

Sistema Estatec. Aplicaciones y Casos de éxito

Francisco José Blanco Blanco
TECNOSUELO S.A. de C.V.

Eloy Jiménez Ontiveros
TECNOSUELO S.A. de C.V.

RESUMEN: El Sistema Estatec es un sistema de estabilización de taludes en obras lineales, versátil y adaptable a multitud de problemas geotécnicos y que permite particularizar la estabilización a la problemática presente en cada obra. Constituye una solución robusta y definitiva a una amplia gama de situaciones, con la ventaja adicional de que posibilita su combinación con otras técnicas. Se expondrán casos de estudio relevantes, principios de trabajo, aplicaciones y ventajas. Este método de estabilización presenta una dilatada trayectoria y experiencia de aplicación, encontrándose en servicio actuaciones realizadas hace más de 25 años, habiendo constituido una solución definitiva a situaciones difíciles. En Latinoamérica hay más de doscientas actuaciones de éxito y dispone de una patente renovada y mejorada en países como México, Costa Rica, Colombia y Bolivia.

Los fundamentos del sistema consisten en una combinación de técnicas de mejora de suelos mediante inyecciones de lechada, con un sistema de anclajes, que proporciona resistencia al corte al suelo tratado. Esta solución conforma una geometría muy estable. Es una solución dúctil con un excelente comportamiento dinámico. Estatec está recomendado para corrección de deslizamientos en vías terrestres en zonas de alta dificultad geotécnica, como zonas montañosas, fuertes pendientes, climatología adversa y suelos con una geología compleja. Su sistema constructivo top-down permite mantener la funcionalidad de la vía durante su construcción.

PALABRAS CLAVE: Estabilización de taludes, mejoramiento de suelos, áreas de montaña, Latinoamérica, sistema top-down.

1 INTRODUCCIÓN

El Sistema Estatec es una solución versátil para estabilización de taludes, que permite crear una solución definitiva para cada problema. Es una técnica de mejoramiento de suelos que crea una solución robusta, con la ventaja adicional de su facilidad para combinarse con otras soluciones geotécnicas (soluciones de drenaje, anclajes de alta capacidad, microtúneles, ...).

Los principios de funcionamiento del sistema son una combinación de un mejoramiento de suelos con inyecciones, con un sistema de anclajes de barra que proporciona resistencia al corte al suelo tratado. El suelo mejorado se conecta a un muro de bentonita cemento, e incorpora un

sistema de drenes. Esta solución proporciona una geometría muy estable. Es una solución dúctil con un excelente comportamiento dinámico que puede absorber movimientos significativos si se dan factores adversos excepcionales.

El empleo del Sistema Estatec tiene una dilatada trayectoria en el tiempo. Actualmente existen estabilizaciones con este sistema en excelentes condiciones construidas hace más de dos décadas. En Latinoamérica se cuentan más de doscientas actuaciones resueltas con Estatec. El sistema tiene una patente renovada y mejorada en México, Costa Rica, Colombia, Perú y Bolivia, constituye una solución óptima para el tratamiento de deslizamientos en vías de áreas montañosas con problemas geotécnicos complejos, clima adverso,

dificultades geológicas y fuertes pendientes. Es una solución robusta que actúa sobre los factores que provocan el deslizamiento (fallos de drenaje, geometría estabilizadora, resistencia al corte del suelo, consolidación, ...).

Es un sistema top-down que permite mantener en uso la carretera mientras se realiza la estabilización. De esta forma, se consigue evitar el aislamiento de las comunidades afectadas y mantener en servicio las rutas de transporte, con importantes beneficios sociales y económicos.

Se va a presentar una serie de casos de estudio, los principios de funcionamiento del sistema, aplicaciones y ventajas principales.

2 CASOS DE ÉXITO

Los siguientes casos de estudio se localizan en México, pero son representativos de problemas comunes en áreas montañosas de Latinoamérica (sismicidad, fuertes pendientes, precipitaciones elevadas, geología compleja en zonas fuertemente tectonizadas).

2.1 Pachuca – Tuxpan, Km 105+200

En 2012, la carretera Pachuca – Tuxpan se vio afectada por un deslizamiento que cortó uno de los sentidos del tráfico. La carretera se encuentra a media ladera, con un muro de gaviones que falló.

Las causas principales del deslave fueron la modificación de la geometría de la ladera, con la creación de un terraplén en la zona alta del talud, así como el incremento de presión de poro en la estación húmeda, que provocó la formación de un deslizamiento rotacional.



Figura 1. Estabilización mediante Sistema Estatec en dos niveles, en áreas montañosas de Chiapas (México).

Se resolvió el problema actuando sobre las causas del deslizamiento, mediante un Estatec de 3 niveles, como se analizará en detalle en la descripción de los principios de funcionamiento del sistema. La estabilización mediante la mejora de suelos y una geometría estabilizadora fueron los factores claves en este caso de estudio.

Una de las principales ventajas fue que la carretera pudo mantenerse en servicio, evitando una interrupción total del tráfico.

2.2 Oleoducto Zoquital – Catalina. Puebla.

El Sistema Estatec se ha utilizado para resolver una serie de deslizamientos en la construcción de un poliducto entre los municipios de Xicotepec de Juárez y Huachinango, Puebla, en el entorno de la localidad de Coaxicala, en los km 2+600 y 2+720 del trazado. Se ha utilizado también en el km 4+640 en la protección de los apoyos de un puente del poliducto. En caso de dañarse la conducción se podrían provocar afecciones medioambientales importantes en las zonas naturales de alto valor que atraviesa.



Figura 2. Carretera Pachuca – Tuxpan, km 105+200. Se observan fisuras en cabeza del deslizamiento.



Figura 3. Carretera Pachuca – Tuxpan, km 105+200. Solución con Estatec en 3 niveles.

El área de estudio presenta una climatología adversa en la temporada de lluvias. La litología predominante son lutitas con una fuerte alteración en niveles superficiales. El oleoducto discurre sobre desmontes y terraplenes en un área montañosa con fuertes pendientes. Este caso de estudio destaca por ser la primera aplicación del sistema Estatec en la estabilización de deslizamientos con potencial afección a oleoductos

En el km 2+720 de la conducción, se construyó un Estatec en dos niveles, de 90 m de longitud en el nivel superior y 60 m en el inferior. Se resolvió un deslizamiento rotacional con un problema adicional de erosión regresiva.

Con la ejecución del muro se actúa sobre las causas del deslizamiento. Destacamos en este caso la protección frente a la acción erosiva al talud que le confiere el sistema, evitando así una degradación progresiva de los horizontes de lutita. Cobra importancia la disipación de presiones hidrostáticas mediante el sistema de drenes del muro y la canalización superficial de las aguas.

En el km 2+600 las pendientes son menores, pero se observa una erosión progresiva al concentrar una cuenca de mayor tamaño, además de los problemas de inestabilidad asociados con la presencia de agua. La solución consistió en la formación de un nivel de 50 m de longitud, combinado con la recogida y canalización de aguas, para control de socavaciones del sistema.



Figura 4. Oleoducto Zoquital – Catalina, Km 2+720. Deslizamiento rotacional y erosión regresiva.



Figura 5. Oleoducto Zoquital – Catalina, Km 2+720.



Figura 6. Oleoducto Zoquital – Catalina, Km 2+600.



Figura 7. Solución con sistema de un nivel y direccionamiento de aguas. Km 2+600

2.3 Carretera Huixtla – Motozintla. Km 46 +130. Chiapas.

El siguiente caso fue una estabilización realizada en Chiapas, en el año 2012, en el km 46+130 de la carretera Huixtla Motozintla, donde se corrigió un importante deslizamiento. Se trata de una zona de fuertes pendientes, alta pluviometría, y un tramo de desmonte y terraplén con presencia de un punto bajo en la carretera y el fallo de una obra de drenaje. En cuanto a los condicionantes geológicos, se trata de materiales intrusivos tipo granito, que pueden aparecer con algún grado de metamorfismo, con la característica de encontrarse en un área muy tectonizada, y una franja con gran intemperismo, propiciado por la intensa fracturación del macizo y la climatología de la zona.

El tramo afectado presentó un deslizamiento que afectó a uno de los carriles de la vía. Se restauró la plataforma perdida y se logró la estabilización mediante la ejecución de un sistema Estatec en dos niveles, con una longitud de 50 m en el superior y 25 m en el inferior.

3 COMPONENTES DEL SISTEMA Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El propósito del Sistema Estatec es mejorar el suelo (o roca) in situ, al objeto de conformar una estructura monolítica. Su principio de trabajo es similar a un macizo de tierra armada, pero con un sistema constructivo top-down.



Figura 8. Deslizamiento en Km 46+130 Carretera Huixtla – Motozintla.



Figura 9. Estabilización con sistema en 2 terrazas y elementos de drenaje. Carretera Huixtla – Motozintla.

3.1 Principios de funcionamiento

El Sistema Estatec actúa sobre las causas que provocan la inestabilidad, con los siguientes principios de funcionamiento:

- Conformación de un macizo de suelo mejorado con una geometría muy estable, aprovechando el suelo existente, que actúa como una estructura de contención por gravedad.
- Geometría estabilizadora. Configuración en terrazas que retira peso de la parte superior del talud. Este suelo se coloca al pie del deslizamiento donde actúa como una carga estabilizadora.
- Mejoramiento del suelo existente y rellenos de terraplén con un sistema de inyecciones.
- Incremento de la resistencia al corte del suelo mejorado.
- Se trata de una solución dúctil. Puede soportar movimientos y asentamientos sin fallo estructural, permitiendo su refuerzo y reparación si se producen excepcionales condiciones climáticas o geológicas adversas que excedan los condicionantes de diseño.
- Sistema de drenes profundos que reducen las presiones de poro e incrementan las presiones efectivas.
- Creación de una barrera frente a la intemperización de rocas sensibles a la intemperización (lutitas, margas, ...).
- El Sistema Estatec puede combinarse con otras soluciones geotécnicas ampliando su rango de aplicación:
 1. Cortina de micropilotes, frente a círculos de deslizamiento profundos.
 2. Microtúnel y actuaciones de drenaje superficial para canalizar flujos naturales de agua.
 3. Anclajes de alta capacidad, incorporando fuerzas de fricción estabilizadoras en la superficie de deslizamiento.

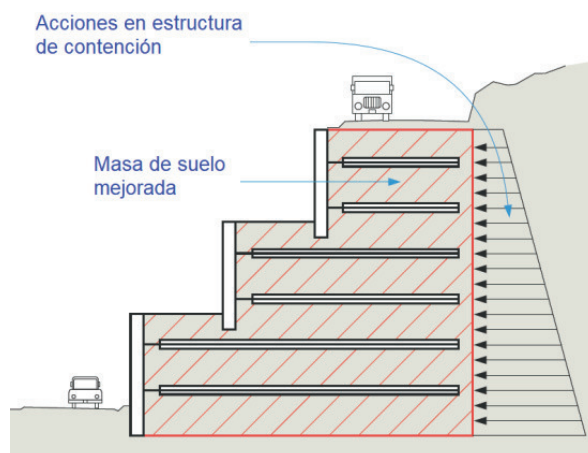


Figura 10. Principios de funcionamiento. Creación de masa de suelo mejorada, mediante inyecciones.



Figura 11. Combinación Sistema Estatec y microtúnel. Carretera Pachuca – Tuxpan Km 102+200. Puebla



Figura 12. Cortina de micropilotes junto al Sistema Estatec. Carretera Villahermosa – Escopetazo. Chiapas.

3.2 Componentes del sistema y funciones principales.

El Sistema Estatec es un método robusto de estabilización de deslizamientos. Se compone de los siguientes elementos.

- a) Muro plástico de bentonita – cemento.
- b) Sistema de anclajes pasivos y activos, con barras de acero.
- c) Inyección de mejoramiento de suelos.
- d) Gunitado del paramento del muro.
- e) Sistema de drenes.

Los elementos del sistema le proporcionan las siguientes propiedades para conseguir una robusta estabilización del deslizamiento:

- Sistema de anclajes de barra. El acero proporciona resistencia a cortante y a tracción al suelo. El sistema presenta una doble protección frente a la corrosión, el sistema de anclajes pasivos se suministra prefabricado con un recubrimiento de hormigón previo, proporcionando una buena durabilidad.
- Inyecciones. El mejoramiento de suelos se realiza mediante el sistema de inyección repetitiva selectiva, vertebrando el suelo, mejorando sus propiedades geotécnicas y reduciendo su deformabilidad. La mejora de suelos actúa de diferente forma según el tipo de suelo:
 1. Suelos granulares. La inyección rellena los huecos entre las partículas de suelo, formando una matriz que las une. La inyección incrementa la presión de confinamiento y mejora su resistencia, según la teoría de Mohr Coulomb.
 2. Suelos cohesivos. Se emplean inyecciones de fracturación. La inyección mejora el suelo por consolidación y con la inclusión de lenguas de lechada que lo vertebran.
 3. En taludes rocosos, la inyección, junto con el cosido de discontinuidades con anclajes de barra, rellena las discontinuidades y vacíos, reduciendo la deformabilidad del macizo rocoso y mejorando su resistencia.



Figura 13. Ejecución de muro de bentonita cemento, con maquinaria ligera. Pachuca - Tuxpan, Km 105+200



Figura 14. Perforación de anclajes. Oleoducto Zoquital – Catalina. Huachinango, Puebla



Figura 15. Gunitado en paramento del muro plástico.



Figura 16. Inyección repetitiva selectiva en anclajes.



Figura 17. Tesado de anclajes de barra. Carretera Pachuca – Tuxpan. Km 111+300. Puebla.



Figura 18. Instalación de drenes subhorizontales. Carretera de Necaxa. Km 95+350. Puebla.

- Muro de bentonita cemento. El muro plástico crea una barrera que aumenta el confinamiento, lo que permite alcanzar mayores presiones de inyección, para obtener una mayor consolidación. El muro plástico permite la excavación para la ejecución del sistema de inyecciones y anclajes de barra.
- Drenes. En la zona inferior del Estatec se instalan drenes subhorizontales, al objeto de reducir presiones de poro, aumentando las presiones efectivas.

4 CONCLUSIONES

El Sistema Estatec es un método de corrección de deslizamientos, con un desempeño óptimo en áreas montañosas de Latinoamérica, como Perú, México, Bolivia, Colombia y Costa Rica, contando con una patente renovada y mejorada. Estos países presentan factores comunes que favorecen la ocurrencia de deslizamientos: zonas sísmicas que causan una intensa fracturación y alteración de la matriz rocosa, alta pluviometría y huracanes, y un clima tropical que favorece la presencia de suelos pobres (arcillas y limos).

El sistema presenta una serie de ventajas en cuanto a su construcción y funcionalidad:

Se construye con maquinaria ligera, lo que hace posible una rápida movilización a la obra. Una intervención rápida y decidida evita fallas progresivas y un deterioro de la estabilidad de la ladera.

Es un sistema de estabilización robusto que actúa sobre las causas que provocan el deslizamiento.

Su procedimiento constructivo top-down en terrazas permite mantener la carretera en funcionamiento durante la obra, evitando la interrupción de las vías de comunicación, con graves perjuicios económicos y sociales.

Se crea una estructura de contención formada por el suelo existente, mejorando sus propiedades geotécnicas y reduciendo su deformabilidad.

Se minimizan los movimientos de tierras con ventajas económicas y medioambientales.

Se evita la aparición de fallas progresivas, al interceptar potenciales círculos de deslizamiento que crean la inestabilidad.

Se trata de una técnica versátil que se puede combinar con otras actuaciones complementarias (micropilotes, microtúneles, anclajes de alta capacidad, encauzamiento de flujos superficiales) adaptando la solución a cada problema.

AGRADECIMIENTOS

A Don Antonio Blanco, Director General de Tecnosuelo, por los recursos que han hecho posible esta comunicación, y por compartir su experiencia y conocimientos con el equipo de Tecnosuelo.

Al Área de Estudios y Proyectos, a todo el equipo técnico de Tecnosuelo en Mexico y Huamantla, formando un gran equipo con muchos años de trabajo colaborativo.

Queremos dedicar este artículo a la memoria del Ing. Juan Carlos Mendiola, fallecido en la actual pandemia de COVID. Fue un gran líder, y gran profesional, convirtiéndose en parte del alma de Tecnosuelo. Le dedicamos esta presentación a su familia, y a todas las personas que han sufrido debido a la actual pandemia.

Nuestro recuerdo también a la memoria de los compañeros de Tecnosuelo fallecidos en los últimos años, el Sr. Jose Tlalpan, el Sr. Joel y el Ing. Arnulfo Téllez, que nos han dejado huella por su calidad humana, esfuerzo y dedicación.



Figura 19. Colocación de malla para gunitado.

BIBLIOGRAFÍA

Blanco Blanco, F.J., 2013. Estatec®, An Innovative Earth Retention System. *First Central American and Caribbean Landslide Congress*. Tegucigalpa. Honduras.

Blanco Blanco, F.J., 2013. Sistema de Estabilización por autoaporte Estatec. *First Central American and Caribbean Landslide Congress*. Tegucigalpa. Honduras.

Blanco Blanco, F.J., Jiménez Ontiveros, E. 2019. Sistema Estatec. Aplicaciones y Casos de Éxito. *Revista Vías Terrestres. AMIVTAC*, vol. 59, 18-25.



Figura 20. Estabilización y protección de cimentación de puente. Oleoducto Zoquital – Catalina Km 4+640. Puebla