

# Estudio experimental de refuerzo de suelos con fibras sintéticas

Experimental study of soil reinforcement with synthetic fibers

C. Fernández Calvo

Centro Regional de Control de Calidad. Consejería de Fomento. Junta de Castilla y León  
C/Vázquez de Menchaca 113-C Pol. Ind. Argales, 47008 Valladolid. fercalca@jcy.es

## ABSTRACT

This paper presents the results of a laboratory investigation of the mechanical behaviour of two cohesive soils, an expansive marl and a silty clay soil, reinforced with synthetic fibres. Results indicated that fiber reinforcement increases the shear strength better in the marl, and the increase lies with length of fibers.

Key words: soil reinforcement, soil estabilization, synthetic fibers, shear strength

Geogaceta, 40 (2006), 303-306  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La Consejería de Fomento de la Junta de Castilla y León a través del Centro Regional de Control de Calidad del Servicio de Tecnología y Control de Calidad, ha prestado su colaboración en el desarrollo de los conocimientos sobre actuaciones que conduzcan a la mejora de las características geotécnicas de los suelos de la región, con objeto de la optimización de su empleo.

Este procedimiento de refuerzo ha sido empleado recientemente tanto bajo aspectos experimentales (Bahar *et al.*, 2002) como en algunas situaciones prácticas, tales como estabilización de taludes de suelo (Gregory y Chill, 1998), rehabilitación de presas de tierras (Rutledge *et al.*, 1994), generalmente asociados a experiencias propias de los productores de las fibras geotextiles. En el Informe interno del Comité de Geotecnia Vial de la ATC (Asociación Técnica de Carreteras) se efectuó una revisión de las publicaciones a las que ha tenido acceso dicho Comité, poniendo de manifiesto la necesidad de realizar ensayos de laboratorio que confirmaran la mejora de los parámetros geotécnicos, dadas las dudas y disparidad de conclusiones de algunos artículos analizados, con vistas a su aplicabilidad a los suelos de Castilla y León

## Procedimiento operativo

### Fibras de refuerzo

Para la preparación previa al mezclado de las fibras ha sido necesario un desmenuzamiento y esponjamiento manual muy minucioso, dado que las fibras se presentan en haces difíciles de separar. Posterior-

mente se ha efectuado el mezclado manual con el suelo. La proporción de la mezcla ha sido un 0,2% en peso de fibra respecto del suelo. Este valor es el recomendado en la información técnica analizada por el Comité de Geotecnia Vial, como la proporción más interesante, tanto bajo el punto de vista económico como de mejora de las propiedades geotécnicas.

Se han empleado seis tipos de fibras cuyas características se resumen en la Tabla I.

### Ensayos sobre un tipo de suelo marginal (Facies Cuestas del Terciario de la Cuenca del Duero).

Se ha elegido un tipo de suelo que por una parte sea de extensión geográfica notable y por otra cuya baja calidad geotécnica requiera algún tipo de tratamiento.

El suelo considerado es el correspondiente a las denominadas «Facies Cuestas» características del mioceno castellano por ocupar el elemento morfológico de transición entre los páramos calizos y la campiña o vega afectada por la red fluvial principal.

Las «Facies Cuestas» están constituidas por sedimentos blanquecino-ver-

dosos correspondientes a la sedimentación evaporítica del Centro de la Cuenca del Duero. Presentan bastantes analogías con las facies de otras depresiones de la Península como las del Tajo y del Ebro.

Corresponden a una sedimentación de tipo lagunar o playas de salinidad variable con escasa profundidad de agua y niveles freáticos superficiales, lo que favorece la concentración de yesos diagenéticos, costras salinas y neoformación de minerales fibrosos de arcilla.

La mineralogía de sus arcillas ha sido ampliamente estudiada, citándose sepiolita, paligorskita y esmectitas magnéticas de neoformación, así como illita, caolinita y clorita como minerales heredados.

En general su litología está formada por una unidad margosa con niveles arcillosos (materiales blandos) y una unidad superior formada por un paquete calcolomítico (material duro). Con estas características, las Facies Cuestas tienden a ser inestables, produciéndose desprendimientos y deslizamientos o reptaciones, siendo probables los flujos de barro. Las laderas presentan pendientes crecientes con valores que oscilan entre los 35 y 70°, llegando incluso a los

Ref. Fibra Long. mm	Polímero	Título (finura) dtex	Diámetro µm	Forma	Tenacidad N/tex
ASFORT CEMPO 100	Polipropileno (PP)	6,6	21.48	Cilíndrica	0,50-0,60
ASFORT CEMPO 200	Polipropileno (PP)	6,6	21.48	Cilíndrica	0,50-0,60
ASFORT ASAN 40	Poliacrilonitrilo (PAN)	3,3	13.40	Arriñonada	0,20-0,45
TRR PO 6	Polipropileno (PP)	3,3	15.19	Cilíndrica	0,40-0,50
TRR PO 12	Polipropileno (PP)	3,3	15.19	Cilíndrica	0,40-0,50
TRR PO 18	Polipropileno (PP)	3,3	15.19	Cilíndrica	0,40-0,50

Tabla I.- Características de las fibras sintéticas

Tabla I.- Characteristics of the synthetic fibers

Muestra/descripción	Pasa	Límites de Atterberg			Químicos			CLASIFICACIÓN			
	# 0,08	LL	LP	IP	%CO <sub>3</sub> Ca	%SO <sub>3</sub>	% MO	USCS	AASHTO	I.Grupo	PG-3
Margas arcillosas	99	80,5	27,8	52,7	49,7	0,07	0,36	CH	A-7-6	20	Marginal

Tabla II.- Características del suelo de las Facies Tierra de Campos

Tabla II.- Soil characteristics of the Facies Tierra de Campos

90°. Las capas blandas sufren mayor erosión y como consecuencia de ello se forman bloques inestables de las capas competentes al estar fracturadas y quedar en voladizo. Son materiales relativamente impermeables, excepto las infiltraciones debidas a fisuras y capas calcáreas o yesíferas afectadas por disoluciones.

El suelo utilizado para este trabajo se ha muestreado de un caballón procedente de la excavación del falso túnel ejecutado en la A-11 (antigua N-122) km 342.

Sus características de identificación se resumen en la Tabla II:

*Preparación de las mezclas y resultados*

Para la preparación del suelo se ha extendido la muestra total inicial (unos 200 kg). Se ha procedido a su disgregación pasándose a continuación por el tamiz de 20 mm UNE y cuarteo posterior para los ensayos.

Los valores de proctor Normal no presentan variaciones significativas en relación al tratamiento con fibras. Las variaciones detectadas en la densidad son mínimas, mientras que las obtenidas por las humedades entran dentro del mismo rango para este tipo de suelo.

Los valores de hinchamiento libre y presión de hinchamiento se sitúan igualmente dentro del mismo rango (3,97-5,36% y 30-95kPa) si consideramos la variabilidad propia del muestro y del ensayo.

Se efectuaron ensayos edométricos de todas las muestras, observándose que las variaciones son igualmente poco significativas respecto del suelo original con cualquier tipo de fibra

En cuanto a la resistencia al corte, las variaciones parecen depender fundamentalmente de la longitud de las fibras. Por ello, para una mayor claridad los gráficos se han sintetizado utilizando los valores medios de los resultados de las mezclas con fibras cortas (< 18mm) y con fibras largas (> 40mm)

En cuanto a los cortes directos y triaxiales, en general se observa que la cohesión no refleja variaciones significativas, mientras que el ángulo de rozamiento interno experimenta aumentos significativos en la mezcla. Dicho aumento en los triaxiales efectuados en los tratamientos con fibras de mayor longitud (100 y 200 mm) llega a ser de 6° a 10° (Fig. 1)

También han sido significativas las mejoras obtenidas con el tratamiento en los ensayos de resistencia a compresión simple. Este ensayo se ha efectuado sobre una serie de probetas remoldeadas con distintas condiciones de humedad respecto de la óptima referida a la compactación Proctor Normal. Las curvas de variación de dicha resistencia en función de la humedad se reflejan en la figura 2.

Los tratamientos con fibras cortas (6-12-18 mm) muestran un reducido aumento de la resistencia del orden del 0-20%, mientras que con las fibras más largas (> 40mm) los aumentos son en general superiores al 50% en el entorno de las humedades W<sub>óp</sub> ± 4 %.

**Ensayos sobre un tipo de suelo tolerable (Facies Tierra de Campos del Terciario de la Cuenca del Duero).**

Se ha elegido un tipo de suelo de mejor calidad que el anterior, pero que cuya extensión y dificultades de compactación en sus términos más limosos parece apropiado su estudio.

El suelo considerado es el correspondiente a las denominadas «Facies Tierra de Campos» características del mioceno castellano por ocupar el elemento morfológico de la campiña o vega afectada por la red fluvial principal.

Las «Facies Tierra de Campos» están constituidas por sedimentos ocre de granulometría fina desde arenas, limos hasta arcillas de baja plasticidad, en el Centro de la Cuenca del Duero.

Corresponden a una sedimentación de tipo abanico aluvial en facies distales, con pequeños canales de arenas, generalmente finas y dominio de facies de desbordamiento (fangos) de carácter arcillo-limo-arenoso.

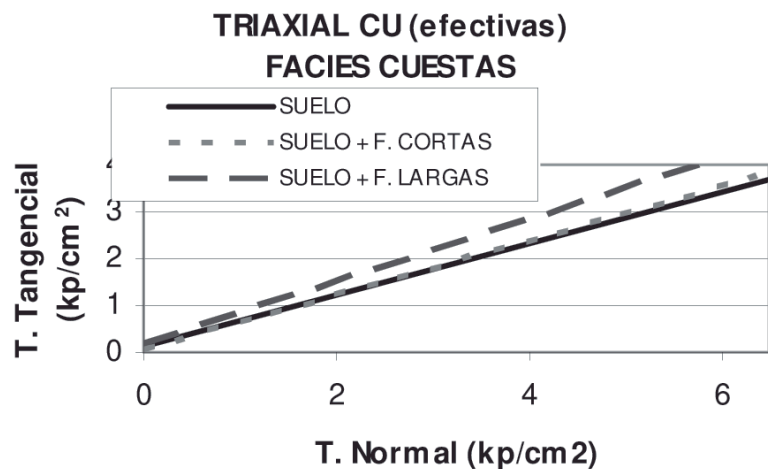


Fig. 1.- Resultados de los ensayos triaxiales

Fig. 1.- Triaxial tests results

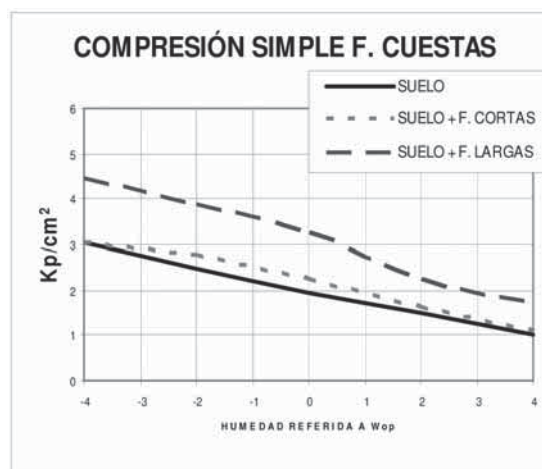


Fig. 2.- Resultados de los ensayos de compresión simple

Fig. 2.- Uniaxial compression tests results

Muestra/descripción	Pasa	Límites de Atterberg			Químicos			CLASIFICACIÓN			
	# 0,08	LL	LP	IP	%CO <sub>3</sub> C <sub>a</sub>	%SO <sub>3</sub>	% MO	USCS	AASHTO	I.Grupo	PG-3
Arcillas limoarenosas	56	33,3	18,7	14,6	11,7	negativo	0,11	CL	A-6	6	Tolerable

Tabla III.- Resultados de los ensayos triaxiales

Tabla III.- Triaxial tests results

La mineralogía de sus arcillas ha sido ampliamente estudiada, tratándose en general de minerales heredados, como illita y caolinita. Son minoritarios, y asociados a facies evaporíticas locales, los minerales de neoformación del tipo de las esmectitas.

Con estas características, las Facies Tierra de Campos tienden a ser inestables, prácticamente sólo en las excavaciones, produciéndose deslizamientos de tipo circular. Las laderas presentan pendientes crecientes con valores que oscilan entre los 0° llegando a 35 - 45°. Son materiales de baja permeabilidad, con acuíferos multicapa asociados a las facies más arenosas.

El suelo utilizado para este trabajo se ha muestreado de una excavación próxima a la Ronda interior sur de Valladolid al inicio de la subida al barrio de Parquesol.

Sus características de identificación se resumen en la Tabla III:

#### Preparación de las mezclas y resultados

Del mismo modo anteriormente descrito, para la preparación del suelo se ha extendido la muestra total inicial (unos 200 kg). Se ha procedido a su disgregación pasándose a continuación por el tamiz de 20 mm UNE y cuarteo posterior para los ensayos.

Los valores de proctor Normal son presentados variaciones significativas en

relación al tratamiento con fibras. Las variaciones detectadas en la densidad son mínimas, mientras que las obtenidas por las humedades entran dentro del mismo rango para este tipo de suelo.

En cuanto a los cortes directos, en general se observa que la cohesión refleja ligeras disminuciones, con aumentos del ángulo de rozamiento interno que, en general, crece con la mayor longitud de las fibras empleada en la mezcla. En los triaxiales efectuados en los tratamientos con fibras de mayor longitud se aprecia un aumento de la cohesión y muy ligero del ángulo de rozamiento interno (Fig.3).

Las mejoras obtenidas con el tratamiento, en los ensayos de resistencia a compresión simple son, sin embargo menos significativas que en el suelo de las Facies Cuestas. Este ensayo se ha efectuado sobre una serie de probetas remoldeadas con distintas condiciones de humedad respecto de la óptima referida a la compactación Proctor Normal. Las curvas de variación de dicha resistencia en función de la humedad se reflejan en la figura 4.

Los tratamientos con fibras no muestran diferencias significativas, salvo con las fibras más largas (> 40mm) en la zona del lado seco respecto de la humedad óptima, donde los aumentos son en general superiores al 50%. Por otro lado, la forma de rotura experimenta una variación al prolongarse notablemente el estado plás-

tico, al igual que ocurre en el otro tipo de suelo estudiado (Facies Cuestas).

#### Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la limitación de datos obtenidos, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

- La operación de desmenuzando y mezclado realizada manualmente es muy laboriosa, por lo que se requerirá en obra unos medios muy específicos para conseguir una buena homogeneización de la mezcla. Esta homogeneización resulta más difícil con las fibras de mayor longitud.
- Sobre el suelo marginal estudiado (Facies Cuestas), se observa que:
  - Los ensayos de Proctor Normal reflejan una homogeneidad en los resultados, lógica por la baja dosificación de fibras.
  - Los ensayos de CBR en condiciones de proctor Normal, tampoco muestra una variación de su índice en función de la adición de fibras, mostrando una tendencia uniforme en el conjunto de las muestras.
  - Los ensayos de hinchamiento libre no presentan igualmente variaciones significativas.
  - Lo mismo ocurre con la presión de hinchamiento y los valores de parámetros edométricos.

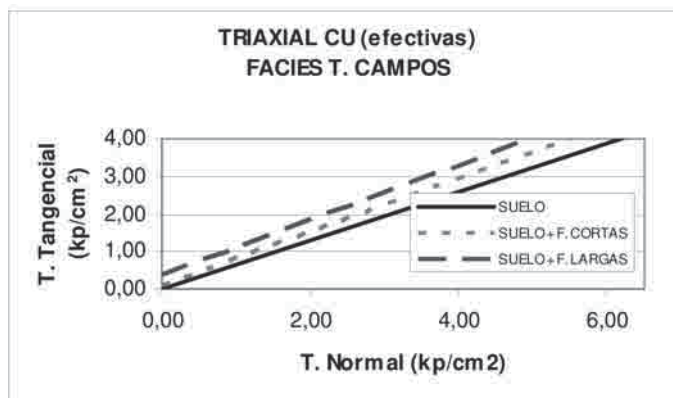


Fig. 3.- Resultados de los ensayos triaxiales

Fig. 3.- Triaxial tests results

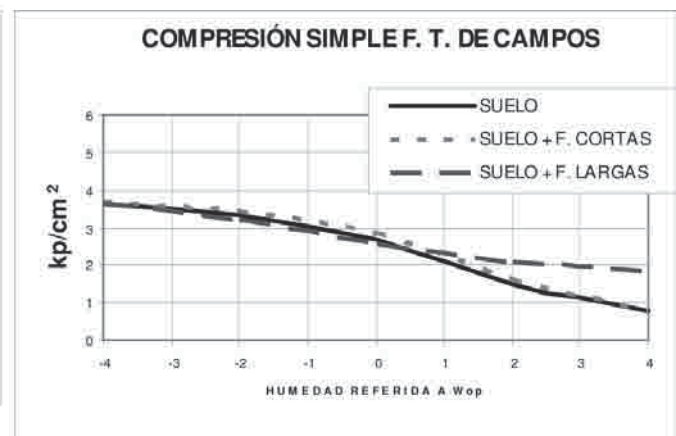


Fig. 4.- Resultados de los ensayos de compresión simple

Fig. 4.- Uniaxial compression tests results

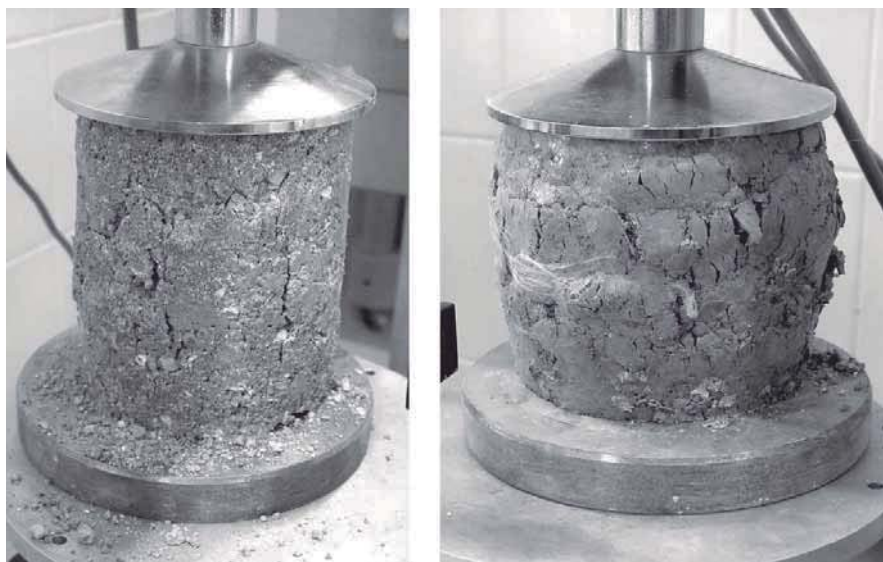


Fig. 5.- Ensayos de compresión de suelo sin mezclar (izda) y con fibras largas (dcha)

Fig. 5.- Compression tests of soil (left) And with long fibers (right)

- Los ensayos de Corte Directo y Triaxiales no parecen detectar un aumento de la cohesión, pero sí un significativo aumento del ángulo de rozamiento que con las fibras más largas podría estimarse en un aumento del orden de 6-9°
- Los ensayos de Compresión simple experimentan mejoras ligeras de la resistencia (0-20%) con el tratamiento a base de fibras cortas, pudiendo sobrepasar el 50% de incremento con las fibras mas largas, en los ensayos realizados sobre probetas remoldeadas en el entorno

de la humedad óptima Proctor Normal (Fig. 5).

Sobre el suelo tolerable estudiado (Facies Tierra de Campos), se observa que:

- Los ensayos de Proctor Normal reflejan una homogeneidad en los resultados, lógica por la baja dosificación de fibras.
- Los ensayos de Corte Directo y Triaxiales dan resultados más heterogéneos, no siendo claro el aumento de la resistencia al corte.
- Los ensayos de Compresión simple no muestran diferencias significativas, salvo con las fibras más largas (>

40mm) en la zona del lado seco respecto de la humedad óptima, donde los aumentos son en general superiores al 50%, en los ensayos realizados sobre probetas remoldeadas en el entorno de la humedad óptima Proctor Normal.

Como conclusión general podemos decir que la mejora de las propiedades geotécnicas por incorporación de fibras textiles sintéticas observada en los ensayos efectuados, es tanto mayor cuanto peor sea el suelo, y cuanto más largas sean las fibras utilizadas. Por la dificultad de mezclado, es recomendable la realización de tramos experimentales in situ con un control a base de ensayos a mayor escala que los de laboratorio.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al interés y facilidades dadas por la Consejería de Fomento de la Junta de Castilla y León, siendo debatido en el seno del Comité de Geotecnia Vial de la Asociación Técnica de Carreteras, promotor de este estudio.

#### Referencias

- Bahar, R. Stiti, H y Melbouci, B. (2002). En: *Geosynthetics- 7th ICG*. (Delmas, Gourc y Girard, Eds.). 1229-1233
- Falorca, IMCFG. y Pinto, MIM. (2002). En: *Geosynthetics- 7th ICG*. (Delmas, Gourc y Girard, Eds.). 1237-1240
- Gregory, GH. y Chill, D.S.(1998). En: *Geosynthetics- 6th ICG* 1073-1078