,5	82,0	75,4	69,2	63,4	54,9	47,7	40,3	35,9	32,5	23,5	17,7	14,3	12,0	10,7	9,4

Tabla 14. Granulometría del suelo de la cantera del Garraf.

cemento y el segundo con el 5% de cemento.

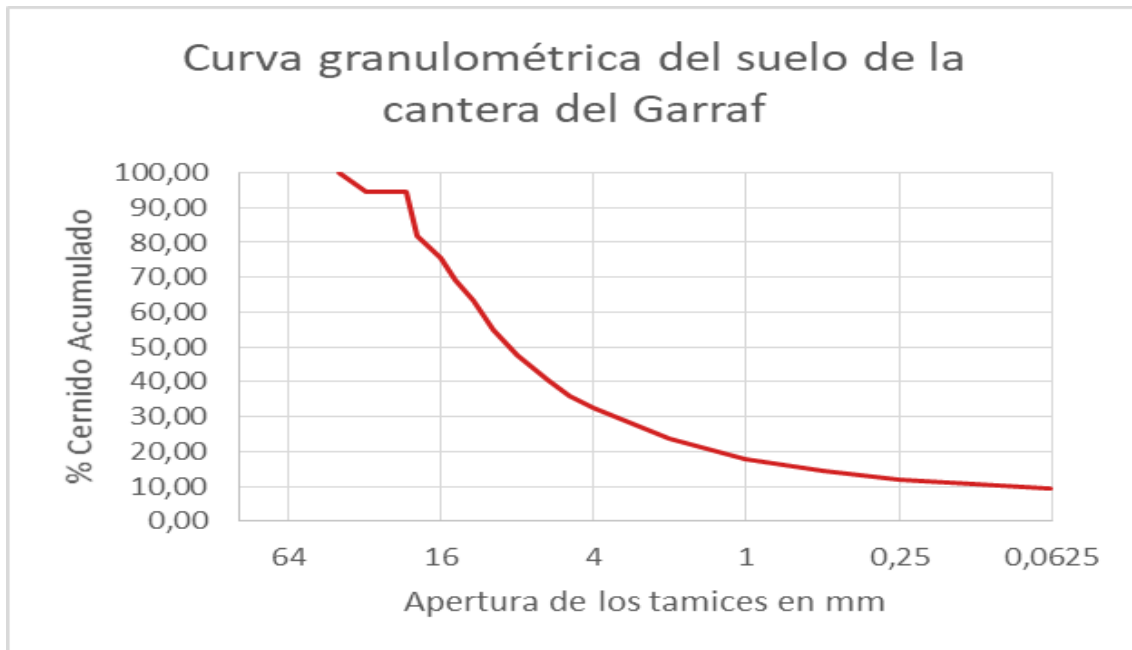


Figura 5. Curva granulométrica del suelo de la cantera del Garraf.

a un suelo A-1-a, es decir al grupo de gravas o arenas.

Para determinar la humedad óptima y la densidad máxima del suelo se optó por realizar el ensayo mediante martillo vibrante. Se efectuaron dos ensayos, el primero de ellos sin

En el caso del segundo ensayo, no se alcanzaron puntos de bajada en la curva densidad-humedad como consecuencia de que a partir de un 6,5% de humedad el material tenía un comportamiento inadmisibles para su posterior puesta en obra.

2.2. Análisis de la relación densidad seca-resistencia a compresión simple

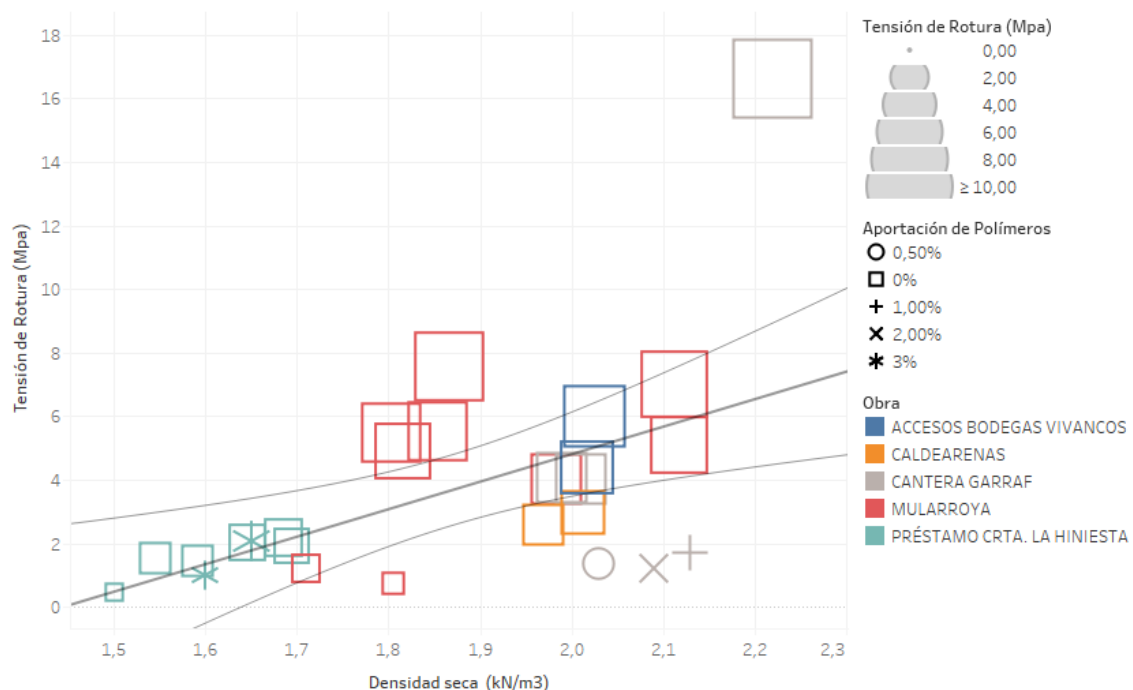
La relación densidad seca y resistencia a compresión simple sigue una ley lineal en los suelos estudiados. Tanto es así, que incluso dejando de lado todas las variables, es decir, sin discretizar por tipo de suelo, dotación de cemento, aportación de polímeros, aportación de reciclado de

hormigón; obtenemos un ajuste lineal significativo.

Tamaño de Muestra	27
Coef. de Correlación de Pearson	0,544
Coef. R ²	0,296
Valor p de significación	0,003
Máximo	16,600
Mínimo	0,470

Tabla 15. Datos del análisis estadístico para toda la muestra

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple no discretizada



Densidad seca (kN/m³) v/s. Tensión de Rotura (Mpa). El color muestra detalles acerca de Obra. El tamaño muestra detalles acerca de Tensión de Rotura (Mpa). La forma muestra detalles acerca de Aportación de Polímeros. Se muestran detalles para Humedad (%). La vista se filtra en Obra, lo que excluye 0,296, 0,544, 0,47, 16,6 y 27.

Figura 6. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple no discretizada

Ahora bien, el comportamiento estadístico de la correlación lineal entre ambos parámetros es mucho más significativo en la medida en que discretizamos la muestra. Así, asumimos que el suelo es el parámetro que genera más variabilidad en la muestra y generamos una ley lineal densidad seca-resistencia a compresión simple para cada tipo de suelo. Pero en este caso, excluimos otra variable en la discretización que es la aplicación de polímeros puesto que se observa de la *Figura 6*. que su aplicación como aditivo genera un comportamiento anómalo sobre los valores de resistencia. Además, en el caso del suelo de Mularroya, la muestra no responde a la aplicación de adiciones de reciclado de hormigón puesto que generan dispersión.

Relación densidad seca-resistencia compresión simple para el suelo de Mularroya.

El suelo de Mularroya se ha ensayado con dotaciones del 12%, el 15% y el 20% de cemento. Se

observa que la adición de cemento en grandes dosificaciones genera una pérdida de densidad del suelo, generándose una relación inversamente proporcional entre la dotación de cemento y la densidad seca. Así, el incremento de la dotación de cemento no genera incrementos de la resistencia a compresión simple sino todo lo contrario puesto que la pérdida de densidad afecta en mayor medida a la resistencia a compresión simple. Por otra parte, se observa como la adición de reciclado de hormigón genera una caída de la densidad seca que, sin embargo, no obedece a la misma ley lineal que el suelo en estado natural. Así, con adición de reciclado de hormigón se obtienen resistencias a compresión simple mayores para una misma densidad que el suelo en estado natural.

Tamaño de Muestra	5
Coef. de Correlación de Pearson	0,932
Coef. R ²	0,869
Valor p de significación	0,020
Máximo	7,000
Mínimo	0,730

Tabla 16. Datos del análisis estadístico para el suelo de Mularroya, se excluyen los resultados con adición de reciclado de hormigón.

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para suelo de Mularroya, se discretiza la aportación de reciclado de hormigón

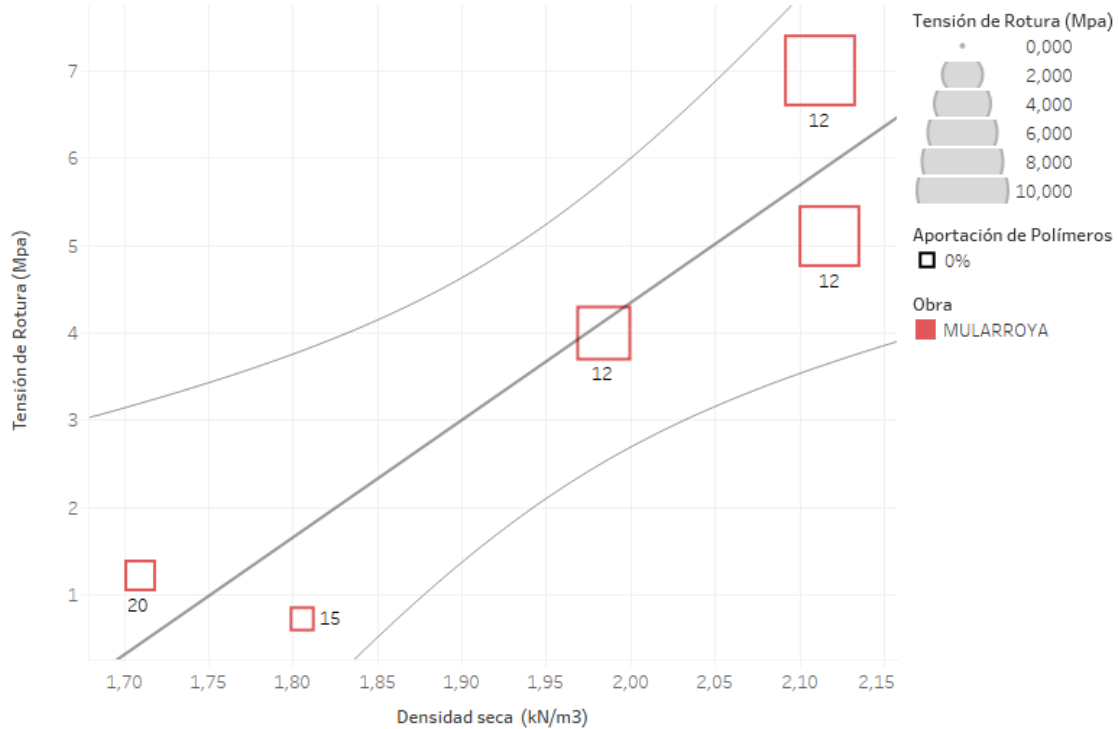


Figura 7. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de Mularroya, discretizando aportación de reciclado de hormigón. Detalle: el número que acompaña a los marcadores corresponde a la dotación de cemento

En el caso del suelo de Mularroya con adición de reciclado de hormigón, el pequeño tamaño de la muestra obliga a discretizar en dos líneas de tendencia, según la dotación de cemento agregada al material. Así, se observa que para una misma dotación, la densificación que se produce por la mayor adición de reciclado de hormigón contribuye a alcanzar mayores resistencias a compresión simple. Debe tenerse en cuenta que

antes de adicionar al suelo el reciclado de hormigón se procedió a retirar los gruesos superiores al tamiz #8, generando un suelo de baja densidad. La contribución principal del reciclado de hormigón es el aumento de la densidad seca del suelo que genera un crecimiento lineal de la resistencia a compresión simple.

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple suelo de Mularroya con adición de reciclado de hormigón

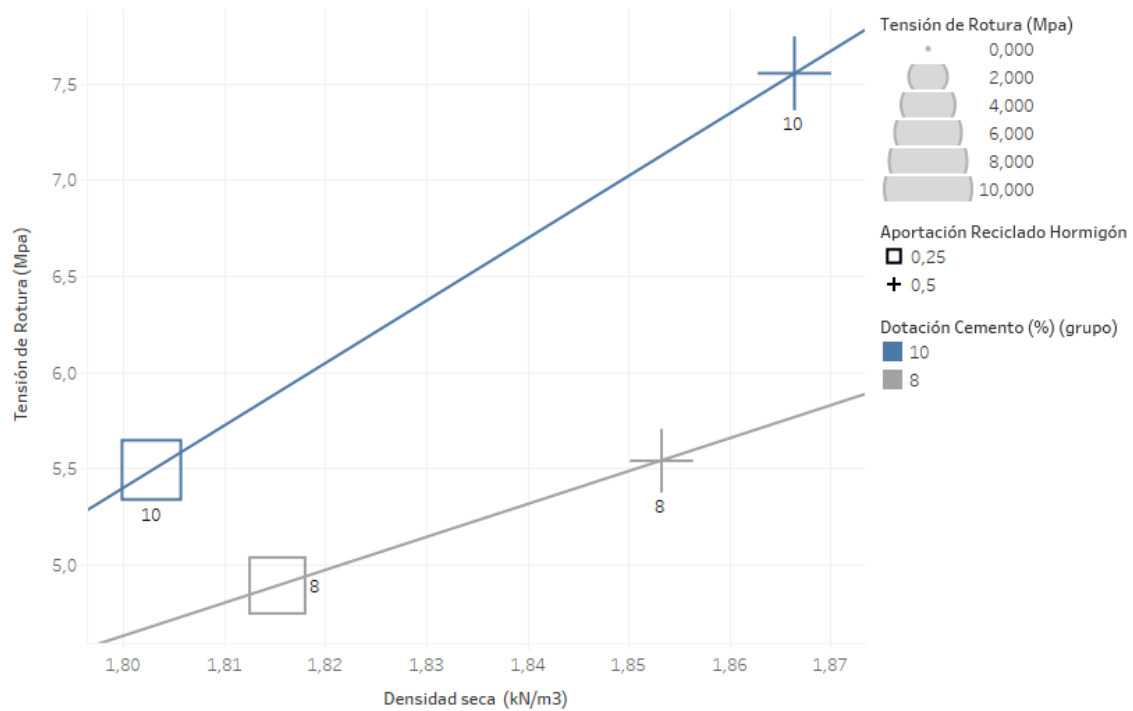


Figura 9. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de Mularroya, sólo se analizan las muestras con aportación de reciclado de hormigón.

Tamaño de Muestra	2
Coef. de Correlación de Pearson	1,000
Coef. R^2	1,000
Valor p de significación	-
Máximo	5,490
Mínimo	4,890

Figura 8. Datos del análisis estadístico de Mularroya con adición del 25% de reciclado de hormigón

Tamaño de Muestra	2
Coef. de Correlación de Pearson	1,000
Coef. R^2	1,000
Valor p de significación	-
Máximo	7,750
Mínimo	5,540

Figura 10. Datos del análisis estadístico de Mularroya con adición del 50% de reciclado de hormigón

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de Caldearenas.

El análisis de la relación entre la densidad seca y la resistencia a compresión simple para el suelo de Caldearenas resulta especialmente interesante puesto que los resultados determinan que un incremento en la dotación de cemento es menos determinante que la densidad seca alcanzada por el material en la capacidad resistente del suelo. Además,

Relación densidad seca-resistencia a compresión del suelo de Caldearenas

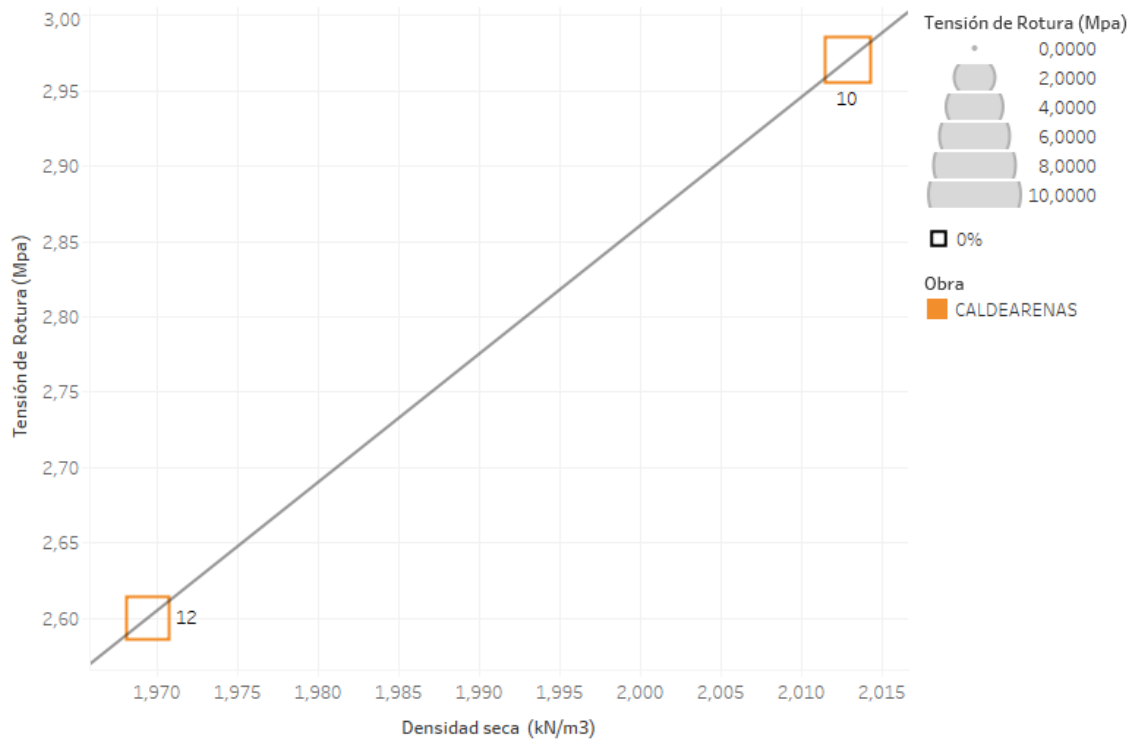


Figura 11. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo de Caldearenas

tenemos que altas dotaciones de cemento pueden implicar una pérdida de densidad en el suelo como se demuestra.

La caída de un 2% en la densidad seca implica una caída de tensión de cerca del 12,5%. Y eso a pesar de que la mayor tensión se alcanza

con una dotación de cemento de un 2% inferior.

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo del préstamo de la LAV en la Hiniesta.

Para llevar a cabo el análisis de los datos no se ha considerado la parte de la muestra estadística correspondiente a la adición de polímeros.

Tamaño de Muestra	2
Coef. de Correlación de Pearson	1,000
Coef. R ²	1,000
Valor p de significación	-
Máximo	2,970
Mínimo	2,600

Tabla 17. Datos del análisis estadístico del suelo de Caldearenas

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo de la Hiniesta

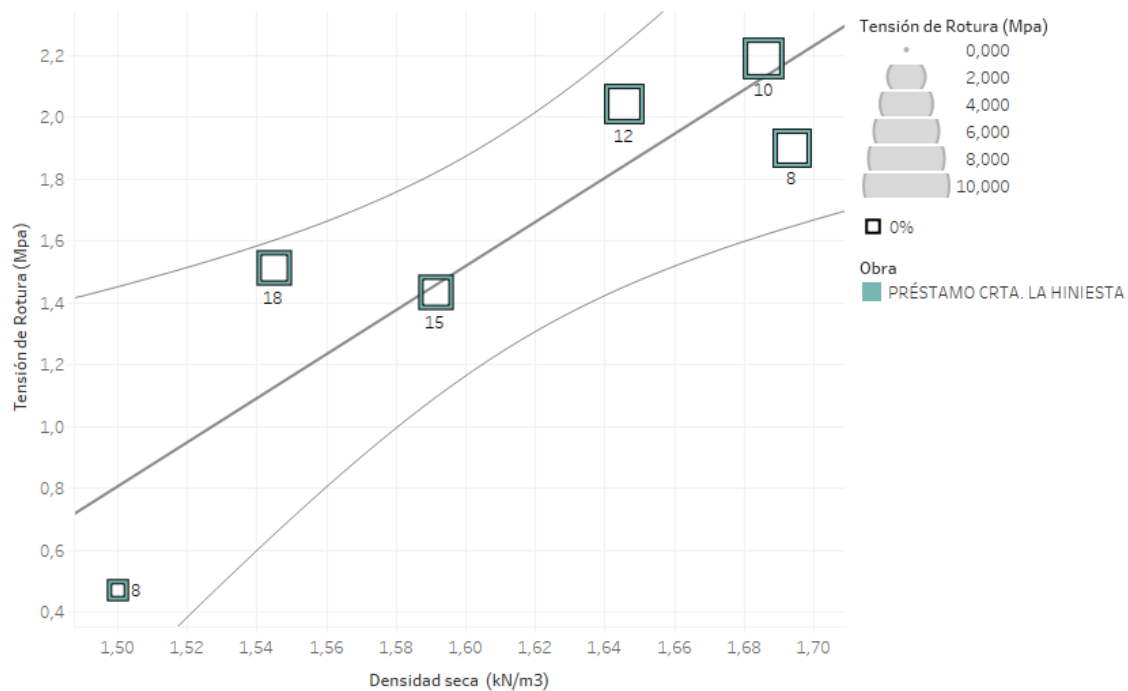


Figura 12. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo del préstamo de la LAV en la Hiniesta

Tamaño de Muestra	6
Coef. de Correlación de Pearson	0,896
Coef. R ²	0,802
Valor p de significación	0,016
Máximo	2,190
Mínimo	0,470

Tabla 18. Datos del análisis estadístico del suelo del préstamo de la LAV en la Hiniesta. No se considera la muestra de resultados con polímeros.

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de la cantera del Garraf.

Para el análisis estadístico de los resultados de los ensayos del suelo de la cantera del Garraf sólo se han tenido en cuenta la muestra correspondiente a la dosificación

del cemento, al 3%, 5% y 7%. No se ha considerado la muestra correspondiente a los ensayos realizados con polímeros puesto que las resistencias son inusualmente bajas y, más adelante, se plantea el análisis de esa circunstancia.

Tamaño de Muestra	3
Coef. de Correlación de Pearson	0,997
Coef. R ²	0,993
Valor p de significación	0,016
Máximo	16,600
Mínimo	4,000

Tabla 19. Datos del análisis estadístico del suelo de la cantera del Garraf. No se considera la muestra de resultados con polímeros

Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo de la cantera del Garraf

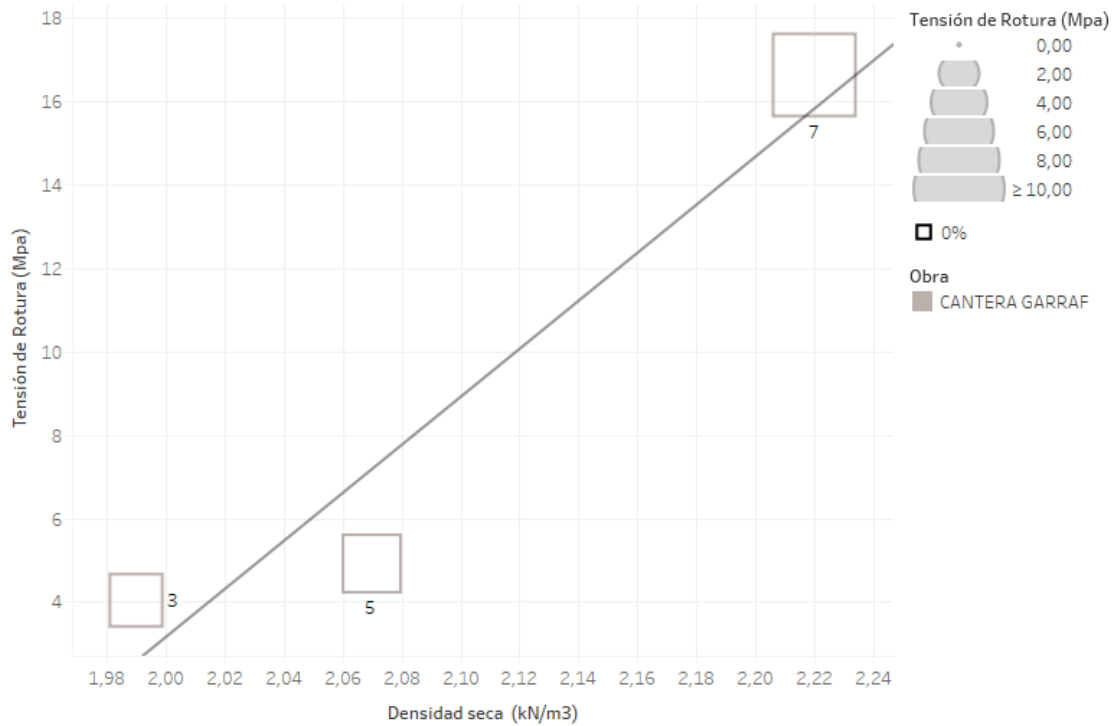


Figura 13. Relación densidad seca-resistencia a compresión simple del suelo de la cantera del Garraf

Del gráfico, se tiene que el principal parámetro de influencia en el desarrollo de resistencia del suelo cemento es la densidad seca del mismo -para la dotación del 5%, correspondiente a la amasada G-059, se ha despreciado el resultado de la probeta 2 por su baja densidad-.

Así, se puede ver como para dotaciones del 3% y el 5%, respectivamente, el incremento de resistencias es pequeño a pesar del

incremento de la dotación de cemento. El aumento de la dosificación de cemento entre el 3% y el 7% no explica el aumento de resistencias. Es el incremento de la densidad seca el motivo de que las

	3% de cemento	5% de cemento	7% de cemento
Densidad máxima (%)	89,64	93,24	100,00
Densidad máxima (gr/cm³)	1,99	2,07	2,22
Resistencia máxima (%)	24,40	29,52	100,00
Resistencia máxima (Mpa)	4,050	4,90	16,60

Tabla 20. Resumen de las densidades secas y resistencias máximas del suelo de la cantera del Garraf.

resistencias alcancen valores muy superiores. Es importante reseñar la pérdida de resistencia que puede experimentar el suelo, con una bajada de un 7% del Próctor Modificado, la caída de resistencias puede alcanzar un 70%.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.3. Análisis de la relación dotación de cemento-resistencia a compresión simple

En el apartado 2.2. queda patente la importancia que tiene la densidad seca que alcanza el material en relación a la consecución de altas resistencias mecánicas. Así, para evaluar el desarrollo de resistencias en función de la dotación de cemento es necesario evaluar una muestra cuyas densidades secas coincidan.

Relación dotación de cemento-resistencia a compresión simple para el suelo de los accesos a las Bodegas Vivancos.

Las probetas de suelocemento correspondientes al suelo de los accesos a las Bodegas Vivancos están conformadas respectivamente con el 6% y el 8% de cemento. Las densidades alcanzadas son de 2,02gr/cm³ y 2,03gr/cm³, de tal forma que, la diferencia de densidades de la muestra es inferior al 0,5%.

Tamaño de Muestra	2
Coef. de Correlación de Pearson	1,000
Coef. R ²	1,000
Valor p de significación	-
Máximo	6,000
Mínimo	4,400

Tabla 21. Datos del análisis estadístico del suelo de los accesos a las Bodegas Vivancos

Del ajuste lineal de los resultados se desprende que el crecimiento de la resistencia a compresión simple con la dotación de cemento responde a la ley:

$$\sigma_{rotura} = 0,8 \times d_{cemento} - 0,4$$

Siendo,

$\sigma_{rotura} \equiv$
tensión de rotura a compresión simple (MPa)

$d_{cemento} \equiv$ dotación de cemento (%)

Generalización de la relación resistencia a compresión simple-dotación de cemento.

Los resultados de los ensayos realizados en el marco de este proyecto de investigación no permiten generalizar una ley que relacione la resistencia a compresión simple según la

Relación dotación de cemento-resistencia a compresión simple del suelo de Vivancos

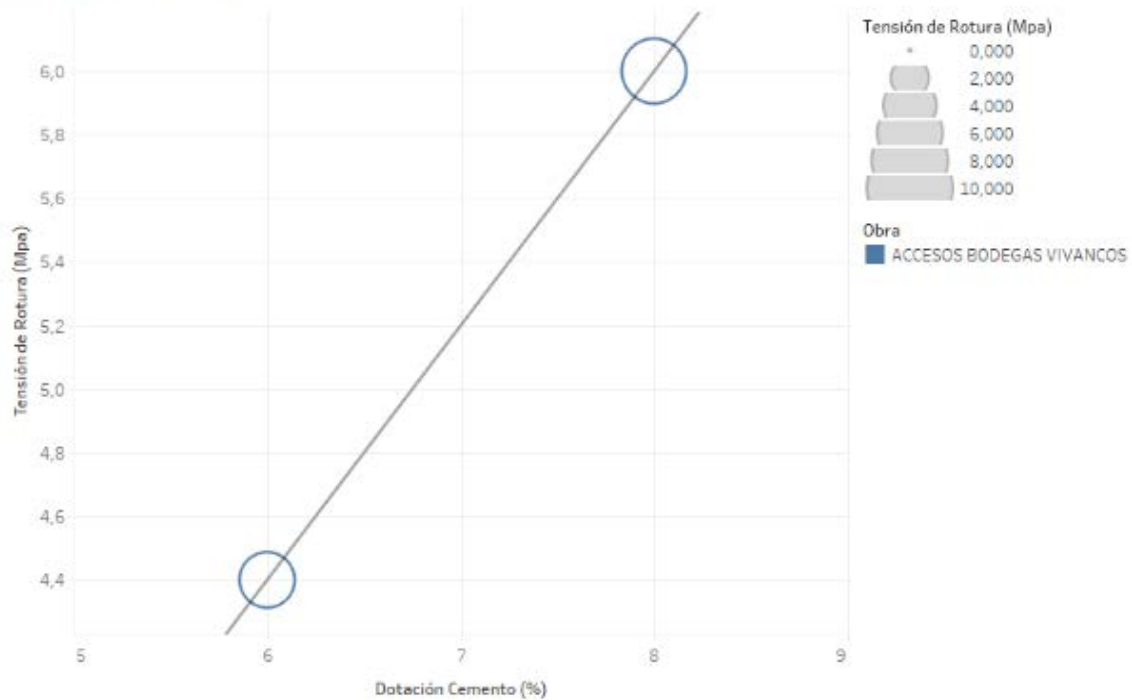


Figura 15. Relación tensión de rotura a compresión simple-dotación de cemento para el suelo de los accesos a las Bodegas Vivancos

Relación tensión de rotura a compresión simple-dotación de cemento

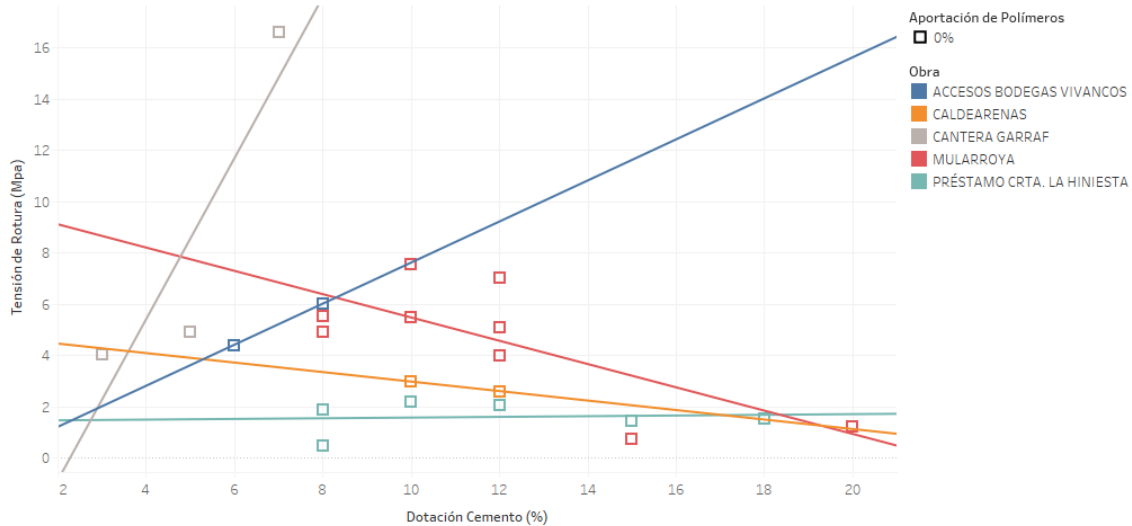


Figura 14. Relación tensión de rotura a compresión simple-dotación de cemento discretizando según cada uno de los suelos

dotación de cemento. Esto es así, en la medida en que la densidad seca se convierte en la principal variable

que condiciona la resistencia a compresión simple, de forma que, para establecer dicha ley sería

necesario comparar suelocemento cuyas densidades secas fueran comparables.

Así, en la dispersión de datos encontramos leyes de decrecimiento, que en ningún caso tienen fundamento y, deben atribuirse a la pérdida de densidad. Si bien debe darse importancia al hecho que aumentar la dosificación de cemento hasta altas dotaciones tiene un efecto colateral que se manifiesta en una caída de la densidad seca del suelocemento.

2.4. Prestaciones mecánicas del suelocemento con adición de polímeros. Resistencia a compresión.

En el desarrollo de la presente investigación se han llevado a cabo ensayos de resistencia a compresión simple de suelocemento con adición de los polímeros AP-20, comercializado por Matec-Q y, A-4, comercializado por Geocompact. Para evaluar la variación de la resistencia a compresión simple que genera la aportación de polímeros, se han realizado ensayos de resistencia a

compresión simple de los mismos suelos sin adición de polímeros. Esta metodología permite comparar la efectividad de la estabilización.

La estabilización con el polímero AP-20 no arroja resultados en la mejoría de la resistencia a compresión simple del material. Así pues, se obtiene la misma tensión de rotura a compresión simple para el suelo de la Hiniesta tratado con el 12% de cemento y el mismo suelo tratado

Comparativa relación densidad seca-resistencia a compresión simple para suelo de la Hiniesta con y sin adición de polímeros

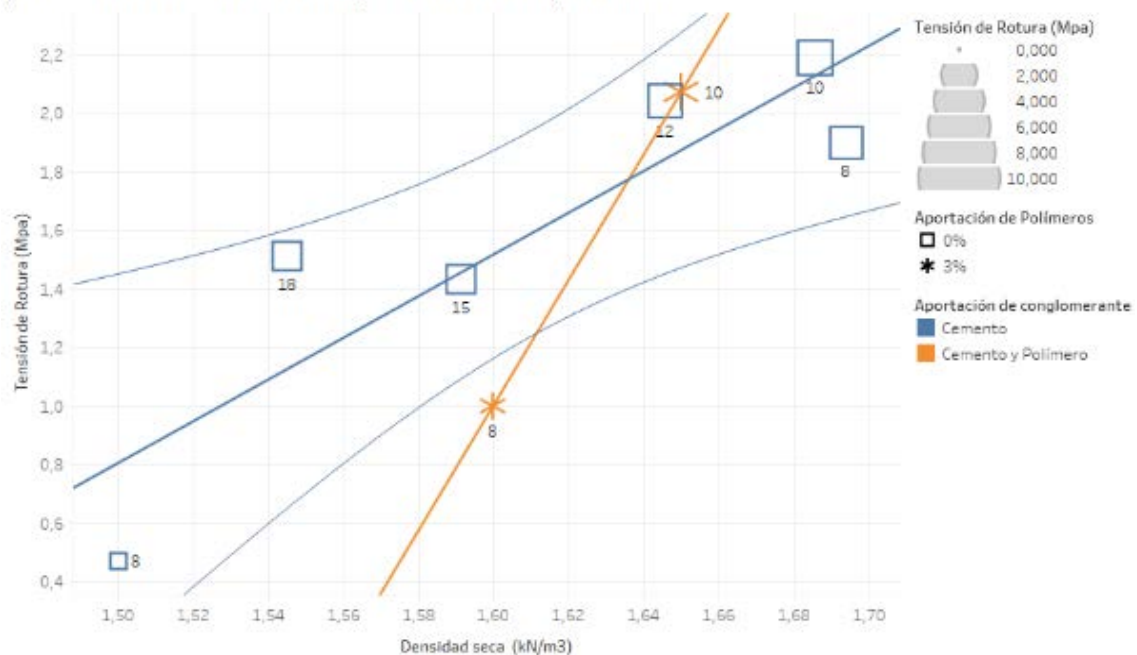


Figura 16. Comparativa de la relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de la hiniesta con y sin adición de polímeros.

Comparativa relación densidad seca-resistencia a compresión simple para suelo de la Hiniesta con y sin adición de polímeros

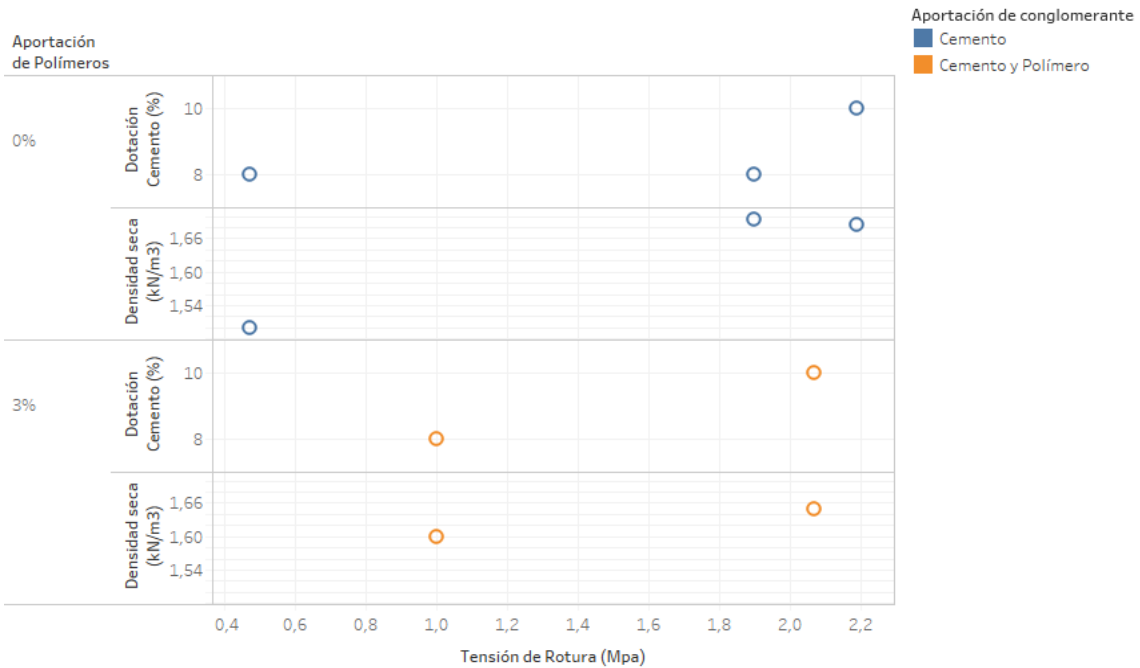


Figura 17. Diagrama de densidad seca y tensión de rotura para distintas dotaciones de cemento y polímero sobre el suelo de la Hiniesta

con el 10% de cemento y un 3% de polímero. Se emplea esta pareja de valores para la comparación puesto que tienen una densidad seca igual. Sin embargo, puede observarse como una muestra tratada con el 8% de cemento y un 3% de polímero frente a una muestra tratada con el 8% de cemento presenta una pérdida de tensión de rotura del 48,31%. En cualquier caso, la densidad seca de la segunda es un 6% mayor. Así, la aportación del 3% de polímeros es incapaz de subsanar la falta de compactación.

En el caso del empleo del polímero A-4 de Geocompact, se han obtenido resultados parecidos. La aportación de polímeros no solo no ha producido incrementos de resistencia a compresión simple sino que ha generado pérdidas de resistencia. En el caso del polímero A-4 se han ensayado distintas dotaciones del 0,5%, del 1% y del 2% con una dotación del 3% de cemento que se ha contrastado con ensayos con dotaciones del 3%, 5% y 7% de cemento.

Comparativa relación densidad seca-resistencia a compresión simple para suelo de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros

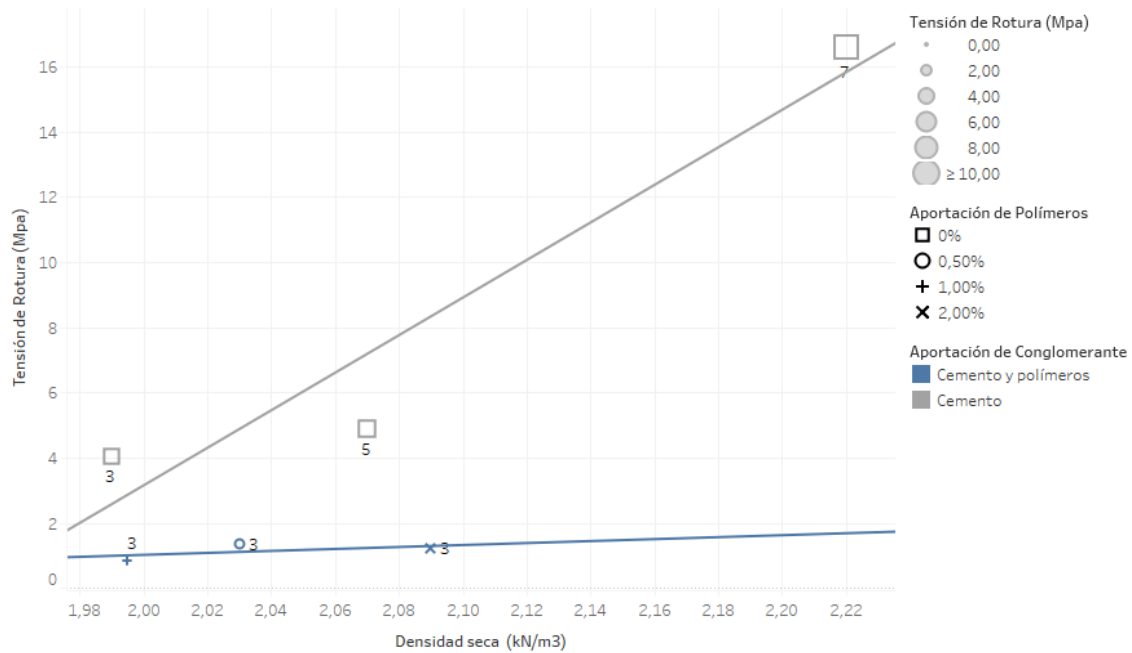


Figura 18. Comparativa de la relación densidad seca-resistencia a compresión simple para el suelo de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros.

Los resultados en cualquier caso arrojan una caída, en términos absolutos, de la tensión de rotura por compresión simple. En el caso del tratamiento mixto cemento-polímero dosificado sobre el suelo de la Hiniesta, este fenómeno podría atribuirse a la caída de la densidad seca. Sin embargo, los resultados que se muestran en la *Figura 18* arrojan que la compactación en el caso de la estabilización mixta cemento-polímero es mayor que en el caso de la dosificación de cemento al 3%. Así, puesto que la pérdida de resistencia no puede

atribuirse a la densidad seca del material cabe pensar que ésta puede deberse a la aplicación del polímero AP-20 sobre el suelo.

Tenemos que para una dosificación del 3% de cemento y el 2% de polímero AP-20 la pérdida de resistencia frente a la dosificación del 3% de cemento es de un 73%.

Comparativa relación densidad seca-resistencia a compresión simple para suelo del Garraf con y sin adición de polímeros

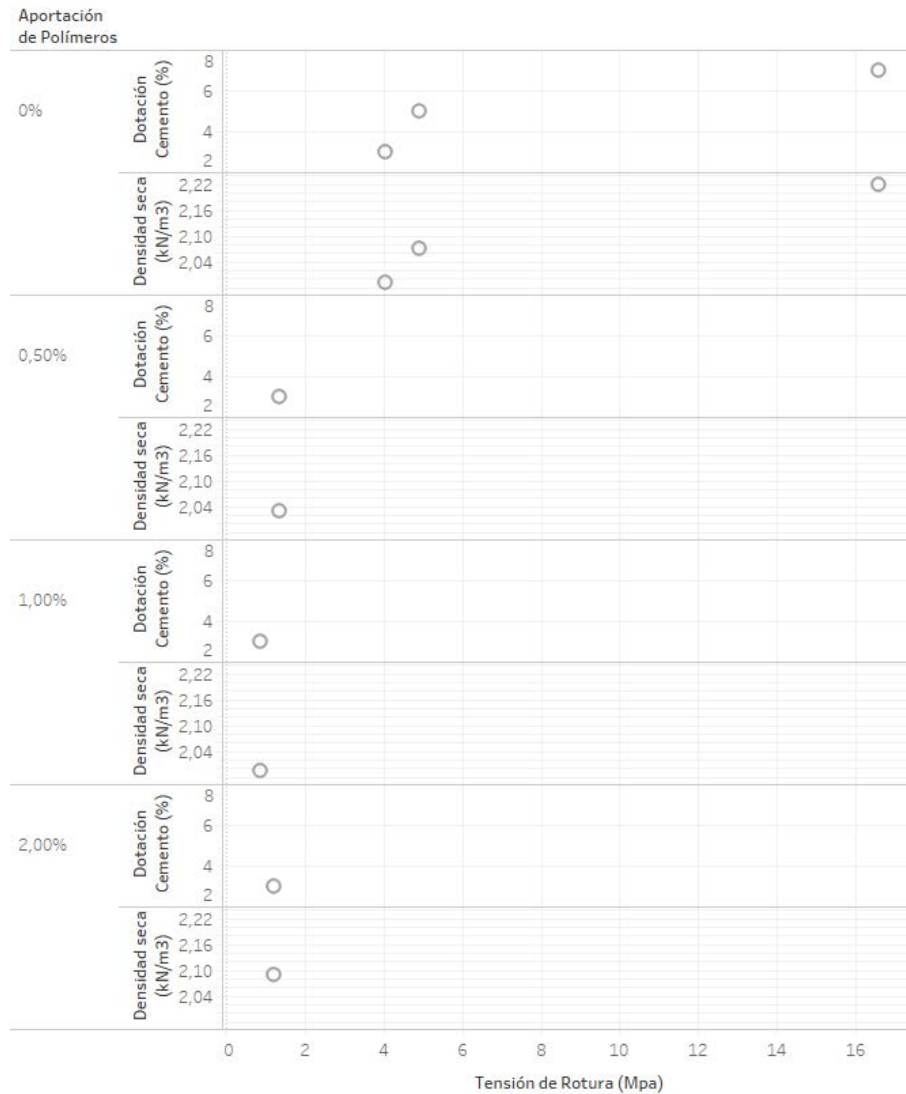


Figura 19. Diagrama de densidad seca y tensión de rotura para distintas dotaciones de cemento y polímero para el suelo de la cantera del Garraf

2.5. Prestaciones mecánicas del suelocemento con adición de polímeros. Resistencia conservada tras inmersión.

La constatación de la nula aportación de los polímeros a la consecución de alta resistencia a compresión simple del suelocemento sobre el suelo de la Hiniesta, llevó a investigar la capacidad de los polímeros para reducir la sensibilidad al agua del material. Para ello, se analiza la tensión conservada tras la inmersión

de una probeta de cada serie durante 48 horas, como sigue:

$$r = \frac{\sigma_{\text{Probeta Sumergida}}}{\frac{\sum_1^n \sigma_{\text{Probeta no sumergida}}}{n}}$$

Se emplea la relación tensión conservada-tensión de rotura a compresión simple para comparar el resultado tras la adición de los polímeros. Sin embargo, no se

Relación tensión conservada tras inmersión-tensión de rotura a compresión simple para suelo de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros

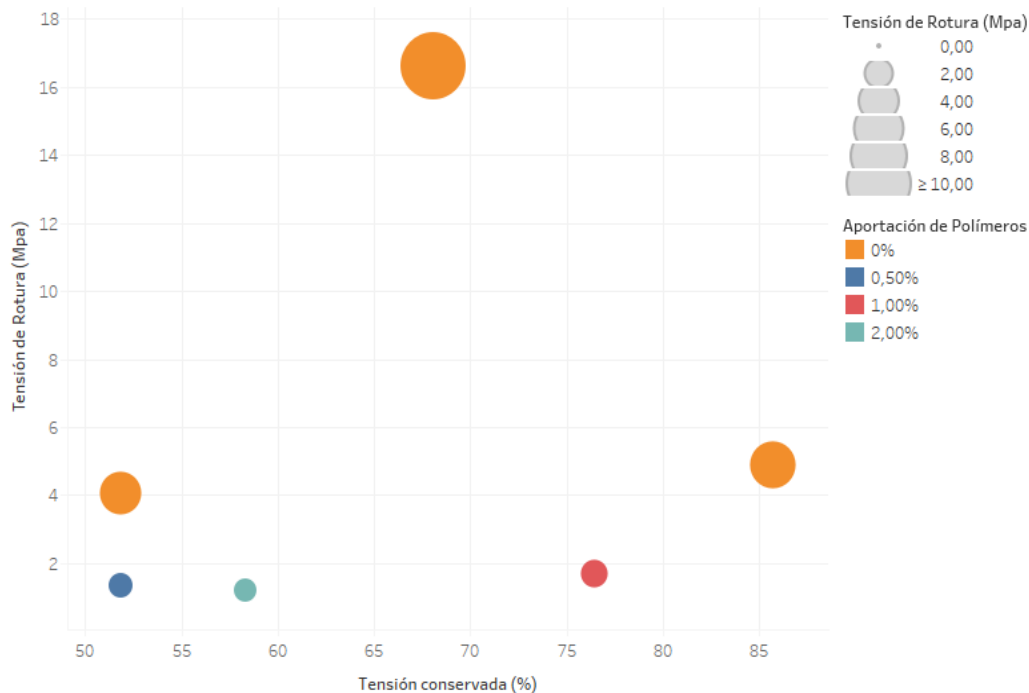


Figura 20. Relación tensión conservada tras inmersión-tensión de rotura a compresión simple para el suelo de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros

observa ninguna tendencia estadística en la dispersión de datos, de modo que, no existe proporcionalidad en el incremento de tensión conservada con el incremento de la resistencia a compresión simple. Se constata, sin embargo, que la aportación de polímeros no redundará en una mejoría en la tensión conservada tras la inmersión del suelocemento como se desprende de la *Tabla 22*. La tensión media conservada tras inmersión es:

	Suelocemento	Suelocemento con adición de polímeros
Tensión media conservada (%)	68,55	62,22
Desviación típica	16,94	12,76

Tabla 22. Tensión media conservada para suelocemento de la cantera del Garraf con y sin adición de polímeros

2.6. Prestaciones mecánicas del suelocemento con adición de polímeros. Resistencia al desgaste.

Con objeto de evaluar las eventuales capacidades mecánicas que pudieran verse mejoradas con la adición de polímeros al suelocemento se ha realizado un ensayo de desgaste. Este ensayo de desgaste que es una variante del ensayo Cántabro ha servido para determinar la pérdida de peso de las probetas después de estar sometidas a 100 revoluciones.

Tamaño de Muestra	6
Coef. de Correlación de Pearson	-0,931
Coef. R^2	0,867
Valor p de significación	0,007
Máximo	100,000
Mínimo	18,084

Tabla 23. Datos del análisis estadístico de la correlación exponencial entre pérdida de peso y resistencia a compresión simple

Relación pérdida de peso-tensión de rotura para suelocemento con suelo del Garraf con y sin polímero

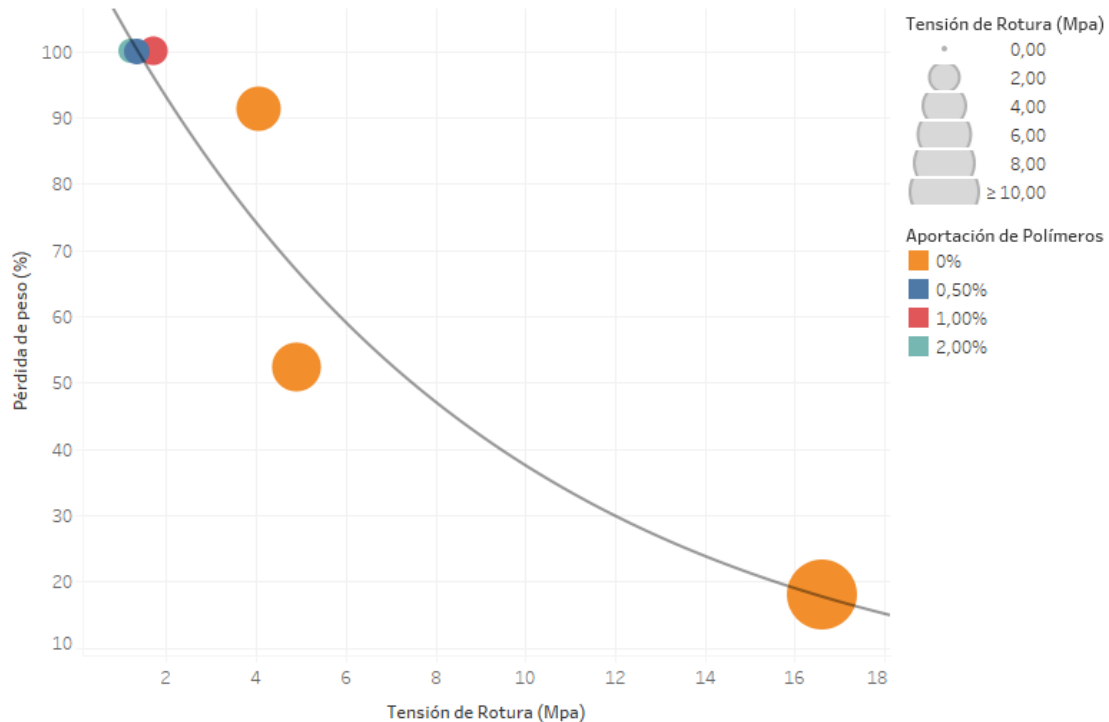


Figura 21. Relación entre la pérdida de peso y la resistencia a compresión simple para el suelo de la cantera del Garraf

La pérdida de peso se calcula:

$$Pérdida_{\text{peso}} = \left(1 - \frac{\text{peso retenido \#50 tras desgaste}}{\text{peso inicial probeta}}\right) \times 100$$

Los resultados, que se representan en la *Figura 21*, permiten establecer una ley exponencial entre la pérdida de peso y la resistencia a compresión simple del material. Se observa que el ensayo ofrece una baja sensibilidad para el umbral de resistencia en el que se encuentran los suelos tratados con cemento y polímero. Así, la precisión del ensayo no permite discernir la relación entre la resistencia al

desgaste y la resistencia a compresión simple para rangos de tensión a compresión simple bajos puesto que el ensayo genera la pulverización de toda la probeta.

La ley exponencial que se desprende del análisis resulta:

$$\ln(Pérdida_{\text{peso}}(\%)) = -0,11 \times \sigma_{\text{rotura}}(\text{MPa}) + 4,76$$

Conclusiones



Índice

2.1. Relación densidad seca y resistencia a compresión simple.....	3
2.2. Adición de polímeros al suelocemento.	6
2.3. Posibilidades de investigación por desarrollar.....	9
2.4. Bibliografía.....	11

Tabla de contenidos

Figura 1. Fractura por capa durante la manipulación de la probeta. Consecuencia de la ausencia de una matriz estructural correctamente desarrollada.	3
Figura 2. Dificultades para trabajar el material incluso en laboratorio. Un comportamiento así en obra impide el empleo de rodillos lisos.	4
Figura 3. Vista del suelo tras la compactación con rodillo pata de cabra.....	5
Figura 4. Se observa en la bandeja de la máquina de desgaste de Los Ángeles la fracción #50mm para un suelocemento al 3% de cemento.....	7

2.1. Relación densidad seca y resistencia a compresión simple

Como resulta del análisis efectuado en el anterior capítulo, la consecución de altas resistencia a compresión simple tiene una relación directa con la adquisición de densidades secas significativas. Así, el parámetro de la densidad seca debe ser objeto de especial atención en la puesta en obra. A pesar que, con toda la dispersión de parámetros y variables para la muestra estudiada, se obtiene un ajuste lineal significativo, es difícil extrapolar dicha correlación lineal generalizada. Se demuestra, sin embargo, que para cada suelo existe una correlación lineal que relaciona ambos parámetros.

Es especialmente significativo que la sobre-dotación de conglomerante no resuelve la adquisición de resistencia a compresión simple cuando el suelo está infra-compactado. Es más, en suelos finos como el del préstamo de la LAV en la Hiniesta, puesto que la densidad de los conglomerantes es

inferior al del suelo en estado natural, la aplicación de altas dotaciones tiene como efecto reducir la densidad final del suelocemento. Además, en suelos finos se genera otro problema añadido y, es que, puesto que la cantidad de filler es muy elevada la matriz cementosa que se forma alrededor de los áridos gruesos tiene un espesor importante. Este fenómeno produce que la matriz resistente, que es la formada por el árido, no esté suficientemente cohesionada y las tensiones de rotura sean mucho más bajas.



Figura 1. Fractura por capa durante la manipulación de la probeta. Consecuencia de la ausencia de una matriz estructural correctamente desarrollada.

En el caso de suelos mejor gradados es habitual que las caídas de la densidad vengan provocadas por la falta de humedad. Esta falta de humedad se produce como consecuencia de la gran cantidad de agua que requiere la hidratación del cemento en altas dotaciones. Así, parte importante del agua necesaria para la humedad óptima es consumida por el cemento de tal forma que se reduce la cantidad de agua destinada a la lubricación del suelo en su compactación. Más allá de la implicación teórica, las consecuencias de un gran requerimiento de agua en obra es muy importante puesto que el avance de los trabajos, especialmente, si se ejecutan por vía húmeda pueden ser extraordinariamente lentos hasta el punto en que la solución deje de ser competitiva.

Esto da pie a pensar que la compactación del material, durante la puesta en obra, debe ser objeto de especial atención. A nivel de economía de la obra es evidente que un aumento de la dotación de

cemento supone un sobrecoste importante en la unidad de obra. Un aumento de dotación de cemento del 2% en una capa de 20 centímetros de espesor puede suponer hasta 0,70€/m² y además implica un avance de los trabajos más lento. Sin embargo, el coste asociado a llevar a cabo una compactación de mayor intensidad es mucho más reducido. En cualquier caso es necesario, además de aumentar la intensidad de la compactación, dimensionar los medios de compactación adecuados. Esta circunstancia



Figura 2. Dificultades para trabajar el material incluso en laboratorio. Un comportamiento así en obra impide el empleo de rodillos lisos.

queda patente en suelos finos con una humedad óptima de compactación alta. En estas circunstancias puede ser muy dificultoso compactar el material con garantías puesto que la hidratación de suelos arcillosos dificulta enormemente la trabajabilidad del material. Así, puede ser necesario el empleo de rodillo de pata de cabra y el posterior cerrado de la capa con un rodillo de neumáticos para completar con éxito la compactación.



Figura 3. Vista del suelo tras la compactación con rodillo pata de cabra

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

2.2. Adición de polímeros al suelocemento.

La adición de polímeros al suelocemento se ha demostrado ineficaz en todos los aspectos estudiados.

De los ensayos realizados sobre el suelo del Préstamo de la LAV en la Hiniesta se desprende que para una misma densidad seca, la aplicación de un 3% de polímero genera un incremento de la tensión de rotura equivalente a un incremento de dotación del 2% de cemento. Así, la aplicación de polímero no se demuestra competitiva a nivel económico, a la vista de que el coste del polímero es netamente superior al del suelocemento.

Más significativos son los resultados obtenidos con el suelo de la cantera del Garraf. En este contexto, la aplicación de polímero ha generado pérdidas netas de resistencia inclusive teniendo las muestras tratadas con polímero una mayor densidad. Las pérdidas de resistencia para una misma dotación

de cemento (3%) al adicionar un 2% de polímero A-4 son del 73%.

Este resultado pone de manifiesto que el polímero ha afectado negativamente al proceso de hidratación del cemento. Así, el polímero puede haberse comportado como un inhibidor o retardador de fraguado. Algunas de las fuentes bibliográficas consultadas ponen de manifiesto un desarrollo de resistencias lento en las mezclas cemento-polímero, siendo significativa la mejoría en el plazo entre 7 y 28 días. No obstante, en el plazo de 7 días se reportan resistencias a compresión simple ligeramente superiores en el caso de la estabilización cemento-polímero (Kent Newman, 2004).

El resultado que se obtiene para el ensayo de sensibilidad al agua no ha obtenido tampoco buenos resultados. Si bien, la muestra de estudio es reducida y no se ha podido alcanzar una relación entre la resistencia a compresión simple y

la resistencia conservada tras inmersión, queda patente que las probetas ensayadas con polímeros no mejoran el comportamiento del suelocemento. Así, la tensión media conservada es un 6% inferior en el caso del tratamiento cemento-polímero.

En el ensayo de resistencia a desgaste se ha podido observar como la baja resistencia alcanzada por las probetas tratadas con

polímeros han generado una resistencia al desgaste nula.

Más allá del resultado obtenido por el material tratado con polímeros, esta variante del ensayo Cántabro con 100 revoluciones, ha puesto de manifiesto una correlación exponencial entre la resistencia a compresión simple y la pérdida de peso que experimenta la probeta. Así, el ensayo puede constituir una alternativa rápida y económica para determinar el comportamiento del suelocemento al desgaste. Debe considerarse que no existen ensayos normalizados para determinar esta magnitud, si bien, se adaptan ensayos para determinar el desgaste de materiales bituminosos que son mucho más costosos y cuya disponibilidad es más reducida. No obstante, teniendo en cuenta que se trata de una muestra pequeña, no se puede todavía generalizar una ley que relacione ambas variables a falta de ensayar una mayor cantidad de suelos.



Figura 4. Se observa en la bandeja de la máquina de desgaste de Los Ángeles la fracción #50mm para un suelocemento al 3% de cemento

En cualquier caso, la correlación exponencial entre la resistencia a compresión simple y la pérdida de peso sí que será significativa cuando se discretice según el tipo de suelo.

2.3. Posibilidades de investigación por desarrollar

Son numerosos los vacíos de conocimiento entorno a la estabilización de suelos con cemento y polímero. En el presente trabajo a pesar de la amplia campaña de ensayos desarrollada solamente se han podido emplear y analizar dos tipos de polímeros distintos. Además, el resultado desde el punto de vista de la obtención de un comportamiento mecánico que generase altas prestaciones no se ha logrado. Así y, a la vista que es una técnica que está siendo objeto de un notable auge, resulta evidente que el recorrido para la investigación del material es enorme.

Un primer fruto que ha generado esta investigación ha sido que, al informar a Geocompact de los resultados alcanzados en la campaña, la empresa ha puesto en marcha una campaña de ensayos interna para determinar las causas que han llevado a obtener dichos resultados, estudiando posibles

incompatibilidades entre conglomerantes, la influencia granulométrica del suelo sobre el comportamiento resistente del polímero, etc.

Pero además, tras la elaboración de este proyecto se abren nuevas vías de investigación que la limitación temporal de un Trabajo de Fin de Grado no permiten abordar.

- Compatibilidad química entre distintos tipos de polímeros y el cemento.
- Analizar la aplicabilidad de polímeros en otro tipo de suelos.
- Leyes de fatiga de suelos estabilizados con cemento y polímero.
- Abordar la relación densidad seca-resistencia a compresión simple en una amplia muestra de suelos de distinta tipología que permita extrapolar los resultados y generar un recurso de gran

interés en la puesta en obra del material.

- Profundizar en la aplicabilidad de la adaptación del Ensayo Cántabro.
- Estudiar ensayos que permitan determinar el desgaste del suelocemento como capa de rodadura y crear leyes de correlación con el Ensayo Cántabro.
- Abordar técnicas que permitan aumentar la densidad del suelo, en la línea de las propuestas por otros miembros de este proyecto de investigación.

existen múltiples líneas de estudio abiertas.

Se citan algunos frentes de investigación que resultan de especial interés tras la realización de este trabajo, sin embargo, es evidente que existe todavía un conocimiento reducido sobre los polímeros como material estabilizador de suelos y por lo tanto

2.4. Bibliografía

Kent Newman, Jeb S. Tingle. 2004. *Emulsion Polymers for Soil Stabilization*.
Vicksburg : U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2004.

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones



VNIVERSIDAD
DSALAMANCA



Fichas de ensayos propios

Anejo I



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018


Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra MULARROYA
Referencia MU **Fecha Toma de Muestras**
Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente x Sí No 
Observaciones

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-MUL/CEM-32,5N (12%)/CHC (-1,7%)
Ensayos a Realizar
 Granulometría Colapso
 Límites de Atterberg Hinchamiento
 Desgaste de Los Ángeles x Rotura a Compresión Simple
 Próctor Fatiga
 CBR Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 12 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Arnau Ricart de la Fuente Beatriz Zarza Severino
 Víctor Mateos Ramírez





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 12 %

Fecha Realización 06/03/2017 **% Agua Adicionada** 5 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,23	2,21	2,22	2,18	
Humedad	%	4,22	4,37	4,17	4,56	
Días de Curado		7	7	7	28	
Fecha de Rotura		13/03/17	13/03/17	13/03/17	03/04/17	
Carga de Rotura	Tm	10,210	8,399	9,605	9,997	
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	56,10	46,15	52,77	54,93	
Tensión de Rotura	MPa	5,5	4,5	5,2	5,4	
Tensión de Rotura Promedio		5,1	MPa	Desviación Típica	0,4	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018


Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra MULARROYA
Referencia MUL **Fecha Toma de Muestras**
Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No 
Observaciones

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-MUL/CEM-32,5N (12%)/CHC (+0,7%)
Ensayos a Realizar

Granulometría	Colapso
Límites de Atterberg	Hinchamiento
Desgaste de Los Ángeles	× Rotura a Compresión Simple
Próctor	Fatiga
CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 12 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Víctor Mateos Ramírez Arnau Ricart de la Fuente
 Beatriz Zarza Severino





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 12 %

Fecha Realización 08/03/2017 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,26	2,24	2,23	2,25	
Humedad	%	6,35	6,30	6,45	6,03	
Días de Curado		7	7	7	28	
Fecha de Rotura		15/03/17	15/03/17	15/03/17	05/04/17	
Carga de Rotura	Tm	12,747	11,025	11,984	16,392	
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	70,04	60,58	65,85	90,07	
Tensión de Rotura	MPa	6,9	5,9	6,5	8,8	
Tensión de Rotura Promedio		7,0	MPa	Desviación Típica	1,3	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018


Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra MULARROYA
Referencia MUL **Fecha Toma de Muestras**
Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No 
Observaciones

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-MUL/CEM-32,5N (12%)/CHC (+2,7%)
Ensayos a Realizar
 Granulometría Colapso
 Límites de Atterberg Hinchamiento
 Desgaste de Los Ángeles Rotura a Compresión Simple
 Próctor Fatiga
 CBR Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 12 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Víctor Mateos Ramírez Arnau Ricart de la Fuente
 Beatriz Zarza Severino





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** %

Fecha Realización 08/03/2017 **% Agua Adicionada** %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,15	2,15	2,15		
Humedad	%	8,82	8,17	8,13		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		15/03/17	15/03/17	15/03/17		
Carga de Rotura	Tm	7,301	7,984	6,863		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	40,12	43,87	37,71		
Tensión de Rotura	MPa	3,9	4,3	3,7		
Tensión de Rotura Promedio		4,0	MPa	Desviación Típica	0,3	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra ACCESO BODEGAS VIVANCOS
Referencia ACC **Fecha Toma de Muestras** 28/03/2017
Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No
Observaciones La falta de material solo permite la confección de una probeta para cada dotación de cemento.

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-ACC/CEM-32,5N (6%)

Ensayos a Realizar	<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	Colapso
	Límites de Atterberg	Hinchamiento
	Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
	Próctor	Fatiga
	CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 6 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Eduardo Bragado Pascual

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

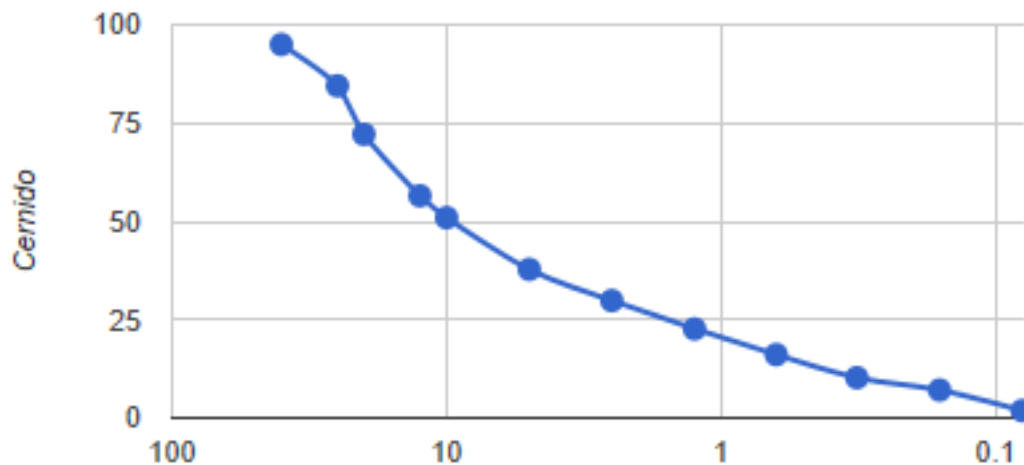
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	95.01	84.49	72.18	56.53	50.97	37.81	29.86	22.70	16.14	10.25	7.12	1.90

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 6 %

Fecha Realización 31/03/2017 **% Agua Adicionada** 4 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5	
Densidad	g/cm ³	2,15					
Humedad	%	6,60					
Días de Curado		28					
Fecha de Rotura		28/04/17					
Carga de Rotura	Tm	8,188					
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	44,99					
Tensión de Rotura	MPa	4,4					
Tensión de Rotura Promedio		4,4 MPa		Desviación Típica			MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra ACCESO BODEGAS VIVANCOS

Referencia ACC **Fecha Toma de Muestras** 27/03/2017

Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)

Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No

Observaciones La falta de material solo permite la confección de una probeta para cada dotación de cemento.

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-ACC/CEM-32,5N (8%)

Ensayos a Realizar

<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	<input type="checkbox"/> Colapso
<input type="checkbox"/> Límites de Atterberg	<input type="checkbox"/> Hinchamiento
<input type="checkbox"/> Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
<input type="checkbox"/> Próctor	<input type="checkbox"/> Fatiga
<input type="checkbox"/> CBR	<input type="checkbox"/> Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 8 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N

Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Eduardo Bragado Pascual

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

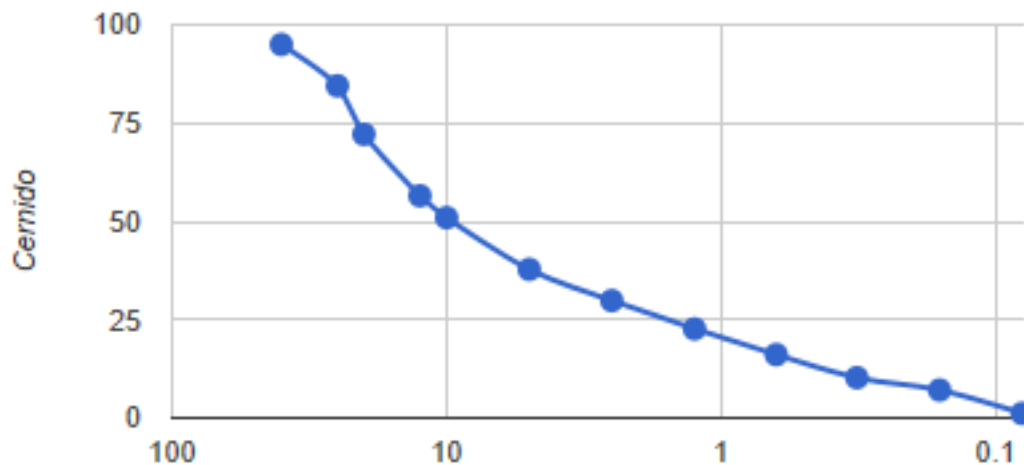
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	95.01	84.49	72.18	56.53	50.97	37.81	29.86	22.70	16.14	10.25	7.12	1.19

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 8 %

Fecha Realización 31/03/2017 **% Agua Adicionada** 5 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,17				
Humedad	%	7,11				
Días de Curado		28				
Fecha de Rotura		28/04/17				
Carga de Rotura	Tm	11,058				
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	60,76				
Tensión de Rotura	MPa	6,0				
Tensión de Rotura Promedio		6,0	MPa	Desviación Típica		MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra MULARROYA

Referencia MUL **Fecha Toma de Muestras**

Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)

Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No

Observaciones Se tamiza suelo de Mularoya por el tamiz #8 y, posteriormente, se adiciona el 50% en peso de reciclado de cemento.
El Ensayo de Proctor Modificado se realiza sin cemento

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-MUL/CEM-32,5N (8%)/R.G. (#8)/AP.RC. (50%)

Ensayos a Realizar

<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	Colapso
Límites de Atterberg	Hinchamiento
Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
<input checked="" type="checkbox"/> Próctor	Fatiga
CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 8 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N

Tratamientos Adicionales Aportación de Reciclado CEM

INVESTIGADOR

Eduardo Bragado Pascual

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

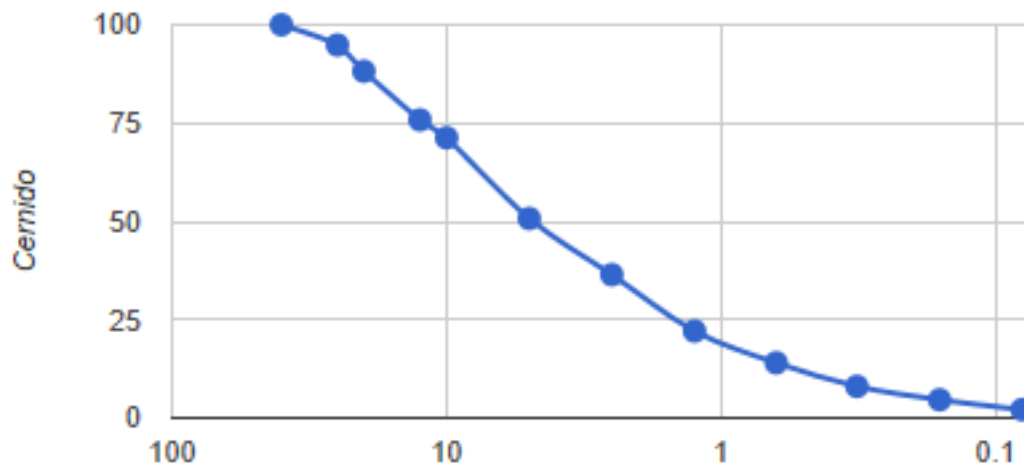
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.86	88.22	75.83	71.30	50.76	36.44	22.12	14.04	8.05	4.66	2.13

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

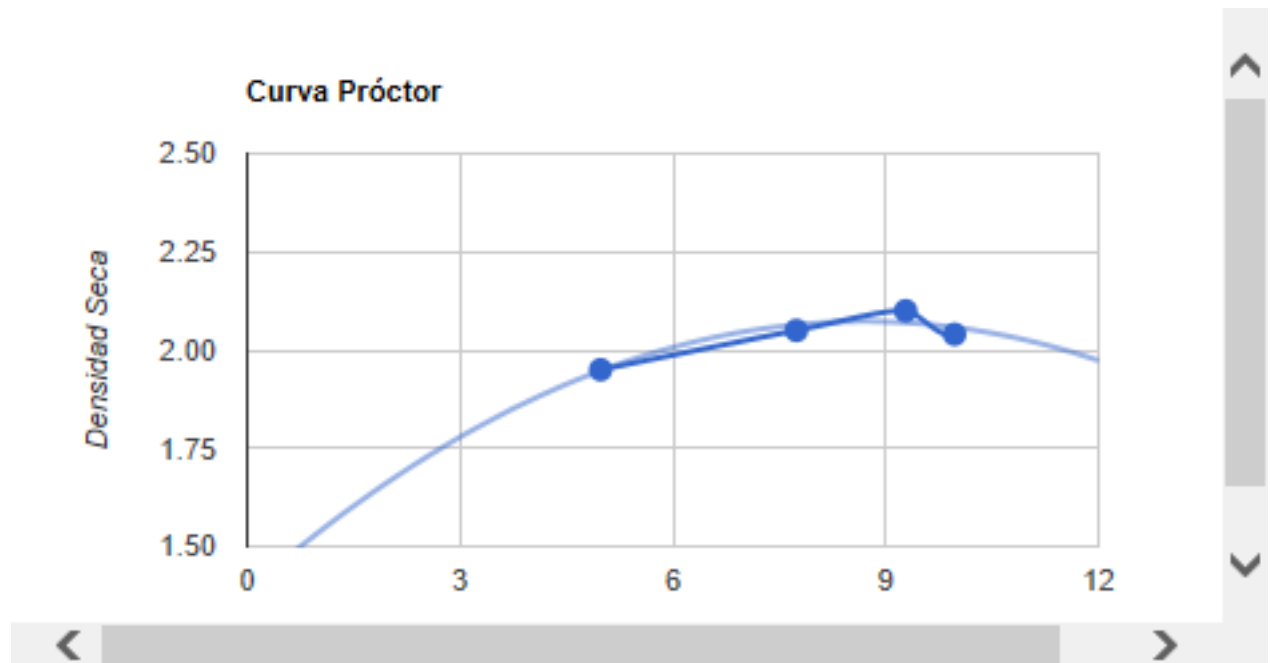
Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

ENSAYO PROCTOR

Ensayo de Compactación. Proctor Modificado según Norma UNE-EN 103-501:1994

Punto nº		1	2	3	4	5
Humedad	(%)	4.98	7.74	9.28	9.97	
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.95	2.05	2.10	2.04	0



Peso Específico Seco Máximo 2.1 kg/m³

Humedad Óptima 9.2 %





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 8 %

Fecha Realización 03/04/2017 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,01	2,03	2,03		
Humedad	%	8,21	9,42	9,37		
Días de Curado		28	28	28		
Fecha de Rotura		02/05/17	02/05/17	02/05/17		
Carga de Rotura	Tm	10,002	10,587	10,257		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	54,96	58,17	56,36		
Tensión de Rotura	MPa	5,4	5,7	5,5		
Tensión de Rotura Promedio		5,5	MPa	Desviación Típica	0,2	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra MULARROYA

Referencia MUL **Fecha Toma de Muestras**

Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)

Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No

Observaciones Se tamiza suelo de Mularoya por el tamiz #8 y, posteriormente, se adiciona el 50% en peso de reciclado de cemento.
El Ensayo de Proctor Modificado se realiza sin cemento

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-MUL/CEM-32,5N (10%)/R.G. (#8)/AP.RC. (50%)

Ensayos a Realizar

<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	Colapso
Límites de Atterberg	Hinchamiento
Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
<input checked="" type="checkbox"/> Próctor	Fatiga
CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 10 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N

Tratamientos Adicionales Aportación de Reciclado CEM

INVESTIGADOR

Eduardo Bragado Pascual

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

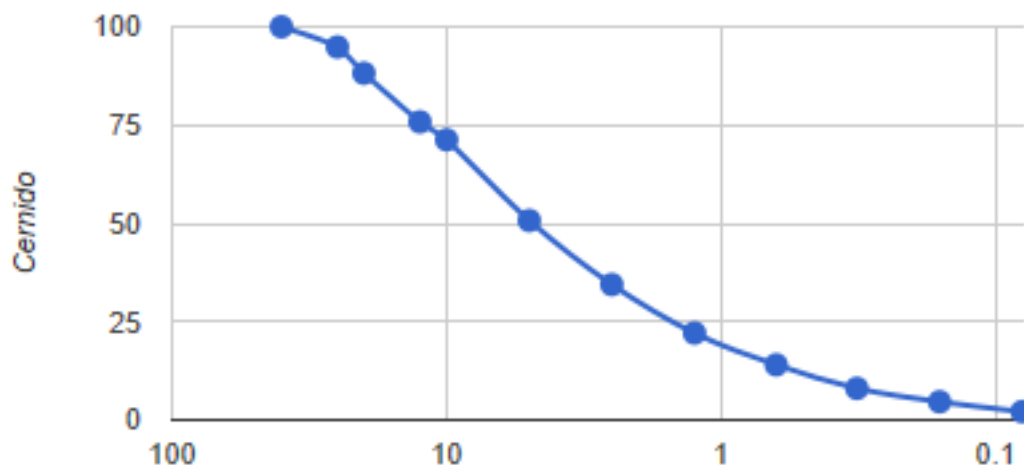
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.86	88.22	75.83	71.30	50.76	34.44	22.11	14.04	8.05	4.66	2.13

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Límite Líquido

Límite Plástico

Índice de Plasticidad

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Coefficiente de LA





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

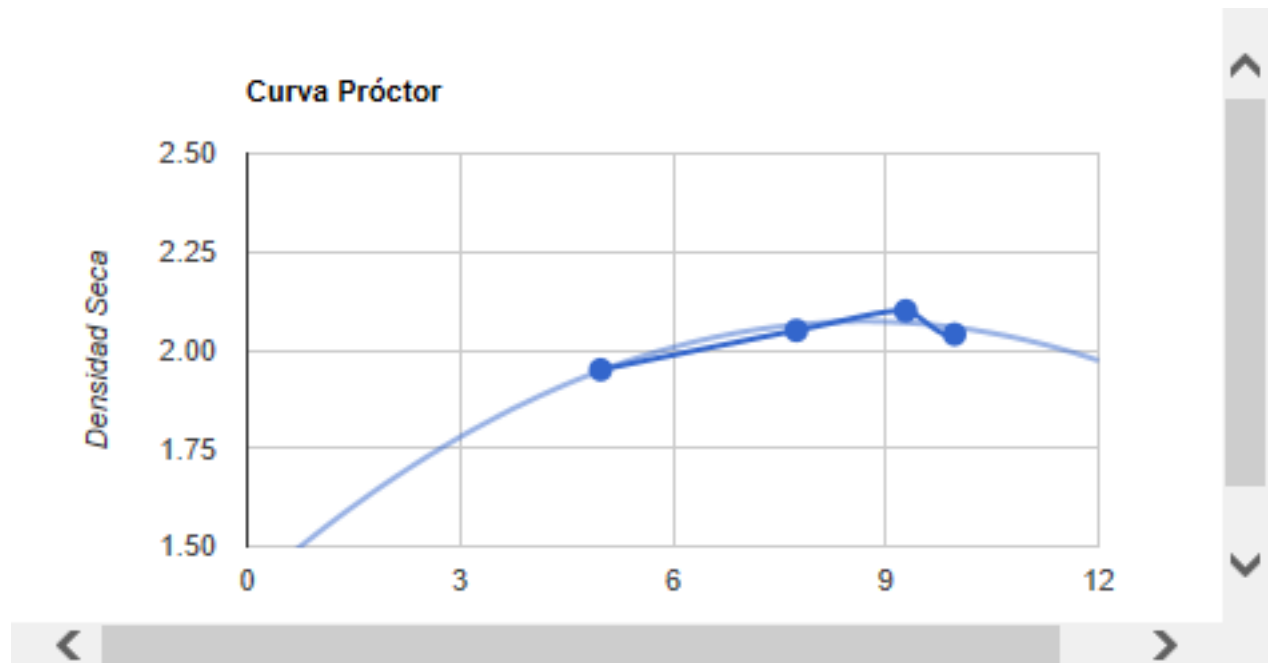
Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

ENSAYO PROCTOR

Ensayo de Compactación. Proctor Modificado según Norma UNE-EN 103-501:1994

Punto nº		1	2	3	4	5
Humedad	(%)	4.98	7.74	9.28	9.97	
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.95	2.05	2.10	2.04	0



Peso Específico Seco Máximo 2.1 kg/m³

Humedad Óptima 9.2 %





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 10 %

Fecha Realización 03/04/2017 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,06	2,05	2,02		
Humedad	%	9,59	8,95	9,37		
Días de Curado		28	28	28		
Fecha de Rotura		02/05/17	02/05/17	02/05/17		
Carga de Rotura	Tm	13,241	15,152	13,638		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	72,75	83,25	74,93		
Tensión de Rotura	MPa	7,1	8,2	7,3		
Tensión de Rotura Promedio		7,5	MPa	Desviación Típica	0,5	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra MULARROYA

Referencia MUL **Fecha Toma de Muestras**

Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)

Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No

Observaciones Se tamiza suelo de Mularoya por el tamiz #8 y, posteriormente, se adiciona el 25% en peso de reciclado de cemento.
El Ensayo de Proctor Modificado se realiza con el R.C. pero sin CEM.

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-MUL/CEM-32,5N (8%)/R.G. (#8)/AP.RC. (25%)

Ensayos a Realizar

<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	Colapso
Límites de Atterberg	Hinchamiento
Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
<input checked="" type="checkbox"/> Próctor	Fatiga
CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 8 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N

Tratamientos Adicionales Aportación de Reciclado CEM

INVESTIGADOR

Eduardo Bragado Pascual

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

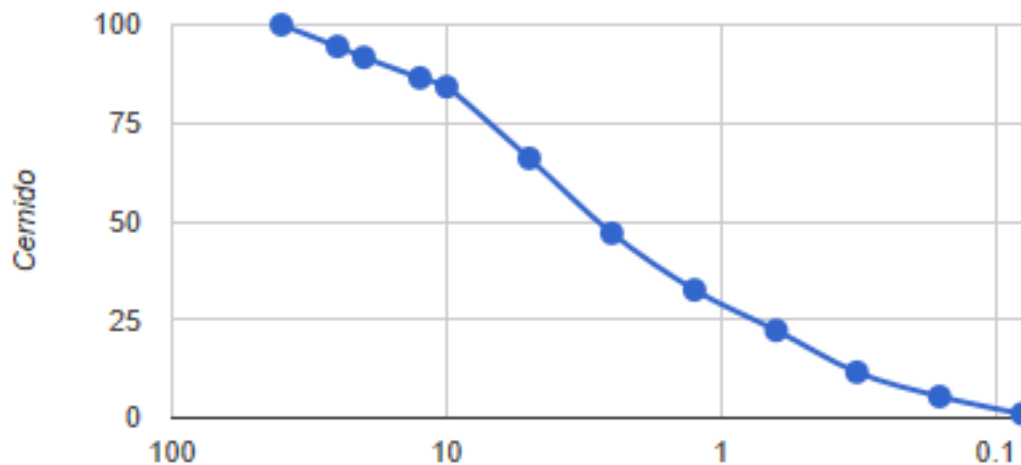
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.50	91.74	86.49	84.26	66.07	47.02	32.59	22.31	11.65	5.48	1.08

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

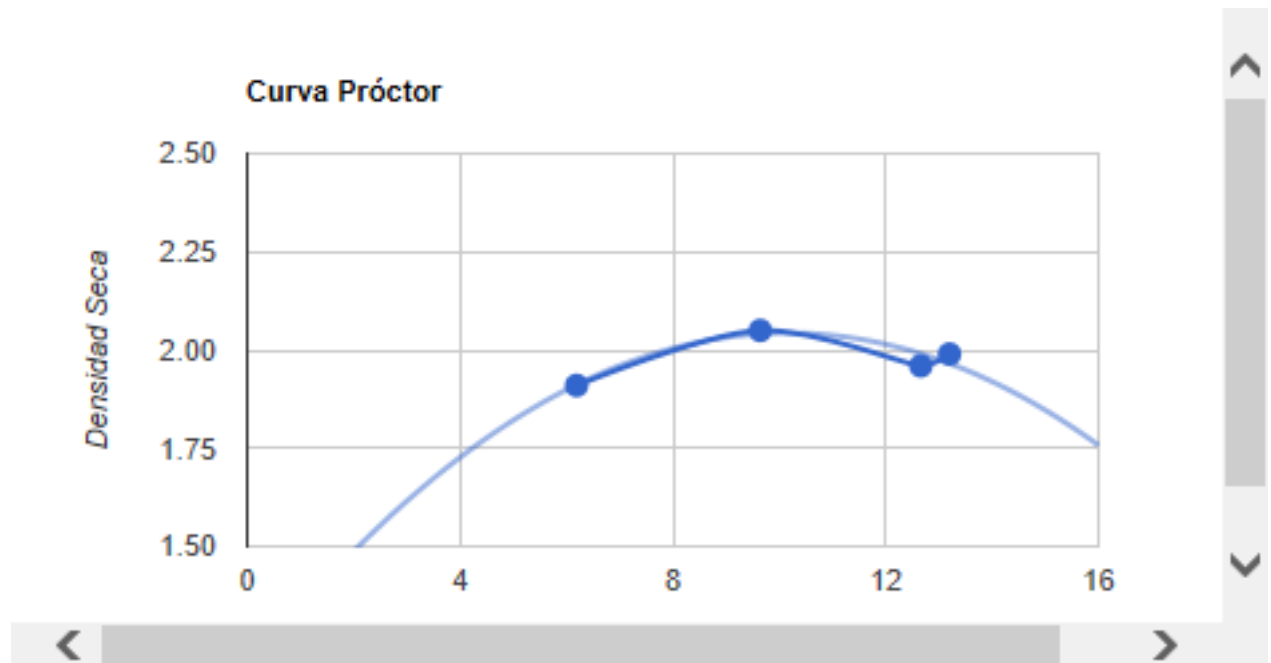
Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

ENSAYO PROCTOR

Ensayo de Compactación. Proctor Modificado según Norma UNE-EN 103-501:1994

Punto nº		1	2	3	4	5
Humedad	(%)	6.19	9.64	12.66	13.2	
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.91	2.05	1.96	1.99	0



Peso Específico Seco Máximo 2.07 kg/m³

Humedad Óptima 10.2 %





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 8 %

Fecha Realización 03/04/2017 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,01	1,99	2,00		
Humedad	%	9,94	10,13	10,47		
Días de Curado		28	28	28		
Fecha de Rotura		02/05/17	02/05/17	02/05/17		
Carga de Rotura	Tm	9,494	8,550	9,159		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	52,16	46,98	50,32		
Tensión de Rotura	MPa	5,1	4,6	4,9		
Tensión de Rotura Promedio		4,9	MPa	Desviación Típica	0,3	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra MULARROYA

Referencia MUL **Fecha Toma de Muestras**

Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)

Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No

Observaciones Se tamiza suelo de Mularoya por el tamiz #8 y, posteriormente, se adiciona el 25% en peso de reciclado de cemento.
El Ensayo de Proctor Modificado se realiza con el R.C. pero sin CEM.

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-MUL/CEM-32,5N (10%)/R.G. (#8)/AP.RC. (25%)

Ensayos a Realizar

<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	Colapso
Límites de Atterberg	Hinchamiento
Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
<input checked="" type="checkbox"/> Próctor	Fatiga
CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 10 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N

Tratamientos Adicionales Aportación de Reciclado CEM

INVESTIGADOR

Eduardo Bragado Pascual

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

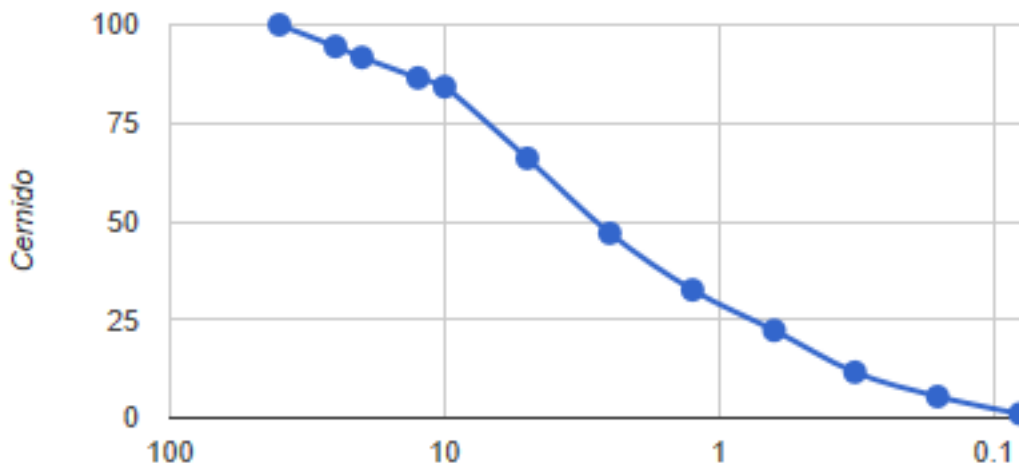
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.50	91.74	86.49	84.26	66.07	47.02	32.59	22.31	11.65	5.48	1.08

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

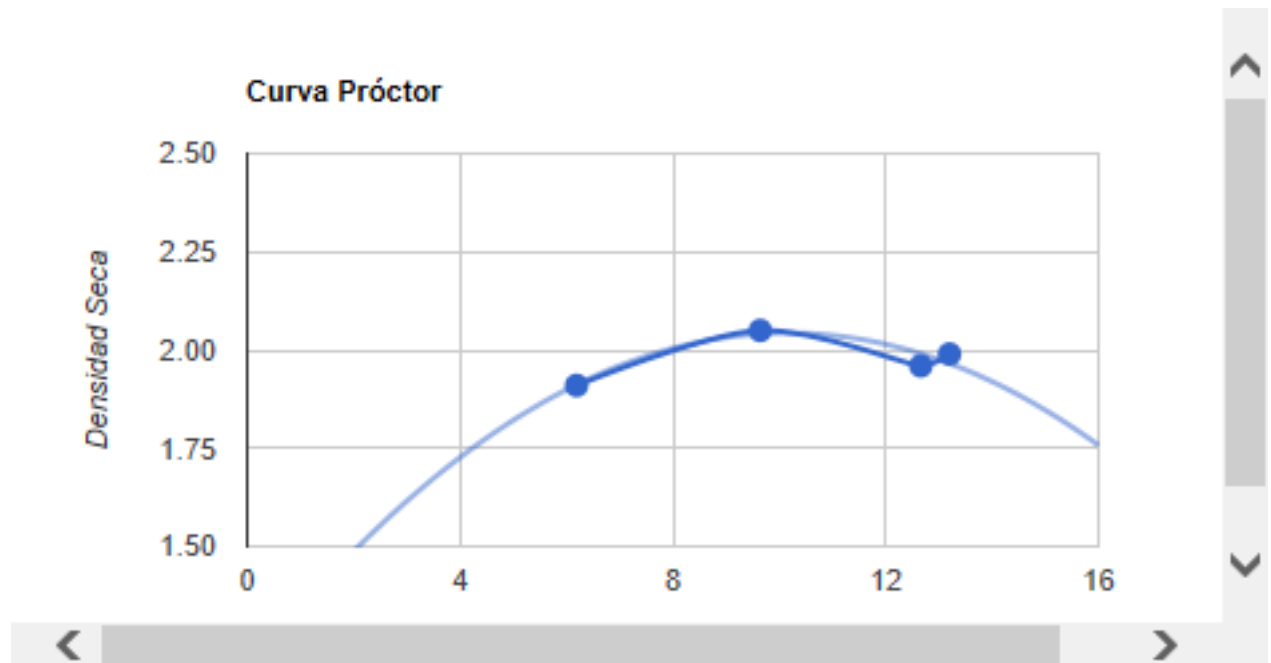
Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

ENSAYO PROCTOR

Ensayo de Compactación. Proctor Modificado según Norma UNE-EN 103-501:1994

Punto nº		1	2	3	4	5
Humedad	(%)	6.19	9.64	12.66	13.2	
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.91	2.05	1.96	1.99	0



Peso Específico Seco Máximo 2.07 kg/m³

Humedad Óptima 10.2 %





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 10 %

Fecha Realización 03/04/2017 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	1,98	2,00	2,00		
Humedad	%	10,16	10,68	10,29		
Días de Curado		28	28	28		
Fecha de Rotura		02/05/17	02/05/17	02/05/17		
Carga de Rotura	Tm	9,806	10,594	10,151		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	53,88	58,21	55,77		
Tensión de Rotura	MPa	5,3	5,7	5,5		
Tensión de Rotura Promedio		5,5	MPa	Desviación Típica	0,2	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra CALDEARENAS
Referencia CAL **Fecha Toma de Muestras**
Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente x Sí No

Observaciones

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-CAL/CEM-32,5N (10%)

Ensayos a Realizar	Granulometría	Colapso
	Límites de Atterberg	Hinchamiento
	Desgaste de Los Ángeles	x Rotura a Compresión Simple
	Próctor	Fatiga
	CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 10 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Víctor Mateos Ramírez Beatriz Zarza Severino
 Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 10 %

Fecha Realización 06/03/2017 **% Agua Adicionada** 6,9 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,19	2,08	2,13		
Humedad	%	4,67	6,48	6,30		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		13/03/17	13/03/17	13/03/17		
Carga de Rotura	Tm	6,194	4,075	6,292		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	34,03	22,39	34,57		
Tensión de Rotura	MPa	3,3	2,2	3,4		
Tensión de Rotura Promedio		3,0	MPa	Desviación Típica	0,7	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018


Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra CALDEARENAS
Referencia CAL **Fecha Toma de Muestras**
Uso Previsto Suelo Estabilizado con Cemento (vía húmeda)
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente x Sí No 
Observaciones

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-CAL/CEM-32,5N (12%)

Ensayos a Realizar	Granulometría	Colapso
	Límites de Atterberg	Hinchamiento
	Desgaste de Los Ángeles	x Rotura a Compresión Simple
	Próctor	Fatiga
	CBR	Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 12 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Víctor Mateos Ramírez Beatriz Zarza Severino
 Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 12 %

Fecha Realización 06/03/2017 **% Agua Adicionada** 6,9 %

Conservación previa a desmoldeo Al aire, encerrada en bolsa

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,10	2,07	2,09		
Humedad	%	6,02	6,50	5,85		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		13/03/17	13/03/17	13/03/17		
Carga de Rotura	Tm	5,394	4,342	4,753		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	29,64	23,86	26,12		
Tensión de Rotura	MPa	2,9	2,3	2,6		
Tensión de Rotura Promedio		2,6	MPa	Desviación Típica	0,3	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra RECHAZO CANTERA GARRAF
Referencia REC **Fecha Toma de Muestras** 12/01/2018
Uso Previsto Suelo Cemento de Altas Prestaciones
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente x Sí No
Observaciones Al suelo se le adiciona 3% CEM II/B-L 32,5N, y un 4% de agua. Se compacta en 3 capas (9s/capa).

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-GAR/CEM II 32,5N (3%)/4% AGUA
Ensayos a Realizar
 x Granulometría Colapso
 x Límites de Atterberg Hinchamiento
 x Desgaste de Los Ángeles x Rotura a Compresión Simple
 Próctor Fatiga
 CBR Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 3 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

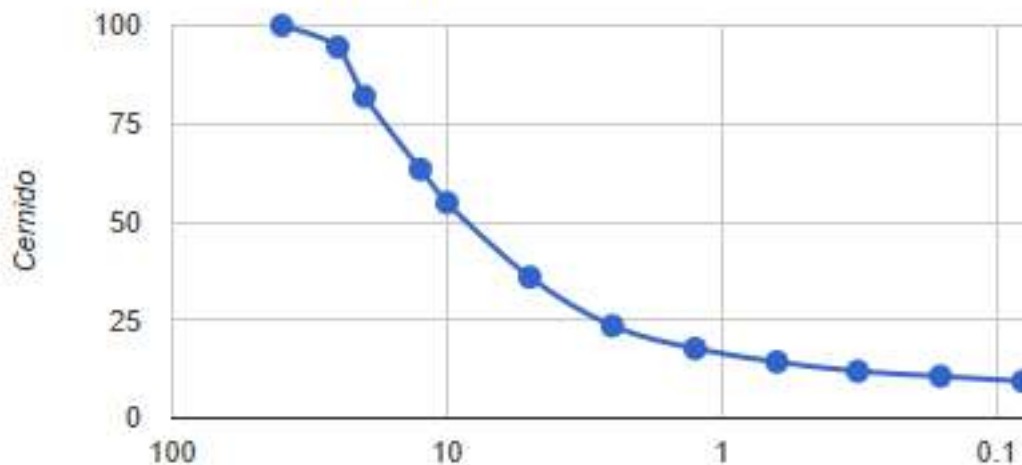
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.53	82.01	63.41	54.90	35.94	23.54	17.75	14.34	11.95	10.70	9.40

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 3 %

Fecha Realización 25/01/2018 **% Agua Adicionada** 4 %

Conservación previa a desmoldeo En cámara húmeda

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	1,96	2,02	2,01		
Humedad	%	5,61	5,61	5,61		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		01/02/18	01/02/18	01/02/18		
Carga de Rotura	Tm	6,19	8,83	3,87		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	34,01	48,52	21,26		
Tensión de Rotura	MPa	3,3	4,8	2,1		
Tensión de Rotura Promedio		3,4 MPa		Desviación Típica	1,3 MPa	





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra RECHAZO CANTERA GARRAF
Referencia REC **Fecha Toma de Muestras** 12/01/2018
Uso Previsto Suelo Cemento de Altas Prestaciones
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente x Sí No
Observaciones Al suelo se le adiciona 5% CEM II/B-L 32,5N, y un 4% de agua. Se compacta en 3 capas (9s/capa).

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-GAR/CEM II 32,5N (5%)/4% AGUA
Ensayos a Realizar
 x Granulometría Colapso
 x Límites de Atterberg Hinchamiento
 x Desgaste de Los Ángeles x Rotura a Compresión Simple
 Próctor Fatiga
 CBR Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 5 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

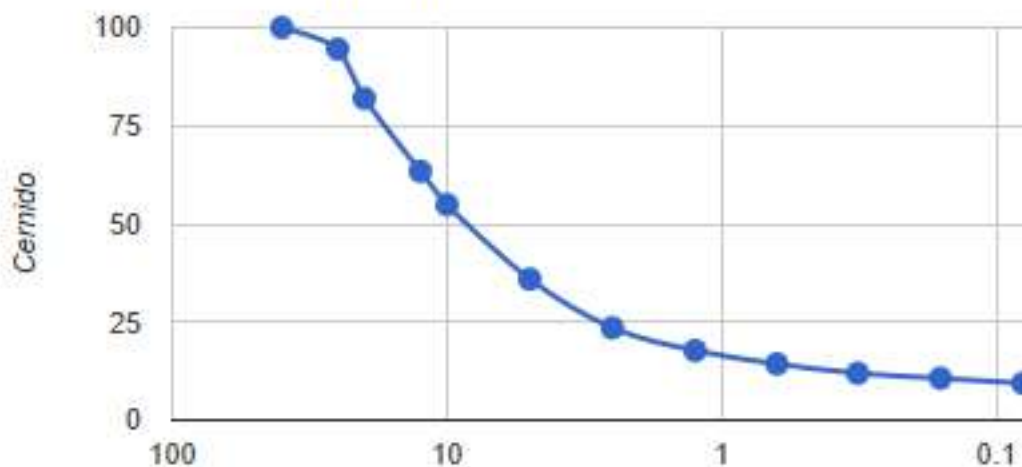
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.53	82.01	63.41	54.90	35.94	23.54	17.75	14.34	11.95	10.70	9.40

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 5 %

Fecha Realización 25/01/2018 **% Agua Adicionada** 4 %

Conservación previa a desmoldeo En cámara húmeda

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,07	1,95	2,01		
Humedad	%	4,22	4,22	4,22		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		01/02/18	01/02/18	01/02/18		
Carga de Rotura	Tm	9,04	5,79	7,82		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	49,67	31,81	42,97		
Tensión de Rotura	MPa	4,9	3,1	4,2		
Tensión de Rotura Promedio		4,1	MPa	Desviación Típica	0,9	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra RECHAZO CANTERA GARRAF
Referencia REC **Fecha Toma de Muestras** 12/01/2018
Uso Previsto Suelo Cemento de Altas Prestaciones
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No
Observaciones Al suelo se le adiciona 7% CEM II/B-L 32,5N, y un 7% de agua. Se compacta en 3 capas (9s/capa).

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-GAR/CEM II 32,5N (7%)/7% AGUA
Ensayos a Realizar
 Granulometría Colapso
 Límites de Atterberg Hinchamiento
 Desgaste de Los Ángeles Rotura a Compresión Simple
 Próctor Fatiga
 CBR Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 7 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Ninguno

INVESTIGADOR

Arnau Ricart de la Fuente





VNiVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

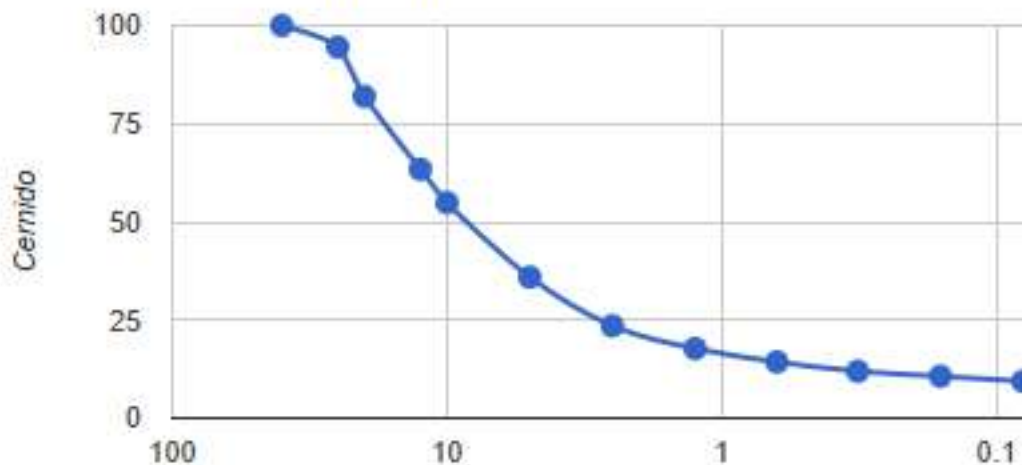
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.53	82.01	63.41	54.90	35.94	23.54	17.75	14.34	11.95	10.70	9.40

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 7 %

Fecha Realización 25/01/2018 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo En cámara húmeda

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,21	2,23	2,17		
Humedad	%	7,78	7,78	7,78		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		01/02/18	01/02/18	01/02/18		
Carga de Rotura	Tm	29,6	32,0	21,0		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	162,86	175,88	115,11		
Tensión de Rotura	MPa	16,0	17,2	11,3		
Tensión de Rotura Promedio		14,8 MPa		Desviación Típica	3,1 MPa	





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra RECHAZO CANTERA GARRAF
Referencia REC **Fecha Toma de Muestras** 12/01/2018
Uso Previsto Suelo Cemento de Altas Prestaciones
Ensayos Previos de Laboratorio Independiente x Sí No
Observaciones Al suelo se le adiciona 3% CEM II/B-L 32,5N, un 0,5% de Polímero A4 y un 7% de agua. Se compacta en 3 capas (9s/capa). No se descuenta el agua que aporta el polímero en disolución acuosa

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-GAR/CEM II 32,5N (3%)/7% AGUA/ AD.P. (0,5%)
Ensayos a Realizar
 x Granulometría Colapso
 x Límites de Atterberg Hinchamiento
 x Desgaste de Los Ángeles x Rotura a Compresión Simple
 Próctor Fatiga
 CBR Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 3 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N
Tratamientos Adicionales Adición de Polímeros

INVESTIGADOR

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

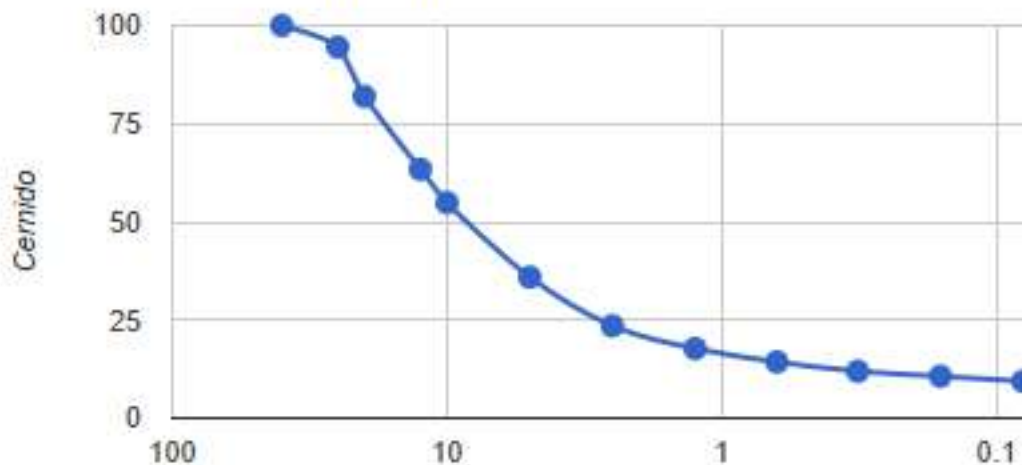
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.53	82.01	63.41	54.90	35.94	23.54	17.75	14.34	11.95	10.70	9.40

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 3 %

Fecha Realización 26/01/2018 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo En cámara húmeda

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,04	2,02	2,09		
Humedad	%	8,26	8,26	8,26		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		02/02/18	02/02/18	02/02/18		
Carga de Rotura	Tm	2,4	2,7	1,3		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	13,13	14,67	6,98		
Tensión de Rotura	MPa	1,3	1,4	0,7		
Tensión de Rotura Promedio		1,1	MPa	Desviación Típica	0,4	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra RECHAZO CANTERA GARRAF

Referencia REC **Fecha Toma de Muestras** 12/01/2018

Uso Previsto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No

Observaciones Al suelo se le adiciona 3% CEM II/B-L 32,5N, un 1% de Polímero A4 y un 7% de agua. Se compacta en 3 capas (9s/capa). No se descuenta el agua que aporta el polímero en disolución acuosa

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-GAR/CEM II 32,5N (3%)/7% AGUA/ AD.P. (1%)

Ensayos a Realizar

<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	<input type="checkbox"/> Colapso
<input checked="" type="checkbox"/> Límites de Atterberg	<input type="checkbox"/> Hinchamiento
<input checked="" type="checkbox"/> Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
<input type="checkbox"/> Próctor	<input type="checkbox"/> Fatiga
<input type="checkbox"/> CBR	<input type="checkbox"/> Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 3 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N

Tratamientos Adicionales Adición de Polímeros

INVESTIGADOR

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

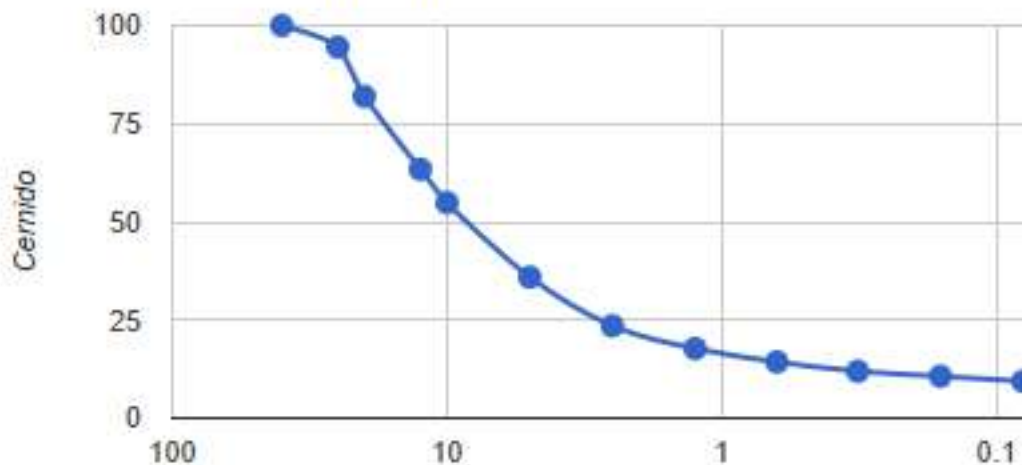
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.53	82.01	63.41	54.90	35.94	23.54	17.75	14.34	11.95	10.70	9.40

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Cilíndricas d=15.25, h= 12.7cm **% Cemento** 3 %

Fecha Realización 26/01/2018 **% Agua Adicionada** 7 %

Conservación previa a desmoldeo En cámara húmeda

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,13	1,86	2,16		
Humedad	%	8,49	8,49	8,49		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		02/02/18	02/02/18	02/02/18		
Carga de Rotura	Tm	3,2	0	2,3		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	17,31	0	12,75		
Tensión de Rotura	MPa	1,7	0,0	1,3		
Tensión de Rotura Promedio		1,0	MPa	Desviación Típica	0,9	MPa





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DATOS PREVIOS

Obra RECHAZO CANTERA GARRAF

Referencia REC **Fecha Toma de Muestras** 12/01/2018

Uso Previsto Suelo Cemento de Altas Prestaciones

Ensayos Previos de Laboratorio Independiente Sí No

Observaciones Al suelo se le adiciona 3% CEM II/B-L 32,5N, un 2% de Polímero A4 y un 7% de agua. Se compacta en 3 capas (9s/capa). No se descuenta el agua que aporta el polímero en disolución acuosa

IDENTIFICACIÓN MUESTRAS

ID Muestras SCAP-GAR/CEM II 32,5N (3%)/7% AGUA/ AD.P. (2%)

Ensayos a Realizar

<input checked="" type="checkbox"/> Granulometría	<input type="checkbox"/> Colapso
<input checked="" type="checkbox"/> Límites de Atterberg	<input type="checkbox"/> Hinchamiento
<input checked="" type="checkbox"/> Desgaste de Los Ángeles	<input checked="" type="checkbox"/> Rotura a Compresión Simple
<input type="checkbox"/> Próctor	<input type="checkbox"/> Fatiga
<input type="checkbox"/> CBR	<input type="checkbox"/> Comportamiento Superficial

FORMULACIÓN

Dosificación 3 % **Tipo de Cemento** CEM 32,5N

Tratamientos Adicionales Adición de Polímeros

INVESTIGADOR

Arnau Ricart de la Fuente





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



800 AÑOS
1218 - 2018

Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

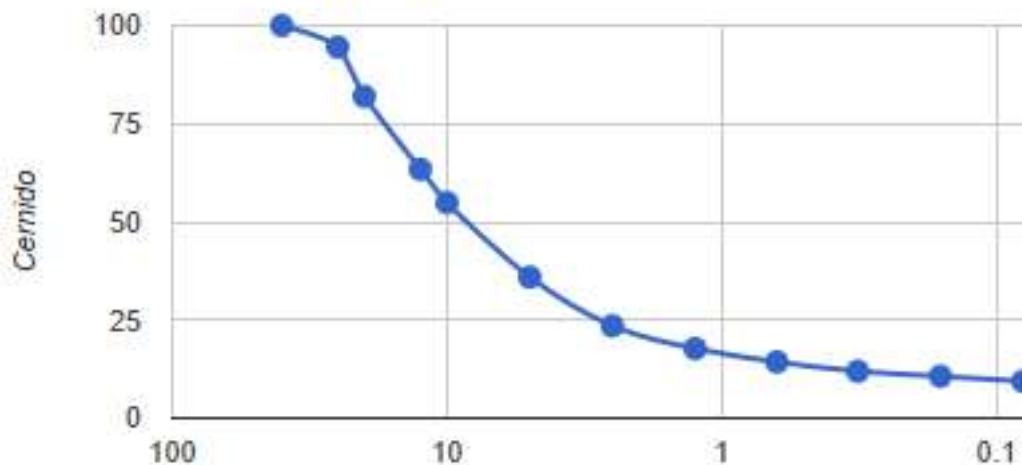
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

GRANULOMETRÍA

Granulometría de Suelos por Tamizado según Norma UNE-EN 933-1:2012

Tamiz (mm)	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
Pasa (%)	100	94.53	82.01	63.41	54.90	35.94	23.54	17.75	14.34	11.95	10.70	9.40

Curva Granulométrica



LÍMITES DE ATTERBERG

Determinación de los Límites de Atterberg de un suelo según Norma UNE 103-104:1993

Determinación de la Resistencia a la Fragmentación por el Método de Ensayo de Los Ángeles según Norma UNE 1097-2:2010

Límite Líquido

Coefficiente de LA

Límite Plástico

Índice de Plasticidad





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Escuela Politécnica Superior De Zamora

Departamento De Construcción Y Agronomía

Avda. Cardenal Cisneros, 34 (Campus Viriato). Zamora (49022)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO-CEMENTO DE ALTAS PRESTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Determinación de la Resistencia a Compresión de Suelo-Cemento según Norma UNE-EN 13286-41:2003

Tipo Probeta Arnau_Ricart **% Cemento** %

Fecha Realización **% Agua Adicionada** %

Conservación previa a desmoldeo

Probeta N°		1	2	3	4	5
Densidad	g/cm ³	2,08	2,10	2,13		
Humedad	%	9,62	9,62	9,62		
Días de Curado		7	7	7		
Fecha de Rotura		02/02/18	02/02/18	02/02/18		
Carga de Rotura	Tm	2,3	2,3	2,3		
Tensión de Rotura	Kg/cm ²	12,42	12,42	7,14		
Tensión de Rotura	MPa	1,2	1,2	0,7		
Tensión de Rotura Promedio		1,0	MPa	Desviación Típica	0,3	MPa



Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones



VNIVERSIDAD
DSALAMANCA



Fichas de ensayos externos

Anejo II



VNIVERSIDAD
DSALAMANCA

INFORME GRAVA- CEMENTO

NORMAS: 113/149/305/310/311/358 UNE 7-133/1744-1//103-101/103/104/201/500/5001//1097-2//1744-1//933-1/3/5/9

OBRA: ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P

LOCALIZACIÓN: MULARROYA

FECHA TOMA:

DESTINO:

FECHA ENSAYO: 27/03/2017

REF. LABORATORIO: cantera los plantíos

REF. OBRA:

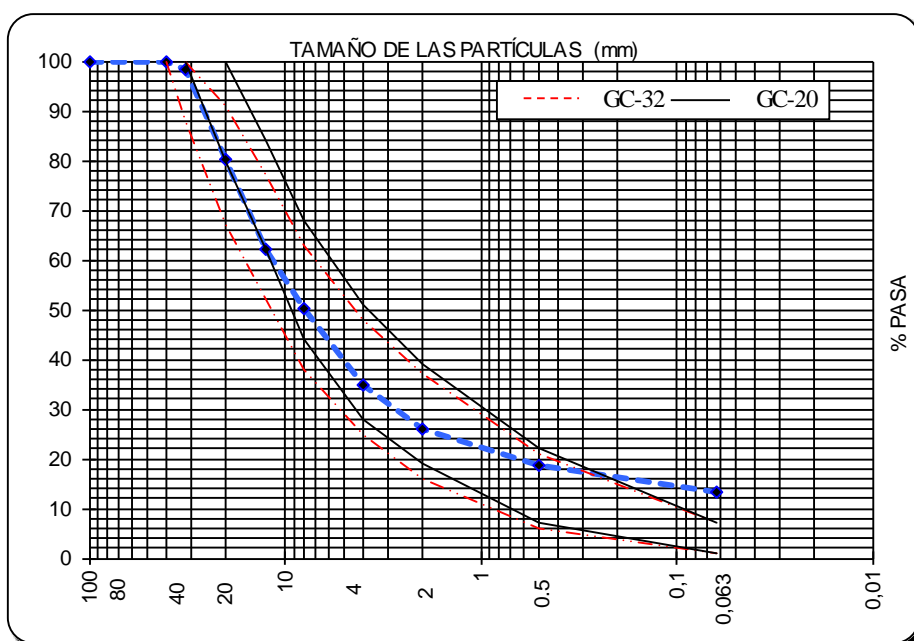
CONTENIDO EN CEMENTO

%

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

HUSO	
O.FOM 2523/14	
GC-32/GC-20	

TAMIZ	% PASA
100	100
40	100
32	98,2
20	80,2
12,5	62
8	50,2
4	34,9
2	25,8
0,5	18,5
0,063	13,1



LÍMITES DE ATTERBERG

LIQUIDO IT-LB/19	26,3
PLASTICO IT-LB/20	14,5
I. PLASTICIDAD	11,8

EQUIVALENTE

ARENA

SE(10)	SE ₄	
25	15	%

DENSIDAD-HUMEDAD MAXIMA

DENSIDAD MAXIMA	gr/cm ³
HUMEDAD OPTIMA	%

ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE (NOTA : 1 Kp/cm² = (+/-) 0,1 Mpa)

	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	MEDIA
DENSIDAD (gr/cm ³)				gr/cm ³
HUMEDAD(%)				%
RESISTENCIA 7 DIAS (MPa)				MPa

TERRONES ARCILLA

19,3 %

DESGATE LOS ANGELES

NLT 149 <input type="checkbox"/>	UNE 1097-2 <input type="checkbox"/>
DESGASTE (%)	29,4

CARAS DE FRACTURA

99,9 %

REACTIVIDAD

UNE 146507

M. ORGÁNICA

0,55

COMPOSTOS DE AZUFRE

SULFATOS	SOLUBLES ÁCIDO	TOTALES
	<0,1 % SO ₃	<0,1 % SO ₃

A. METILENO

UNE 933-9
15

I. LAJAS

6

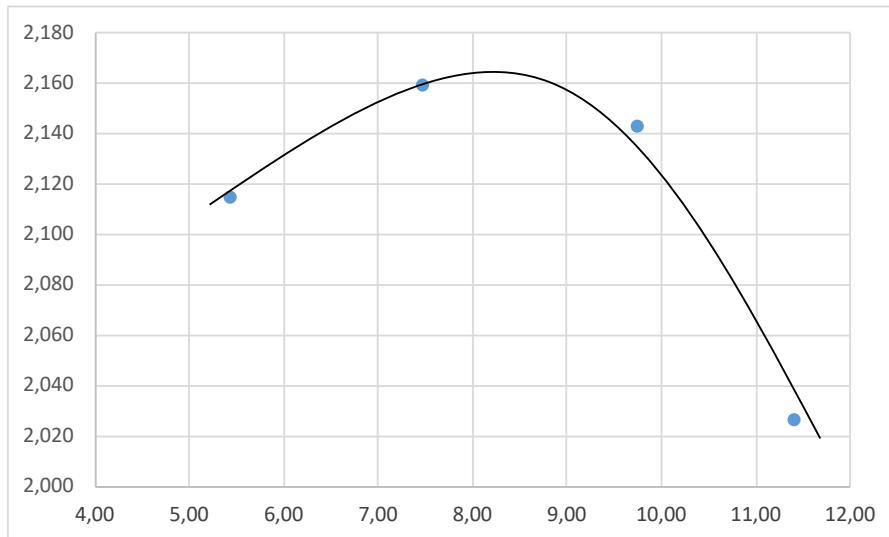


ENSAYO DE COMPACTACIÓN P.M.

NORMA UNE 103-501

OBRA :		FECHA T.	
TIPO SUELO:	suelo-cemenro con 8%	FECHA E.	05/04/2017
RECOGIDO:	Mularoya		
REF. LABORATORIO:	PAS		

	punto nº	1=5,1%	2=7,1%	3=9,1%	4=11,1%	5	6
t.+s.+a	M.+S.+A (g.)	11795	12006	12079	11859		
tara	MOLDE (g.)	6627	6627	6627	6627		
s+a=(t+s+a)-t	S.+A. (g.)	5168	5379	5452	5232		
(s+a)*100/(100+h)	SUELO (g.)	4902	5005	4968	4697		
D=S/V	DENSIDAD (g/cm ³)	2,115	2,159	2,143	2,026		
	REF.TARA	1	2	3	4	5	6
a=(t+s+a)-(t+s)	AGUA (g.)	61,4	86,6	138,5	129,4		
t.+s.+a.	T.+S.+A.(g.)	1192,5	1247,0	1559,6	1264,5		
t.+s.	T.+S. (g.)	1131,1	1160,4	1421,1	1135,1		
tara	TARA (g.)						
s=(t+s)-t	SUELO (g.)	1131,1	1160,4	1421,1	1135,1		
h=a/s*100	HUMEDAD (%)	5,43	7,46	9,75	11,40		



T. ENSAYO :	MODIFICADO
MOLDE :	2318
MAZA :	4,5 Kg
Nº CAPAS :	5
GOLPES CAPA :	60

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)
2,165

HUMEDAD ÓPTIMA (%)
8,3

MAZA	3110331	BÁSCULA	3020031	ESTUFA	503039
------	----------------	---------	----------------	--------	---------------

OBSERVACIONES partimos de humedad natural + 1%	REALIZADO	REVISADO
	Gemma Victor Beatriz	



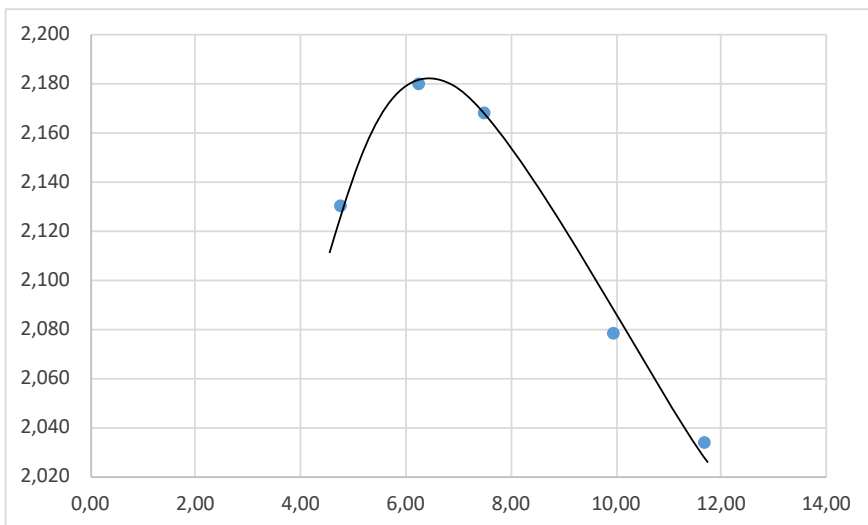
UNIVERSIDAD
DE SALAMANCA

ENSAYO DE COMPACTACIÓN P.M.

NORMA UNE 103-501

OBRA :	ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P	FECHA T.	
TIPO SUELO:	suelo-cemenro con 10%	FECHA E.	16/03/2017
RECOGIDO:	Mularoya		
REF. LABORATORIO:	Laboratorio Facultad		

	punto nº	1 =4%	2=6%	3=8%	4=10%	5=12%	6
t.+s.+a	M.+S.+A (g.)	19752	19949	19983	19876,5	19844	
tara	MOLDE (g.)	14542	14542	14542	14542	14542	
s+a=(t+s+a)-t	S.+A. (g.)	5210	5407	5441	5334,5	5302	
(s+a)*100/(100+h)	SUELO (g.)	4974	5090	5062	4852	4748	
D=S/V	DENSIDAD (g/cm3)	2,130	2,180	2,168	2,078	2,033	
	REF.TARA	RM2	S30	PS2	S31	8	6
a=(t+s+a)-(t+s)	AGUA (g.)	10,4	10,8	12,2	25,9	28,4	
t.+s.+a.	T.+S.+A.(g.)	362,2	296,8	295,6	407,6	402,4	
t.+s.	T.+S. (g.)	351,8	286	283,4	381,7	374	
tara	TARA (g.)	132,8	112,7	120,6	121,1	130,6	
s=(t+s)-t	SUELO (g.)	219,0	173,3	162,8	260,6	243,4	
h=a/s*100	HUMEDAD (%)	4,75	6,23	7,49	9,94	11,67	



T. ENSAYO :	MODIFICADO
MOLDE :	2334,9
MAZA :	4,5 Kg
Nº CAPAS :	5
GOLPES CAPA :	60

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)
2,181

HUMEDAD ÓPTIMA (%)
6,4

MAZA	BÁSCULA	ESTUFA	2001245
------	---------	--------	---------

OBSERVACIONES	REALIZADO	REVISADO
Empezamos con 9 Kg de material (sin cemento) por punto pero como nos sobraba excesivo material, bajamos a 6Kg Usamos un disco espaciador en el molde para cumplir las medidas de la norma En el último punto se notaba excesiva humedad y fue el más complicado de compactar (como barro)	Gemma Edu Beatriz	Jose Angel



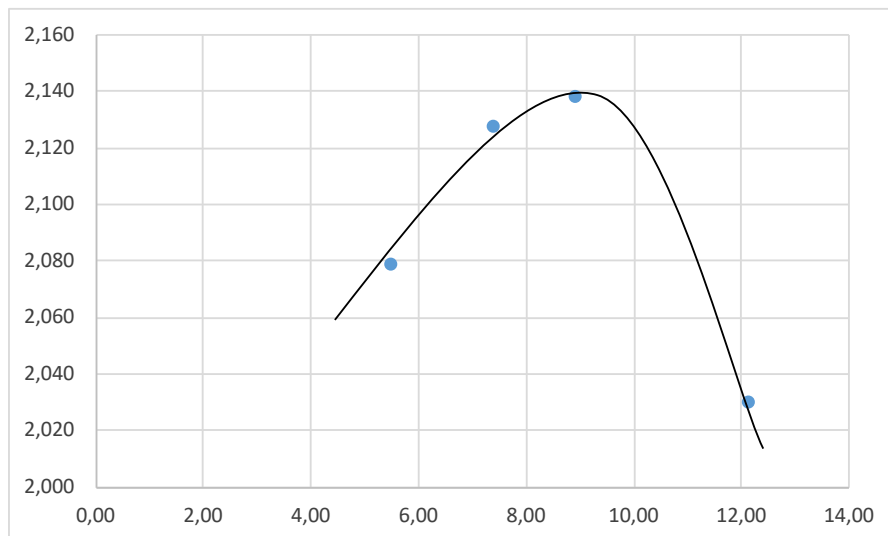
VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

ENSAYO DE COMPACTACIÓN P.M.

NORMA UNE 103-501

OBRA :	ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P	FECHA T.	
TIPO SUELO:	suelo-cemenro con 12%		
RECOGIDO:	Mularroya	FECHA E.	05/04/2017
REF. LABORATORIO:	pas		

	punto nº	1	2	3	4	5	6
t.+s.+a	M.+S.+A (g.)	11711	11923	12026	11903		
tara	MOLDE (g.)	6627	6627	6627	6627		
s+a=(t+s+a)-t	S.+A. (g.)	5084	5296	5399	5276		
(s+a)*100/(100+h)	SUELO (g.)	4819	4932	4957	4705		
D=S/V	DENSIDAD (g/cm3)	2,079	2,128	2,138	2,030		
	REF.TARA	1	2	3	4	5	6
a=(t+s+a)-(t+s)	AGUA (g.)	80,9	112,4	157,8	136		
t.+s.+a.	T.+S.+A.(g.)	1552,8	1633,9	1926,8	1256,6		
t.+s.	T.+S. (g.)	1471,9	1521,5	1769	1120,6		
tara	TARA (g.)	0	0,0	0	0		
s=(t+s)-t	SUELO (g.)	1471,9	1521,5	1769	1120,6		
h=a/s*100	HUMEDAD (%)	5,50	7,39	8,92	12,14		



T. ENSAYO :	MODIFICADO
MOLDE :	2318
MAZA :	4,5 Kg
Nº CAPAS :	5
GOLPES CAPA :	60

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)
2,14

HUMEDAD ÓPTIMA (%)
9

MAZA	3110331	BÁSCULA	3020031	ESTUFA	503039
-------------	----------------	----------------	----------------	---------------	---------------

OBSERVACIONES partimos de humedad natural + 1%	REALIZADO Gemma Victor Beatriz	REVISADO
--	--	-----------------



LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO

NORMA UNE 103.103 / 103.104

OBRA : ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P	FECHA DE TOMA:
TIPO SUELO: CALIZO	FECHA ENSAYO : 28/03/2017
RECOGIDO: MULARROYA	
REF. LABORATORIO: PAS	

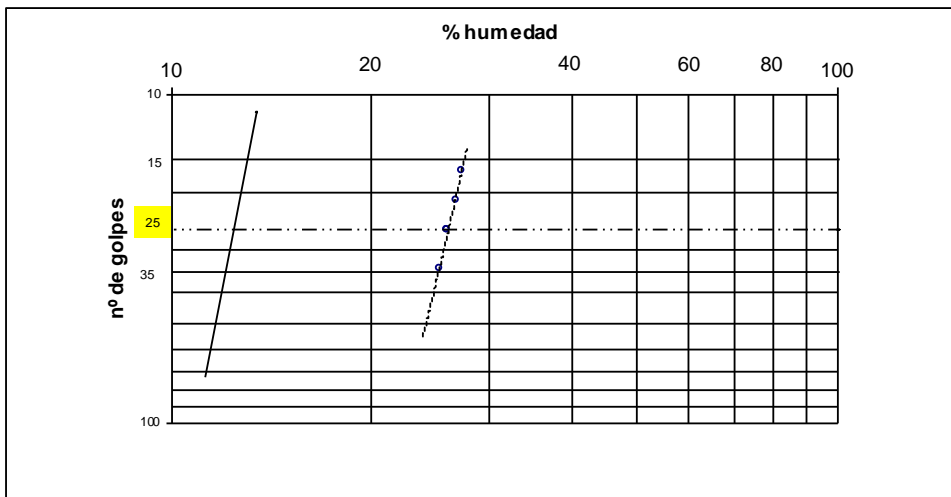
LIMITE LIQUIDO

	Nº DE GOLPES	17	21	26	34		OBSERVACIONES
REF.TARA		12	8	14	6		
a=(t+s+a)-(t+s)	AGUA (g.)	2,425	2,461	2,102	2,432	0	
t.+s.+a	T.+S.+A. (g.)	25,095	29,146	24,441	27,944		
tara+suelo	T.+S. (g.)	22,670	26,685	22,339	25,512		
tara	TARA (g.)	13,800	17,505	14,263	15,921		
s=(t+s)-t	SUELO (g.)	8,870	9,180	8,076	9,591	0,000	
h=(a/s)*100	HUMEDAD (%)	27,34	26,81	26,03	25,36	26,03	
	Nº DE GOLPES	17	21	26	34	26	

LIMITE PLÁSTICO

	REF.TARA	19	17	
a=(t+s+a)-(t+s)	AGUA (g.)	0,594	0,703	0,000
t.+s.+a.	T.+S.+A. (g.)	22,686	23,224	
t.+s.	T+S (g)	22,092	22,521	
tara	TARA (g.)	17,865	17,826	
s=(t+s)-t	SUELO (g.)	4,227	4,695	0,000
h=a/s*100	HUMEDAD (%)	14,05	14,97	#jDIV/0!

LIMITE LIQUIDO	26,3
LIMITE PLASTICO	14,5
IND. PLASTICIDAD	11,8





**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA
ORGÁNICA OXIDABLE EN SUELOS, POR EL MÉTODO
DEL PERMANGANATO POTÁSICO**

UNE 103-204

OBRA: ESTUDIO MECÁNICO DE SUELO CEMENTO A.P **LOCALIZACIÓN:** MULARROYA

FECHA TOMA:

FECHA ENSAYO: 28/03/2017

REF. LABORATORIO: cantera los plantíos

REFERENCIA VALORACIONES	17-036
--------------------------------	--------

FACTOR NORMALIDAD PERMANGANATO K	f	1,0022
---	---	--------

COCIENTE 20 PEMANGANATO K / f	20/f	19,96	cm3(ml)
--------------------------------------	------	-------	---------

FACTOR NORMALIDAD ÁCIDO OXÁLICO	F	1,0008
--	---	--------

COCIENTE 20 ACIDO OX. / F	20/F	19,98	cm3(ml)
----------------------------------	------	-------	---------

DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

GRAMOS DE MUESTRA	VOL. PERMANGANATO	% MATERIA ORGANICA
M	Vp. cm3 (ml.)	% M.O.=(0,1032*Vp*f)/M
0,2563	1,4	0,56
0,2468	1,3	0,54
		0,55

ESTUFA

5030261

BALANZA

3020061



ÁRIDOS TERRONES DE ARCILLA

NORMA UNE 7.133

PLANTA: ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P

TIPO: MULARROYA

FECHA TOMA:

DESTINO: SUELO-CEMENTO

FECHA ENSAYO:

27/03/2017

REF. LABORATORIO: CANTERA LOS PLANTÍOS

INTERVALO		TERRONES DE ARCILLA			
		GRANULOM. % RETENIDO	MASAS (g.)		%
			INICIAL	SIN TERRONES	
1,25	5	19,09	603,7	390,4	35,3
5	10	16,4	518,9	387,3	25,4
10	20	27,04	855,3	762,8	10,8
20	40	19,19	607,2	545	10,2
>	40				0,0

VALOR MEDIO PONDERADO (%)

19,3

BÁSCULA 3020031



RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS ÁRIDOS POR MEDIO DE LA MÁQUINA LOS ANGELES

NLT-149, UNE-EN 1097-2

OBRA: S-C A.P	LOCALIZACIÓN: MULARROYA
FECHA TOMA:	TIPO DE ARIDO : CALIZO + ARCILLAS
FECHA ENSAYO: 04/04/2017	
REF. LABORATORIO:	

NORMA NLT 149/91		
PASA	RETIENE	
25	20	
20	12,5	
12,5	10	
10	6,3	
TOTAL		

NORMA UNE EN 1097-2		X
FRACCION ENSAYO 10-14 (5000+/- 5 g)		
12,5	PASA (Ó)	3.000-3.500 g
11,2	PASA	2.000-1.500 g
PASA 12,5 (Ó)		3097,5
PASA 11,2		
MASA TOTAL		5001

NORMA	NLT	UNE
PESO BOLAS (g.)		4776
PESO MUESTRA (g.)		5001
RETENIDO TAMIZ 1,6 (g.)		3529
PÉRDIDA (g.)		1472,4
% PERDIDA		29,4

**COEFICIENTE DESGASTE
DE LOS ANGELES**

29,4 %

TAMIZADORA	MANUAL	BÁSCULA	3020031
------------	--------	---------	---------

OBSERVACIONES	REALIZADO	REVISADO
MUESTRA SIN LAVAR TERRONES DE ARCILLA ACTUANDO COMO ÁRIDOS		



ARIDOS INDICE DE LAJAS

UNE EN 933-3

OBRA : ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P

LUGAR DE RECOGID MULARROYA

FECHA TOMA :

DESTINO: SUELO-CEMENTO

FECHA ENSAYO : 27/03/2017

REF. LABORATORIO CANTERA LOS PLANTÍOS

		MASA RETENIDA 80 mm (g)	0
MASA INICIAL (Mo) (g)	4.093	MASA QUE PASA 4 mm (g)	0,0
		MASAS RECHAZADAS (Mr) (g)	0

TAMICES CUADRADADOS				TAMICES BARRAS		
INTERVALO		MASA RETENIDA	PASA ACUMULADO	TAMIZ DE BARRAS	MASA QUE PASAS	(%)
RETIENE	PASA	(Ri) (g)	%		(mi) (g)	(mi/Ri)*100
63	80		100,0	40,0		
50	63		100,0	31,5		
40	50		100,0	25,0		
31,5	40	115,9	97,2	20,0	44,3	38
25	31,5		97,2	16,0		
20	25	1.126,9	69,6	12,5	39,3	3,5
16	20		69,6	10,0		
12,5	16	1.142,2	41,7	8,0	69,1	6,0
10	12,5		41,7	6,3		
8	10	744,7	23,5	5,0	48,8	6,6
6,3	8		23,5	4,0		
5	6,3		23,5	3,15		
4	5	962,9	0,0	2,5	48,5	5,0
SUMAS	M1	4.092,6		M2	250,0	
INDICE DE LAJAS GLOBAL					(M2/M1)*100	6

CRITERIO ACEPTACION	$M_0 - (M_1 + M_r) / M_0$	0,00	< 1 %
---------------------	---------------------------	------	-------

BÁSCULA

TAMICES

ESTUFA



ÁRIDOS CARAS DE FRACTURA

NORMA UNE 933-5

PLANTA: ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P

TIPO: MULARROYA

FECHA TOMA:

DESTINO: SUELO-CEMENTO

FECHA ENSAYO: 27/03/2017

REF. LABORATORIO: CANTERA LOS PLANÍOS

INTERVALO		GRANULOMETRIA		TOTALMENTE TRITURADAS		PARCIALMENTE TRITURADAS		TOTALMENTE REDONDEADAS	
		%	MASA (g.)	>90 % triturada		>50 % triturada		>90 % Redondeadas	
		RETENIDO	INICIAL	g	%	g	%	g	%
40	63								
25	40								
20	25	19,7	1126,9	1127	100,0				
12,5	20	18,2	1142,2	1139	99,7			2,9	0,3
8	12,5	11,9	744,7	745	100,0				
4	8	15,3	962,9	962,9	100,0				

Nº DE CARAS DEL ARIDO	3	4	5	6
Nº DE CARAS PARA > 90%	3	4	5	6
Nº DE CARAS PARA > 50%	2	3	3	4

NOTA: No se ha de realizar el ensayo sobre las fracciones que contengan menos del 10 % de masa

VALOR MEDIO PONDERADO (%)

99,9

0,1

% DE PARTICULAS TRITURADAS

99,9

BÁSCULA 3020031



EQUIVALENTE DE ARENA

UNE-EN- 933-8 /12

OBRA:	ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P	LOCALIZACIÓN:	MULARROYA
FECHA TOMA:			
FECHA ENSAYO:	27-3-17		
REF. LABORATORIO:	CANTERA LOS PLANTÍOS		

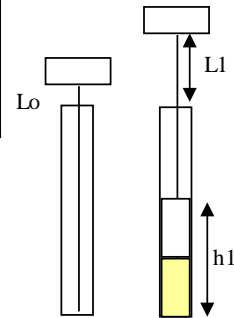
TAMAÑO 0/4 mm (SE₄) TAMAÑO 0/2 mm (SE(10))

Masa inicial 0-2 mm SECA (M1)	1621,9	Masa final 2-0,063 (M2)	796,7
% FINOS	$f = (M2 - M1) / M1 * 100$		50,9 %

Masa inicial HUMEDA (W1)	120	Masa final SECA (W2)	120
HUMEDAD DE LA MUESTRA (%)	w	$(W2 - W1) / M2 * 100$	
CANTIDAD DE MUESTRA (g)	0-4 // FINOS <= 10 %	$(120 * (100 + W)) / 100$	120,0

CORRECCION FINOS Y HUMEDAD (m. original)	M3	$(1200/f) * (1 + w/100)$	23,6
COMPENSACION DE FINOS (2-0,063 lavada)	M4	$120 - (1200/f)$	96,4
CANTIDAD DE MUESTRA (g)	FINOS > 10 %	M3 + M4	120,0

EQUIVALENTE DE ARENA			
PROBETA		1	2
MASA ENSAYO		120	120
LECTURA INICAL LASTRE (cm.)	Lo		
LECTURA ARCILLA (NIVEL SUPERIOR DEL FLOCULADO) (cm)	h1	32	32
LECTURA FINAL LASTRE (cm.)	L1	8,1	8,1
VALOR DE ARENA	$h2 = L1 - Lo$	8,1	8,1
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	$(h2/h1) * 100$	25	25



EQUIVALENTE DE ARENA (%)	25
---------------------------------	-----------



ÍNDICE AZUL DE METILENO

NORMA UNE 933-9

PLANTA/ OBRA: ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P

TIPO: CALIZO

FECHA TOMA:

DESTINO: SUELO-CEMENTO

FECHA ENSAYO:

27/03/2017

REF. LABORATORIO:

CANTERA LOS PLANTIOS

FRACCIÓN 0-2 mm

FRACCIÓN 0-0125 mm

ABSORCIÓN DE LA CAOLINITA

SE AÑADE CAOLINITA

SI

NO

VOLUMEN ABSORBIDO (30+/-0,1 g)

V''

ml

COMPROBACIÓN DE ESPECIFICACIÓN

VALOR DE ESPECIFICACIÓN (g a.m./Kg muestra)

MB

g/Kg

CANTIDAD DE MUESTRA

M1e

g

VOLUMEN DE SOLUCIÓN A EMPLEAR

$V2 = (MB * M1e) / 10 + V''$

ml

CUMPLE ESPECIFICACIÓN

SI

NO

ENSAYO AZUL DE METILENO

MUESTRA HUMEDAD	MASA HUMEDA	30,06	MASA SECA	30,06
	% HUMEDAD	W		
MUESTRA ENSAYO	MASA HUMEDA			30,06
	MASA SECA	M1	30,06	g

VOLUMEN DE SOLUCIÓN AÑADIDO

V1

45

ml

AZUL DE METILENO (g A.M./Kg muestra)

$MB = (V1 - V'') / M1 * 10$

15,0

g/Kg

BÁSCULA 3020081

AGITADOR

12110240



HINCHAMIENTO LIBRE DE UN SUELO

NORMA UNE 103 601

OBRA:	ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P		
TIPO:	CALIZO	FECHA TOMA :	
DESTINO:		FECHA ENSAYO.	30/03/2017
REF. LABORATORIO:	CANTERA LOS PLANTÍOS		

TIPO DE MUESTRA		ENERGIA	P. Normal
INALTERADA	<input type="checkbox"/>	TALLADA	<input checked="" type="checkbox"/>
		REMOLDEADA	
		HUMEDAD	H. OP. P. NORMAL

MASA ANILLO (ma) (g)	97,674
DIAMETRO ANILLO (mm)	71,4
ALTURA MUESTRA (ho) (mm)	20

SUPERFICIE (cm ²)	40,0
VOLUMEN (cm ³)	80,1

SUELO+ANILLO ANTES DE HINUNDAR (mi) (g)	273,347
SUELO+ANILLO DESPUES DE HINUNDAR (mhi) (g)	279,518
SUELO+ANILLO SECO EN ESTUFA (ms) (g)	255,287

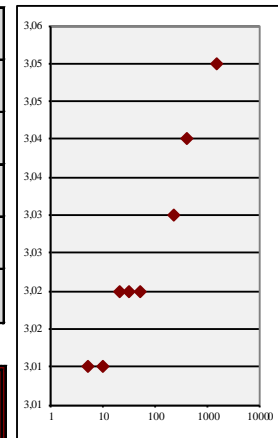
HUMEDAD INICIAL (%)
11,5

HUMEDAD FINAL (%)
15,4

DENSIDAD SECA (g/cm ³)
1,97

MASA PESAS (g)	400	PRESION APLICADA (Kp/cm ²)	0,10
----------------	-----	--	------

LECTURA COMPARADOR INICIAL (hi) (mm)						3,00
T° (m)	5	10	20	30	50	
LECTURA	3,01	3,01	3,02	3,02	3,02	
T° (m)	220	385	1440			
LECTURA	3,03	3,04	3,05			
LECTURA COMPARADOR FINAL (hf) (mm)						3,05



HINCHAMIENTO LIBRE	$(hf-hi) / ho * 100$	0,25
---------------------------	----------------------	-------------



COLAPSO EN SUELOS

NORMA NLT-254

UNE-EN 103406

OBRA: ESTUDIO MECÁNICO SUELO CEMENTO A.P

TIPO: CALIZO **FECHA TOMA :**

DESTINO: **FECHA ENSAYO.** 30/03/2017

REF. LABORATORIO: CANTERA LOS PLANTÍOS

TIPO DE MUESTRA

INALTERADA TALLADA REMOLDEADA

ENERGIA 100% PROCTOR N.

HUMEDAD ÓPTIMA P.N.

MASA ANILLO (ma) (g)	89,524
DIAMETRO ANILLO (mm)	71,4
ALTURA MUESTRA (ho) (mm)	20

SUPERFICIE (cm ²)	40,0
VOLUMEN (cm ³)	80,1

SUELO+ANILO ANTES DE INUNDAR (mi) (g)	251,595
SUELO+ANILO DESPUES DE INUNDAR (mhi) (g)	258,878
SUELO+ANILO SECO EN EST UFA (ms) (g)	235,528

HUMEDAD INICIAL (%)
11,0

HUMEDAD FINAL (%)
16,0

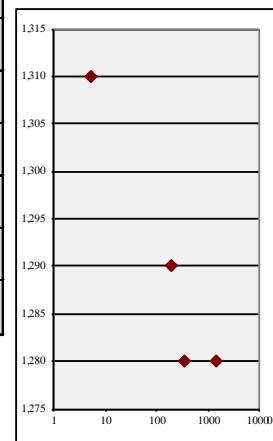
DENSIDAD SECA (g/cm ³)
1,82

MASA PESAS (g) 4000 PRESION APLICADA (Kp/cm²) 1,00

LECTURA COMPARADOR TRAS LA PRECARGA (do)	2,00
LECTURA COMPARADOR TRAS LA CARGA (di)	1,57

T° (m)	5	185	350	1440	
LECTURA	1,310	1,290	1,280	1,280	
T° (m)					
LECTURA					

LECTURA COMPARADOR TRAS INUNDAR (df) (mm)	1,28
---	------



INDICE DE COLAPSO (I)
1,48

POTENCIAL DE COLAPSO (Ic)
1,45

PETICIONARIO: U.T.E. CALDEARENAS – LANAVE.

Nº OBRA: 14OC1106

OBRA: AUTOVÍA A-23. TRAMO: CALDEARENAS – LANAVE. HUESCA.

TRABAJO: 16AV09578-1

MUESTRA: CALD 234. Estudio Suelocemento.

REF. MUESTRA: AE01-PK 0+150-TRT-SC.

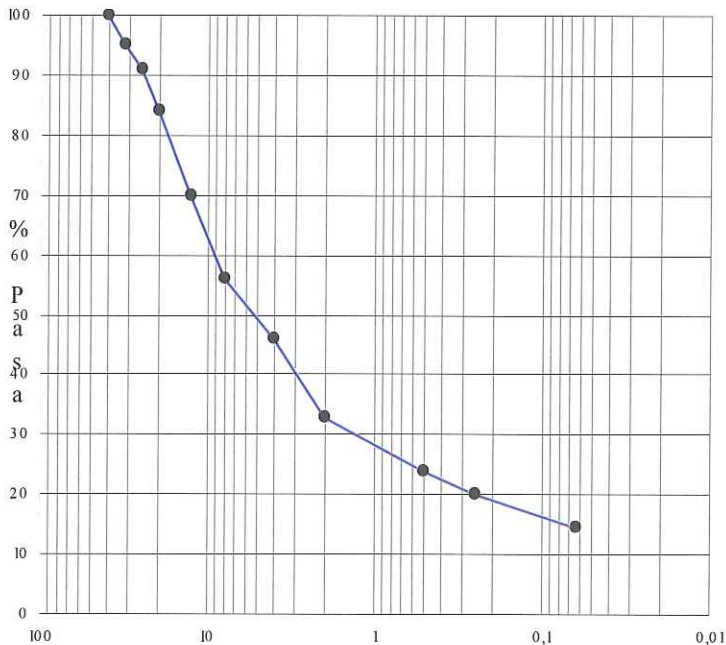
FECHA DE TOMA: 15/11/2016

Antecedentes: El día 15 de Noviembre de 2016 se toma una muestra de suelo triturado para suelocemento, en el acopio del Eje 1, P.k. 0+150, referenciándola como CALD 234 / AE01-PK 0+150-TRT-SC. Con dicha muestra se realizan ensayos para su identificación, y un estudio de resistencias a compresión simple del suelocemento. Se elabora una mezcla de suelocemento que contiene un mínimo de 84 kg de cemento por metro cúbico. El cemento que se utiliza es CEM II / B-M (V-LL) 32,5 N. Se fabrican con la mezcla 3 probetas con compactación según NLT-310. Dichas probetas se conservan individualmente en bolsa tubular de polietileno soldado por sus extremos, que se cierra herméticamente hasta su ensayo a compresión simple conforme NLT 305, a la edad de 7 días.

RESULTADO DE LOS ENSAYOS

A) – SUELO

➤ Análisis granulométrico UNE EN 933-1



TAMIZ UNE	% Pasa
125	
63	
50	
40	100
32	95
25	91
20	84
12,5	70
8	56
4	46
2	33
0,500	24
0,250	20
0,063	14,5

➤ Límites de Atterberg UNE 103 104 y UNE 103 105	
* Límite líquido	18,9
* Límite plástico	14,4
* Índice de plasticidad	4,5
➤ Próctor modificado UNE 103 501	
* Densidad máxima (g/cm ³)	2,28
* Humedad óptima (%)	5,8
➤ Sulfatos solubles en ácido UNE EN 1744-1 (%SO₃)	< 0,0
➤ Contenido total en azufre UNE EN 1744-1. (% SO₃)	< 0,04
➤ Materia orgánica UNE 103 204 (%)	0,1



Los resultados contenidos en este informe solo se refieren a la muestra ensayada.

ENSAYA está inscrita en el registro general del CTE con el nº ARA - L - 005 para los grupos de ensayo GT, VS, PS, EH, EA, EFA.

Los datos contenidos en el presente informe son confidenciales. Prohibida su reproducción parcial sin consentimiento escrito de ENSAYA.

B) - SUELOCEMENTO

Dosificación: 84 kg de cemento/m³.

Referencia	Densidad seca (kg/m ³)	Humedad (%)	Compactación % PM	Resistencia a Compresión Simple NLT 305 (Mpa)
Probeta 1	2,253	5,9	98,8	3,19
Probeta 2	2,246	6,4	98,5	3,09
Probeta 3	2,254	5,9	98,9	3,23
Media	2,251	6,1	98,7	3,2 (3,17)

Referencia	Densidad (kg/m ³)	Cemento (kg/m ³)
Probeta 1	2386,1	84,6
Probeta 1	2390,1	84,3
Probeta 3	2387,3	84,6
Media	2388	84,5

Cuarte de Huerva - Zaragoza, a 1 de Diciembre de 2016.

El jefe del Área



Fdo. Juan José Lizama García
Lcdo. CC. Químicas



VºBº del Director



Fdo. M^a Cinta Tabliega Matute
Lcda. CC. Químicas

ANEXO

BOLETINES DE ENSAYO



PETICIONARIO: U.T.E. CALDEARENAS – LANAVE.

Nº OBRA: 14OC1106

OBRA: AUTOVÍA A-23. TRAMO: CALDEARENAS – LANAVE. HUESCA.

TRABAJO: 16AV09576

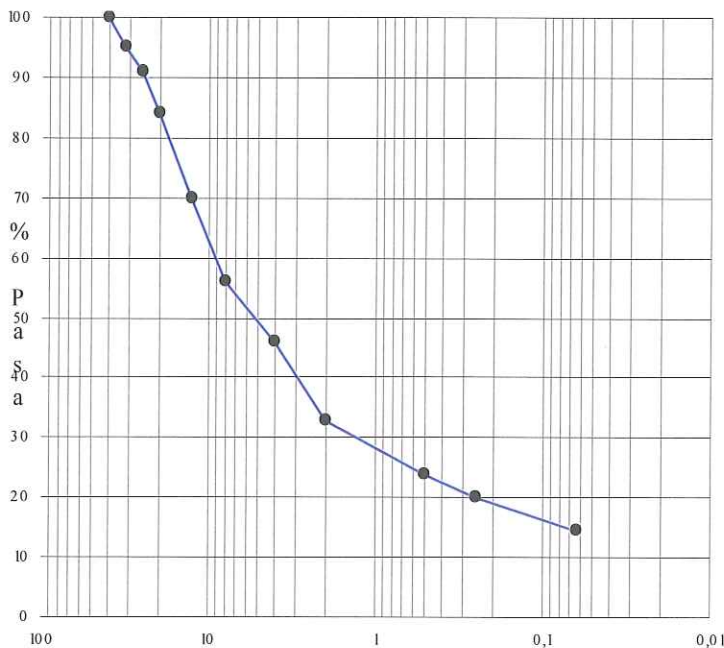
MUESTRA: CALD 234 # Estudio Suelocemento.

REF. MUESTRA: AE01-PK 0+150-TRT-SC.

FECHA DE TOMA: 15/11/2016

RESULTADO DE LOS ENSAYOS

➤ Análisis granulométrico UNE EN 933-1



TAMIZ UNE	% Pasa
125	
63	
50	
40	100
32	95
25	91
20	84
12,5	70
8	56
4	46
2	33
0,500	24
0,250	20
0,063	14,5

➤ Límites de Atterberg UNE 103 104 v UNE 103 105	
* Límite líquido	18,9
* Límite plástico	14,4
* Índice de plasticidad	4,5
➤ Próctor modificado UNE 103 501	
* Densidad máxima (g/cm ³)	2,28
* Humedad óptima (%)	5,8
➤ Sulfatos solubles en ácido UNE EN 1744-1. (% SO₃)	< 0,01
➤ Contenido total en azufre UNE EN 1744-1. (% SO₃)	< 0,01
➤ Materia orgánica UNE 103 204 (%)	0,11

Cuarte de Huerva - Zaragoza, a 24 de Noviembre de 2016.

El jefe del Área

Fdo. Juan José Lizama García
Lcdo. CC. Químicas



VºBº del Director

Fdo. M^{ra} Cinta Tabliega Matute
Lcda. CC. Químicas

PETICIONARIO: U.T.E. CALDEARENAS - LANAVE
OBRA: AUTOVÍA A-23. TRAMO: CALDEARENAS - LANAVE. HUESCA

Nº OBRA: 14OC1106
Nº REF.: 16AV09453

MUESTRA: CALD 234 # AE01-PK 0+150-TRT-SC # Estudio para SC.

FECHA DE TOMA: 15/11/2016

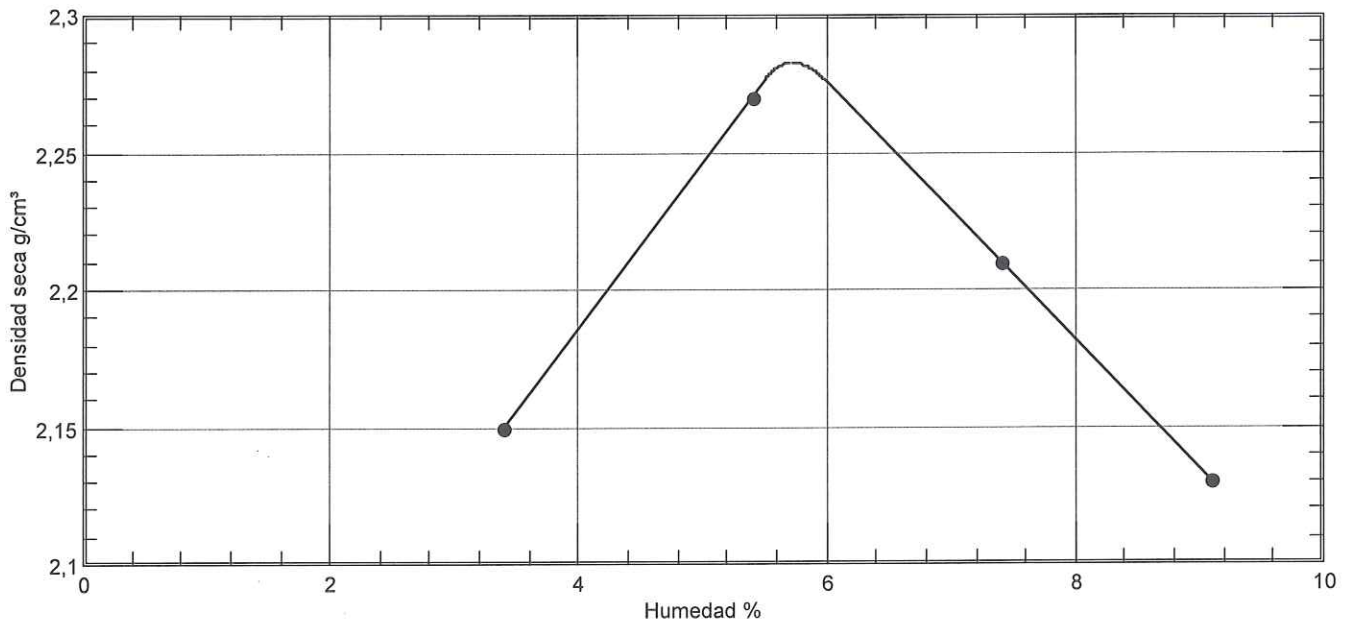
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

Datos Generales

- Norma de ensayo:.....UNE 103501
- Molde empleado:.....2320 cc
- Material empleado:.....
- Material retenido en el tamiz UNE:.....

Gráfico: Humedad - Densidad seca

Puntos ensayados	
Densidad seca g/cm ³	Humedad %
2,15	3,40
2,27	5,40
2,21	7,40
2,13	9,10

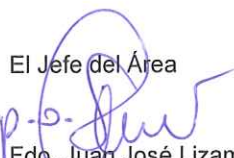


Resultado

- Densidad máxima (g/cm³):.....2,28
- Humedad óptima (%):.....5,80

- Observaciones:

El Jefe del Área


Fdo. Juan José Lizama García
Lcdo. CC. Químicas



Zaragoza, a 17 de noviembre de 2016
VºBº Directora del Laboratorio

Fdo. Mª Cinta Tabliega Matute
Lcda. CC. Químicas

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

FECHA TOMA: 24/07/2014

Dirección:

Empresa Constructora:

Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 1 acopio. Zamora (Zamora)**

Designación de la Muestra: **Suelo**

Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 1**

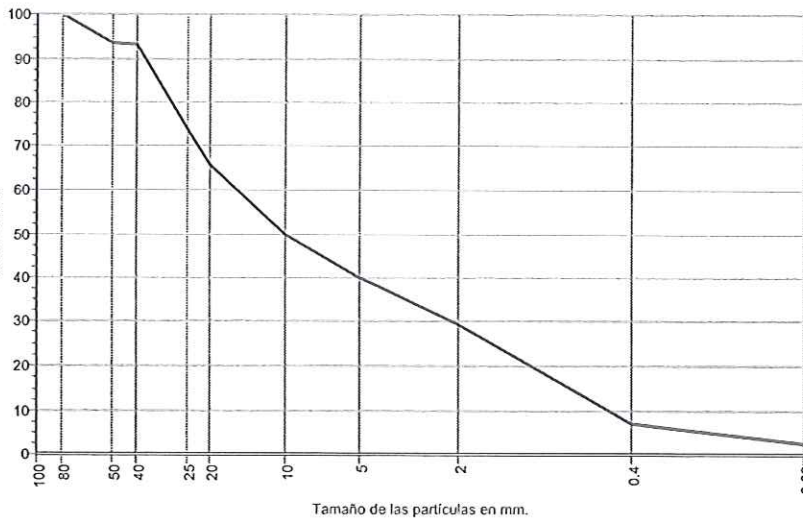
Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 1**

Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**

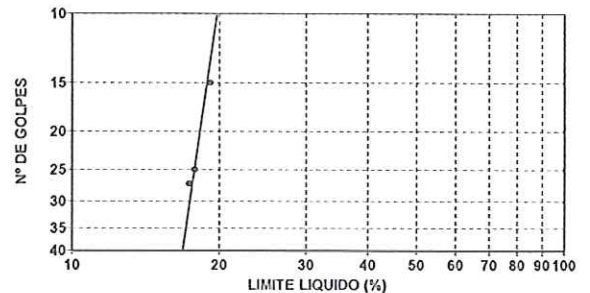
Estado o Tratamiento:

Lugar de Colocación: **Unidad de obra**

Observaciones: **Contraste con euroconsult.**



LÍMITES DE ATTERBERG	
Tipo de cuchara y acanalador	Automática - Hovanyi
Preparación de la Muestra	Por secado y desmenuzado
Agua de amasado	Destilada
LÍMITE LÍQUIDO UNE 103.103/94	17.8
LÍMITE PLÁSTICO UNE 103.104/93	13.8
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	4.0



Serie de Tamices y Husos: **Granulometría de Suelos --**

Tamiz UNE mm.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO S/UNE 103.101,2/95																			
	100	80	50	40	25	20	10	5	2	0.4	0.08									
Cernido Acumulado %	100.0	100.0	93.6	93.0	73.7	65.7	49.9	39.9	29.3	6.9	2.4									

HUMEDAD NATURAL UNE 103.300/93	%	DENS. RELATIVA PARTÍCULAS SUELO UNE 103.302/91	(g/cm³)
EQUIVALENTE DE ARENA UNE-EN 933-8/00		ÍNDICE DE AZUL DE METILENO NLT 171/90	
Tipo de Agitado		COEFICIENTE LIMPIEZA SUPERFICIAL NLT 172/86	%
Agua empleada		CARAS DE FRACTURA NLT 358/90	%
Preparación de la muestra		ÍNDICE DE LAJAS NLT 354/91	
RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN UNE-EN 1097-2/99		Fracción	Ind. Lajas Fracc.
Granulometría	% Desgaste	63-50	20-12.5
ENSAYOS QUÍMICOS		50-40	12.5-10
SALES SOLUBLES NLT 114/99	%	40-25	10-6.3
MATERIA ORGÁNICA UNE 103.204/93	0.13 %	25-20	TOTALES
CARBONATOS UNE 103.200/93	%	CLASIFICACIÓN	
SULFATOS UNE 103.201/96	0.00 %	A.S.T.M.	GW
YESOS NLT 115/99	%	A.A.S.H.T.O. (Ind. Grupo)	A-1-a (0)
PRESENTA SULFATOS UNE 103.202/95	%	PG-3 / 75	
		O.C. 326/00	

Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

Nº de Informe: 122629

FECHA DE EMISIÓN
11-08-2014

1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe lleva un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el nº de orden y el total de sus páginas.

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

FECHA TOMA: **24/07/2014**

Dirección:
Empresa Constructora:
Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 1 acopio. Zamora (Zamora)**
Designación de la Muestra: **Suelo**
Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 1**
Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 1**
Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**
Estado o Tratamiento:
Lugar de Colocación: **Unidad de obra**
Observaciones: **Contraste con euroconsult.**

ENSAYO PROCTOR	NORMAL	MODIFICADO
NORMA UNE	103.500/94	103.501/94
Tipo de maza empleada		Automática
Retenido en el Tamiz 20 mm.		34.3
Sustitución de Material Retenido		SI
Reutilización de Material Ensayado		NO
Energía de Compactación (Jul/cm²)		2.64
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)		2.18
HUMEDAD ÓPTIMA (%)		6.1

ENSAYO C.B.R. EN LABORATORIO UNE 103.502/95						
Condiciones compactación	PROCTOR NORMAL			PROC. MODIFICADO		
Tipo de Maza				Automática		
Método de Amasado				Manual		
Sustitución de Material				SI		
% Energía Proctor	25	50	100	25	50	100
Sobrecarga empleada (Kg)				5.543		
C.B.R.				34.6	47.2	64.1
DENSIDAD (g/cm³)				2.08	2.13	2.18
Índice C.B.R.				64.5		
HUMEDAD (%)				7.2	8.2	6.0
ABSORCIÓN (%)				1.3	2.2	0.3
HINCHAMIENTO (%)				0.1	0.1	0.1

CAMBIO POTENCIAL DE VOLUMEN MÉTODO LAMBE UNE 103.600/96		
Condiciones de compactación	ANTES DE INMERSIÓN	DESPUÉS INMERSIÓN
HUMEDAD (%)		
DENSIDAD (g/cm³)		---
ÍNDICE DE HINCHAMIENTO:		Kp/cm²
CAMB. POTENCIAL DE VOLUMEN Y CLASIFICACIÓN:		

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN NORMAS NLT		
	A. GRUESOS NLT 153/92	A. FINOS NLT 154/92
Dens. Relativa Aparente (gr/cm³)		
Dens. Relativa Aparente s.s.s (gr/cm³)		
Dens. Relativa Real (gr/cm³)		
Absorción en %		
Temp. realización de los ensayos (°C)		

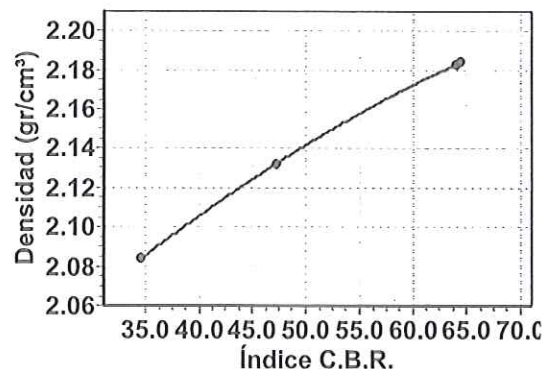
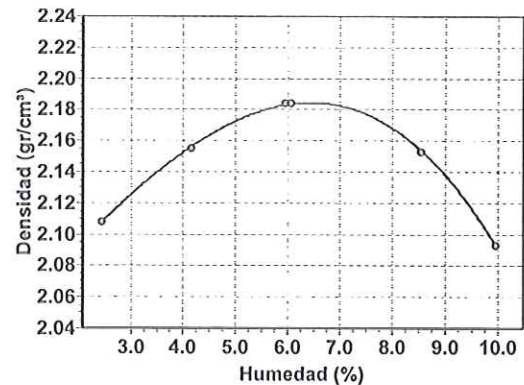
Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

N° de Informe: 122629

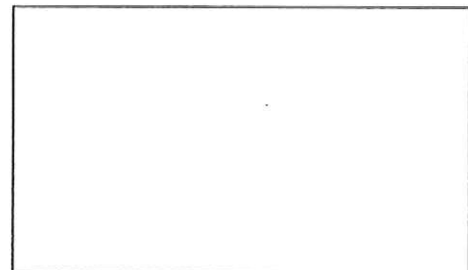
FECHA DE EMISIÓN
11-08-2014



Cambio de Volumen Potencial

Cambio de Volumen Potencial

Índice de Hinchamiento



1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe lleva un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el n° de orden y el total de sus páginas.

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

FECHA TOMA: 24/07/2014

Dirección:

Empresa Constructora:

Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 2 acopio. Zamora (Zamora)**

Designación de la Muestra: **Suelo**

Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 2**

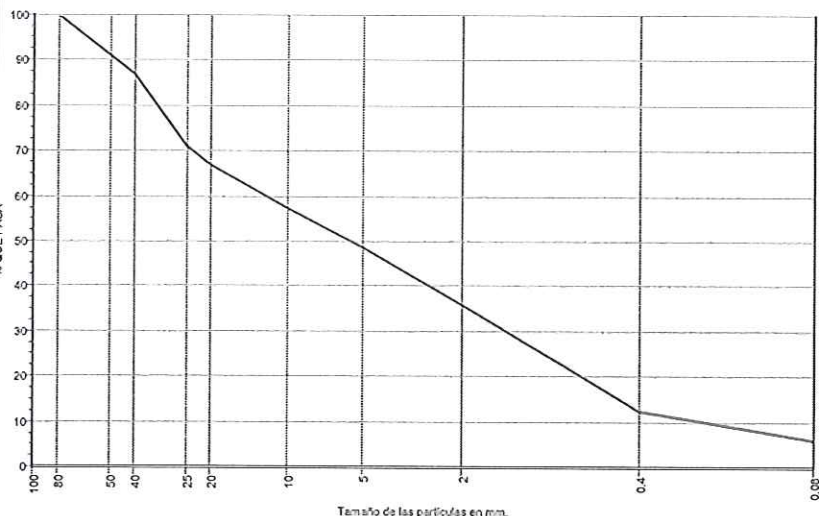
Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 2**

Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**

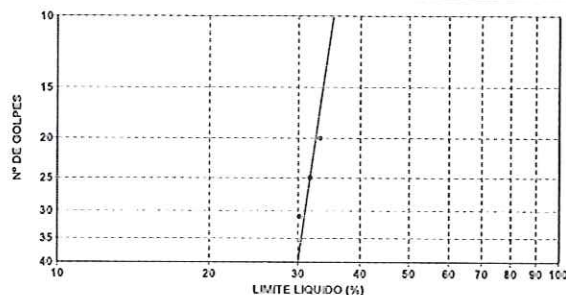
Estado o Tratamiento:

Lugar de Colocación: **Unidad de obra**

Observaciones: **Contraste con euroconsult.**



LÍMITES DE ATTERBERG	
Tipo de cuchara y acanalador	Automática - Casagrande
Preparación de la Muestra	Por secado y desmenuzado
Agua de amasado	Destilada
LÍMITE LÍQUIDO UNE 103.103/94	31,8
LÍMITE PLÁSTICO UNE 103.104/93	15,4
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	16,4



Serie de Tamices y Husos: **Granulometría de Suelos --**

Tamiz UNE mm.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO S/UNE 103.101,2/95										
	100	80	50	40	25	20	10	5	2	0.4	0.08
Cernido Acumulado %	100.0	100.0	91.0	86.8	71.0	67.0	57.2	48.6	36.1	12.5	6.2

HUMEDAD NATURAL UNE 103.300/93	%	DENS. RELATIVA PARTÍCULAS SUELO UNE 103.302/91	(g/cm³)
EQUIVALENTE DE ARENA UNE-EN 933-8/00		ÍNDICE DE AZUL DE METILENO NLT 171/90	
Tipo de Agitado		COEFICIENTE LIMPIEZA SUPERFICIAL NLT 172/86	%
Agua empleada		CARAS DE FRACTURA NLT 358/90	%
Preparación de la muestra			
RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN UNE-EN 1097-2/99		ÍNDICE DE LAJAS NLT 354/91	
Granulometría	% Desgaste	Fracción	Ind. Lajas Fracc.
		63-50	20-12.5
		50-40	12.5-10
		40-25	10-6.3
		25-20	TOTALES
ENSAYOS QUÍMICOS		CLASIFICACIÓN	
SALES SOLUBLES NLT 114/99	%	A.S.T.M.	GP GC
MATERIA ORGÁNICA UNE 103.204/93	0.17 %	A.A.S.H.T.O. (Ind. Grupo)	A-2-6 (0)
CARBONATOS UNE 103.200/93	%	PG-3 / 75	
SULFATOS UNE 103.201/96	0.01 %	O.C. 326/00	
YESOS NLT 115/99	%		
PRESENTA SULFATOS UNE 103.202/95			

Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

IP de informe: 122627

FECHA DE EMISIÓN
11-08-2014

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

FECHA TOMA: **24/07/2014**

Dirección:

Empresa Constructora:

Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 2 acopio. Zamora (Zamora)**

Designación de la Muestra: **Suelo**

Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 2**

Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 2**

Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**

Estado o Tratamiento:

Lugar de Colocación: **Unidad de obra**

Observaciones: **Contraste con euroconsult.**

ENSAYO PROCTOR	NORMAL	MODIFICADO
NORMA UNE	103.500/94	103.501/94
Tipo de maza empleada		Automática
Retenido en el Tamiz 20 mm.		33.0
Sustitución de Material Retenido		SI
Reutilización de Material Ensayado		NO
Energía de Compactación (Jul/cm³)		2.64
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)		2.24
HUMEDAD ÓPTIMA (%)		4.6

ENSAYO C.B.R. EN LABORATORIO UNE 103.502/95						
Condiciones compactación	PROCTOR NORMAL			PROC. MODIFICADO		
Tipo de Maza	Automática					
Método de Amasado	Manual					
Sustitución de Material	SI					
% Energía Proctor	25	50	100	25	50	100
Sobrecarga empleada (Kg)	5.611					
C.B.R.				11.6	65.0	83.0
DENSIDAD (g/cm³)				2.08	2.19	2.24
Índice C.B.R.	82.1					
HUMEDAD (%)				8.2	6.0	5.5
ABSORCIÓN (%)				3.0	1.4	1.0
HINCHAMIENTO (%)				0.2	0.1	0.1

CAMBIO POTENCIAL DE VOLUMEN MÉTODO LAMBE UNE 103.600/96		
Condiciones de compactación		
	ANTES DE INMERSIÓN	DESPUÉS INMERSIÓN
HUMEDAD (%)		
DENSIDAD (g/cm³)		---
ÍNDICE DE HINCHAMIENTO:		Kp/cm²
CAMB. POTENCIAL DE VOLUMEN Y CLASIFICACIÓN:		

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN NORMAS NLT		
	A. GRUESOS NLT 153/92	A. FINOS NLT 154/92
Dens. Relativa Aparente (gr/cm³)		
Dens. Relativa Aparente s.s.s (gr/cm³)		
Dens. Relativa Real (gr/cm³)		
Absorción en %		
Temp. realización de los ensayos (°C)		

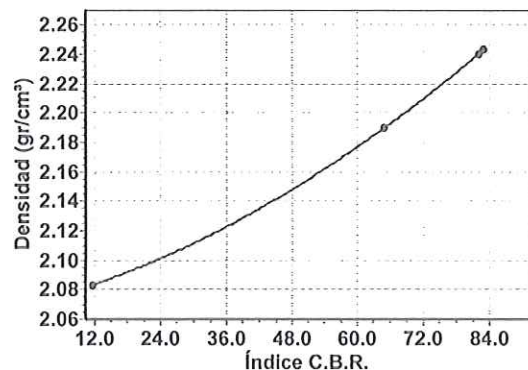
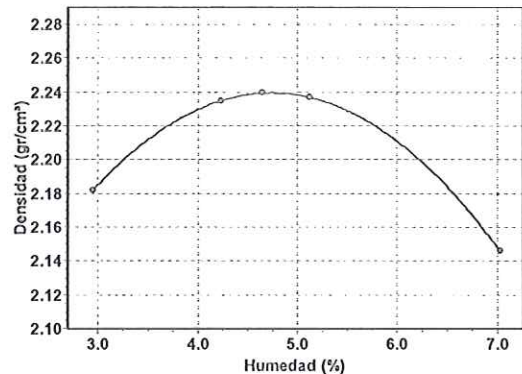
Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

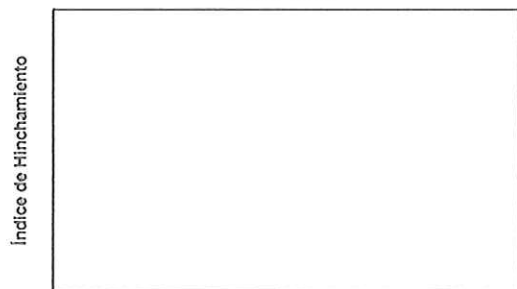
Director del Área
Antonio de Luis Martín

Nº de informe: 122627

FECHA DE EMISIÓN
11-08-2014



Cambio de Volumen Potencial
Cambio de Volumen Potencial





INFORME DE SUELOS

Laboratorio inscrito en el Registro General del CTE como LECCE con el N° CyL-L-002, en el área de actuación de Ensayos de Viales (VS), según el RD 410/2010, de 31 de marzo, con fecha 13 de diciembre de 2010.

Referencia de la Muestra
SU-0358-ZA14

Referencia del Expediente
PSF-120014-ZAZA

Hoja nº 1 de 2

PETICIONARIO: *Zamora UTE (Coprosa - Marco)*

FECHA TOMA: **24/07/2014**

Dirección:

Empresa Constructora:

Título del Proyecto: *LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta*

Lugar de Muestreo: *Prestamo Crta. la Hiniesta cata 3 acopio. Zamora (Zamora)*

Designación de la Muestra: *Suelo*

Refer. del Peticionario: *Capa de forma. cata 3*

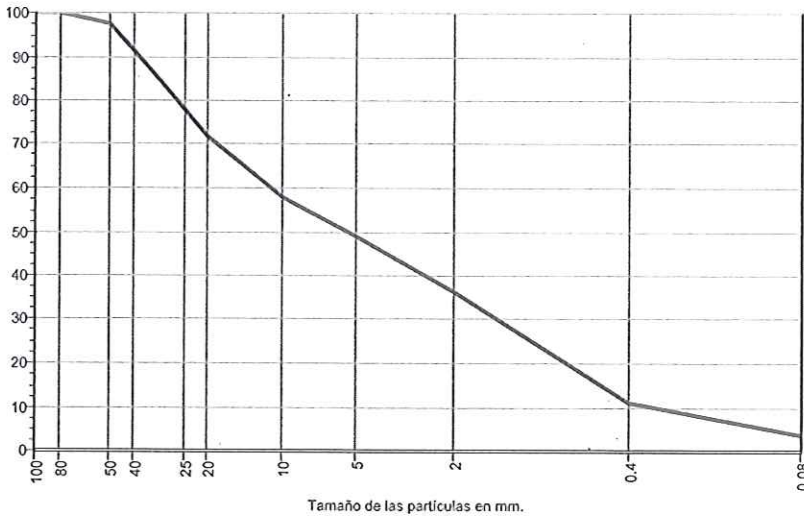
Lugar de Procedencia: *Prestamo Crta. la Hiniesta cata 3*

Forma de Obtención: *Toma de muestras según norma*

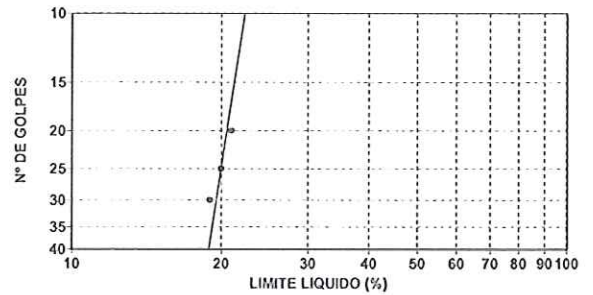
Estado o Tratamiento:

Lugar de Colocación: *Unidad de obra*

Observaciones: *Contraste con euroconsult.*



LÍMITES DE ATTERBERG	
Tipo de cuchara y acanalador	<i>Automática - Hovanyi</i>
Preparación de la Muestra	<i>Por secado y desmenuzado</i>
Agua de amasado	<i>Destilada</i>
LÍMITE LÍQUIDO UNE 103.103/94	20.0
LÍMITE PLÁSTICO UNE 103.104/93	14.0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	6.0



Serie de Tamices y Husos: *Granulometría de Suelos --*

Tamiz UNE mm.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO S/UNE 103.101,2/95										
	100	80	50	40	25	20	10	5	2	0.4	0.08
Cernido Acumulado %	100.0	100.0	97.5	91.5	77.8	72.0	57.9	48.8	36.2	10.9	3.7

HUMEDAD NATURAL UNE 103.300/93	%	DENS. RELATIVA PARTÍCULAS SUELO UNE 103.302/91	(g/cm³)
EQUIVALENTE DE ARENA UNE-EN 933-8/00		ÍNDICE DE AZUL DE METILENO NLT 171/90	
Tipo de Agitado		COEFICIENTE LIMPIEZA SUPERFICIAL NLT 172/86	%
Agua empleada		CARAS DE FRACTURA NLT 358/90	%
Preparación de la muestra			
ENSAYO RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN UNE-EN 1097-2/99		ÍNDICE DE LAJAS NLT 354/91	
Granulometría	% Desgaste	Fracción	Ind. Lajas Fracc.
		63-50	20-12.5
		50-40	12.5-10
		40-25	10-6.3
		25-20	TOTALES
ENSAYOS QUÍMICOS		CLASIFICACIÓN	
SALES SOLUBLES NLT 114/99	%	A.S.T.M.	GP
MATERIA ORGÁNICA UNE 103.204/93	0.21 %	A.A.S.H.T.O. (Ind. Grupo)	A-1-a (0)
CARBONATOS UNE 103.200/93	%	PG-3 / 75	
SULFATOS UNE 103.201/96	0.01 %	O.C. 326/00	
YESOS NLT 115/99	%		
PRESENTA SULFATOS UNE 103.202/95			

Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

Nº de informe: 122628

FECHA DE EMISIÓN
11/08/2014

1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe lleva un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el nº de orden y el total de sus páginas.

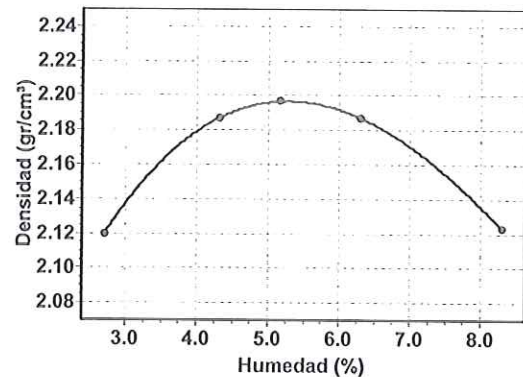
PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

FECHA TOMA: **24/07/2014**

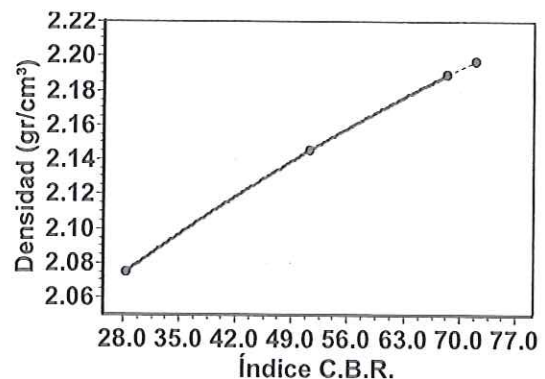
Dirección:
Empresa Constructora:
Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 3 acopio. Zamora (Zamora)**
Designación de la Muestra: **Suelo**
Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 3**
Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 3**
Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**
Estado o Tratamiento:
Lugar de Colocación: **Unidad de obra**
Observaciones: **Contraste con euroconsult.**

ENSAYO PROCTOR	NORMAL	MODIFICADO
NORMA UNE	103.500/94	103.501/94
Tipo de maza empleada		Automática
Retenido en el Tamiz 20 mm.		28.0
Sustitución de Material Retenido		SI
Reutilización de Material Ensayado		NO
Energía de Compactación (Jul/cm³)		2.64
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)		2.20
HUMEDAD ÓPTIMA (%)		5.2



ENSAYO C.B.R. EN LABORATORIO UNE 103.502/95						
Condiciones compactación	PROCTOR NORMAL			PROC. MODIFICADO		
Tipo de Maza				Automática		
Método de Amasado				Manual		
Sustitución de Material				SI		
% Energía Proctor	25	50	100	25	50	100
Sobrecarga empleada (Kg)				5.497		
C.B.R.				28.3	51.2	68.5
DENSIDAD (g/cm³)				2.08	2.15	2.19
Índice C.B.R.				72.0		
HUMEDAD (%)				6.6	6.4	6.2
ABSORCIÓN (%)				1.7	1.2	1.0
HINCHAMIENTO (%)				0.0	0.0	0.0

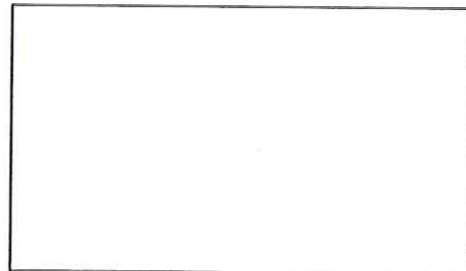


CAMBIO POTENCIAL DE VOLUMEN MÉTODO LAMBÉ UNE 103.600/96		
Condiciones de compactación		
	ANTES DE INMERSIÓN	DESPUÉS INMERSIÓN
HUMEDAD (%)		
DENSIDAD (g/cm³)		---
ÍNDICE DE HINCHAMIENTO:		Kp/cm²
CAMB. POTENCIAL DE VOLUMEN Y CLASIFICACIÓN:		

Cambio de Volumen Potencial

Cambio de Volumen Potencial

Índice de Hinchamiento



PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN NORMAS NLT		
	A. GRUESOS NLT 153/92	A. FINOS NLT 154/92
Dens. Relativa Aparente (gr/cm³)		
Dens. Relativa Aparente s.s.s (gr/cm³)		
Dens. Relativa Real (gr/cm³)		
Absorción en %		
Temp. realización de los ensayos (°C)		

Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Matos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

Nº de Informa: 122628

FECHA DE EMISIÓN
11/08/2014

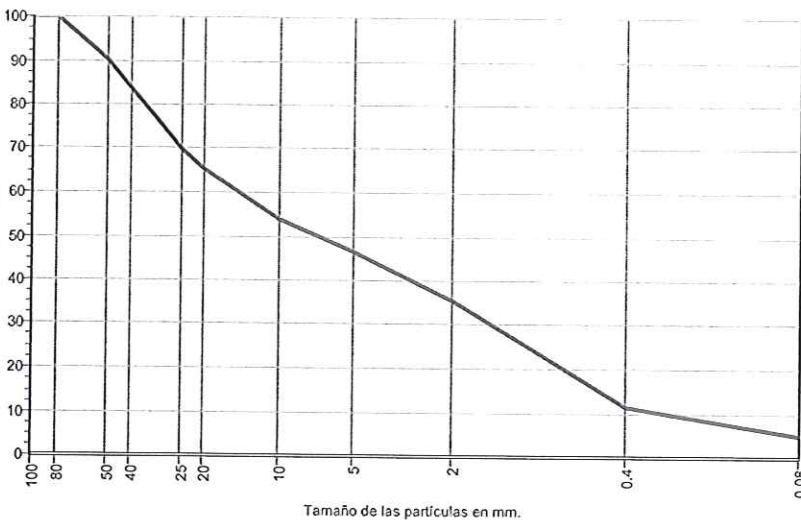
1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe debe tener un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el nº de orden y el total de sus páginas.

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

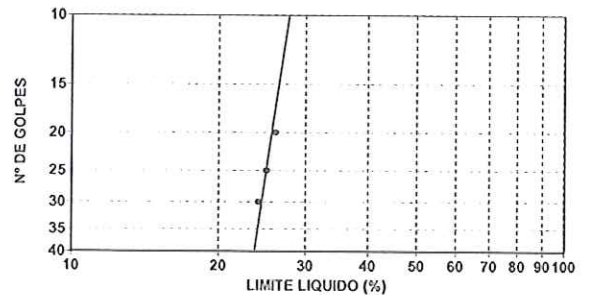
FECHA TOMA: **24/07/2014**

Dirección:
Empresa Constructora:
Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 4 acopio. Zamora (Zamora)**
Designación de la Muestra: **Suelo**
Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 4**
Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 4**
Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**
Estado o Tratamiento:
Lugar de Colocación: **Unidad de obra**
Observaciones: **Contraste con euroconsult.**



LÍMITES DE ATTERBERG	
Tipo de cuchara y acanalador	Automática - Casagrande
Preparación de la Muestra	Por secado y desmenuzado
Agua de amasado	Destilada
LÍMITE LÍQUIDO UNE 103.103/94	25.0
LÍMITE PLÁSTICO UNE 103.104/93	14.3
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10.7



Serie de Tamices y Husos: **Granulometría de Suelos --**

Tamiz UNE mm.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO S/UNE 103.101,2/95										
	100	80	50	40	25	20	10	5	2	0.4	0.08
Cernido Acumulado %	100.0	100.0	90.4	83.7	69.8	65.5	53.8	46.5	35.5	11.5	5.0

HUMEDAD NATURAL UNE 103.300/93	%	DENS. RELATIVA PARTÍCULAS SUELO UNE 103.302/91	(g/cm³)
--------------------------------	---	--	---------

EQUIVALENTE DE ARENA UNE-EN 933-8/00	ÍNDICE DE AZUL DE METILENO NLT 171/90
--------------------------------------	---------------------------------------

Tipo de Agitado	COEFICIENTE LIMPIEZA SUPERFICIAL NLT 172/86	%
-----------------	---	---

Agua empleada	CARAS DE FRACTURA NLT 358/90	%
---------------	------------------------------	---

Preparación de la muestra	ENSAYO RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN UNE-EN 1097-2/99	ÍNDICE DE LAJAS NLT 354/91
---------------------------	--	----------------------------

Granulometría	% Desgaste	Fracción	Ind. Lajas Fracc.	Fracción	Ind. Lajas Fracc.
---------------	------------	----------	-------------------	----------	-------------------

ENSAYOS QUÍMICOS					
------------------	--	--	--	--	--

SALES SOLUBLES NLT 114/99	%	63-50	20-12.5
---------------------------	---	-------	---------

MATERIA ORGÁNICA UNE 103.204/93	0.13 %	50-40	12.5-10
---------------------------------	--------	-------	---------

CARBONATOS UNE 103.200/93	%	40-25	10-6.3
---------------------------	---	-------	--------

SULFATOS UNE 103.201/96	0.01 %	25-20	TOTALES
-------------------------	--------	-------	---------

YESOS NLT 115/99	%	CLASIFICACIÓN	
------------------	---	---------------	--

PRESENTA SULFATOS UNE 103.202/95	%	A.S.T.M.	GP GC
----------------------------------	---	----------	-------

Observaciones:		A.A.S.H.T.O. (Ind. Grupo)	A-2-4 (0)
----------------	--	---------------------------	-----------

Director del Laboratorio Pilar Fernández Mateos	Director del Área Antonio de Luis Martín	PG-3 / 75	
---	--	-----------	--

		O.C. 326/00	
--	--	-------------	--

Nº de informe: 122672

FECHA DE EMISIÓN
13/08/2014

1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe lleva un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el nº de orden y el total de sus páginas.

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

FECHA TOMA: **24/07/2014**

Dirección:

Empresa Constructora:

Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 4 acopio. Zamora (Zamora)**

Designación de la Muestra: **Suelo**

Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 4**

Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 4**

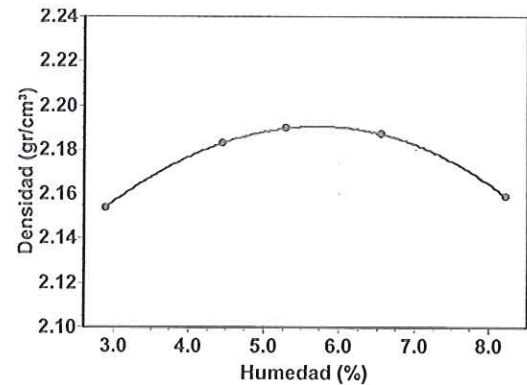
Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**

Estado o Tratamiento:

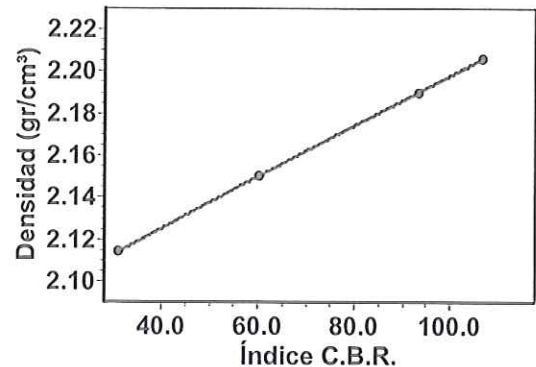
Lugar de Colocación: **Unidad de obra**

Observaciones: **Contraste con euroconsult.**

ENSAYO PROCTOR	NORMAL	MODIFICADO
NORMA UNE	103.500/94	103.501/94
Tipo de maza empleada		Automática
Retenido en el Tamiz 20 mm.		34.5
Sustitución de Material Retenido		SI
Reutilización de Material Ensayado		NO
Energía de Compactación (Jul/cm³)		2.64
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)		2.19
HUMEDAD ÓPTIMA (%)		5.3



ENSAYO C.B.R. EN LABORATORIO UNE 103.502/95						
Condiciones compactación	PROCTOR NORMAL			PROC. MODIFICADO		
Tipo de Maza	Automática					
Método de Amasado	Manual					
Sustitución de Material	SI					
% Energía Proctor	25	50	100	25	50	100
Sobrecarga empleada (Kg)	5.553					
C.B.R.				31.2	60.2	106.9
DENSIDAD (g/cm³)				2.11	2.15	2.21
Índice C.B.R.	93.3					
HUMEDAD (%)				6.8	6.2	5.4
ABSORCIÓN (%)				1.9	1.3	0.5
HINCHAMIENTO (%)				0.0	0.1	0.1



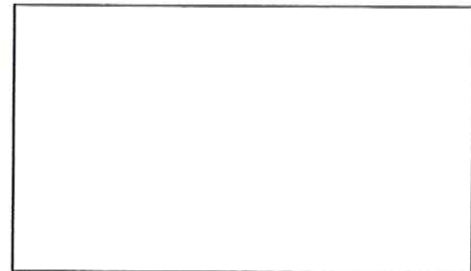
CAMBIO POTENCIAL DE VOLUMEN MÉTODO LAMBE UNE 103.600/96		
Condiciones de compactación		
	ANTES DE INMERSIÓN	DESPUÉS INMERSIÓN
HUMEDAD (%)		
DENSIDAD (g/cm³)		---
ÍNDICE DE HINCHAMIENTO:		Kp/cm²
CAMB. POTENCIAL DE VOLUMEN Y CLASIFICACIÓN:		

Cambio de Volumen Potencial

Cambio de Volumen Potencial

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN NORMAS NLT		
	A. GRUESOS NLT 153/92	A. FINOS NLT 154/92
Dens. Relativa Aparente (gr/cm³)		
Dens. Relativa Aparente s.s.s (gr/cm³)		
Dens. Relativa Real (gr/cm³)		
Absorción en %		
Temp. realización de los ensayos (°C)		

Índice de Hinchamiento



Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

Nº de Informe: 122672

FECHA DE EMISIÓN
13/08/2014

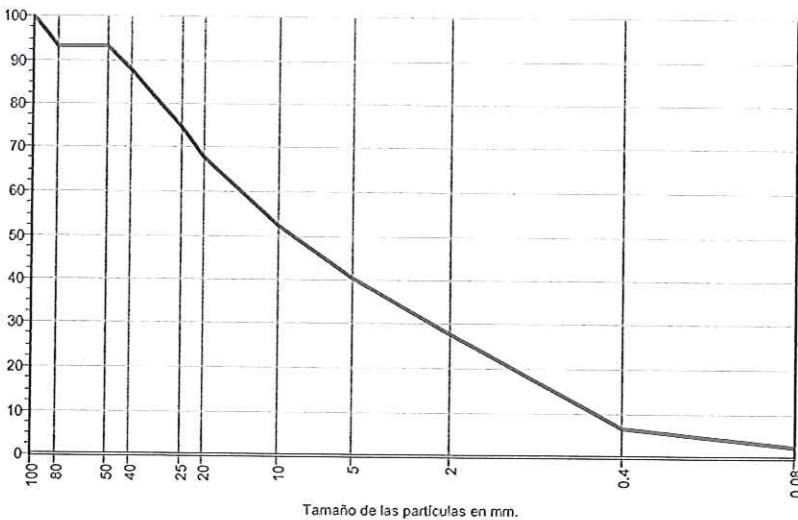
1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe lleva un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el nº de orden y el total de sus páginas.

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

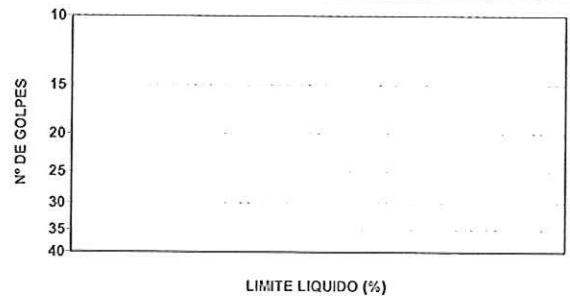
FECHA TOMA: **24/07/2014**

Dirección:
Empresa Constructora:
Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 5 acopio. Zamora (Zamora)**
Designación de la Muestra: **Suelo**
Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 5**
Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 5**
Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**
Estado o Tratamiento:
Lugar de Colocación: **Unidad de obra**
Observaciones: **Contraste con euroconsult.**



LÍMITES DE ATTERBERG	
Tipo de cuchara y acanalador	
Preparación de la Muestra	
Agua de amasado	
LÍMITE LÍQUIDO UNE 103.103/94	
LÍMITE PLÁSTICO UNE 103.104/93	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	NO PLASTICO



Serie de Tamices y Husos: **Granulometría de Suelos --**

Tamiz UNE mm.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO S/UNE 103.101,2/95										
	100	80	50	40	25	20	10	5	2	0.4	0.08
Cernido Acumulado %	100.0	93.1	93.1	87.8	74.5	67.6	52.2	40.6	27.8	6.7	2.4

HUMEDAD NATURAL UNE 103.300/93	%	DENS. RELATIVA PARTÍCULAS SUELO UNE 103.302/91	(g/cm ³)
--------------------------------	---	--	----------------------

EQUIVALENTE DE ARENA UNE-EN 933-8/00	ÍNDICE DE AZUL DE METILENO NLT 171/90
--------------------------------------	---------------------------------------

Tipo de Agitado	COEFICIENTE LIMPIEZA SUPERFICIAL NLT 172/86	%
-----------------	---	---

Agua empleada	CARAS DE FRACTURA NLT 358/90	%
---------------	------------------------------	---

Preparación de la muestra	ENSAYO RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN UNE-EN 1097-2/99	ÍNDICE DE LAJAS NLT 354/91
---------------------------	--	----------------------------

Granulometría	% Desgaste	Fracción	Ind. Lajas Fracc.	Fracción	Ind. Lajas Fracc.
		63-50		20-12.5	
		50-40		12.5-10	
		40-25		10-6.3	
		25-20		TOTALES	

ENSAYOS QUÍMICOS	
SALES SOLUBLES NLT 114/99	%
MATERIA ORGÁNICA UNE 103.204/93	0.26 %
CARBONATOS UNE 103.200/93	%
SULFATOS UNE 103.201/96	0.00 %
YESOS NLT 115/99	%
PRESENTA SULFATOS UNE 103.202/95	

CLASIFICACIÓN	A.S.T.M.	GW
	A.A.S.H.T.O. (Ind. Grupo)	A-1-a (1)
	PG-3 / 75	
	O.C. 326/00	

Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

N° de informe: 122677

FECHA DE EMISIÓN
13/08/2014

1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe lleva un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el n° de orden y el total de sus páginas.

PETICIONARIO: **Zamora UTE (Coprosa - Marco)**

FECHA TOMA: **24/07/2014**

Dirección:
Empresa Constructora:
Título del Proyecto: **LAV Subtramo: Zamora- La Hiniesta**

Lugar de Muestreo: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 5 acopio. Zamora (Zamora)**
Designación de la Muestra: **Suelo**
Refer. del Peticionario: **Capa de forma. cata 5**
Lugar de Procedencia: **Prestamo Crta. la Hiniesta cata 5**
Forma de Obtención: **Toma de muestras según norma**
Estado o Tratamiento:
Lugar de Colocación: **Unidad de obra**
Observaciones: **Contraste con euroconsult.**

ENSAYO PROCTOR	NORMAL	MODIFICADO
NORMA UNE	103.500/94	103.501/94
Tipo de maza empleada		Automática
Retenido en el Tamiz 20 mm.		32.4
Sustitución de Material Retenido		SI
Reutilización de Material Ensayado		NO
Energía de Compactación (Jul/cm³)		2.64
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)		2.17
HUMEDAD ÓPTIMA (%)		5.6

ENSAYO C.B.R. EN LABORATORIO UNE 103.502/95						
Condiciones compactación	PROCTOR NORMAL			PROC. MODIFICADO		
Tipo de Maza				Automática		
Método de Amasado				Manual		
Sustitución de Material				SI		
% Energía Proctor	25	50	100	25	50	100
Sobrecarga empleada (Kg)				5.511		
C.B.R.				48.0	57.3	69.7
DENSIDAD (g/cm³)				2.07	2.12	2.20
Índice C.B.R.				65.0		
HUMEDAD (%)				6.8	5.8	5.8
ABSORCIÓN (%)				1.5	0.8	0.3
HINCHAMIENTO (%)				0.0	0.1	0.0

CAMBIO POTENCIAL DE VOLUMEN MÉTODO LAMBE UNE 103.600/96		
Condiciones de compactación		
	ANTES DE INMERSIÓN	DESPUÉS INMERSIÓN
HUMEDAD (%)		
DENSIDAD (g/cm³)		---
ÍNDICE DE HINCHAMIENTO:	Kp/cm²	
CAMB. POTENCIAL DE VOLUMEN Y CLASIFICACIÓN:		

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN NORMAS NLT		
	A. GRUESOS NLT 153/92	A. FINOS NLT 154/92
Dens. Relativa Aparente (gr/cm³)		
Dens. Relativa Aparente s.s.s (gr/cm³)		
Dens. Relativa Real (gr/cm³)		
Absorción en %		
Temp. realización de los ensayos (°C)		

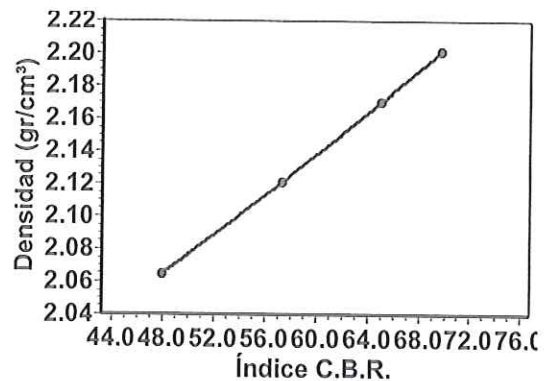
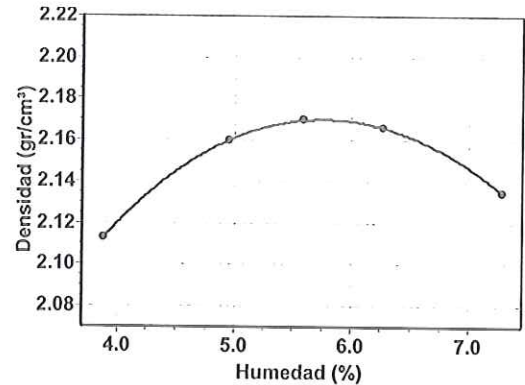
Observaciones:

Director del Laboratorio
Pilar Fernández Mateos

Director del Área
Antonio de Luis Martín

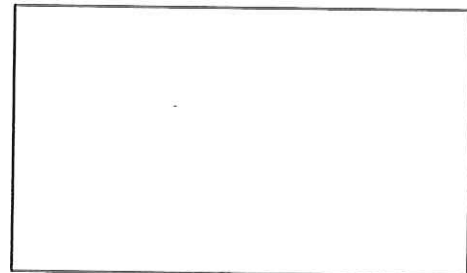
Nº de informe: 122677

FECHA DE EMISIÓN
13/08/2014



Cambio de Volumen Potencial
Cambio de Volumen Potencial

Índice de Hinchamiento



1) Este informe contiene los resultados obtenidos en los ensayos a los que se han sometido las muestras, por lo que esta información concierne al material presentado, no pudiéndose extrapolar al producto en general.
2) No se facilitará información alguna del presente informe a terceros salvo imperativo legal o autorización por escrito del Peticionario, siendo toda la información de carácter particular y estrictamente confidencial.
3) Queda totalmente prohibida la publicación y/o reproducción del presente informe sin la aprobación y autorización escrita de este laboratorio. En caso de autorizarse, sólo serán válidas las reproducciones íntegras del mismo, para lo cual el informe lleva un número identificativo en todas sus páginas y cada página está numerada con el nº de orden y el total de sus páginas.

Productor : GARRAF
Gravas : M-0/40

Cliente : AUTOCONTROL

Laboratorio	LABORATORIO PROMSA Ctra. N-340 Km 1242.3 Aptdo. nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA
Muestra nº I-B8039001	sacados el 06/02/2018
Clase de áridos	0/40 mm
Origen	Acopio Áridos
Modo	Conforme
Tiempo	Caliza
Zona	Barcelona y otros
Destino	LABORATORIO PROMSA
Hecho por	imarquez
Referencia	EN 13242:2002+A1:2007 Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglome : 0/40 Rechazo ANUAL (04/
Observaciones internas	
Observaciones	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	U	Norma
Índice de Plasticidad (IP)		0.50			UNE 103-104-94
Límite Líquido		17.00			
Límite Plástico		16.50			



Maria ELIAS (Técnico Calidad)

Jordi ALTET (Director Calidad)

TFG. SC + Polímers
Dia: 25/01/2018 **SC** Curat a la cambra

Volum Amassada: 36 Kg **Prov:** 4 provetes

ASSAJOS A REALITZAR

Humitat
 Coef. dels àngels
 Resistència Compressió (3 provetes a 7 dies)

CODIFICACIÓ

M-0/40Rebuig Garraf: 6-B8016001

Component	SC-40			SC-40			SC-40		
	Kg/T	Kg	%Add	Kg/T	Kg	%Add	Kg/T	Kg	%Add
M-0/40 Rebuig Garraf	920	33,12		900	32,40		880	31,68	
Aigua	40	1,37		40	1,37		70	2,39	
Ciment II/B-L 32,5 R	30	1,080		50	1,800		70	2,520	
Referència	G-058			G-059			G-060		

RESULTATS

	G-058	G-059	G-060
Pes Humit (g)	1947,4	1548,7	1611,3
Pes sec (g)	1844	1486	1495
% Humitat	5,61 %	4,22 %	7,78 %
Pes probeta 1 (Kg)	4,88	5,00	5,44
Pes probeta 2 (Kg)	4,92	4,70	5,58
Pes probeta 3 (Kg)	4,80	4,96	5,54
Pes probeta 4 (Kg)	4,94	4,98	5,48

	Pes	Força	Resistència
	Kg	Tf	Kgf/cm ²
G-058	4,92	3,87	21,9
	4,80	6,19	35,0
	4,94	8,83	50,0
G-059	5,00	9,04	51,2
	4,70	5,79	32,8
	4,98	7,82	44,3
G-060	5,44	20,95	118,6
	5,58	32,01	181,2
	5,54	29,64	167,7

	Compactat seg			Compactat seg			Compactat seg		
Resis.Comp 7 dies (MPa)	2,15	3,43	4,90	5,02	3,22	4,34	11,63	17,76	16,44
	3,49			4,19			15,28		
Resis.Comp 7 dies (MPa) 48h submergida	2,15			4,34			11,63		

	G-058	G-059	G-060
Pes prob.(Kg)	4,88	4,96	5,48
C.Àngels (g)	425	2367	4489

TFG. SC + Polimers



Dia: 26/01/2018 **SC** Curat a la cambra

Volum Amassada: 36 Kg **Prov:** 4 provetes

ASSAJOS A REALITZAR

Humitat
Coef. dels àngels
Resistència Compressió (3 provetes a 7 dies)

CODIFICACIÓ

M-0/40Rebuig Garraf: 6-B8016001

Component	SC-40			SC-40			SC-40		
	Kg/T	Kg	%Add	Kg/T	Kg	%Add	Kg/T	Kg	%Add
M-0/40 Rebuig Garraf	920	30,00		920	30,00		920	30,00	
Aigua	70	2,16		70	2,16		70	2,16	
Ciment II/B-L 32,5 R	30	0,900		30	0,900		30	0,900	
Polímer		0,150			0,300			0,600	
Referència	G-061			G-062			G-063		

Dilució amb l'aigua

RESULTATS

	G-061	G-062	G-063
Pes Humit (g)	1678	1700	2029
Pes sec (g)	1550	1567	1851
% Humitat	8,26 %	8,49 %	9,62 %
Pes probeta1 (Kg)	5,14	5,38	5,34
Pes probeta 2 (Kg)	5,08	4,70	5,32
Pes probeta 3 (Kg)	5,26	5,46	5,38
Pes probeta 4 (Kg)	5,14	4,84	5,46

	Pes Kg	Força Tf	Resistència Kgf/cm ²
G-061	5,14	2,39	13,5
	5,08	2,67	15,1
	5,26	1,27	7,2
G-062	5,38	3,15	17,8
	4,70	Trencada en precarga	
G-063	5,46	2,32	13,1
	5,32	2,26	12,8
	5,38	2,26	12,8
	5,46	1,3	7,6

	Compactat seg			Compactat seg			Compactat seg		
Resis.Comp 7 dies (MPa)	1,32	1,48	0,71	0,53	-	1,28	1,25	1,25	0,75
	1,17			0,91			1,08		
Resis.Comp 7 dies (MPa) 48h submergida	0,71			Trencada en precarga			0,75		

	G-061	G-062	G-063
Pes prob.(Kg)	5,14	4,84	5,34
C.Àngels (g)	0	0	0

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Departamento de Construcción y Agronomía

Proyecto Suelo Cemento de Altas Prestaciones



VNIVERSIDAD
DSALAMANCA



Documento de calibración de prensa

Anejo III



CALIBRACIÓN

N.º 55/LC10.034

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Certificate of calibration

Número: 61589

Number.

INFORME DE CALIBRACION.

Calibration report.

NUMERO DE PAGINAS Y ANEXOS: 11 páginas

Number of pages and attached documents

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL

Calle Luis Vives 13-15
Polígono industrial CODEIN
Fuenlabrada
28946 MADRID
tf: 916153105 fax: 916153115

TCC S.L.

OBJETO : Máquina de ensayos (UNE-EN 12390-4)
Item

MARCA : SDE
Mark

MODELO : CME-200/SDC
Model

IDENTIFICACIÓN : 4350
Identification

SOLICITANTE : PROMSA
Applicant
Ctra. N-340, km.1242,3, nº 2 al 38
08620 Sant Vicent dels Horts (Barcelona)

FECHA/S DE CALIBRACIÓN: 26-10-2017
Date/s of calibration

NUMERO DE EXPEDIENTE: 17-1104
Expedient number

Signatario/s autorizado/s :
Authorized signatory/ies

FECHA DE EMISIÓN: 02-11-2017
Date of issue


Carlos A. Correa Pardo



jefe de Laboratorio

Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC, que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales. ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Este certificado NO podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC, which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national standards. ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC). This certificate may NOT be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.

LAB. CALIBRACION Nº 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

NUMERO DE CALIBRACION: 61589

NUMERO DE EXPEDIENTE : 17-1104

FECHA DE RECEPCION :

FECHA DE EXPEDICION : 02-11-2017

CERTIFICADO DE CALIBRACION.

1/ INSTRUMENTO CALIBRADO:

Máquina de ensayos hidráulica de 2000 kN de capacidad, marca SDE, modelo CME-200/SDC, número de serie 4350. La máquina dispone de un equipo de medida y control digital de la fuerza. La transmisión de la fuerza al equipo de medida se realiza a través de un captador de presión.

2/ CONDICIONES DE CALIBRACION:

Fecha de calibración : 26-10-2017

Temperatura inicial : 24,7 °C Temperatura final : 24,2 °C

Humedad relativa ambiente: 51,7 %

No se ha aplicado ninguna corrección por temperatura

3/ LUGAR DE CALIBRACION:

PROMSA

Ctra. N-340, km.1242,3, nº 2 al 38

08620 Sant Vicent dels Horts (Barcelona)

4/ CONEXIONADO DEL INDICADOR:



LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

NUMERO DE CALIBRACION: 61589

NUMERO DE EXPEDIENTE : 17-1104

Medios o métodos utilizados en la calibración

Puente de medida patrón:

Configuración:

Fabricante/marca:	HBM	Unidad de medida:	kN
Modelo	: ML38	Canal de medida	: 1
N° de serie	: 801055146	Filtro	: 0,25 Hz
Código	: C0.094	Resolución	: 0,01 kN/////
Certificado	:	T. Alimentación	: 5 V

Transductor de fuerza patrón:

Capacid: 3000 kN	Capacid: 100 t	Capacid: 200 kN
F/marca: MICROTEST	F/marca: MICROTEST	F/marca: HBM
Modelo : PCC 300	Modelo : PCI 1000 kN	Modelo : Z4/200 kN
N°serie: G30001	N°serie: F10012	N°serie: 054930053
Código : C0.022	Código : C0.021C	Código : C0.046C
Certif.: CF2017022-1C	Certif.: CF2017022-2C	Certif.: 170585001-2C/T
F.calibr: 18-08-2017	F.calibr: 08-09-2017	F.calibr: 30-03-2017
Clase : 1	Clase : 1-0.5	Clase : 00
R.usado: 1000-2500 kN	R.usado: 0-1000 kN	R.usado: 0-200 kN

Termohigrómetro:

Fabricante : TESTO
Modelo : 174 H
N° de serie: 36663745
Código : C0.104
Fecha cal. : 28-06-2017
Certificado: 17-LCM-36407

Elementos auxiliares:

Compresión:

Botón de carga: Si
Descripción :

Tracción:

Descripción :



LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

NUMERO DE CALIBRACION: 61589

NUMERO DE EXPEDIENTE : 17-1104

5/ PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION:

La calibración ha sido realizada en base al procedimiento específico PEC/TCC/08 rev. 1, mayo 2015, que es conforme a la norma UNE-EN 12390-4 anexo B.

Los equipos patrones empleados han sido calibrados según la norma UNE-EN ISO376:2011. Los datos referentes a los equipos patrones empleados en la calibración están a disposición por si desea consultarlos.

6/ DESVIACIONES AL PROCEDIMIENTO:

7/ INCERTIDUMBRE:

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medida por el factor de cobertura $k = 2$, que para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado de acuerdo con el doc. EA-4/02 M:2013. Inc. patrón: 0.063 % .

8/ ETIQUETADO:

Se ha colocado sobre el instrumento calibrado la pertinente etiqueta de calibración ENAC, junto a una de este laboratorio emisor de certificados.

9/ RESULTADOS DE LA CALIBRACION:

Todos los resultados obtenidos de la calibración, han sido detallados en las siguientes hojas de este certificado, correspondientes a los datos y resultados de cada escala calibrada. En ellas se encuentra asimismo la calificación de clase otorgada en cada escala respectivamente.

En Fuenlabrada a 02-11-2017. Firma autorizada:

Carlos A. Correa Pardo

jefe de Laboratorio



Los resultados reflejados en el certificado se refieren exclusivamente al equipo calibrado en si, cuya identificación se reseña en la página 1 de este informe; y a las condiciones específicas en que ha sido comprobado, indicadas por las normas citadas en el certificado.

La reproducción de este documento se autoriza únicamente en caso de reproducirlo completo. Este documento consta de un total de 11 páginas.

LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

NUMERO DE CALIBRACION: 61589

NUMERO DE EXPEDIENTE : 17-1104

CÁLCULO DEL ERROR RELATIVO DE EXACTITUD q(%)

Fi: fuerza mostrada por el indicador de fuerza de la máquina de ensayos
 q: error relativo de exactitud del sistema de medida de fuerza de la máquina de ensayos

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100$$

\bar{F} : media aritmética de las distintas medidas de F, para un mismo escalón de fuerza

CÁLCULO DEL ERROR RELATIVO DE REPETIBILIDAD b(%)

b: error relativo de repetibilidad del sistema de medida de fuerza de la máquina de ensayos

$$b = \frac{F_{max} - F_{min}}{\bar{F}} \times 100$$

Fmax, Fmin: valores máximo y mínimo de F para un mismo escalón de fuerza

CÁLCULO DEL ERROR RELATIVO DE RESOLUCIÓN a(%)

a: resolución relativa del indicador de fuerza de la máquina de ensayos
 r: resolución del indicador de fuerza de la máquina de ensayos
 F: fuerza real indicada por el instrumento de medida de fuerza, para valores de fuerza crecientes

$$a = \frac{r}{F} \times 100$$

10/ INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA DE FUERZA

Para la evaluación de las incertidumbres se han tenido en cuenta las siguientes contribuciones: repetibilidad (b), resolución (a), cero (fo), y patrón de transferencia (Ucal). Como el error de exactitud, como margen de error conocido, normalmente no se corrige durante la calibración, si se cumple con las especificaciones de clasificación del sistema de medida de fuerzas, el intervalo razonable donde se encontrará el error relativo estimado, E, es E=q±U, donde q es el error relativo de exactitud y U la incertidumbre expandida.

10.1/ CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA (uc) E INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (U), EXPRESADAS EN

Incetidumbre Expandida (U)

k: factor de cobertura
 uc: incertidumbre combinada
 ui a un: incertidumbres típicas correspondientes (resolución, repetibilidad, patrón de transferencia)

$$U = k \times uc = k \times \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2}$$

Error relativo estimado (E)

q: error relativo de exactitud
 U: incertidumbre expandida

$$E = q \pm U$$

Fuerza media generada (F)

$$F = F_i - \frac{F_i}{100} (q \pm U)$$



LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

N° DE CALIBRACION : 61589 N° DE EXPEDIENTE : 17-1104
Escala calibrada : **200 tf** Sentido de la fuerza : Compresión
 Carga mínima : 0 tf Valor inicial de cero: 0 tf
 Resolución de lectura : 0,01 tf Resolución del patrón: 0,001 tf

Fuerza (máquina) (tf)		Fuerza real (patrón) (x) (tf)				Media (tf)
Fi	F1 0°	F2 120°	F3 240°	F4 360°	Fm	
0 tf	+0,000	+0,000	+0,000		+0,000	
20 tf	+20,088	+20,100	+20,090		+20,093	
40 tf	+40,174	+40,204	+40,185		+40,188	
80 tf	+80,359	+80,402	+80,381		+80,381	
120 tf	+120,774	+120,818	+120,792		+120,795	
160 tf	+161,003	+161,116	+161,074		+161,064	
200 tf	+201,220	+201,418	+201,322		+201,320	
0 tf	+0,000	+0,000	+0,000		+0,000	

Errores relativos de cero f0 (%)

0°	120°	240°	360°
+0,00 %	+0,00 %	+0,00 %	

f0: error relativo de cero del sistema de medida de fuerza de la máquina de ensayos
 Fi0: indicación residual del indicador de fuerza del la máquina de ensayos
 FN: alcance máximo de la escala de medida del indicador de fuerza de la máquina de ensayos

$$f0 = \frac{Fi0}{FN} \times 100$$

Errores relativos de repetibilidad b (en %), y precisión q (en %) :

Lect.Instr.	E.repetibil.	E.Precisión	Resol.Relat.
(tf)	b (%)	q (%)	a (%)
20 tf	0,06 %	-0,46 %	0,05 %
40 tf	0,07 %	-0,47 %	0,02 %
80 tf	0,05 %	-0,47 %	0,01 %
120 tf	0,04 %	-0,66 %	0,01 %
160 tf	0,07 %	-0,66 %	0,01 %
200 tf	0,10 %	-0,66 %	0,00 %



(Los errores relativos de repetibilidad, precisión, cero, y resolución relativa, han sido convenientemente redondeados a 0,01%).

La reproducción de este documento se autoriza únicamente en caso de reproducirlo completo.
 Este documento consta de un total de 11 páginas.

LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

N° DE CALIBRACION : 61589 N° DE EXPEDIENTE : 17-1104
Escala calibrada : **200 tf** Sentido de la fuerza : Compresión
 Carga mínima : 0 tf Valor inicial de cero: 0 tf
 Resolución de lectura : 0,01 tf Resolución del patrón: 0,001 tf

Fuerza (máquina) (tf)	Fuerza real (patrón) (x) (N)				Media (N)
	Fi	F1	F2	F3	
	0°	120°	240°	360°	
0 tf	+0	+0	+0		+0
20 tf	+196996	+197114	+197016		+197045
40 tf	+393972	+394267	+394080		+394110
80 tf	+788053	+788474	+788268		+788268
120 tf	+1184388	+1184820	+1184565		+1184594
160 tf	+1578900	+1580008	+1579597		+1579498
200 tf	+1973294	+1975236	+1974295		+1974275
0 tf	+0	+0	+0		+0

Errores relativos de cero f0 (%)

0°	120°	240°	360°
+0,00 %	+0,00 %	+0,00 %	

(Los errores relativos de repetibilidad, precisión, cero, y resolución relativa, se han redondeado convenientemente a 0,01 %).

Errores relativos de repetibilidad b (en %), y precisión q (en %) :

Lect.Instr.	E.repetibil.	E.Precisión	Resol.Relat.
(tf)	b (%)	q (%)	a (%)
20 tf	0,06 %	-0,46 %	0,05 %
40 tf	0,07 %	-0,47 %	0,02 %
80 tf	0,05 %	-0,47 %	0,01 %
120 tf	0,04 %	-0,66 %	0,01 %
160 tf	0,07 %	-0,66 %	0,01 %
200 tf	0,10 %	-0,66 %	0,00 %



LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

N° DE CALIBRACION : 61589 N° DE EXPEDIENTE : 17-1104
Escala calibrada : 20 tf Sentido de la fuerza : Compresión
 Carga mínima : 0 tf Valor inicial de cero: 0 tf
 Resolución de lectura : 0,01 tf Resolución del patrón: 0,001 tf

Fuerza (máquina) (tf) Fi	Fuerza real (patrón) (x) (tf)				Media (tf) Fm
	F1 0°	F2 120°	F3 240°	F4 360°	
0 tf	+0,000	+0,000	+0,000		+0,000
4 tf	+4,018	+4,022	+4,025		+4,022
8 tf	+8,034	+8,044	+8,040		+8,039
12 tf	+12,051	+12,064	+12,057		+12,057
16 tf	+16,072	+16,087	+16,081		+16,080
20 tf	+20,095	+20,105	+20,102		+20,101
0 tf	+0,000	+0,000	+0,000		+0,000

Errores relativos de cero f0 (%)
 0° 120° 240° 360°
 +0,00 % +0,00 % +0,00 %

f0: error relativo de cero del sistema de medida de fuerza de la máquina de ensayos
 Fi0: indicación residual del indicador de fuerza de la máquina de ensayos
 FN: alcance máximo de la escala de medida del indicador de fuerza de la máquina de ensayos:

$$f0 = \frac{Fi0}{FN} \times 100$$

Errores relativos de repetibilidad b (en %), y precisión q (en %) :

Lect.Instr. E.repetibil. E.Precisión Resol.Relat.

(tf)	b (%)	q (%)	a (%)
4 tf	0,17 %	-0,54 %	0,25 %
8 tf	0,12 %	-0,49 %	0,13 %
12 tf	0,11 %	-0,48 %	0,08 %
16 tf	0,09 %	-0,50 %	0,06 %
20 tf	0,05 %	-0,50 %	0,05 %



(Los errores relativos de repetibilidad, precisión, cero, y resolución relativa, han sido convenientemente redondeados a 0,01%).

La reproducción de este documento se autoriza únicamente en caso de reproducirlo completo.
 Este documento consta de un total de 11 páginas.

LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

N° DE CALIBRACION : 61589 N° DE EXPEDIENTE : 17-1104
Escala calibrada : **20 tf** Sentido de la fuerza : Compresión
 Carga mínima : 0 tf Valor inicial de cero: 0 tf
 Resolución de lectura : 0,01 tf Resolución del patrón: 0,001 tf

Fuerza (máquina) (tf)	Fuerza real (patrón) (x)				Media (N)
	Fi	F1	F2	F3	
	0°	120°	240°	360°	
0 tf	+0	+0	+0		+0
4 tf	+39403	+39442	+39472		+39442
8 tf	+78787	+78885	+78845		+78836
12 tf	+118180	+118307	+118239		+118239
16 tf	+157612	+157760	+157701		+157691
20 tf	+197065	+197163	+197133		+197123
0 tf	+0	+0	+0		+0

Errores relativos de cero f0 (%)

0°	120°	240°	360°
+0,00 %	+0,00 %	+0,00 %	

(Los errores relativos de repetibilidad, precisión, cero, y resolución relativa, se han redondeado convenientemente a 0,01 %).

Errores relativos de repetibilidad b (en %), y precisión q (en %) :

Lect.Instr. E.repetibil. E.Precisión Resol.Relat.

(tf)	b (%)	q (%)	a (%)
4 tf	0,17 %	-0,54 %	0,25 %
8 tf	0,12 %	-0,49 %	0,13 %
12 tf	0,11 %	-0,48 %	0,08 %
16 tf	0,09 %	-0,50 %	0,06 %
20 tf	0,05 %	-0,50 %	0,05 %



LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

NUMERO DE CALIBRACION: 61589

NUMERO DE EXPEDIENTE : 17-1104

11/ CLASIFICACIÓN

Teniendo en cuenta las características del sistema de medida de fuerza, los valores de error obtenidos y las incertidumbres en las fuerzas de calibración, el rango de clasificación de la máquina de ensayo según UNE-EN 12390-4 anexo B.

Valores característicos del sistema de medida de fuerza según UNE-EN 12390-4 anexo B

Clase de la escala de la máquina	precisión q	Valor máximo permitido (%) Error relativo de:		resolución relativa a
		repetibilidad b	cero f0	
1	1	1	0,2	0,5
2	2	2	0,4	1
3	3	3	0,6	1,5

Por lo tanto:

Escala de: 200 tf

Sentido: Compresión

Clase: 1

Fi	U	Error relativo estimado
tf	%	$E(\%) = (q \pm U)$
20 tf	1,00	-0,46 % \pm 1,00
40 tf	1,00	-0,47 % \pm 1,00
80 tf	1,00	-0,47 % \pm 1,00
120 tf	1,00	-0,66 % \pm 1,00
160 tf	1,00	-0,66 % \pm 1,00
200 tf	1,00	-0,66 % \pm 1,00



LAB. CALIBRACION N° 55/LC10.034

TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN Y CONTROL, S.L

NUMERO DE CALIBRACION: 61589

NUMERO DE EXPEDIENTE : 17-1104

Escala de: 20 tf

Sentido: Compresión

Clase: 1

Fi		U	Error relativo estimado
tf		%	$E(\%) = (q \pm U)$
4 tf		1,00	-0,54 % \pm 1,00
8 tf		1,00	-0,49 % \pm 1,00
12 tf		1,00	-0,48 % \pm 1,00
16 tf		1,00	-0,50 % \pm 1,00
20 tf		1,00	-0,50 % \pm 1,00

T.C.C., S.L.
Técnicas de Calibración y Control
(Laboratorio) Tel. 91 615 31 05



Fichas técnicas de los productos adicionados

MATEC AP

Aditivo conglomerante de alta actividad para estabilización de terrenos.

Campo de aplicación

MATEC AP es un aditivo conglomerante para estabilización de terrenos, para aplicaciones en terrenos con poca capacidad portante, donde se demande una estabilización de las partículas sueltas y una elevación del CBR. Su excelente poder conglomerante e impermeabilizante mejora, en todos los aspectos, cualquier camino peatonal, carriles bici, o vías con baja intensidad de tráfico. Muy adecuado para su utilización en obra civil para estabilización de terraplenes.

Consultar con el Departamento Técnico cualquier aplicación no prevista en esta relación.

Propiedades

- Excelente poder conglomerante.
- Mejora la impermeabilidad y durabilidad de la vía.
- Se puede utilizar mezclándolo con cementos y cales.
- Bajo contenido en álcalis
- Aumenta las resistencias del terreno.

Modo de utilización

MATEC AP se adiciona al agua con un porcentaje de disolución del 60%: por cada litro de agua adicionamos 600 gramos de MATEC AP.

Dotación.

La dotación habitual de MATEC AP, en seco, es de 0,75 Kg/m² (1,25 litros/m²)

Es decir, disolveremos 0,75 Kg en 1,25 litros de agua y, con la disolución resultante, se podrá tratar 1 m² de terreno; o lo que es igual, disolveremos 3 Kg de MATEC AP en 5 litros de agua y, con la disolución resultante, se podrán tratar 4 m² de terreno.

Uso de cada tipo de MATEC AP, dependiendo de las características del terreno.

	Límite Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)	Tipo de partícula
MATEC AP 19	LL<20	Cualquiera	Limos con gravas
	50>LL>20	IP< 6	
MATEC AP 20	50>LL>20	15 ≥ IP ≥ 6	Limos arcillosos
	LL>50		
MATEC AP 21	LL>50	IP >15	Cualquier tipo de arcillas

Esta es una tabla orientativa. Su información se basa en conocimientos técnicos obtenidos en nuestros laboratorios y por nuestros técnicos

NOTA:

La presente ficha técnica, al igual que todas las recomendaciones e información técnica, es únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e información de los mismos se basan en los conocimientos técnicos obtenidos en nuestros laboratorios y por nuestros técnicos. La dosificación del producto que figura en esta ficha, se basa en nuestra experiencia, por lo que es susceptible de variación debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones deberán de ser determinadas por nuestros técnicos, mediante ensayos y por cada una de las obras en las que se utilice.

Durabilidad de MATEC AP

ALTA PLUVIOMETRÍA				
TIPO DE TRÁFICO	LIGERO BAJA INTENSIDAD	LIGERO ALTA INTENSIDAD	PESADO BAJA INTENSIDAD	PESADO ALTA INTENSIDAD
CAMINO SIN MATEC AP	1 año	6 meses	6 meses	3 meses
CAMINO CON MATEC AP	3 años	2 años	2 años	1 año

BAJA PLUVIOMETRÍA				
TIPO DE TRÁFICO	LIGERO BAJA INTENSIDAD	LIGERO ALTA INTENSIDAD	PESADO BAJA INTENSIDAD	PESADO ALTA INTENSIDAD
CAMINO SIN MATEC AP	2 años	1 año	1 año	6 meses
CAMINO CON MATEC AP	4 años	3 años	3 años	2 años
Esta es una tabla orientativa. Su información se basa en conocimientos técnicos obtenidos en nuestros laboratorios y por nuestros técnicos.				

Limpieza de herramientas

Los equipos y herramientas sucias de MATEC AP pueden limpiarse simplemente con agua.

Presentación

MATEC AP se presenta en Big Bags de 500 kg.

Condiciones de almacenamiento/ Tiempo de conservación

Almacenar en sus envases originales herméticamente cerrados y protegidos de temperaturas extremas y de la humedad. Evitar su congelación.

Almacenado correctamente, MATEC AP puede conservarse hasta 8 meses.

Manipulación y transporte

Para su manipulación deberán observarse las medidas preventivas usuales para el manejo de productos químicos, por ejemplo: usar gafas y guantes. Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo. No comer, beber y fumar durante la aplicación.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final.

Para más información, consultar la Hoja de seguridad del producto.

NOTA:

La presente ficha técnica, al igual que todas las recomendaciones e información técnica, es únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e información de los mismos se basan en los conocimientos técnicos obtenidos en nuestros laboratorios y por nuestros técnicos. La dosificación del producto que figura en esta ficha, se basa en nuestra experiencia, por lo que es susceptible de variación debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones deberán de ser determinadas por nuestros técnicos, mediante ensayos y por cada una de las obras en las que se utilice.

Hay que tener en cuenta

- Se recomienda la realización de ensayos previos a la utilización del producto.
- No emplear dosificaciones inferiores ni superiores a las recomendadas sin previa consulta con nuestro Departamento Técnico.
- Consultar la compatibilidad entre aditivos antes de su utilización.

Propiedades	
Función principal:	Conglomerante
Aspecto físico:	Polvo marrón.
Contenido de cenizas	30, 40 %
Temperatura mínima para formación de capa	5 ° C.
Temperatura óptima de trabajo	20° C.
pH	+/- 6 (en disolución)
Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados.	

Para un asesoramiento adicional, nuestro servicio técnico, está a su disposición.

Ecolumen Applied MATEC-Q, S.L. se reserva el derecho a modificar sus productos si las características de las obras así lo requirieran, siempre y cuando sigan cumpliendo las características de la ficha técnica.

Otorgamos garantía de nuestros productos en caso de defectos en la calidad de fabricación, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo tan solo nuestra responsabilidad reingresar el valor de la mercancía suministrada.

Debe de tenerse en cuenta las reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.

Edición 10/11/2015

La presente ficha pierde toda validez con la aparición de una nueva versión.

NOTA:

La presente ficha técnica, al igual que todas las recomendaciones e información técnica, es únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e información de los mismos se basan en los conocimientos técnicos obtenidos en nuestros laboratorios y por nuestros técnicos. La dosificación del producto que figura en esta ficha, se basa en nuestra experiencia, por lo que es susceptible de variación debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones deberán de ser determinadas por nuestros técnicos, mediante ensayos y por cada una de las obras en las que se utilice.

MATEC-Q

Laboratorio:

Carretera del Pla de Santa María nº 285. Nave 9.
Valls (Tarragona). CP 43800. España.

Oficinas:

C/ San Vicente Mártir nº16. Piso 4. Pta. 2
Valencia CP 46003. España.

info@matec-q.es
www.matec-q.com

NOTA:

La presente ficha técnica, al igual que todas las recomendaciones e información técnica, es únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e información de los mismos se basan en los conocimientos técnicos obtenidos en nuestros laboratorios y por nuestros técnicos. La dosificación del producto que figura en esta ficha, se basa en nuestra experiencia, por lo que es susceptible de variación debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones deberán de ser determinadas por nuestros técnicos, mediante ensayos y por cada una de las obras en las que se utilice.

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA.

1.1. Identificador del producto

Nombre del producto: MATEC AP.

1.2. Número de registro REACH.

Este producto es una mezcla y, por lo tanto, no está directamente sujeto a los requisitos de registro bajo REACH.

1.3. Usos específicos.

Uso industrial.

1.4. Fabricante, importador, proveedor.

Ecolumn Applied MATEC-Q, S.L.

C/ Nicolás Estevanez nº 32.

Valencia CP 46018

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS.

2.1. Clasificación de acuerdo con el Reglamento 1272/2008/CE (CLP).

Sustancia o preparación no peligrosa según Reglamento 1272/2008/CE.

2.2. Clasificación y etiquetado según la Directiva 1999/45/CE o 67/548/EWG

Este producto no está clasificado como peligroso de acuerdo con la Directiva 1999/45/CE y sus enmiendas.

Indicación de peligro

No es una sustancia o una preparación peligrosa de acuerdo con la Directiva 1999/45/CE

Declaraciones de peligro

Deben observarse las precauciones habituales en la manipulación de productos químicos.

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES.

Sustancia/preparado : Ester acrílico en disolución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

4. PRIMEROS AUXILIOS.

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Contacto con los ojos : Enjuagar los ojos inmediatamente con mucha agua, levantando ocasionalmente los párpados superior e inferior. Verificar si la víctima lleva lentes de contacto y en este caso, retirárselas. Continúe enjuagando por lo menos durante 10 minutos. Procurar atención médica.

Inhalación : Obtenga atención médica si se presentan síntomas.

Contacto con la piel : Lave con agua abundante la piel contaminada. Quítese la ropa y calzado contaminados. Obtenga atención médica si se presentan síntomas.

Ingestión : No inducir al vómito a menos que lo indique expresamente el personal médico. Asegure una buena circulación de aire. Buscar inmediatamente ayuda médica.

Protección del personal de primeros auxilios : No debe realizarse acción alguna que suponga un riesgo personal o sin una formación adecuada.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

Efectos agudos potenciales para la salud

Contacto con los ojos : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Inhalación : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Contacto con la piel : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Ingestión : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Signos/síntomas de sobreexposición

Contacto con los ojos : Ningún dato específico.

Inhalación : Ningún dato específico.

Contacto con la piel : Ningún dato específico.

Ingestión : Ningún dato específico.

4.3. Indicación de cualquier atención médica inmediata o tratamiento especial necesitados.

Notas para el médico : Tratar sintomáticamente. Contactar un especialista en tratamientos de envenenamientos inmediatamente si se ha ingerido o inhalado una gran cantidad.

Tratamientos específicos : No hay un tratamiento específico.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS.

5.1. Medios de extinción.

Medios de extinción adecuados : Use un agente de extinción adecuado para el incendio circundante.

Medios de extinción no adecuados : No se conoce ninguno.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla.

Peligros derivados de la sustancia o la mezcla : La presión puede aumentar y el contenedor puede explotar en caso de calentamiento o incendio.

Productos de descomposición térmica peligrosos : Los productos de descomposición pueden incluir los siguientes materiales:
dióxido de carbono
monóxido de carbono
óxido/óxidos metálico/metálicos

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios.

Medidas especiales que deben tomar los equipos de lucha contra incendios : Los bomberos deben llevar equipo de protección apropiado y un equipo de respiración autónomo con una

máscara facial completa que opere en modo de presión positiva. Las prendas para bomberos (incluidos cascos, guantes y botas de protección) conformes a la norma europea EN 469 proporcionan un nivel básico de protección en caso de incidente químico.

6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL .

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia.

Para personal de no emergencia

: No debe realizarse acción alguna que suponga un riesgo personal o sin una formación adecuada. Evacuar los alrededores. No deje que entre el personal innecesario y sin protección. No toque o camine sobre el material derramado. Llevar puestos equipos de protección individual adecuados.

Para personal de respuesta de emergencia

: Cuando se necesiten prendas especializadas para gestionar el vertido, atender a cualquier información recogida en la Sección 8 en relación con materiales adecuados y no adecuados. Consultar también en la Sección 8 la información adicional sobre medidas higiénicas.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

: Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, el medio acuático, los desagües y las alcantarillas. Informe a las autoridades pertinentes si el producto ha causado contaminación medioambiental (alcantarillas, canales, tierra o aire).

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza.

Derrame pequeño

: Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retire los envases del área del derrame. Absorber con un material inerte y colocar en un contenedor de eliminación de desechos apropiado.

Gran derrame

: Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retire los envases del área del derrame. Evite que se introduzca en alcantarillas, canales de agua, sótanos o áreas reducidas. Detener y recoger los derrames con materiales absorbentes no combustibles, como arena, tierra, vermiculita o tierra de diatomeas, y colocar el material en un envase para desecharlo de

acuerdo con las normativas locales (ver sección 13).

6.4. Referencia a otras secciones

: Consultar en la Sección 8 la información relativa a equipos de protección personal apropiados.
Consultar en la Sección 13 la información adicional relativa a tratamiento de residuos.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO.

7.1. Precauciones para una manipulación segura.

Medidas de protección

: Use equipo protector personal adecuado (vea sección 8). Deberá prohibirse comer, beber o fumar en los lugares donde se manipula, almacena o trata este producto. Las personas que trabajan con este producto deberán lavarse las manos y la cara antes comer, beber o fumar. Evite el contacto con los ojos, la piel y la ropa. Consérvese en su envase original o en uno alternativo aprobado fabricado en un material compatible, manteniéndose bien cerrado cuando no esté en uso.

Información relativa a higiene en el trabajo de forma general

: Deberá prohibirse comer, beber o fumar en los lugares donde se manipula, almacena o trata este producto. Las personas que trabajan con este producto deberán lavarse las manos y la cara antes comer, beber o fumar. Retirar el equipo de protección y las ropas contaminadas antes de acceder a zonas donde se coma. Consultar también en la Sección 8 la información adicional sobre medidas higiénicas.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

: Conservar de acuerdo con las normativas locales. Almacenar en el contenedor original protegido de la luz directa del sol en un área seca, fresca y bien ventilada, separado de materiales incompatibles (ver sección 10) y comida y bebida. Mantener el contenedor bien cerrado y sellado hasta el momento de usarlo. Los envases abiertos deben cerrarse perfectamente con cuidado y mantenerse en posición vertical para evitar derrames. No almacenar en contenedores sin etiquetar. Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del

medio ambiente.

7.3. Usos específicos finales.

Recomendaciones : No disponible.

**Soluciones específicas
del sector industrial** : No disponible.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL.

8.1. Parámetros de control.

Límites de exposición profesional

Se desconoce el valor límite de exposición.

Procedimientos

recomendados de control : Si este producto contiene ingredientes con límites de exposición, puede ser necesaria la supervisión personal, del ambiente de trabajo o biológica para determinar la efectividad de la ventilación o de otras medidas de control y/o la necesidad de usar equipo respiratorio protector. Se debe hacer referencia al Estándar europeo EN 689 por métodos para evaluar la exposición por inhalación a agentes químicos y la guía nacional de documentos por métodos para la determinación de sustancias peligrosas.

Niveles con efecto derivado

No hay valores DEL disponibles.

Concentraciones previstas con efecto

No hay valores PEC disponibles.

8.2. Controles de la exposición.

Controles técnicos apropiados

: Una ventilación usual debería ser suficiente para controlar la exposición del obrero a los contaminantes aerotransportados. Si este producto contiene ingredientes de exposición limitada, use cercamientos del proceso, ventilación local, u otros controles de ingeniería para mantener la exposición del obrero por debajo de todos los límites recomendados o estatutarios.

Medidas de protección individual

Medidas higiénicas : Lave las manos, antebrazos y cara completamente después de manejar productos químicos, antes de comer,

fumar y usar el lavabo y al final del período de trabajo. Usar las técnicas apropiadas para remover ropa contaminada. Lavar las ropas contaminadas antes de volver a usarlas.

Protección ocular/ facial

: Equipo protector ocular que cumpla con las normas aprobadas debe ser usado cuando una evaluación del riesgo indique que es necesario para evitar toda exposición a salpicaduras del líquido, lloviznas, gases o polvos.

Protección cutánea

Protección de las manos

: Guantes químico-resistentes e impenetrables que cumplen con las normas aprobadas deben ser usados siempre que se manejen productos químicos si una evaluación del riesgo indica que es necesario. Número de referencia EN 374. Recomendado: Guantes de goma de butilo/nitrilo.

Protección corporal

: Antes de utilizar este producto se debe seleccionar equipo protector personal para el cuerpo basándose en la tarea a ejecutar y los riesgos involucrados y debe ser aprobado por un especialista. Recomendado: Protección preventiva de la piel con pomada protectora.

Otra protección cutánea

: El calzado adecuado y cualesquiera otras medidas de protección cutánea deben seleccionarse en base a la tarea que se lleve a cabo y los riesgos implicados, y deben ser aprobados por un especialista antes de proceder a la manipulación de este producto.

Protección respiratoria

: Se requiere el uso de mascarilla.

**Controles de la exposición
del medio ambiente**

: Emisiones de los equipos de ventilación o de procesos de trabajo deben ser evaluados para verificar que cumplen con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente. En algunos casos será necesario el uso de eliminadores de humo, filtros o modificaciones del diseño del equipo del proceso para reducir las emisiones a un nivel aceptable.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas.

Apariencia

Estado físico	: Polvo.
Color	: Gris.
Olor	: Inodoro.
Umbral del olor	: No disponible.
pH	: ± 6,0 (en disolución)
Punto de fusión/Punto de Congelación	: No disponible.
Punto de ebullición inicial e intervalo de ebullición	: No disponible.
Temperatura de inflamabilidad	: No disponible.
Índice de evaporación	: No disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	: No disponible.
Tiempo de Combustión	: No aplicable.
Velocidad de Combustión	: No aplicable.
Límites superior/inferior de inflamabilidad o explosión	: No aplicable.
Presión de vapor	: No aplicable.
Densidad de vapor	: No disponible.
Densidad	: No disponible.
Densidad relativa	: No disponible.
Solubilidad(es)	: No disponible.
Coefficiente de partición octanol/agua	: No disponible.
Temperatura de autoignición	: No aplicable.
Temperatura de descomposición	: No disponible.
Viscosidad	: No disponible.
Propiedades explosivas	: No disponible.
Propiedades oxidantes	: No disponible.

9.2 Información adicional

Ninguna información adicional.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.

- 10.1. Reactividad** : No hay disponibles datos de ensayo relacionados específicamente con la reactividad de este producto o sus componentes.
- 10.2 Estabilidad química** : El producto es estable.
- 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas** : En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se producen reacciones peligrosas.
- 10.4 Condiciones que deben evitarse** : Ningún dato específico.
- 10.5 Materiales incompatibles** : Ningún dato específico.
- 10.6 Productos de descomposición peligrosos** : En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se deberían formar productos de descomposición peligrosos.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA.

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos.

Toxicidad aguda

Conclusión/resumen : No disponible.

Irritación/Corrosión

Conclusión/resumen : No disponible.

Sensibilización

Conclusión/resumen : No disponible.

Mutagénesis

Conclusión/resumen : No disponible.

Carcinogénesis

Conclusión/resumen : No disponible.

Toxicidad para la reproducción

Conclusión/resumen : No disponible.

Teratogenicidad

Conclusión/resumen : No disponible.

Información sobre las posibles vías de exposición : No disponible.

Efectos agudos potenciales para la salud

Contacto con los ojos : Puede causar irritación ocular.
Inhalación : Puede causar irritación
Contacto con la piel : Puede provocar irritación en la piel.
Ingestión : Puede causar daños gastrointestinales.

Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas

Contacto con los ojos : Ningún dato específico.
Inhalación : Ningún dato específico.
Contacto con la piel : Ningún dato específico.
Ingestión : Ningún dato específico.

Efectos inmediatos y retardados así como efectos crónicos producidos por una exposición a corto y largo plazo

Exposición a corto plazo

Posibles efectos inmediatos : No disponible.

Posibles efectos retardados : No disponible.

Exposición a largo plazo

Posibles efectos inmediatos : No disponible.

Posibles efectos retardados : No disponible

Efectos crónicos potenciales para la salud

No disponible.

Conclusión/resumen : No disponible.

General : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Carcinogénesis : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Mutagénesis : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Teratogenicidad : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Efectos de desarrollo : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Efectos sobre la fertilidad : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Información adicional : No disponible.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA.

12.1 Toxicidad

Conclusión/resumen : No disponible.

12.2 Persistencia y degradabilidad

Conclusión/resumen : No disponible.

12.3 Potencial de

Bioacumulación : No disponible.

12.4 Movilidad en el suelo

Coefficiente de partición
tierra/agua (K_{oc}) : No disponible.

Movilidad : No disponible.

12.5 Resultados de la valoración de PBT y mPmB

PBT : No aplicable.

mPmB : No aplicable.

12.6 Otros efectos adversos : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN.

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto

Métodos de eliminación : Se debe evitar o minimizar la generación de desechos cuando sea posible. No se deben utilizar los sistemas de alcantarillado de aguas residuales para deshacerse de cantidades significativas de desechos del producto, debiendo ser éstos procesados en una planta de tratamiento de efluentes apropiada. Elimine del sobrante y productos no reciclables por medio de un contratista autorizado para su eliminación. La eliminación de este producto, sus soluciones y cualquier derivado deben cumplir siempre con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente y eliminación de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales.

Catálogo Europeo de Residuos (CER)

Código de residuo	Denominación del residuo
07 07 01*	Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

Empaquetado : Envases/embalajes totalmente vacíos pueden destinarse a reciclaje.
Envases/embalajes que no pueden ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.

Catálogo Europeo de Residuos (CER) (Empaquetado) : Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE.

	ADR/RID - ADN/ADNR	IMDG	IATA
14.1 Número ONU	No disponible.	Not available	No disponible.
14.2 Designación oficial de transporte ONU			No disponible.
14.3 Clase(s) de peligro para el transporte	No disponible.	Not available.	No disponible.
14.4 Grupo de embalaje	-	-	-
14.5 Peligros para el medio ambiente	No	No	No
14.6 Precauciones particulares para los usuarios	No disponible.	No disponible.	No disponible.
Información adicional	-	-	-

14.7 Transporte a granel
según el Anexo II del
convenio MARPOL 73/78
y el código GRG (IBC) : No disponible.

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Reglamento de la UE (CE) nº. 1907/2006 (REACH)

Anexo XIV - Lista de sustancias sujetas a autorización

Sustancias altamente preocupantes

Ninguno de los componentes está listado.

Anexo XVII - Restricciones

a la fabricación, la

comercialización y el uso

de determinadas

sustancias, mezclas y

artículos peligrosos

: No aplicable.

Contenido de COV (EU)

: VOC (w/w): 0.09%

Otras regulaciones de la UE

REACH Information:

: All substances contained in MATEC-Q are
- preregistered or registered by our upstream suppliers,
and/or:
- preregistered or registered by MATEC-Q, and/or
- excluded from the regulation, and/or
- exempted from the registration.

Inventario de Europa

: No disponible.

15.2 Evaluación de la
seguridad química

: Este producto contiene sustancias para las que aún se requieren valoraciones de seguridad química.

16. OTRA INFORMACIÓN.

Abreviaturas y acrónimos	: ETA = Estimación de Toxicidad Aguda CLP = Reglamento sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado [Reglamento (CE) No 1272/2008] DNEL = Nivel de No Efecto Derivado EE = Escenarios de Exposición PNEC = Concentración Prevista Sin Efecto RRN = Número de Registro REACH
Texto completo de las frases H abreviadas	: No aplicable.
Texto completo de las clasificaciones [CLP/SGA]	: No aplicable.
Texto completo de las frases R abreviadas	: No aplicable.
Texto completo de las clasificaciones [DSD/DPD]	: No aplicable.

Descripción

GeoCompact A4 es un polímero biodegradable y ecológico de base agua desarrollado especialmente para la estabilización de suelos en caminos rurales, parkings de tierra, carril de bicicletas o zona peatonal, aportando mayor resistencia y durabilidad comparado con un terreno sin estabilizar.

Se puede mezclar con la tierra existente o con tierras seleccionadas (zahorra natural, zahorra reciclada, rechazo, sauló, arcilla, polvo de cantera, etc...)

Campos de aplicación

Cualquier terreno de tierra, siendo su aplicación más común en los siguientes sitios:

- Caminos rurales y/o pistas forestales
- Parking de tierra
- Carril de bicicletas
- Zona peatonal de tierra

Aplicación

GeoCompact A4 se diluye en agua, siendo ésta la necesaria para la humedad óptima de compactación.

Mezclar homogéneamente la tierra y agua con el polímero, nivelar el terreno y compactar con apisonadora de rueda de hierro y repasar con apisonadora con rueda neumática.

Sellar la superficie con polímero sellador de superficie **GeoCompact A5**

GeoCompact A4 es compatible con conglomerantes habituales (cemento/cal) para la estabilización de suelos. Esta combinación, aumenta la resistencia del terreno estabilizado.

Rendimiento

Dependiendo la resistencia que deseemos obtener, el grosor a estabilizar y el tipo de árido, su dosificación será de 0,25% hasta 2% en peso del material a estabilizar.

Consumos de referencia por m2			
Tránsito	Grosor recomendado	Sin conglomerante	Con conglomerante
Peatonal / carril bici	10 cm	Desde 0,350 L / m2	Desde 0,250 L / m2
Vehículo ligero	15 cm	Desde 0,525 L / m2	Desde 0,375 L / m2
Vehículo pesado	20 cm	Desde 0,700 L / m2	Desde 0,500 L / m2

Es recomendable realizar varios test para determinar que proporción sería la más apropiada.

Puede ponerse en contacto con nuestro equipo técnico para que le aconseje

Durabilidad

La durabilidad del grosor variará entre 2 años y 5 años, dependiendo de la intensidad del tráfico, el tipo de tierra utilizado y las inclemencias del tiempo.

Características físicas y químicas

Composición	Polímero acuoso
Carácter iónico	Aniónica
TMFP	°C 5

Especificaciones

Aspecto		Líquido blanco y/o tono amarillento
pH@ 20°C		7,00 – 9,00
Contenido en sólidos	%	50,0 – 60,0
Viscosidad@ 25°C.	mPa·s	500 – 1000

Presentación y almacenaje

- Contenedores IBC de 1000 Kg.
- Almacenar adecuadamente en local cubierto entre 5 – 35°C,
- evitar la exposición directa al sol.
- **GeoCompact A4** tiene una estabilidad de 1 año conservado en los envases originales debidamente precintados.

Toxicidad y seguridad

Consúltese la hoja de datos de seguridad vigente