04-012

RESISTANT ANALYSIS OF JABRE PATHS STABILIZED WITH CEMENT

Gilarranz Casado, Carlos Andrés[(1)]; Laserna Arcas, Santiago[(2)]; Montero Martinez, Jesus[(3)]

[(1)]UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, [(2)]UNIVERSIDAD CASTILLA-LA MANCHA, [(3)]ETSIAM-UNIVERSIDAD CASTILLA-LA MANCHA

The main goal of this paper is to determine the resistant properties of a stabilized jabre soil with cement CEM II BL 32,5N, analyzing the influence of the cement dosage (from 0 to 10%) and the curing time (2, 7 and 21 days) on the strength compression resistance of the soil, and establish some technical recommendations for its use that comply with the specifications of the General Technical Prescriptions of Roads and Bridges Works (PG-3). The results indicate jabre is a granular material with good granulometry properties such as plasticity and compaction. In this stabilization, it has been verified the significant influence of % cement and curing time. According to the minimum required strength compression in PG-3 (1.5 MPa) it was concluded that the minimum strength compression is achieved with a cement dose of 3.5% at 21 days, and 5% cement at 7 days by applying a 100% PN compaction to the mixture. Lower values of % cement for these curing times would make the work unviable due to lack of strength.

Keywords: *stabilization of soils; jabre; cement*

ANÁLISIS RESISTENTE DE VIALES DE JABRE ESTABILIZADOS CON CEMENTO

El objetivo de este trabajo es determinar las propiedades resistentes de un suelo de jabre estabilizado con cemento CEM II B-L 32,5N, analizando la influencia de la dosificación del cemento (de 0 a 10%) y el tiempo de curado (2, 7 y 21 días) sobre la resistencia del suelo a compresión, y establecer unas recomendaciones técnicas de su utilización que cumplan las indicaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Los resultados indican que el jabre es un material granular con unas buenas propiedades de granulometría, plasticidad y compactación. Mezclado con cemento CEM II B-L 32,5N, se ha comprobado la influencia significativa del % de cemento en la mezcla y del tiempo de curado. De acuerdo con el mínimo requerido de resistencia en los suelos estabilizados in situ, según el PG-3, se concluye que aplicando una compactación del 100% del PN al jabre estabilizado con cemento, se alcanza una resistencia mínima de 1,5 MPa con una dosis de cemento del 3,5% a los 21 días, y del 5% de cemento a los 7 días. Valores inferiores de cemento para estos tiempos de curado harían inviable la obra por falta de resistencia.

Palabras clave: *estabilización de suelos; jabre; cemento*

Correspondencia: Jesús Montero Martínez; jesus.montero@uclm.es

©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

1. Introducción

La estabilización de suelos es y ha sido una técnica muy empleada en la construcción de caminos rurales, que se utilizó ampliamente en España a partir de los años 60 y sirvió para impulsar el desarrollo de numerosas zonas agrarias; las grandes zonas regables y las zonas de concentración parcelaria exigían la construcción de nuevos caminos o el acondicionamiento de los existentes y ello supuso una reconsideración de la tecnología utilizada, y la aplicación de nuevas técnicas que se habían desarrollado en EEUU, Alemania, Suiza o Italia.

Estas experiencias quedaron reflejadas en diversas publicaciones técnicas de la época (S.N.C.P.O.R., 1967; S.N.C.P.O.R., 1972; Losa, 1979; IRYDA, 1983). Especial mención a la labor en muchos de los trabajos de estabilización de suelos realizados en esa época por D. Rafael Dal-Ré, donde en su libro “Caminos Rurales. Proyecto y Construcción” (Dal-Ré, 2001) se han plasmado las experiencias del autor y la evolución de las técnicas y tecnologías empleadas con el paso del tiempo.

La mayoría de los trabajos de estabilización de suelos publicados están referidos a suelos locales. Predominan las técnicas de estabilización del suelo utilizadas para obtener materiales locales mejorados mediante la adición de agentes cementantes, tales como cemento, cal, asfalto, etc. (George, Ponniah & Little, 1992; Ayuso, Caballero & Pérez, 1996; Miller & Azad, 2000; Seco et al., 2011) y en algunos casos con unos tipos de suelos y productos muy especiales, como suelos residuales con cáscara de arroz y cemento (Basha et al., 2005), lodos de bentonita de perforaciones de túneles (Castro et al., 2011), filitas con cal y cemento (Garzón et al, 2010, 2013), cenizas volantes de calcio y cemento (Kolias et al., 2004), residuos de aceitunas carbonizadas (Attom & Al-Sharif, 1998), suelos lateríticos (Ola, 1977), etc.

El jabre es un material que tradicionalmente ya se utilizaba en tiempos de los romanos en sus calzadas (Moreno Gallo, 2004) y que desde pocos años se ha reimpulsado su uso, como en la rehabilitación de caminos del Parque del Oeste en Madrid o en varios caminos en la urbanización La Moraleja en Madrid (La Moraleja, 2016). Igualmente está en proyecto un nuevo parque en el Ayuntamiento de Bayona, donde realizarán este tipo de viales en una zona de paseo biosaludable.

El jabre se presenta en yacimientos sedimentarios como depósito de fragmentos de una roca granítica que se ha desagregado por la acción de los agentes atmosféricos (meteorización) y descomposición, que han permanecido in situ o muy próximos a la roca madre. Dependiendo de ese nivel de descomposición, desde el punto de vista granulométrico, este material se puede agrupar en tres categorías: jabre de arena gruesa, jabre de arena fina y jabre arcilloso. La principal característica debida a su composición granítica es la ausencia de barro una vez mojado. Esto lo convierte en un material que tiene muchas ventajas en comparación con otros, pues tiene bajo coste, alta rapidez en la ejecución y bajo coste de mantenimiento. Sin embargo, presenta el inconveniente de que necesita de un material ligante para que tenga una mínima resistencia y poder ser utilizado como capas de viales.

En la bibliografía no aparecen experiencias realizadas con suelos de jabre estabilizados y por ello se ha planteado el presente trabajo.

2. Objetivos

El objetivo de esta comunicación es determinar las propiedades resistentes de un suelo de jabre estabilizado con cemento CEM II B-L 32,5N, analizando la influencia de la dosificación del cemento y el tiempo de curado sobre la resistencia del suelo a compresión, y establecer unas recomendaciones técnicas de su utilización que cumplan las indicaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3, 2002).

3. Metodología

Los materiales utilizados en la presente experimentación fueron cemento, jabre y agua.

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos produce un hormigón o mortero que conserva su trabajabilidad durante un tiempo suficiente alcanzando unos niveles de resistencias preestablecido y presentando una estabilidad a largo plazo.

El cemento de Portland elegido CEM II B-L 32.5N, con la denominación Cemento portland con caliza, y con los siguientes componentes (RC-16, 2016): Clínker (65-79%), Caliza (21-35%) y componentes minoritarios (0-5%). La elección de este tipo de cemento se hizo por llevar un alto porcentaje de caliza ya que ésta participa activamente en el proceso de la hidratación, favoreciendo este proceso, así como también hacer de filler calizo.

El agua a emplear, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente en cantidades tales que afecte negativamente a las propiedades del mortero u hormigón. Considerándose que las aguas potables son aptas para el uso en adición con cemento.

Así el agua debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Exponente de hidrógeno. PH > 5.
- Sustancias disueltas < 15 gramos por litro (15.000 p.p.m.).
- Sulfatos, expresados en SO_4, máximo de 1 gramo por litro (1.000 p.pm.).
- Hidratos de carbono, deben ausentarse.
- Sustancias orgánicas disueltas en éter < de 15 gramos por litro (15.000 p.p.m.).

En este ensayo se ha utilizado agua corriente proporcionada por el Canal de Isabel II, que proviene en mayoría de los embalses localizados en la zona norte de la Comunidad de Madrid. Éste agua es utilizada habitualmente como agua potable, por lo que cumple con las necesidades expuestas en el PG-3.

La composición mineralógica del jabre está formada por arenas de cuarzos granulares (pseudoesféricos), feldespatos (ortosa), turmalinas, biotitas, etc., unidas por partículas arcillosas (caolinita). Se encuentra en las zonas meteorizadas de los grandes batolitos graníticos, de donde se extrae con facilidad mediante medios mecánicos rudimentarios dada su escaso grado de compactación (Gil Montes, 2004). Este material cumple con las características previas que deberían tener los suelos para que al estabilizarlos con cemento resultase un material con características técnicas adecuadas y económicamente admisibles.

Los ensayos realizados al jabre han sido los siguientes:

- Granulometría por tamizado, según norma UNE 103 101:95 (1995).

- Determinación del Límite Plástico (UNE 103104:93, 1993).
- Determinación del Límite Líquido (UNE 103103:93, 1993).
- Ensayo de Compactación. Proctor Normal (UNE 103500:94, 1994).

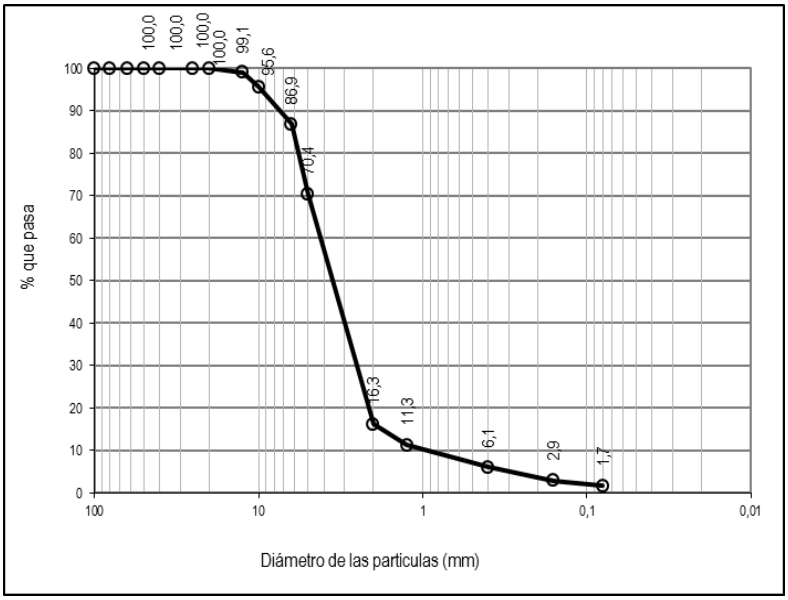
A la mezcla de jabre estabilizado con cemento, se realizó el ensayo de resistencia a compresión, según UNE-EN 13286-41 (2003). Se realizaron tres ensayos bien diferenciados, correspondiendo estos a los días de curado de las probetas (2, 7 y 21 días). Se analizó también como variable el contenido en cemento (%CEM), del 0-1,5-2,5-3,5-4,5-5,5-6,5-7,5-8,5-10%, con tres repeticiones por muestra y poder así tratar estadísticamente los datos obtenidos por medio de un análisis de la varianza ANOVA.

4. Resultados

4.1 Curva granulométrica del Jabre

Las características granulométricas de este material se han analizado en laboratorio mediante tamizado, siguiendo la norma UNE 103101:95 (1995), desprendiendo los siguientes valores, como se aprecia en la figura 1.

Figura 1: Curva granulométrica del jabre



En este material existen fracciones de todos los tamaños comprendidos entre el más pequeño y el mayor del mismo, es decir, con una "granulometría continua".

El módulo granulométrico de este material es 3,11, lo cual muestra que la granulometría del jabre es algo gruesa, aunque con buena porción de finos.

Con estos resultados obtenidos a partir de la curva granulométrica del material, no se podría estabilizar con cal este tipo de material en los suelos S-EST1 y S-EST2, puesto que no cumple el requisito de la tabla 512.1.a (FOM/2523/2014, 2014) que el porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm debe de ser superior o igual al 15% y en nuestro caso es significativamente inferior.

Para el caso de cumplir con la tabla 512.1.b de la misma orden ministerial, en este caso cumple todos los requisitos para poderse estabilizar con cemento, pudiendo ser S-EST1, S-EST2 y S-EST3.

Ahora bien, si nos vamos a la tabla 512.3.a, podemos descartar los S-EST1 y S-EST2 puesto que el índice plástico del jabre es muy bajo, no superando el 2%.

Ya por último, observando la tabla 512.3.b sólo cabe clasificar este material como S-EST-3.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, este material granular es óptimo para estabilizarse con el cemento y por esto se eligió el cemento como conglomerante.

4.2 Plasticidad

Para el límite líquido se utilizó el aparato de Casagrande. Se ensayó con diferentes humedades, siendo la más baja 20% y la más alta 27%, sin embargo hasta el rango de humedades comprendidas entre 21 y 24 % ningún resultado daba un número de golpes comprendido entre 10 y 40. Siendo el resultado del ensayo de 16 golpes para una humedad de 23% y de 35 golpes para una humedad del 21%. Por lo tanto el valor del límite líquido del jabre es de 22%.

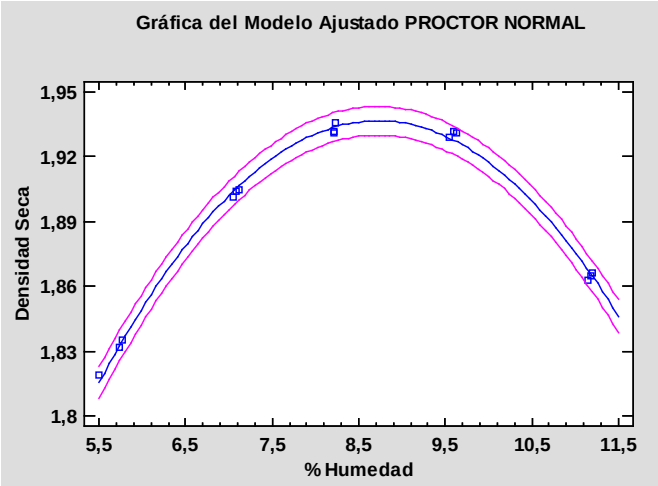
Los resultados del ensayo del Límite Plástico del jabre resultaron un valor de 22.

Por tanto, el Índice de Plasticidad (IP=LL-LP) es 0%. Esta es una propiedad muy positiva para el jabre, puesto que no presentará cambios significativos de plasticidad en presencia de agua, siendo suelos más estables y permeables.

4.3 Ensayo de Compactación Proctor Normal

Con el ensayo Proctor Normal se determinó la curva de humedad óptima-densidad máxima del jabre. En este ensayo se realizaron un total de 15 probetas compactándolas con unos porcentajes de agua a priori predefinidos, que una vez realizado y visto su contenido de agua final, se calculó su densidad. Todos estos datos se llevaron al programa statgraphics y se obtuvo la parábola de regresión que mejor ajuste presentaba, de tal forma que una vez conocida ésta, se derivó su función y se sacó su máximo relativo, valor éste que relaciona su porcentaje de humedad óptima con su máxima densidad seca (figura 2).

Figura 2: Modelo ajustado de Proctor Normal al jabre



Para el Proctor Normal, la parábola que explica la relación entre los datos observados y los predichos tiene una correlación R^2 del 99,5%. Al darnos un p-valor de 0,000 < 0,05, se puede inferir estadísticamente que la siguiente parábola explica la realidad con un nivel de confianza de al menos el 95%:

$$D_{seca} = 1{,}04783 + 0{,}203842 \cdot H - 0{,}0116878 \cdot H^2 \qquad (1)$$

La máxima densidad obtenida fue de 1,93 kg/dm^3 para una humedad óptima del 8,7%.

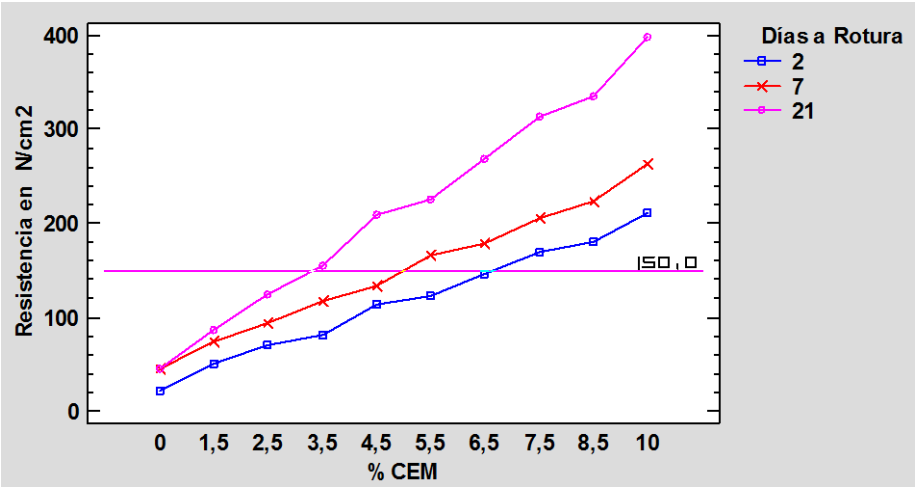
Basándonos en los estudios de (Kezdy, 1979) y de (Miller, 2000), una adición de cemento induce a una ligera bajada de la densidad seca y a un aumento del agua óptima comparándolo con si realizamos el mismo proceso pero sin conglomerante. Esto es debido a la hidratación que debe de tener el cemento que le hemos añadido. Esto es importante tenerlo en cuenta ya que se incrementarían ligeramente los valores de resistencia al añadir a nuestro estudio ese porcentaje de agua de hidratación.

4.4. Resistencia a compresión del jabre estabilizado con cemento

El jabre, una vez caracterizadas sus propiedades geotécnicas de granulometría, plasticidad y compactación, se mezcló con el cemento, y con el porcentaje de humedad óptimo que proporciona la máxima densidad, obtenido anteriormente (figura 3).

Tras realizar los ensayos de compresión (según UNE-EN 13286-41, 2003), se ha realizado un análisis multifactorial ANOVA que nos liga y discrimina la resistencia a compresión simple (N/cm^2) con los porcentajes de cemento utilizados (0-1,5-2,5-3,5-4,5-5,5-6,5-7,5-8,5 y 10%) a los distintos días a rotura (2, 7 y 21 días) con 3 repeticiones por cada ensayo.

Figura 3. Resultados de la resistencia del jabre-cemento



En la figura 3 se observan dos cosas básicamente: que las curvas a 2 y 7 días son prácticamente paralelas, y que la curva a 21 días de rotura tiene una pendiente mayor que las otras, alcanzando resistencias más altas a la misma concentración de cemento usada en la mezcla.

En la figura de resistencia se ha tomado como referencia el valor de 150 N/cm^2, ya que el PG-3, así como su Orden FOM/2523/2014 (2014) nos define que la resistencia mínima a compresión simple en suelos estabilizados in situ ha de ser de 1,5 MPa (150 N/cm^2).

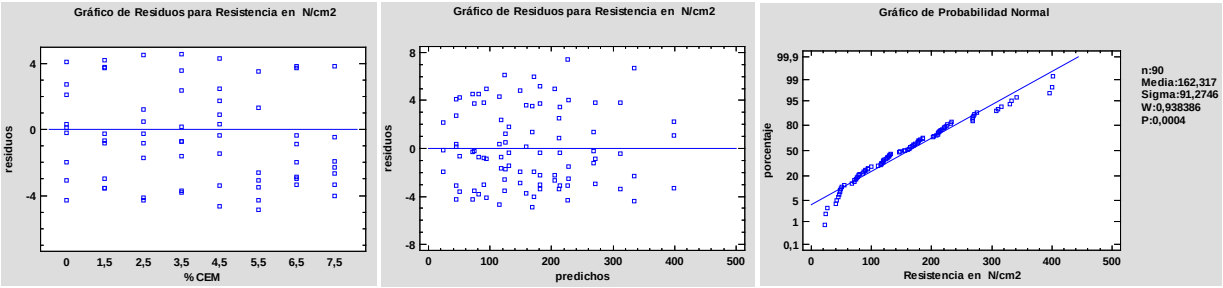
Al introducir como variable dependiente la resistencia y como factores el %CEM y días a rotura, en el análisis ANOVA multifactorial en Statgraphics, resulta la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Análisis de Varianza para Resistencia

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% CEM	544010	9	60445,6	3934,26	0,000
B:Días a Rotura	153063	2	76531,4	4981,25	0,000
INTERACCIONES					
AB	43469,8	18	2414,99	157,19	0,000
RESIDUOS	921,833	60	15,3639		
TOTAL (CORREGIDO)	741464	89			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Resistencia en contribuciones debidas a los dos factores (%CEM y días a rotura). La contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que los 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Resistencia con un 95,0% de nivel de confianza, comprobándose que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo (figura 4).

Figura 4: Gráficos estadísticos y de distribución de los datos en los ensayos de resistencia a compresión



A continuación se han analizado estas rectas de regresión, realizando un análisis estadístico de regresión lineal con análisis de la varianza. En todos los casos, la variable dependiente es la Resistencia (R, en N/cm2) y la variable independiente el porcentaje de cemento (%CEM).

Regresión Lineal para un curado de 2 días

El modelo propone la recta de regresión siguiente:

$$R = 22{,}5849 + 19{,}1043 \cdot \%CEM \qquad (2)$$

Se demuestra la validez del modelo mediante el siguiente análisis estadístico (tabla 2):

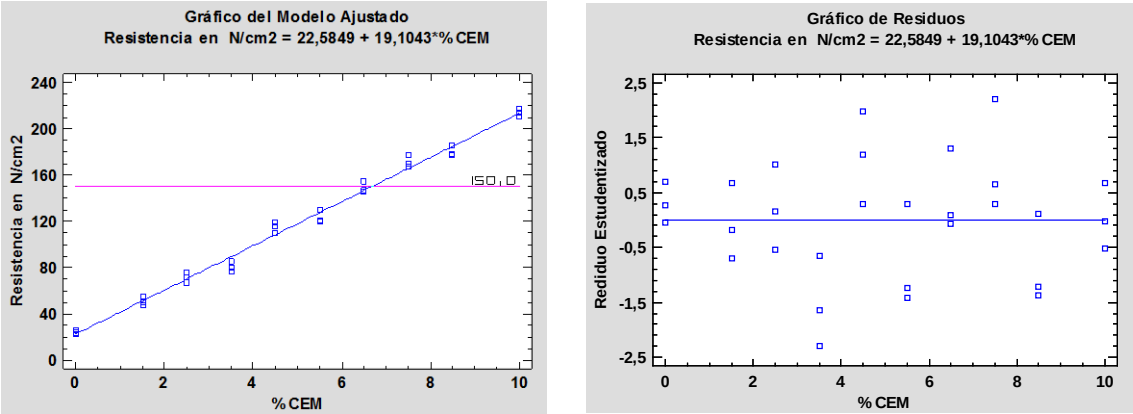
Tabla 2. Análisis de Varianza para la recta de regresión a 2 días

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	100733	1	100733	2980,11	0,000
Residuo	946,453	28	33,8019		
Total (Corr.)	101680	29			

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo ajustado explica 99,0692% de la variabilidad en Resistencia (N/cm^2). El coeficiente de correlación es igual a 0,995335, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Resistencia y % CEM, con un nivel de confianza del 95,0%, además de comprobarse que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo (figura 5).

Se comprueba cómo la resistencia mínima de 1,5 MPa se alcanza a los 2 días con un 6,5% de contenido en cemento.

Figura 5. Gráficos estadísticos y de distribución de los datos para 2 días de rotura



Regresión Lineal para un curado de 7 días

El modelo propone la recta de regresión siguiente:

$$R = 40{,}3604 + 22{,}2239 \cdot \%CEM \qquad (3)$$

Y se demuestra que este modelo es acertado según el siguiente análisis estadístico (tabla 3):

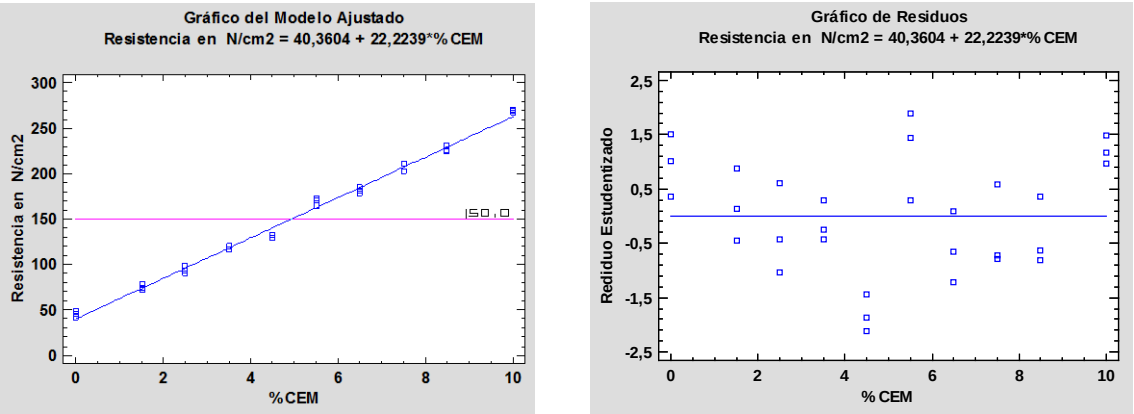
Tabla 3. Análisis de Varianza para la recta de regresión a 7 días

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	136317	1	136317	4285,78	0,000
Residuo	890,59	28	31,8068		
Total (Corr.)	137208	29			

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo ajustado explica 99,3509% de la variabilidad en Resistencia (N/cm2). El coeficiente de correlación es igual a 0, 0,996749, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Resistencia y % CEM con un nivel de confianza del 95,0%, además de comprobarse que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo (figura 6).

Se comprueba cómo la resistencia mínima de 1,5 MPa se alcanza a los 7 días con un 5% de contenido en cemento.

Figura 6. Gráficos estadísticos y de distribución de los datos para 7 días de rotura



Resultados parecidos son a los que llegan Garzón et al (2013) en el caso de una estabilización de un suelo de filitas con cemento, concluyendo que es conveniente incorporar un 5% de cemento para mejorar la resistencia a punzonamiento del suelo, registrándose con esta proporción un incremento de la resistencia a compresión uniaxial y reduciéndose la permeabilidad y así poder con los requisitos mínimos del PG-3.

Regresión Lineal para un curado de 21 días

El modelo propone la recta de regresión siguiente:

$$R = 39{,}8316 + 35{,}5063 \cdot \%CEM \qquad (4)$$

Y se demuestra que este modelo es acertado según el siguiente análisis estadístico (tabla 4):

Tabla 4. Análisis de Varianza para la recta de regresión a 21 días

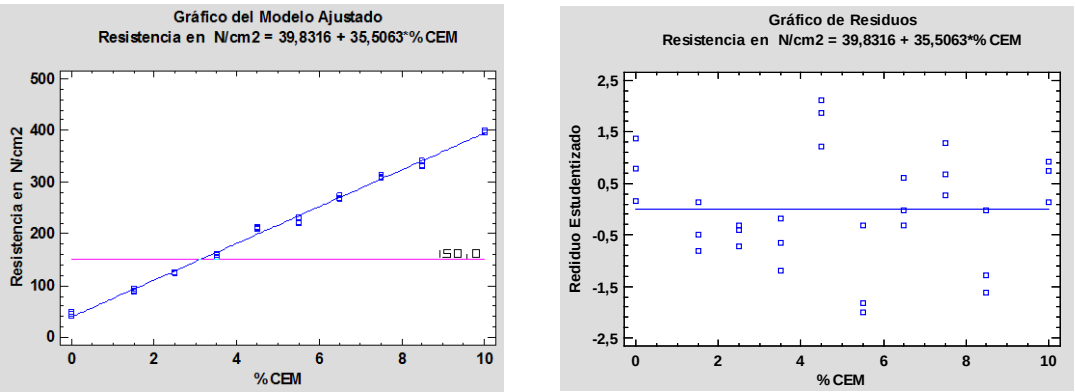
Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	347953	1	347953	6241,92	0,000
Residuo	1560,85	28	55,7446		
Total (Corr.)	349514	29			

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo ajustado explica 99,5534% de la variabilidad en Resistencia (N/cm^2). El coeficiente de correlación es igual a 0,997765, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Resistencia y % CEM con un nivel de confianza del 95,0%, además de comprobarse que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo (figura 7).

Se comprueba cómo la resistencia mínima de 1,5 MPa se alcanza a los 21 días con un 3,5% de contenido en cemento.

Figura 7. Gráficos estadísticos y de distribución de los datos para 21 días de rotura



5. Conclusiones

Se concluye que el jabre es un material granular con unas buenas propiedades de granulometría, plasticidad y compactación, clasificado como S-EST-3 e idóneo para estabilizarse con el cemento. Mezclado con cemento CEM II B-L 32,5N se ha comprobado la influencia significativa del % de cemento en la mezcla y del tiempo de curado. De acuerdo con el mínimo requerido de resistencia en los suelos estabilizados in situ, según el PG-3, y considerando el modelo estadístico resultante con sus rectas de regresión, se concluye que aplicando un Proctor Normal del 100% a una humedad del 8,7% al jabre estabilizado con cemento CEM II B-L 32,5N, se alcanza una resistencia mínima de 1,5 MPa con una dosis de cemento del 3,5% a los 21 días, y del 5% de cemento a los 7 días. Valores inferiores al 5% de cemento para estos tiempos de curado harían inviable la obra por falta de resistencia.

Referencias

Attom, M.F.& Al-Sharif, M.M. (1998). Soil stabilization with burned olive waste. *Applied Clay Science, 13*, 219-230.

Ayuso J.; Caballero, A & Pérez F. (1996). Viabilidad del empleo de cal en los suelos arcillosos de la zona regable del Genil-Cabra . *IV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. Córdoba.

Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B. & Muntohar, A.S. (2005). Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials 19(6),* 448-453.

Castro, D., Movilla, D., Vega, A. & Calzada, M.A. (2011). Lime Stabilization of bentonite sludge from tunnel boring. *Applied Clay Science, 51,* 250-257.

Dal-Ré, R. (2001). Caminos rurales. MAPA-IRYDA, Mundi-Prensa. 3ª Edición. Madrid.

España. FOM/2523/2014. (2014). Orden 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. Artículo 512.3 tipo y composición del suelo estabilizado.

Garzón, E., Cano, M., Morales, L. & Sanchez, P.J. (2013). Effect of cement and lime on phyllites raw materials from SE Spain. *17th International Congress on Project Management and Engineering*, Logroño, 17-19th July.

Garzón, E., Sánchez, P. & Romero, E. (2010). Physical and geotechnical properties of clay phyllites. *Applied Clay Science, 48,* 307-318.

George, S.Z., Ponniah, D.A. & Little, J.A. (1992). Effect of temperature on lime-soil stabilization. *Construction and Building Materials, 6(4),* 247-252.

Gil Montes, J. (2004). Identificación de una Carretera Romana a través de la Procedencia de los Materiales. Elementos de Ingeniería Romana. *Congreso Europeo Obras Públicas Romanas.*

IRYDA. 1983. Caminos rurales. Manuales Técnicos Monográficos nº 1. Series de Ingeniería rural y desarrollo agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. IRYDA. Madrid.

Kolias, S., Kasselouri-Rigopoulou, V. & Karahalios, A. (2004). Stabilisation of clayey soils with high calcium fly ash and cement. *Cement and Concrete Composites, 27(2),* 301-313.

La Moraleja. Entidad Urbanística de Conservación. (2016). Mejora en las aceras con arena de jabre. Retrieved http://lamoraleja.eu/mejora-en-las-aceras-con-arena-de-jabre/.

Losa, J. 1979. Caminos económicos. Proyecto. Construcción. Conservación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Miller, G.A. & Azad, S. (2000). Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust. *Construction and Building Materials, 14,* 89-97.

Moreno Gallo, I. (2004). Vías romanas: ingeniería y técnica constructiva. Ministerio de Fomento. Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas (CEHOPU).

Ola, S.A. (1977). The potencial of lime stabilization of lateritic soils. *Engineering Geology, 11*, 305-317.

PG-3. (2002). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. Ediciones Liteam SL.

RC-16. (2016). Instrucción para la Recepción de Cementos. Real Decreto 256/2016, de 10 de junio. Ministerio de la Presidencia.

Seco, A., Ramírez, F., Miqueleiz, L. & García, B. (2011). Stabilization of expansive soils for use in construction. *Applied Clay Science, 51,* 348-352.

S.N.C.P.O.R. 1967. Caminos rurales, dimensionado y construcción. Monografía nº 16. Ministerio de Agricultura

S.N.C.P.O.R. 1972. Experiencias sobre caminos estabilizados. Monografía nº 24. Ministerio de Agricultura

UNE 103101:95. (1995). Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado. AENOR.

UNE 103103:93. (1993). Determinación del Límite Líquido de un Suelo. AENOR.

UNE 103104:93. (1993). Determinación del Límite Plástico de un Suelo. AENOR.

UNE 103500:94. (1994). Geotecnia. Ensayo de Compactación. Proctor Normal. AENOR.

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. AENOR.