

Estabilización de suelos por medio de producto enzimático en la obra:

# Duplicación de la carretera M-111 y variante de Fuente el Saz



**Autores: Comunidad de Madrid:** Enrique del Amo Sanz, ICCP, Director de Obra y Antonio Domingo Ayuso, ICCP-Jefe del Área de Construcción (Comunidad de Madrid).

**Acciona Infraestructuras:** Faiver Botello Rojas, Ingeniero Civil, Jefe del Área de Geotecnia y Suelos, Dirección de I+D+i.; Andrea Casas Ocampo, Ingeniería medioambiental y Sanitaria, Área de Geotecnia y Suelos. Dirección de I+D+i; José Daniel García Espinel ICCP, Director de Departamento de Implantación e Innovación, Dirección de I+D+i; Manuel Jiménez Hernández, Director Departamento; y Manuel Heras Hernández, Jefe de Obra.

## Resumen

Debido a su elevado compromiso ambiental, la Comunidad de Madrid ha apoyado el desarrollo de un proyecto de investigación encaminado a generar alternativas ambientalmente viables para la estabilización de suelos, que

permitan mitigar los impactos generados por productos tradicionales como la cal y el cemento.

Esta alternativa consiste en la utilización de un producto de naturaleza enzimática, capaz de mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, con la ventaja de ser completamente biodegradable, lo que lo convierte en

un producto ambientalmente seguro.

A lo largo de la ejecución de este proyecto, se evaluó la mejora en las propiedades mecánicas de los suelos estabilizados enzimáticamente y los beneficios económicos que representó la aplicación para la obra; obteniendo como resultado mejoras en el porcentaje de compactación y resistencia no confinada en las capas tratadas.

**Palabras clave:** Estabilización de suelos, estabilizadores biológicos, enzimas, producto enzimático.

## 1. Introducción

Uno de los problemas a los que se enfrentan los proyectos de infraes-

estructura vial, es la calidad de los suelos que se encuentran donde se van a llevar a cabo las obras, debido a que algunos de ellos, no cumplen las propiedades geotécnicas necesarias para llevar a cabo el proyecto; lo que conlleva, en muchos casos, la obtención de material de préstamo.

Actualmente, existen diferentes productos tradicionales para la estabilización del suelo, como la cal y el cemento; sin embargo, a lo largo del tiempo se ha podido establecer que la aplicación de estos productos genera diversos impactos ambientales.

La Comunidad de Madrid viene impulsando diversos temas relacionados con las políticas medioambientales, dentro de los que se encuentran las nuevas alternativas en la estabilización de suelos por medio de productos enzimáticos, las cuales, además de mejorar las propiedades mecánicas de cualquier tipo de suelo, representan una alternativa económicamente viable para la consecución de este objetivo. Los productos enzimáticos, además de mejorar la capacidad de los suelos para soportar las cargas impuestas por el tráfico y la acción de los agentes naturales, disminuyen los costes asociados a la obtención y transporte de materiales de préstamo y a los impactos medioambientales generados por esta actividad.

Los suelos estabilizados con los productos enzimáticos pueden ser empleados en la construcción de bases o sub-bases de carreteras de tráfico pesado, o pueden convertirse en capas de rodadura de carreteras de tráfico liviano.

Este proyecto experimental se ha desarrollado con el fin de evaluar la viabilidad técnica y ambiental de la aplicación de productos enzimáticos para la estabilización de suelos.

## 2. Objetivo

El objetivo de este proyecto fue evaluar la viabilidad técnica de la estabilización de suelos por medio de productos enzimáticos, realizando una comparación con los diferentes procedimientos de estabilización que se

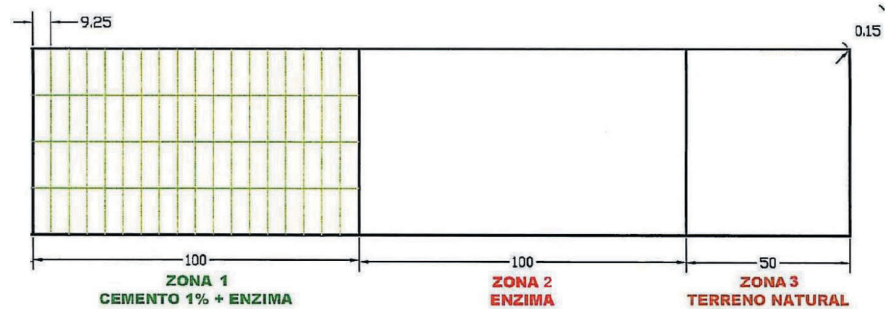


Gráfico 1. Esquema de la estabilización realizada.

utilizan actualmente. Con el fin de realizar dicha comparación, se llevaron a cabo tres tramos de obra, en los cuales además de la aplicación del producto enzimático, se aplicaron las técnicas de estabilización tradicionales.

## 3. Metodología

### 3.1 Descripción del producto enzimático

Las enzimas son sustancias (principalmente grandes moléculas de proteínas) derivadas de las plantas y los animales, que actúan como catalizadores en las reacciones químicas, y funcionan agregando la molécula del sustrato a un sitio molecular específico, de manera que las fuerzas electrostáticas de los átomos cercanos reducen drásticamente la energía necesaria para unirse y reformar los enlaces químicos apropiados; es decir, que las enzimas aceleran los procesos y reacciones químicas que tienen lugar en el suelo, obteniendo mejores resultados en períodos de tiempo más cortos.

Las enzimas se caracterizan por ser proteínas líquidas, bioemulsificadoras, hidrosolubles, completamente biodegradables, hipoalergénicas, libres de bacterias y hongos, no tóxicas, no inflamables y no corrosivas; por lo cual, su descarga en el suelo, el agua y el sistema de alcantarillado, es totalmente segura.

El producto enzimático utilizado en este proyecto es una formulación multienzimática derivada de un proceso de fermentación natural, en el que se utiliza el agua como medio de aplicación. Al ser mezclado con agua,

el producto actúa sobre la parte orgánica del suelo, maximizando su densidad e incrementando sus propiedades naturales a los niveles y condiciones óptimas.

### 3.2 Descripción de la zona

Para el estudio del paso de Salomón, en el proyecto de construcción de "Duplicación de la carretera M-111 y de la variante de Fuente el Saz del Jarama", se llevó a cabo un perfil del terreno en el cual se determinaron tres unidades geotécnicas. La unidad geotécnica 4, la cual está compuesta por limos y arcillas arenosas; la unidad geotécnica 2, compuesta de gravas y arenas de cantos y la unidad geotécnica 1, constituida por arcasas blancas y fangos arcósicos.

Los ensayos granulométricos realizados indican que estos suelos tienen entre un 34 y un 72% de finos, con un valor medio de 49.4%. El límite líquido es siempre menor de 10 y el índice de plasticidad varía entre 6 y 23 con un valor medio de 15, tratándose de terrenos poco plásticos.

### 3.3 Proceso de Estabilización

El proceso de estabilización del suelo se llevó a cabo en el mes de agosto del año 2007, en un tramo de 250 m en la obra "Duplicación de la carretera de la M-111 y de la variante de Fuente el Saz del Jarama". Con el fin de realizar una comparación entre los procesos de estabilización tradicionales (cemento) y la estabilización enzimática, el tramo a estabilizar fue dividido en tres subtramos, denominados zona 1, zona 2 y zona 3, co-



mo se puede observar en el siguiente gráfico (gráfico 1).

**Zona 1: Estabilización de 100 m, aplicando el 1% de cemento y producto enzimático.** Para estabilizar esta zona, inicialmente se realizó la escarificación del terreno hasta una profundidad de 15 cm; luego, se comprobó la humedad del suelo, con el fin de determinar la cantidad de agua necesaria para la aplicación del producto enzimático, teniendo en cuenta la humedad óptima de compactación. Una vez aplicado el producto enzimático, el suelo fue mezclado, con el fin de homogenizar el terreno.

Posteriormente, se aplicó el 1% de cemento, distribuyendo los sacos uniformemente a lo largo de los 100 m. Una vez extendido el cemento, fue mezclado con el suelo hasta conseguir una mezcla homogénea. Posteriormente se comprobó la humedad del terreno, con el fin de determinar la cantidad de agua que debía aplicarse para obtener la humedad óptima de compactación. Finalmente, el tramo fue compactado con rodillo, hasta obtener la densidad máxima de compactación.

**Zona 2: Estabilización de 100 m, aplicando el producto enzimático.** Para llevar a cabo la estabilización en esta zona, se mezcló el producto enzimático con la cantidad de agua que debía ser aplicada al suelo para obtener su humedad óptima; después de mezclar homogéneamente el suelo con el producto enzimático, se realizó la compactación.

**Zona 3: Zona sin estabilizar.** En esta zona se realizó una escarificación del terreno, se determinó su humedad y posteriormente se adicionó el agua necesaria para obtener la humedad óptima de compactación. Finalmente, se compactó el terreno, hasta obtener la densidad máxima. Esta zona permitió realizar una comparación entre las diferentes zonas estabilizadas.

Antes de llevar a cabo el proceso de estabilización en cada una de las zonas, se tomaron diferentes



Gráfico 2. Proceso de estabilización.

ENSAYO	LABORATORIO	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Humedad (%)	6	4,82	4,9	6,65
Densidad in situ (g/cm³)	2,14	2,11	2,04	1,99
Compactación (%)		98,5	95,5	93,2
CBR		50	40	20
Resistencia a compresión simple (MPa)		1,35	0,92	0,79

Tabla 1. Resultados in situ.

muestras de suelo, con el fin de determinar en laboratorio las características geotécnicas y fisicoquímicas de los materiales atravesados por el trazado de la vía. Una vez estabilizadas las zonas establecidas, se llevó a cabo un control de obra, con

el fin de determinar la humedad y densidad de compactación. Adicionalmente, se realizaron ensayos de placa de carga con el fin de determinar las mejoras de obtenidas en el proceso de estabilización.

En el gráfico 3, se presenta un es-

quema del proceso de estabilización de cada una de las zonas.

## 4. Resultados

Como se mencionó anteriormente, una vez realizado el proceso de estabilización en cada una de las zonas, se realizó un control de la humedad, la densidad in situ, el porcentaje de compactación y así mismo, los ensayos de laboratorio de CBR y resistencia a compresión simple, con el fin de determinar el comportamiento mecánico en cada uno de los procesos de estabilización. Los resultados obtenidos se muestran en la *tabla 1*.

Por otro lado, se llevó a cabo un control en obra, realizando el ensayo de placa de carga. Los resultados obtenidos figuran en la *tabla 2*.

## 5. Conclusiones

A partir de los resultados obteni-

ENSAYO	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
E2 (módulo de deformación 2° ciclo placa de carga) (MPa)	131,73	195	136,37
E2/E1 (Placa de Carga)	1,55	2,01	2,02

Tabla 2. Resultados Placa de Carga.

La aplicación del producto enzimático reduce el tiempo utilizado en el proceso de estabilización

dos, se puede concluir que el producto enzimático, además de aumentar la resistencia del suelo comparada con el terreno natural; ha mejorado el módulo de deformación

del terreno, según el control de obra realizado.

Debe tenerse en cuenta que aunque otros métodos de estabilización tradicional también mejoren la resistencia del terreno; la aplicación del producto enzimático reduce el tiempo utilizado en el proceso de estabilización, lo cual se ve reflejado en una disminución en los costes de ejecución de obra.

Finalmente, debido a las características del producto enzimático y a su naturaleza biodegradable, su aplicación no genera impactos ambientales negativos; a diferencia de los productos de estabilización tradicionales como la cal y el cemento. ■