

## SOLUCIÓN INNOVADORA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRIBOS DE PUENTE EN OBRAS VIALES

Los estribos de puente concebidos a partir de muros de suelo reforzado son una solución dentro del portafolio de la ingeniería cuando los suelos no pueden derramar por delante del alzado del estribo y el terreno tiene una tensión admisible muy baja, es muy deformable o no se pueden realizar excavaciones. En estos casos se suele recurrir a la construcción de una estructura con un terraplén reforzado a partir de flejes que absorben por rozamiento con el terreno los empujes horizontales, y la cara vista se resuelve con paneles de hormigón armado tipo “escamas” conectados a la armadura.

Hoy existe una solución alternativa y evolucionada que logra este mismo tipo de estructuras a partir de la utilización de geogrillas de alta rigidez como elemento de refuerzo y contención del macizo -que a su vez funciona como muro de gravedad- y la utilización de una cara vista compuesta por bloques prefabricados de hormigón que son instalados en seco, sin mano de obra especializada, utilizando incluso suelos finos y permitiendo lograr muros y estribos de puente de gran altura, incluso con curvaturas longitudinales, tanto cóncavas como convexas.

Este sistema se denomina Muros Terra<sup>e</sup>® y se fundamenta en un proceso constructivo desarrollado sobre la base de los llamados “muros segmentados”, que se utilizan ampliamente en la construcción mundial con un importante crecimiento en el último tiempo en aplicaciones viales, estando presente en más de 300 trabajos en Brasil, Argentina y en el extranjero.

### Componentes principales del sistema:

**Bloques de hormigón como cara vista:** Los bloques Terra<sup>e</sup>® son elementos premoldeados de hormigón sin armadura, diseñados para ser utilizados como cara vista de muros de suelo reforzado. Su geometría y características son el resultado del estudio y el desarrollo específicos. Su colocación se realiza manualmente, en seco y sin mortero. Los bloques se rellenan con piedra partida permitiendo materializar un manto drenante continuo vertical en toda la altura del muro, punto fundamental para el cálculo y dimensionamiento de cualquier muro de contención. Su forma permite adaptarse y generar prácticamente cualquier tipo de geometría que el muro requiera (rectilíneo, ondulado, curvas, etc).

**Geogrillas de refuerzo:** Se utilizan geogrillas tejidas flexibles producidas a partir de filamentos de polímeros de alta tenacidad de polivinil alcohol (PVA) provistas en rollos. Es menester destacar el alto desempeño a corto y largo plazo del PVA el cual genera un refuerzo altamente eficiente debido a que alcanza su pico de resistencia a la tracción con una deformación muy baja, de tan sólo el 5%, valor compatible con las deformaciones típicas de los suelos (del 3 al 5%) en este tipo de estructuras. Otro aspecto a destacar: la compatibilidad de deformaciones suelo-refuerzo para el cálculo y dimensionamiento de cualquier muro de contención. Asimismo el PVA casi no presenta creep (deformación de largo plazo ante esfuerzos aplicados continuamente) y no se corroe como el acero.

**Drenaje:** El drenaje constituye un elemento muy importante del sistema. Los bloques poseen un gran volumen de vacíos, los cuales una vez rellenos con grava, permiten materializar un manto drenante continuo vertical en toda la altura del muro. Este dren permite aliviar las presiones hidrostáticas evitando empujes de agua sobre el paramento. A su vez, el relleno de grava de los bloques genera una excelente interacción con la geogrilla de refuerzo constituyendo un robusto anclaje. Es recomendable la

incorporación de un geotextil no tejido que actúe como filtro, permitiendo el paso del agua y evitando la migración de las partículas de suelo fino del macizo.

## Mecanismo de funcionamiento

De manera general, un suelo adecuadamente compactado presenta buena resistencia a la compresión, sin embargo, su resistencia a la tracción es nula o muy baja. De modo similar al que se verifica en el hormigón armado, la inclusión de refuerzos geosintéticos en la masa de suelo suple esta deficiencia, produciendo un material compuesto con características mecánicas mejoradas. Esta solución denominada suelo reforzado, ofrece grandes ventajas desde el punto de vista técnico y económico, ya que aumenta la resistencia al corte del conjunto (garantizando la estabilidad del sistema y permitiendo la concepción de taludes más empinados), reduce la deformabilidad de la estructura (tanto para la condición estática como sísmica) y disminuye el tiempo y material de construcción. Debido a sus excelentes propiedades de interacción, los geosintéticos de refuerzo (elementos flexibles provistos de rigidez y resistencia a la tracción) trabajan en conjunto con el suelo solidarizando la región potencialmente 'inestable' (zona activa) con la región 'estable' (zona pasiva) para una superficie de falla determinada.

## El proceso constructivo

Una vez diseñado el muro y verificado todos los mecanismos de falla se obtiene la resistencia requerida en el refuerzo, su longitud de anclaje y espaciamiento de los mismos.

El proceso constructivo es sencillo y repetitivo. Se van posicionando los bloques del frente, respetando la alineación y pendiente de proyecto. Luego se rellena el interior del muro en capas de suelo de 20 cm espesor para su correcta compactación. El proceso se va repitiendo a medida que el muro va ganando altura, siempre teniendo en cuenta que habitualmente cada 3 filas de bloques se coloca una geogrilla de refuerzo. Es importante para el sistema, la correcta compactación del material de relleno. Una vez alcanzada la altura definitiva, se pueden realizar diferentes terminaciones según cada proyecto en particular ya sea un pavimento rígido o flexible, la incorporación de defensa metálica o de hormigón e incluso alambrados y desagües.

## Ventajas del sistema de Muro Terrae®

**Durabilidad:** El uso de geogrillas de PVA como elemento de refuerzo de suelo presenta una gran ventaja, ya que garantiza la durabilidad y una prolongada vida útil de la estructura. Por ser un polímero de alto desempeño, no se degrada con el paso del tiempo como ocurre con los refuerzos metálicos, extremadamente susceptibles de sufrir corrosión. Es menester aclarar que el sistema no tiene ningún componente metálico.

**Sistema de anclaje:** La estructura física (malla de estructura abierta) de las geogrillas asegura la condición de interacción con el suelo y la capacidad de anclaje del refuerzo, lo que resulta en longitudes más cortas para los refuerzos. Las geogrillas están ancladas al suelo por dos mecanismos: fricción y principalmente resistencia pasiva de las fibras transversales.

**Tipo de suelo de relleno:** La excelente interacción entre los filamentos de la geogrilla de PVA y el suelo compactado, permite el uso de suelos más finos para el Muro Terrae®, en comparación con los clásicos muros de escamas que presentan limitantes ingenieriles. El sistema de Muro Terrae® puede ser utilizado

en suelos arenosos a limosos con hasta 40% en peso de partículas finas que pasan el tamiz N°200. Cada estrato debe ser compactado correctamente según el diseño. Resumiendo, el uso de geogrillas flexibles de PVA como elementos de refuerzo hace que se requiera menores longitudes de anclaje y menores restricción del tipo de suelo de relleno.

**Equipos y productividad:** El sistema de Muro Terrae® no restringe el tipo de equipamiento de compactación a utilizar como los rodillos tipo “pata de cabra” que brindan mayor calidad y velocidad. Esto es un punto clave e importante en obras de gran tamaño. El sistema de Muro Terrae® funciona exclusivamente a partir de materiales prefabricados (incluyendo los bloques) por lo que no requiere ningún tipo hormigonado in situ, elevando la seguridad de la construcción final comparado al sistema de escamas. Además, todos los recursos (mano de obra y equipo) intervinientes en la ejecución del paramento pueden hacerlo desde el lado interno del muro, es decir desde la zona del relleno del macizo. No es necesario tener acceso desde el frente, lo cual es una ventaja cuando hay limitaciones de espacio y a la hora de elevar la seguridad de los operarios. El tamaño reducido de los bloques permite su montaje manual de forma rápida y sencilla.

**Flexibilidad y Valor estético:** Debido al aspecto estético de los bloques la cara externa del paramento tiene un aspecto ondulado y presenta una terminación de alto valor arquitectónico. El sistema de Muro Terrae®, al trabajar con módulos de pequeñas dimensiones, ofrece mayor versatilidad y adaptaciones geométricas a diferentes alturas, curvas u otras formas geométricas que pueda requerir cada proyecto.

