

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ESTABILIZACIÓN DE TALUD CON SISTEMA ERDOX EN TALUDES DE CARRETERAS

Tesis para optar el Título de Ingeniero civil, que presenta el bachiller:

CÉSAR AUGUSTO URTEAGA POSADAS

ASESOR: Ing. Iván Bragagnini Rodríguez

Lima, Febrero de 2017

RESUMEN:

En el país se presentan frecuentemente problemas de inestabilidad de taludes, esto debido al accidentado relieve existente en diversas zonas del país, además de las fallas geológicas que puedan existir en determinadas zonas; en algunos casos representan peligro para alguna determinada población, por lo cual es necesario que sean intervenidos por medio de sistemas constructivos adecuados para las características que se presenten en cada caso. El sistema ErdoX es un sistema nuevo en Perú para la contención de taludes, el cual presenta ventajas sobre la mayoría de métodos usados; por sus características, presenta similitudes con el sistema Terramesh (uno de los más usados en el país para la contención de taludes).

En el proyecto de tesis, se presenta este nuevo sistema constructivo, sus características y procedimiento constructivo, asimismo los costos y rendimientos; los cuales son comparados con los sistemas de contención de taludes más usados en el país para poder apreciar los beneficios y ventajas que se pueden obtener con el sistema ErdoX, principalmente en los dos últimos, ya que estos son factores importantes a considerar al momento de elegir el sistema constructivo más adecuado para un determinado proyecto.

ALCANCE

El presente trabajo de tesis abarca la presentación del proceso constructivo del sistema ERDOX, para diferentes características de los proyectos en materiales, mano de obra, maquinarias, etc.

Se describirá desde que surge el problema de falla de un talud hasta la solución final.

Se analizarán costos y rendimientos del sistema de estabilización de taludes de carreteras y compararla con otros sistemas en condiciones similares.

PLAN DE TESIS

Capítulo 1- Generalidades

- Introducción
- Alcances
- Antecedentes
- Objetivos
- Metodología

Capítulo 2 – Características del sistema

- Principio de funcionamiento
- Principales características
- Tipos de ERDOX
- Cálculos estructurales
- Aplicaciones

Capítulo 3- Procedimiento Constructivo

Capítulo 4- Planificación, costos y rendimientos

- Planificación del proyecto
- Costos ERDOX (ERDOX junior y ERDOX tierra)
- Rendimientos ERDOX junior
- Rendimientos ERDOX tierra

Capítulo 5- Comparación con otros sistemas

- Descripción de sistemas similares
 - Terramesh System
 - Estabilización de talud con muro de concreto
 - Estabilización de talud con autoperforantes
- Comparación de costos y rendimientos

Capítulo 6- Conclusiones y Recomendaciones

Bibliografía y anexos

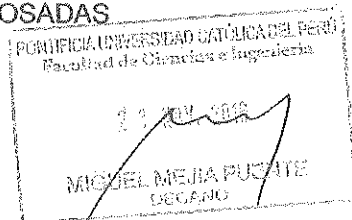
NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Estabilización de talud con Sistema Erdox en taludes de carreteras
Área : Construcción y Gestión
Asesor : Ing. Iván Enrique Bragagnini Rodríguez
Alumno : CÉSAR AUGUSTO URTEAGA POSADAS
Código : 2008.9039.412
Tema N° : FF 279
Fecha : Lima, 15 de noviembre 2016



INTRODUCCIÓN:

En muchos países se presentan frecuentemente problemas de inestabilidad de taludes y en el Perú en las más diversas zonas sufre grandes deslizamientos de los taludes, con mayor frecuencia en época de lluvias diciembre- marzo.

Los valles se forman por acción modeladora de las aguas de los ríos que confluyen numerosas quebradas que permanecen secas por muchos años, las que en épocas de lluvia reaccionan violentamente con flujos torrenciales de lodo y fango llamados huaycos; Sobre ellas se han construido poblaciones formando ciudades, como el distrito Lurigancho – Chosica (recordamos los últimos acontecimientos del año 2015).

La geografía del país es muy accidentada por lo cual amerita investigar, evaluar, comparar métodos de sostenimiento de taludes o canales de coronación para la conducción de los huaycos.

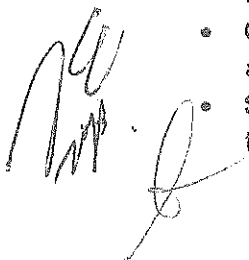
Este trabajo de tesis evaluará un sistema de sostenimiento de taludes llamado ERDOX, y lo comparará con otros sistemas en rendimientos, costos, velocidad de respuesta en situación de emergencia en carreteras para la eliminación del derrumbe en la vía, y luego el sostenimiento en el menor tiempo posible.

El estudio y la introducción de nuevos sistemas de sostenimiento en el Perú son muy necesarios por nuestra geografía.

En el sistema ERDOX se usa el mismo material del lugar, no hay necesidad de cambiarlo por otro para conseguir la estabilidad del talud, por lo cual lo hace muy interesante.

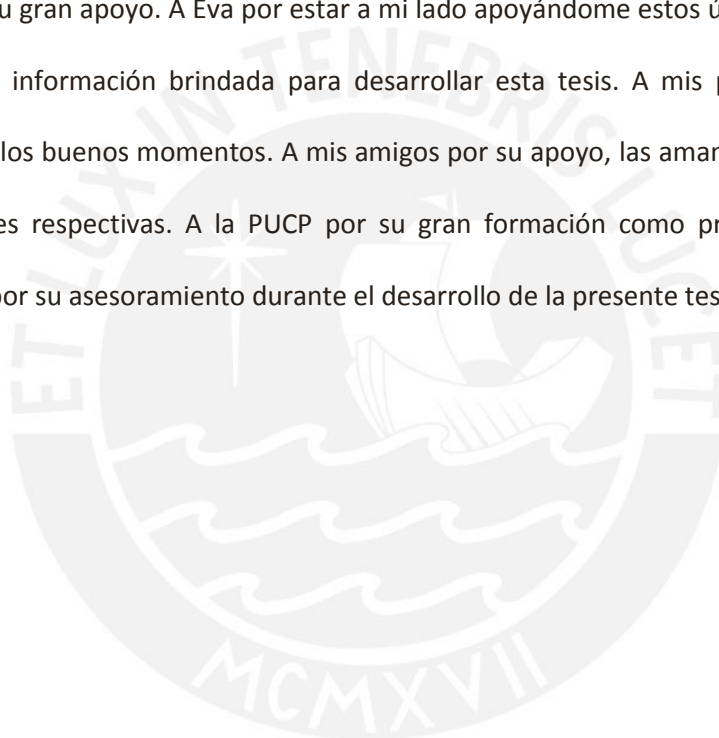
OBJETIVO

- Dar a conocer este nuevo sistema de estabilización de taludes con la finalidad de su aplicación.
- Comparar rendimientos y costos del sistema ERDOX para su utilización con respecto a otros sistemas.
- Comprender el análisis de las características del sistema y las diversas aplicaciones que puede tener.
- Servir de base para otras soluciones de sostenimiento e investigar y proponer temas en nuevos trabajos de tesis.



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a mis padres Lilia y Horacio por todo su apoyo y esfuerzo durante este tiempo, siempre fueron un ejemplo a seguir. A mis hermanos Flor, Horacio y Karina por su gran apoyo. A Eva por estar a mi lado apoyándome estos últimos años. A Julissa y Calin por la información brindada para desarrollar esta tesis. A mis primos y familiares en general por los buenos momentos. A mis amigos por su apoyo, las amanecidas de estudio y las celebraciones respectivas. A la PUCP por su gran formación como profesional. Al Ing. Iván Bragagnini por su asesoramiento durante el desarrollo de la presente tesis.



ÍNDICE

Capítulo 1: GENERALIDADES:	1
1.1. INTRODUCCIÓN:	1
1.2. ALCANCES:	2
1.3. ANTECEDENTES:	2
1.4. OBJETIVOS:	3
1.5. METODOLOGÍA:	4
Capítulo 2: CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA:	5
2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:	8
2.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS:	10
2.3. TIPOS DE ERDOX:	12
2.4. CÁLCULOS ESTRUCTURALES:	17
2.5. APLICACIONES:	20
Capítulo 3: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO:	22
Capítulo 4: PLANIFICACIÓN, COSTOS Y RENDIMIENTOS:	30
4.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO:	30
4.2. COSTOS ERDOX:	31
4.2.1. COSTOS ERDOX JUNIOR:	32
4.2.2. COSTOS ERDOX TIERRA:	33
4.3. RENDIMIENTOS ERDOX TIERRA:	34
Capítulo 5: COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS:	39
5.1. Descripción de Sistemas Similares:	39
5.1.1. Terramesh® System:	39
5.1.2. Estabilización de Talud con Muro de Concreto:	43
5.1.3. Estabilización de Talud con Auto-perforantes:	44
5.2. COMPARACIÓN DE COSTOS Y RENDIMIENTOS:	46
Capítulo 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	54
BIBLIOGRAFÍA:	57

Capítulo 1: GENERALIDADES:

1.1. INTRODUCCIÓN:

Actualmente en la construcción se busca realizar las actividades en el menor plazo y costo posible, un caso frecuente en nuestro país es la inestabilidad de taludes en carreteras, especialmente en las épocas de lluvias, que generan constantes bloqueos entre distintas ciudades o pueblos; por la frecuencia con la que se presentan estos problemas existe la necesidad de que sean resueltos en el menor tiempo posible y de manera definitiva. Hasta los últimos años en el país se ha solucionado este problema, en la mayoría de casos, con el uso del sistema Terramesh u otros sistemas de contención de taludes similares; sin embargo, recientemente se viene usando un sistema poco conocido en el país, este es el llamado Sistema ErdoX, el cual presenta mejores rendimientos y menores costos con relación a otros sistemas (comparado principalmente con el sistema Terramesh).

El sistema de contención de taludes tipo ErdoX es nuevo en nuestro país, el cual es conveniente para diversos casos en los que se presentan complicaciones por fallas de taludes, debido a que generalmente no se necesita transportar material de mejores características hacia la zona de falla, si no que el material usado como relleno es el mismo que ha sido retirado previamente, debido a que el sistema de

anclaje es el encargado de darle la estabilidad requerida al talud. Además, otro factor importante es que, en la mayoría de casos de problemas de inestabilidad de taludes en carreteras, no se tiene que paralizar el tránsito durante la construcción del sistema, esto ayuda a disminuir el impacto social generado por el proyecto.

1.2. ALCANCES:

El presente proyecto de tesis abarca la presentación del proceso constructivo del Sistema ErdoX (de acuerdo a las características del proyecto, materiales, mano de obra, maquinaria, etc); es decir, desde que surge el problema de falla de un talud, hasta que es concluido el proyecto. Asimismo, comprende el análisis de las características del sistema y las diversas aplicaciones que puede tener.

Además, se analizarán costos y rendimientos del sistema en estabilización de taludes en carreteras, para luego poder compararlos con los de otros sistemas en casos con condiciones similares.

1.3. ANTECEDENTES:

Los problemas de inestabilidad de taludes son frecuentes en nuestro país, debido a su accidentada geografía, en algunos de casos de inestabilidad que se presentan generalmente en Perú se venía usando el sistema Terramesh – Maccaferri para solucionarlos; sin embargo, con la llegada de este nuevo sistema a Perú, poco a

poco viene siendo más usado debido a los beneficios que ofrece, comparado con otros sistemas de contención de taludes.

Se debe hacer un estudio detallado de las características presentes en el talud, para poder determinar el sistema constructivo más apropiado para estabilizar un determinado talud, como Suárez menciona en su libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes: “Es importante para la seguridad y economía, que los diseñadores de estructuras de contención tengan especial consideración con los métodos de construcción y los materiales a ser utilizados. Esto ayudará a evitar diseños peligrosos y puede resultar en economía significativa.” (Suárez 1998:480). Si las características del proyecto permiten poder usar tanto el sistema Terramesh como el ErdoX, por lo general es conveniente utilizar este último, ya que como se mostrará posteriormente, presenta ventajas en diversos aspectos, principalmente en costos y rendimientos.

1.4. OBJETIVOS:

- Dar a conocer este nuevo tipo de sistema de estabilización de taludes con la finalidad de que sea más utilizado en nuestro país.
- Comparar los mejores rendimientos y costos que se logran al utilizar este tipo de sistema de contención de taludes con respecto a otros.

1.5. METODOLOGÍA:

Para realizar la presente tesis utilizará la siguiente metodología:

- Ya que la información encontrada es escasa, una fuente importante de información es la empresa Betonform LA que tiene la patente del sistema ErdoX, creado en Italia; es por ello que se contactó con la sucursal de la empresa en Perú para obtener mayor información del sistema, la cual brindó diversos documentos con información importante para poder realizar el presente proyecto de tesis, los principales se detallan a continuación: Muro de Contención pre-armado ErdoX® - INFORME TÉCNICO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA, Análisis de Precios Unitarios, Especificaciones Técnicas Estructura ErdoX, Betonform® ErdoX® - Catálogo (it-fr-es), Betonform ErdoX - Artículo Técnico, entre otros.
- Debido a que es un sistema nuevo en nuestro país, una importante fuente de información fue obtenida del proyecto Carretera Interoceánica Sur (a cargo de la empresa Odebrecht); ya que han realizado procedimientos constructivos con características similares al proyecto de tesis.
- Investigar sobre las características de sistemas de contención de taludes similares para poder comparar costos y rendimientos entre ellos.

Capítulo 2: CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA:

El Sistema ErdoX consiste en un muro de contención que cuenta con un mono-anclaje, el que se realiza mediante una estructura de metal con forma de pirámide, y tiene como principales ventajas una rápida instalación, poco peso, estabilidad inmediata y además se puede armar previamente en un lugar cercano al proyecto a realizar. Cuando se necesita intervenir de manera inmediata en una estabilización de taludes, este sistema es muy conveniente ya que presenta muy buen dinamismo y versatilidad (Betonform®, 2014).

El sistema ErdoX cuenta con 2 vigas de construcción de acero (HE120B), las que contendrán el suelo soportado por el sistema, éstas se encuentran unidas en forma de cruz (cruz de San Andrés, rectangular de 3.60 x 3.10 m para ErdoX Tierra). Las 2 vigas se conectan al tirante rígido mediante un nudo esférico que se ubica en la intersección de éstas, el cual sirve de conexión con la placa de concreto para que el sistema se encuentre anclado adecuadamente (Betonform®, 2014).

En los bordes de las vigas del panel frontal se conectan de 4 a 8 cables de contraviento de 16 mm de diámetro, con alma de acero, los que son conectados a la parte del tirante que se conecta al bloque de concreto, con lo cual se obtiene la característica piramidal del sistema ErdoX (la cantidad de cables depende del tipo de elemento, si es ErdoX Tierra normal o Reforzado, como se puede inferir, el primero cuenta con 4 cables, el segundo con 8) (Betonform®, 2014).

Para complementar el sistema se instala una red estructural rectangular en la zona de las 2 vigas (3.60 x 3.10 m), se coloca un cable de 12 mm de diámetro con

alma de acero en el perímetro además de una red estructural con cable de acero de 8 mm que se cruzan en forma de rombo en el plano de las vigas, con un espaciamiento de 30 x 30 cm. Además, se fija una red metálica a doble torsión al panel de red estructural, las cocadas que tiene son de 8 x 10 cm y con un espesor de 2.7 mm (galvanizada completamente), y se une firmemente al panel estructural principal. La malla se dobla al pie de la estructura aproximadamente 1.50 m, la cual le aumenta el coeficiente de fricción con el suelo y además, sirve principalmente para garantizar el funcionamiento de las barreras evitando posibles erosiones al pie (esto se da principalmente cuando el sistema se encuentra próximo a ríos). Además esta malla favorece la adaptación del sistema, junto con el mono-anclaje, ante posibles desprendimientos diferenciales en el terreno, lo que evita que la estructura sea sometida a cargas no previstas durante su vida útil; otro sistema que ayuda a no sufrir cargas imprevistas, es el nudo esférico que puede admitir una pequeña rotación para que pueda adaptarse al punto de anclaje y no se añadan fuerzas internas que modifiquen las fuerzas de diseño (Betonform®, 2014).

Dependiendo de la función del ErdoX y las características locales del suelo, se seleccionará si para el anclaje se utilizan micro-palos de cimentación, placas de concreto armado o vigas en concreto realizadas en obra. Si se escogen placas prefabricadas de concreto armado, el diseño para determinar las dimensiones se hace de acuerdo a las condiciones del material utilizado de relleno; estas placas pueden ser simples o compuestas por otros elementos adicionales (si existen presiones altas de suelo se recomiendan placas en forma de L). En la mayoría de

casos las placas son suficientes para que los elementos sean estables durante su vida útil; sin embargo, en casos donde se requiera una gran resistencia del elemento para que se mantenga estable, se puede utilizar un sistema de anclaje con cimentaciones especiales.

Cada elemento ErdoX viene en un kit de montaje, el cual se encuentra pre-montado y con las instrucciones necesarias para poder finalizar el montaje de manera sencilla; este kit contiene lo siguiente: grilletes para conectar los elementos adyacentes, grilletes adicionales, pernos, tuercas y todos los elementos que son necesarios para que la estructura sea armada correctamente. Todos los elementos metálicos de cada ErdoX se encuentran galvanizados para que se garantice que el sistema tenga una adecuada vida útil (Betonform®, 2014).

Los elementos del sistema pueden ser armados en un lugar cercano al proyecto, debido al bajo peso de cada elemento y a que son fácilmente armables, y luego se transporten al lugar deseado para ser instalado finalmente. Esto además garantiza versatilidad y rentabilidad muy buenas.

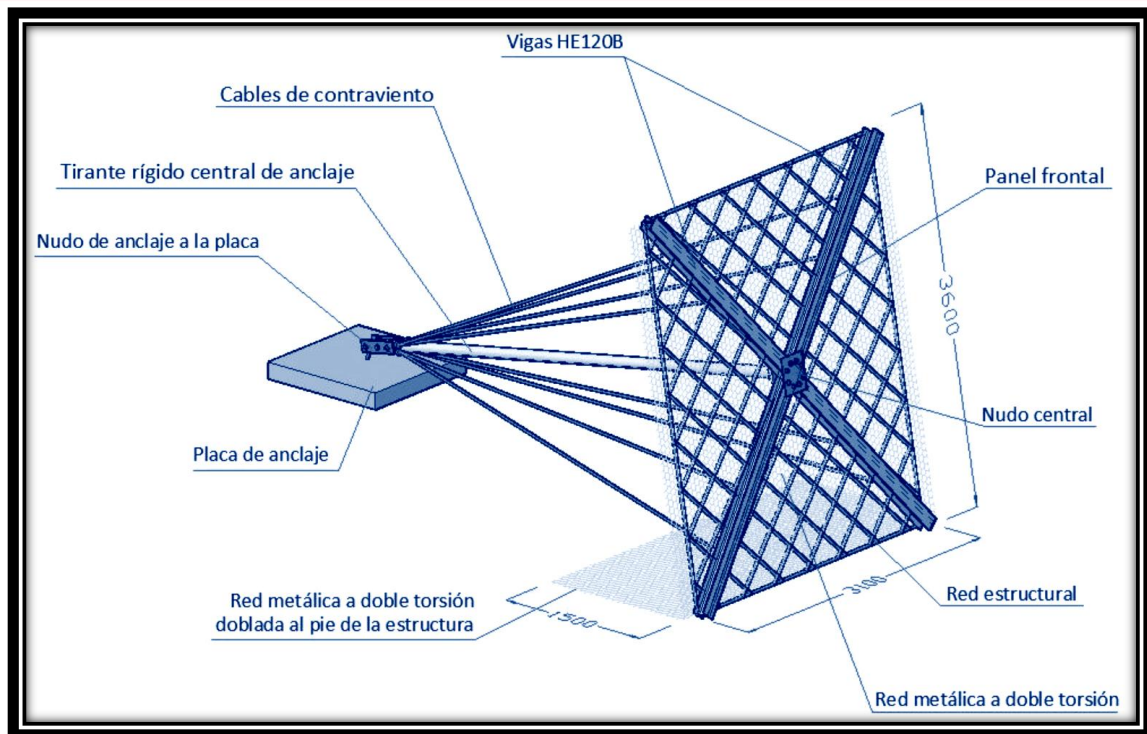


Figura N° 01 – Elementos del Sistema (Fuente: Betonform LA)

2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

El principio de funcionamiento se basa en que el empuje que ejerce el panel frontal transmitido por el relleno más la sobrecarga que pueda haber sobre la estructura, sea menor que el peso actuante sobre la placa de concreto del material de relleno de las estructuras. Cabe resaltar que el empuje sobre el panel frontal se transmite de manera piramidal hacia la placa de concreto por medio del tirante rígido y los cables contraviento, lo que representa el sistema de anclaje de cada elemento ErdoX. Por lo cual, es recomendable que el apoyo de la placa de anclaje sea sobre un terreno de buena calidad (Betonform®, 2014).



Figura N° 02 - Estructura Sistema ErdoX (Fuente: Betonform LA)

Si por las condiciones locales no se puede apoyar la placa sobre un suelo de buena calidad, se puede anclar con un tirante hecho con una perforación en el terreno (con la profundidad adecuada para que la resistencia a tracción establezca completamente al sistema). La base del funcionamiento tipo pirámide, garantiza que no existan problemas por volteo en un muro en un muro construido con el sistema ErdoX (es geoméricamente imposible que suceda) (Betonform®, 2014).

2.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS:

Las principales características que presenta este sistema son las siguientes:

- El impacto ambiental generado por este tipo de estructura es muy bajo, debido a que al terminar de construirlo se recomienda sembrar sobre la estructura, lo cual hace que el paisaje prácticamente no se vea afectado. Además este tipo de muro se encuentra constituido, casi en su totalidad, por material de la zona en la que se encuentra el proyecto (ello hace que se pueda sembrar plantas de la zona sin ningún problema).
- Un fallo por volteo no es un problema que se pueda presentar en este tipo muro, ya que como se mencionó, tiene un funcionamiento en forma piramidal (el cual es conocido porque es imposible que presente fallas por volteo). Este tipo de funcionamiento es debido a que se transmite el empuje ejercido sobre el panel frontal a través del tirante rígido y los cables de cortaviento hacia la placa de concreto (es por ello que se recomienda que la placa de anclaje se encuentre sobre terreno firme) (Betonform®, 2014).
- En comparación con el Muro Terramesh, este tipo de muro presenta ventajas en mano de obra, maquinaria y, principalmente, en costo y tiempo de ejecución. Dependiendo de las características del proyecto, se pueden alcanzar rendimientos y costos hasta 3 veces mejores, usando el sistema ErdoX.

- Adquiere resistencia estructural y estabilidad al instante en que se completa cada muro construido, lo cual implica que el tránsito vehicular se puede restablecer en el menor tiempo.
- No compromete a estructuras que se puedan encontrar en la parte superior, ni induce acciones de carga que no se encuentren previstas, esto es debido a la flexibilidad del sistema (aportada por el mono-anclaje) y puede adaptarse a algunos asentamientos diferenciales que pueda tener el suelo en el cual es construido (Betonform®, 2014).
- Con el fin de evitar la saturación del material, la cara frontal del sistema permite drenaje, para que se eviten las fallas originadas por el posible exceso de peso originado por el agua (es por ello que no se consideran sobrecargas hidráulicas para el diseño) (Betonform®, 2014).
- Posee mucha adaptabilidad al entorno que lo rodea por su configuración final (cubierta por vegetación, si las condiciones locales lo permiten), lo cual le da un buen aspecto al proyecto terminado.
- Los muros construidos con el Sistema Erdox son estructuras sismo-resistentes, debido a que por las características estructurales que presentan son flexibles e isostáticos (Betonform®, 2014).

2.3. TIPOS DE ERDOX:

Como existen diversas circunstancias en la que se puede usar este sistema, se tienen 4 tipos de ErdoX para distintos tipos de condiciones (BETONFORM®, 2010), las cuales se detallan a continuación:

➤ ErdoX Tierra:

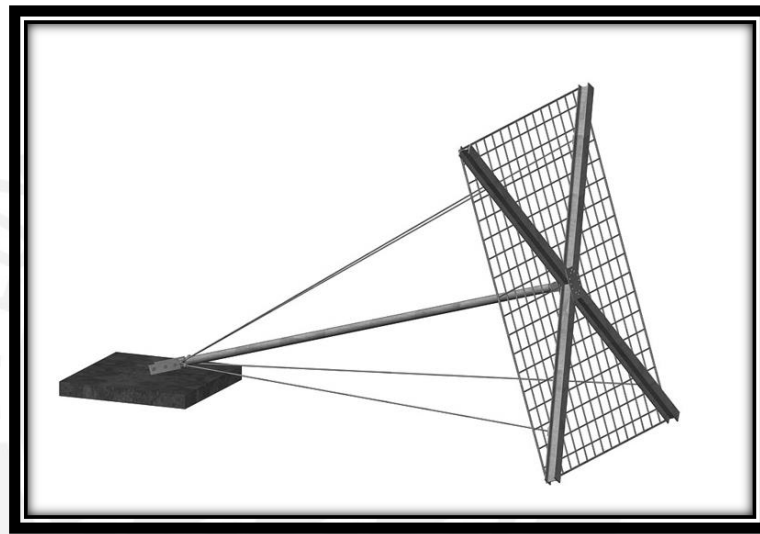


Figura N° 03 - Esquema de la estructura del sistema ErdoX Tierra

(Fuente: Betonform LA)

Este tipo de ErdoX es el de las características mencionadas anteriormente, es decir, de dimensiones de 3.10 x 3.60 m, con un peso aproximado de 350 kg por cada elemento.

Es usado generalmente para los siguientes casos: deslizamientos de tierra, rocas, barreras de escombros, muros de contención y estabilizar laderas con posibilidad de falla.

Existen 2 tipos de ErdoX tierra, las cuales son: ErdoX Tierra y ErdoX Tierra Reforzado, el primero cuenta con 4 cables de contraviento y 1 placa anclaje de concreto de 1.40 x 1.40 x 0.18 m, y el segundo, con 8 cables y 2 placas de anclaje de iguales dimensiones (pueden ser colocadas una sobre otra, o en forma de “L”).

Si las condiciones del terreno son extremas, y usando el ErdoX tierra reforzado no es posible garantizar la estabilidad del talud con las placas de anclaje, se pueden utilizar sistemas adecuados de cimentación para que el sistema se encuentre adecuadamente anclado al terreno.

➤ ErdoX Junior:

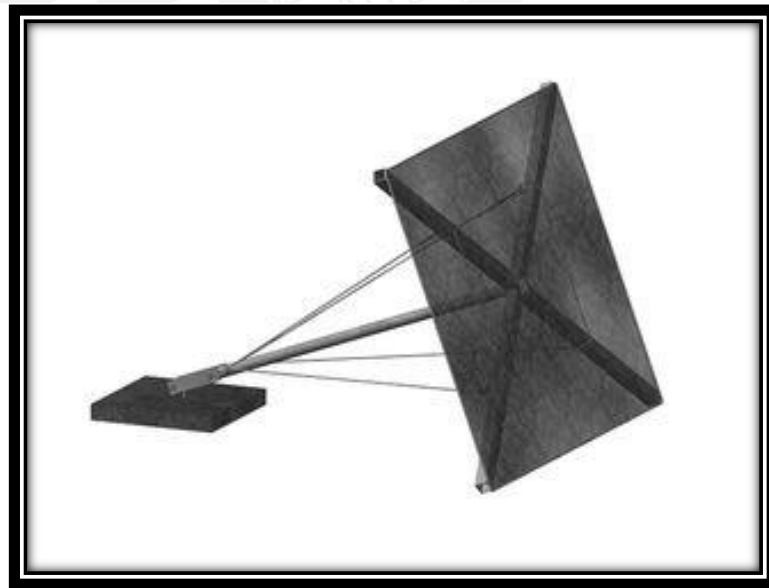


Figura N° 04 - Esquema de la estructura del sistema ErdoX Junior
(Fuente: Betonform LA)

Este tipo de ErdoX posee menores dimensiones que el modelo anteriormente mencionado, 2.00 x 2.50 m. y cuenta con un peso de 120 kg por unidad. Es por ello que es utilizado en proyectos en los que la resistencia requerida por el sistema no es elevada. Este tipo de sistema tiene como ventajas mayores facilidades de instalación y versatilidad; su tamaño y peso reducidos hace que tenga mayor manejabilidad. Este ErdoX es capaz de estabilizar una superficie de 5 m² en una pendiente inestable. Puede resistir cargas de 10 a 12 toneladas aproximadamente.

Por las características que posee este ErdoX es recomendado principalmente para los siguientes casos: construcción moderna y muy efectiva de gaviones, como terraplén de canales y lagos, además de ofrecer un control de erosión muy eficiente.

Al igual que en el caso del ErdoX Tierra, existen dos tipos de ErdoX Junior: el normal y el reforzado, los 2 están conformados por 4 cables contraviento, la diferencia se encuentra en las dimensiones de la placa de anclaje, el primero cuenta con una placa de 0.80 x 0.80 x 0.10 m, mientras que el segundo es de 1.15 x 1.25 x 0.18 m.

➤ ErdoX Nieve:

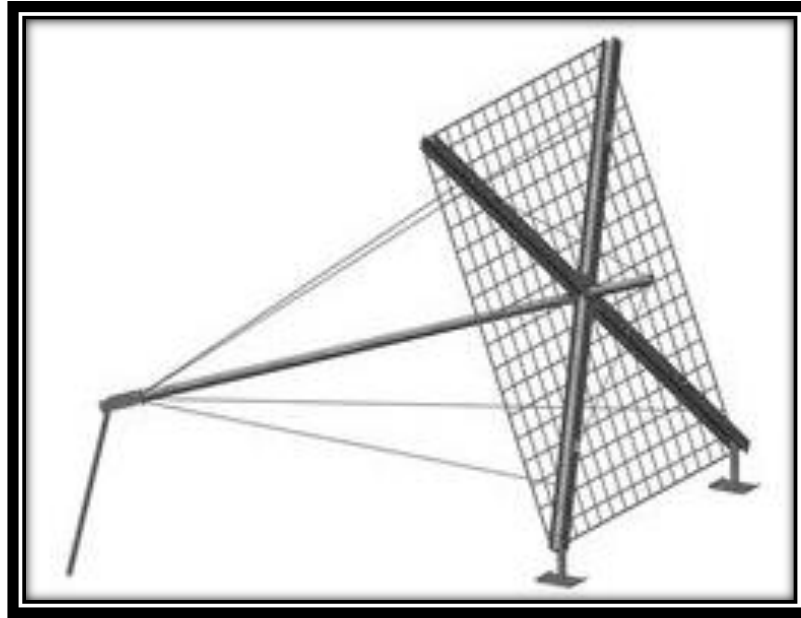


Figura N° 05 - Esquema de la estructura del sistema ErdoX Nieve

(Fuente: Betonform LA)

Como se puede inferir, este sistema está especialmente diseñado para su uso en zonas con fuerte cantidad de nieve y con peligro de avalancha hacia propiedades o zonas habitadas por personas o animales. Es por ello que este tipo de ErdoX se ancla en la nieve para poder resistir las cargas que se puedan presentar en los taludes con pendiente pronunciada, generalmente.

➤ ErdoX C:

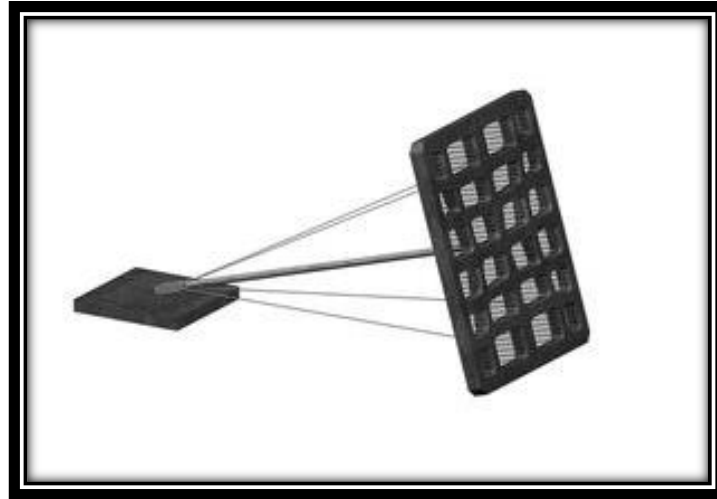


Figura N° 06 - Esquema de la estructura del sistema ErdoX modelo C

(Fuente: Betonform LA)

Este tipo de ErdoX está diseñado para ser usado especialmente como protección en costas u orillas, contención de terraplenes, pendientes con peligro de deslizamiento, entre otros.

Es una buena alternativa en ambientes con presencia de sales u otros agentes que puedan dañar la estructura, como las presentes en mares, ya que para tener más tiempo de vida posee una armadura hecha con barras de fibra de vidrio.

El anclaje puede ser realizado por medio de un tirante sobre roca o también terreno suelto, unido con un cable metálico en forma de espiral con su respectivo guardacabo, y es adherido al terreno con una placa de concreto (adecuadamente dimensionada para el proyecto) que fija al sistema.

2.4. CÁLCULOS ESTRUCTURALES:

Los cálculos estructurales **no se encuentran dentro de los objetivos del proyecto de tesis**, por lo que solo se especificarán de manera sencilla en el presente acápite (BETONFORM®, 2012).

Para calcular el empuje que es ejercido sobre el paramento anterior se utiliza la teoría clásica de muros de contención, sin considerar cargas hidráulicas (ya que como se mencionó, este sistema es permeable) y además se considera la superficie de contención como infinitamente rígida. Gracias a no soportar las posibles cargas por presión hidrostática, este sistema puede ser usado sobre superficies que sean de permeabilidad limitada.

Debido a que el empuje se ejerce sobre las vigas diagonales que contienen al muro, y éste es permeable, la fuerza hidrostática ejercida sobre el sistema puede considerarse como nula.

La ecuación para calcular magnitud del empuje ejercido es la siguiente:

$$P = \gamma \cdot h \cdot K_a / 2 + Q \cdot K_a$$

Donde:

- P: empuje ejercido sobre la pared, utilizando Rankine.
- γ : peso específico del material utilizado como relleno.

- h : altura de la estructura.
- K_a : coeficiente de empuje activo (depende del ángulo interno de fricción del terreno, el ángulo del talud sobre la estructura y además algunos parámetros locales).
- Q : sobrecarga estimada según el uso del muro.

Se puede sustituir la carga uniformemente distribuida sobre el muro por una carga puntual aplicada en la intersección de las vigas (es decir, al centro de éstas); esto es debido a que los resultados obtenidos con la modelación del modelo real y el idealizado son prácticamente iguales, lo cual es admisible para propósitos ingenieriles.

Para que el sistema se encuentre en equilibrio la resistencia del sistema de anclaje debe ser mayor que la fuerza aplicada sobre las vigas, lo cual depende directamente de la fuerza de fricción producida entre la placa de concreto y el terreno sobre el que es apoyada. Es por ello que se debe tener especial cuidado en el dimensionamiento de las placas y la calidad del terreno sobre el cual van a ser apoyadas.

En los casos que por condiciones locales la calidad del terreno sea mala y no se pueda garantizar la estabilidad del sistema, se pueden usar 2 placas de concreto en L, lo cual permite aumentar significativamente el anclaje del sistema (en este caso es posible considerar al sistema como una especie de gavión, en el que el empuje del terreno es resistido por el peso propio).

Información requerida para poder realizar el proyecto:

- Fotografías de la zona.
- Topografía (actualizada).
- Características del terreno:
 - Descripción general.
 - γ : peso específico.
 - ϕ : ángulo de fricción.
 - c : cohesión.
 - α : factor de sismicidad de la zona.
- Sobrecargas.

En casos especiales como los presentados a continuación es necesario tener información adicional:

- Fallas Profundas y Deslizamientos en Masa:
 - Estratigrafía del terreno / refracción sísmica, desprendimientos (planos de detalle), características de los tipos de capas presentes en el terreno.
- Defensas Ribereñas y Reconstrucción de Laderas de Río:

- Caudales (máximo y mínimo), cota del cauce del río (normal y máximo), detalles de socavación.

2.5. APLICACIONES:

Dadas las características del Sistema ErdoX, es posible usarlo en gran cantidad de situaciones en las que se necesite estabilizar taludes, ya sean estos casos sencillos (donde es posible usar una sola fila de ErdoX o incluso ErdoX Junior) o en otros más complicados (en los que se colocan varias filas de ErdoX por las características del terreno y el peligro que pueda existir). Gracias a su mono-anclaje es muy versátil y útil para situaciones extremas.

Las principales (o más usadas) aplicaciones del sistema son las siguientes:

- Muro de contención (por ejemplo, para proteger carreteras del talud que se encuentra por debajo o por encima de ésta).
- Botaderos (construcción o ampliación) y Depósitos de Material Excedente (DME) en terrenos accidentados.
- Lugares donde existen fuertes erosiones que pueden ocasionar problemas de inestabilidad.
- Defensas ribereñas.
- Disipadores de fuerza para quebradas y ríos.
- Espigones pre-armados (en mares o ríos).
- Protección ante caída de piedras u otros objetos.
- Estabilización de terrenos con peligro de desplazamiento o desplome.
- Andenes en terrenos con pendientes pronunciadas.

En **resumen** las principales características que presenta este sistema son:

- Flexibilidad otorgada por el mono-anclaje.
- Adquiere resistencia estructural instantánea, después de rellenar cada elemento con el material.
- Instalación fácil y rápida, comparada con los métodos más usados actualmente en el país.
- Sistema de drenaje bastante eficiente.
- Son re-vegetables en su totalidad (si las condiciones locales del proyecto lo permiten).
- El peso que poseen es relativamente bajo, el ErdoX modelo Tierra (3.10 x 3.60 m) es de 350 kg, mientras que el modelo Junior (2.00 x 2.50 m) es de 120 kg.
- La superficie de retención es de 11 m² y 5 m² para los modelos Tierra y Junior, respectivamente.

Capítulo 3: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO:

Para la correcta instalación del sistema ErdoX se sigue el siguiente procedimiento:

➤ **Armado de estructuras:**

Como se mencionó anteriormente, las estructuras se pueden armar cerca al proyecto, es por ello que se tiene que acondicionar un terreno con regular área y lo más plano posible. El procedimiento para el armado es el que se detalla a continuación (BETONFORM®, 2012):

- Primero, se debe colocar el panel frontal en forma horizontal, dejándolo a una altura no menor de 20 cm del suelo (se puede llegar a la altura indicada con 2 tacos de madera).
- Luego, situar las vigas lo suficientemente abiertas para que los huecos de éstas coincidan con los de las placas del nudo esférico.
- Después, se instalan los 4 pernos con sus respectivos bulones (tornillos de tamaño relativamente grande) en los huecos correspondientes.
- Posteriormente, se debe verificar que la viga doblada se encuentre alineada y además, que el lado con menor dimensión tenga una longitud de 3.09 m.
- Verificar que los 8 bulones del nudo esférico se encuentren correctamente cerrados, para garantizar la correcta unión.

- Ubicar el cable perimetral de la red estructural alrededor de las 4 extremidades del panel frontal.
- Poner los 2 sujeta cables correctamente en su posición y cerrar los bulones adecuadamente.
- Al terminar, se levanta el tirante rígido y se posiciona en forma vertical, luego se fija el cabezal del tirante en el nudo esférico central, se insertan los pernos y se procede a cerrar el bulón del nudo esférico.
- Después, se conectan los 4 cables contraviento en forma manual con el panel frontal, con la ayuda de los grilletes.
- Luego, se procede a comprobar que los bulones colocados en el panel frontal se encuentren correctamente cerrados:
 - 8 bulones de la placa central.
 - 8 bulones de los 4 sujeta cables perimetrales.
 - 1 bulón del nudo esférico.
 - 4 grilletes de los cables contraviento.

➤ **Preparación del plano de apoyo de las estructuras:**

- Se debe excavar en el terreno de manera suficiente como para poder colocar las estructuras y la placa de anclaje de concreto.
- Si es posible, hacer una excavación “en forma de zanja” (si las características del suelo son adecuadas) se reduciría el tiempo y los costos, debido a que el volumen de corte que se necesita hacer en el terreno sería el mínimo requerido para realizar el trabajo.
- Generalmente, basta con tener un nivel aproximado del terreno para colocar las estructuras y es suficiente compactar con la misma maquinaria que se utiliza para la excavación.
- En el caso que el trabajo se efectúe próximo a una carretera (en la que se realice la plataforma sobre las estructuras) ya no se podrá efectuar una simple compactación como en la mayoría de casos, si no que esta deberá ser de una calidad suficiente como para que se eviten los posibles problemas originados por una compactación inadecuada del suelo (por ejemplo, hundimiento del terreno).

En la siguiente figura se puede apreciar la excavación del terreno hasta llegar al nivel deseado:



Figura N° 07 – Excavación de Terreno (Fuente: Betonform LA)

- En un lugar cercano a la obra se armarán las estructuras, se realizará cada ErdoX en un tiempo aproximado de 30 minutos. Para ello se necesitan: 2 personas, un juego de llaves y una maquina (por ejemplo, retroexcavadora). Como se puede apreciar en la imagen siguiente:



Figura N° 08 – Armado de elementos ErdoX (Fuente: Betonform LA)

- La colocación de la estructura armada en obra se realiza mediante el siguiente procedimiento:
- Se eleva el panel frontal armado con la ayuda de la maquinaria, hasta que se encuentre en forma vertical y el tirante rígido horizontal, luego se traslada dicha estructura hasta el lugar donde se llevará a cabo la instalación.
 - Para tener la placa de concreto (o las placas en caso de contar con 2 placas, en forma de L o una sobre otra) en el lugar requerido solo hay que apoyarla sobre el terreno existente (si el terreno no es de buena calidad, es recomendable colocar debajo de la placa una capa de grava para que exista una buena fricción con el terreno). La parte final del tirante rígido tiene que quedar al centro de la placa de concreto.
 - Posteriormente, se unen mediante un perno con su bulón respectivo.
 - Se dobla la malla de torsión del panel frontal hasta que se puedan acercar los 2 cables perimetrales correspondientes a 2 estructuras colindantes.
 - Se colocan los 3 grilletes (arriba, al medio y al fondo) y se cierran firmemente sus bulones (lo cual también garantiza la flexibilidad entre las estructuras, lo que conlleva a que sea una estructura sismo-resistente).



Figura N° 09 – Excavación de Terreno (Fuente: Betonform LA)

- Para el relleno de las estructuras se deben seguir las siguientes pautas:
 - En la mayoría de casos se puede utilizar cualquier tipo de material debido a que la estabilidad de este sistema se encuentra dada por la estructura metálica; para el ahorro de transporte y compra de material de otro lugar, se usa como material de relleno, por lo general, el material excavado del siguiente tramo.
 - Se debe rellenar desde el lugar donde se ubica la placa de concreto hacia el muro de contención para garantizar la estabilidad de cada elemento al momento de la construcción.
 - El tipo de relleno y dependiendo de si este será compactado o no se determinará según el resultado del estudio realizado para el proyecto y de acuerdo al uso que tenga el Sistema ErdoX instalado.

- Según las características del proyecto, si se considera necesario, se puede instalar detrás del panel frontal geo-sintéticos adecuados para poder contener materiales finos dentro de los elementos ErdoX.
- Si se tiene que compactar el terreno relleno, primero se debe verificar que tanto el tirante rígido como los cables contraviento se encuentren completamente cubiertos por el material de relleno para evitar posibles daños y el sistema de anclaje se pueda ver afectado. Además, se tiene que verificar que la maquinaria utilizada para este proceso sea la apropiada para el proyecto, por ejemplo, una excavadora.
- Uno de los casos donde se puede utilizar el material de la zona como material de relleno, es principalmente en los que la función del muro ErdoX es estabilizar taludes inestables, lo cual evita la sobrecarga que se pueda ejercer sobre el terreno al utilizar otro tipo de material.
- En los casos en los que se utiliza el sistema ErdoX para defensas ribereñas o espigones, el material de relleno utilizado tiene que ser capaz de detener las partículas de menor tamaño cuando éstas entren en contacto con el agua, es decir material fino ($75\ \mu\text{m}$, que pasa por la malla #200); los materiales más utilizados para estos casos son piedra chancada o canto rodado de río.
- Cuando el muro ErdoX se encuentra bajo una carretera en la cual la plataforma se ejecutará sobre las estructuras (para estabilizar el talud), se tiene que utilizar como material de relleno piedra chancada de 4 – 7 cm

de diámetro; además, se tiene que colocar geotextil y geomalla con el fin de evitar posibles deformaciones en la carretera. En estos casos, se recomienda una separación de por lo menos 2 metros, como medida de seguridad, para poder realizar un talud.



Figura Nº 10 - Imagen del Sistema ErdoX en construcción (Fuente: Betonform LA)

Capítulo 4: PLANIFICACIÓN, COSTOS Y RENDIMIENTOS:

Dos de las principales ventajas de este sistema son los bajos costos y altos rendimientos que se obtienen, en comparación con los sistemas más usados actualmente en el país; además, la planificación del proyecto, por lo general, es sencilla de realizar; sin embargo, no se le debe restar importancia ya que una buena planificación es vital para poder realizar un proyecto exitoso.

4.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO:

Como en **todo proyecto**, la correcta planificación es la clave para que tener éxito a lo largo de toda su ejecución, es por ello que se debe tener cuidado en el análisis de cada etapa de éste. Como es definida en el libro Productividad en Obras de Construcción, de V. Ghio, la planificación es una definición de criterios para generar estrategias de producción, asimismo de las directivas para que se cumplan los criterios de la mejor manera posible (Ghio, 2001).

La planificación de un proyecto con sistema ErdoX es relativamente sencilla, se tienen que seguir principalmente los siguientes pasos: en primer lugar, en el terreno donde se ubicará el muro se realiza el análisis topográfico, analizando las características de la geología local, con el fin de buscar el origen de la inestabilidad del talud o el caso en el que se tenga que intervenir. Posteriormente, luego de tener la planimetría de la zona de interés, se puede empezar a ejecutar el proyecto teniendo en cuenta las condiciones locales con las que se tenga que

trabajar, para poder obtener las características adecuadas del sistema de anclaje (principalmente de la placa de anclaje) (BETONFORM®, 2012).

Si bien al inicio puede parecer complicado el trabajo con este nuevo sistema, es muy sencillo adaptarse, y en poco tiempo se pueden obtener los rendimientos deseados para que la planificación del proyecto pueda ser realizada de la mejor manera posible.

4.2. COSTOS ERDOX:

El ahorro en costos se debe en parte a que no es necesario transportar material de relleno de lugares lejanos a la obra (lo cual ahorra costos considerables de m³ de material, tanto por la cantidad de material como por la distancia a la que se encuentre la cantera del proyecto), además, de la disminución del impacto ambiental del proyecto (ya que se evita la contaminación generada por la maquinaria para trasladar el material desde una cantera, que no necesariamente se encuentra cerca al proyecto) (BETONFORM®, 2014).

Otro ahorro económico existente en este sistema es la reducción considerable de horas hombre y horas máquina que se necesitan para ejecutar el proyecto, lo que disminuye significativamente el costo directo del proyecto.

A continuación se presentan el costo directo por para la instalación del sistema ErdoX en el cual se incluye lo siguiente:

- Materiales: Estructura y placa(s)
- Transporte: Estructura y placa(s)
- Mano de Obra: Operario y peón
- Equipo y Herramientas: Montaje y colocación en obra con maquinaria, Relleno efectuado a máquina y Herramientas manuales.

Cada uno de los cuales varía según el tipo de elemento ErdoX que se utilice, debido a las diferentes dimensiones y cantidad de elementos (como cables contraviento, placas, etc.). Además el costo de cada tipo de ErdoX dependerá de las condiciones locales del proyecto, como ubicación, tipo de talud, accesibilidad, entre otros; lo que origina variaciones en los precios como transporte y rendimientos de las distintas actividades a realizar. Los costos que se muestran a continuación son un promedio de los encontrados en diversos proyectos realizados con este sistema.

4.2.1. COSTOS ERDOX JUNIOR:

➤ **ErdoX Junior Normal:**

ERDOX JUNIOR (PLACA: 0.80x0.80x0.10 m)	POR ELEMENTO	ML (2m DE ALTURA)	ML (2.5m DE ALTURA)	m ²
COSTO DIRECTO (US \$)	861.21	344.48	430.61	172.24

Tabla N° 01 – Costo ErdoX Junior (Fuente: Propia)

➤ **ErdoX Junior Reforzado:**

ERDOX JUNIOR REFORZADO (PLACA: 1.25x1.15x0.18m)	POR ELEMENTO	ML (2m DE ALTURA)	ML (2.5m DE ALTURA)	m ²
COSTO DIRECTO (US \$)	1,096.36	438.55	548.18	219.27

Tabla N° 02 – Costo ErdoX Junior Reforzado (Fuente: Propia)

4.2.2. COSTOS ERDOX TIERRA:

➤ **ErdoX Tierra:**

ERDOX TIERRA (PLACA: 1.40x1.40x18 m)	POR ELEMENTO	ML (3.1m DE ALTURA)	ML (3.6m DE ALTURA)	m ²
COSTO DIRECTO (US \$)	2,381.82	661.62	768.33	213.42

Tabla N° 03 – Costo ErdoX Tierra Normal (Fuente: Propia)

➤ **ErdoX Tierra Reforzado:**

ERDOX TIERRA REFORZADO (PLACA: 1.40x1.40x18 m)	POR ELEMENTO	ML (3.1m DE ALTURA)	ML (3.6m DE ALTURA)	m ²
COSTO DIRECTO (US \$)	2,489.70	691.58	803.13	223.09

Tabla N° 04 – Costo ErdoX Tierra Reforzado (Fuente: Propia)

4.3. RENDIMIENTOS ERDOX TIERRA:

Como se mencionó anteriormente, una de las principales ventajas de este sistema, es el buen rendimiento alcanzado, comparado con otros sistemas similares, en especial por los siguientes motivos:

- Las estructuras pueden armarse en un lugar cercano al proyecto y ser transportadas para que se puedan instalar directamente cuando el terreno esté preparado y se empiece a instalar todo el sistema. Lo que se traduce en altos rendimientos por la baja cantidad de tiempos muertos existentes durante la ejecución.
- Al ser un sistema nuevo en el país, se tiene que capacitar a los trabajadores para realizar las actividades; sin embargo, la sencillez del procedimiento hace que éstos puedan lograr los rendimientos óptimos en muy poco tiempo.
- En la mayoría de casos no es necesario transportar material de una cantera al proyecto.

- Si es que se tiene el caso mencionado en el punto anterior, el material excavado en un elemento puede servir de relleno del anterior elemento, lo que ahorra tiempos de transporte del material. Para esto se debe examinar las condiciones locales del proyecto y analizar entre realizar una excavación masiva (si las características del talud lo permiten) y acopiar el material a un lado, o si se excava elemento por elemento.

De acuerdo a las condiciones locales que presenta cada proyecto, y al análisis que se realice durante la planificación se decidirá si se prepara el terreno para el total de elementos ErdoX (si es que las condiciones del terreno lo permiten) o si se va realizando el procedimiento elemento por elemento, este segundo caso es común en taludes en los que se presentan dificultades de acceso o en los que la excavación total del terreno puedan ocasionar estabilidad en el talud (Proy. IIRSA Sur, 2013).

En el primer caso, se prepara primero el terreno, donde se maneja un rendimiento promedio de excavación de 500 m³/día; mientras se prepara el terreno para colocar las estructuras ErdoX, éstos se van armando paralelamente en una zona próxima al proyecto, para que cuando el terreno excavado se encuentre listo, se proceda colocar las estructuras en el su posición final, el rendimiento promedio de armado de estructuras ErdoX es de 8 elementos por día (izaje, placas, aseguramiento de tuercas, etc. como se explicó en el Capítulo 3 en el Procedimiento Constructivo); luego de haber asegurado los elementos, se

procede a rellenar cada estructura, para los rendimientos de este procedimiento se tiene que tomar en cuenta si es necesario que sea o no compactado, dependiendo de los resultados obtenidos al realizar los cálculos estructurales, en el caso de relleno compactado, el rendimiento aproximado con el que se trabaja es 120 m³/día, mientras que para el normal se trabaja con 180 m³/día. Todos los rendimientos mencionados para este caso son bajo condiciones favorables.

RENDIMIENTOS BAJO CONDICIONES FAVORABLES		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
RELLENO NORMAL	m ³ /DIA	180
RELLENO COMPACTADO	m ³ /DIA	120
EXVACACIÓN	m ³ /DIA	500
INSTALACION ESTRUCTURAS ERDOX	UNID/DIA	8

Tabla N° 05 – Rendimientos Bajo Condiciones Favorables (Fuente: Proy. IIRSA Sur)

Para el segundo caso mencionado, bajo condiciones favorables se han alcanzado rendimientos de colocación de hasta 3 elementos ErdoX por día. La instalación es realizada con una cuadrilla que consta de un capataz, un operario y un peón. Sin embargo, estos rendimientos son referenciales, ya que el avance está supeditado a las condiciones locales de cada proyecto.

En un proyecto realizado en la Carretera Interoceánica Sur (IIRSA Sur) por la empresa Odebrecht, realizó la estabilización de un talud con el sistema ErdoX de 43.20 x 3.10 m, en la parte inferior de un tramo de la carretera en un plazo de 5 días, incluyendo corte del talud. A continuación se presentan las características del proyecto y los rendimientos alcanzados:

- Cantidad de elementos ErdoX: 12
- Tipo ErdoX: **Tierra Reforzado** con doble placa colocada en forma de "L"
- El tipo de suelo es cohesivo (arcilloso).
- El terreno permite hacer excavación tipo zanja, por lo que se reduce la cantidad de material excedente y se pueden obtener mejores rendimientos de excavación.
- La cuadrilla necesaria para realizar el proyecto es la siguiente:
 - 1 excavadora (con operador)
 - 1 capataz
 - 3 peones

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
VOLUMEN DE CORTE	m ³ /DIA	1360
VOLUMEN DE RELLENO	m ³ /DIA	1080
RENDIMIENTO PROMEDIO CORTE	m ³ /HORA	64
RENDIMIENTO PROMEDIO RELLENO	m ³ /HORA	33

**Tabla N° 06 – Volúmenes y Rendimientos Obra emergencia IIRSA Sur
(Fuente: Proy. IIRSA Sur)**

Como se puede observar, los rendimientos alcanzados en esta obra de emergencia son bastante altos, esto debido a que las condiciones locales fueron bastante favorables. Se pudo obtener un rendimiento de corte promedio mayor a 510 m³/día y de relleno mayor a 260 m³/día. Los principales factores para poder alcanzar los rendimientos mencionados son buena accesibilidad que se tuvo hacia

el talud a estabilizar y el tipo de suelo existente, los cuales permitieron poder excavar y rellenar el talud de una manera bastante dinámica.



Figura N° 11 – Imagen Obra emergencia IIRSA Sur Terminada (Fuente: Betonform LA)



Capítulo 5: COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS:

El sistema más usado en el país para este tipo de soluciones a problemas de contención de taludes es el Terramesh – Maccaferri, ambos sistemas son adaptables a similares características; sin embargo, el sistema ErdoX posee ventajas con respecto a otros sistemas, como se mencionó en los capítulos anteriores.

5.1. Descripción de Sistemas Similares:

A continuación se describen los aspectos más importantes de los sistemas similares al ErdoX, con el fin de comparar principalmente los sistemas constructivos, costos y rendimientos.

5.1.1. Terramesh® System:

Este sistema tiene una similitud al de un gavión con espesor, por lo general, igual a un metro, el cual se rellena in-situ con piedras; mientras que el interior del gavión se cubre con un geotextil para evitar que los finos del material de relleno utilizado salgan del elemento (HITEC Terramesh, 2002).

Al ser este un sistema de contención de taludes con características similares al ErdoX y además por ser uno de los más usados para este tipo de proyectos, **se profundizará en el detalle de este sistema y en su comparación con ErdoX.**

Cada elemento Terramesh está conformado por una malla hexagonal de doble torsión, la cual constituye el paramento frontal, la base y tapa de la caja, además del elemento utilizado como refuerzo (su longitud es determinada en la etapa de diseño).

Con este sistema se puede construir paramentos verticales o con una pequeña inclinación escalonada externamente (con un ángulo de 6°).

Como se mencionó el sistema tiene un aspecto similar al de un muro conformado por gaviones, es por ello que, al igual que en el sistema ErdoX, es posible revegetar el muro en la parte exterior si las condiciones lo permiten, asimismo conserva sus características de drenaje en el paramento frontal del muro.

Proceso Constructivo: A continuación se describe brevemente el procedimiento necesario para la construcción de un muro Terramesh (Maccaferri do Brasil, 2008):

- Primero, se debe desdoblar los elementos en una superficie plana y rígida para poder eliminar las posibles irregularidades que puedan haber en los elementos.
- Luego, se levanta el panel posterior y se colocan los elementos laterales en forma paralela a la base.
- Después, se coloca el diafragma dentro del elemento y se procede a amarrar con la base.

- Posteriormente, se eleva el panel frontal junto con la tapa y se procede a coser los elementos laterales a la base y al panel frontal; además, se cose el diafragma.
- Terminando de coser los elementos, se procede a colocar los elementos en su lugar correspondiente, amarrando cada elemento contiguo en sus planos de contacto (se colocarán los elementos sobre el terreno nivelado según las condiciones necesarias para que el sistema trabaje adecuadamente).
- Cuando se tengan los elementos amarrados adecuadamente, se procede a rellenar cada uno, el relleno se realizará en 3 partes y al término de los dos primeros tercios se colocarán los tirantes. Cabe resaltar que el relleno utilizado debe ser de una buena calidad (con un ángulo de fricción considerable y que permita un drenaje adecuado); el relleno no debe contener materia orgánica o deteriorable, arcillas expansivas o encontrarse fuera de los rangos permitidos según los cálculos realizados. También se puede combinar el material propio con materiales de mejores características, asegurándose que sea adecuado para la estructura. Además para asegurar que las características del sistema perduren en el tiempo, se deben prever obras complementarias.
- Para rellenar el paramento de los gaviones de refuerzo se debe utilizar piedra de buena calidad, densa, tenaz, durable, sana, sin defectos que puedan afectar la estructura. Su tamaño debe ser regular, con medidas mínimas del mayor tamaño de la malla y máximas del doble de ésta, es

decir piedras entre 6” y 10”, con una tolerancia de 5% con tamaño menor al de la malla más grande. Al colocar las piedras se debe tener en cuenta que las de mayor tamaño deben ir cerca a la malla, mientras que las más pequeñas deben ir en la parte central del gavión; además, se debe procurar que al momento de colocarlas quede la mínima cantidad de vacíos en el gavión.

- Al finalizar de rellenar se procede a doblar las tapas y amarrarlas de la misma manera que se describió anteriormente.
- Luego se coloca y fija el filtro de geotextil hacia el panel posterior.
- Al terminar, se empieza con el relleno de la estructura, compactando cada 20 o 30 cm de altura. Para compactar las zonas cercanas al paramento frontal no se puede utilizar maquinaria pesada, con el fin de evitar que las estructuras sufran algún daño por gran peso de la maquinaria.
- Finalmente, al culminar cada tramo se deberá doblar el geotextil el cual deberá ser amarrado con las capas contiguas.

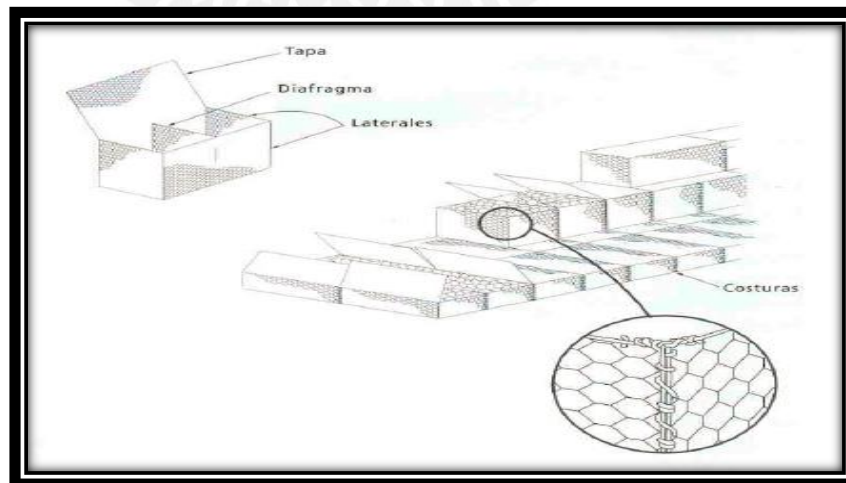


Figura N° 12 – Elementos de Gaviones (Fuente: Maccaferri do Brasil)

5.1.2. Estabilización de Talud con Muro de Concreto:

Estabilizar un talud con muros de concreto es una buena alternativa en algunos casos de inestabilidad de taludes, el sistema requiere, como toda estructura de este tipo, encofrados, acero de refuerzo y, por supuesto, concreto. Para optar por este sistema se tiene que analizar la accesibilidad a la zona en la cual se va a realizar el proyecto, debido a que si es una zona alejada, la necesidad de transportar acero, encofrados y concreto, puede que incremente considerablemente los costos del proyecto, en aproximadamente 50%, dependiendo de cada proyecto (Proyecto IIRSA Sur, 2013).

Otro factor a considerar en este tipo de estabilización de talud es la necesidad de compactar el terreno antes de iniciar el armado de las mallas de acero y encofrado de la estructura, por lo que se deben analizar las condiciones locales para que se puedan realizar sin complicaciones las operaciones de izaje de los materiales a utilizar.

El procedimiento es similar al vaciado de la mayoría de estructuras de concreto, claro que en este caso, por lo general, no se cuenta con las facilidades con las que se cuenta en los vaciados convencionales en ciudad, por lo que se tienen que tomar en cuenta consideraciones adicionales de espacio y maniobrabilidad, dependiendo de las características de cada proyecto.

Por lo mencionado anteriormente, al usar este procedimiento constructivo en un proyecto puede llegar a tardar un tiempo considerable, dependiendo de las

condiciones locales; en nuestro país las carreteras que presentan problemas de inestabilidad por lo general no se encuentran en zonas muy accesibles, por lo que puede llegar a demorar hasta 3 veces más que al usar el sistema ErdoX (Proyecto IIRSA Sur, 2013).

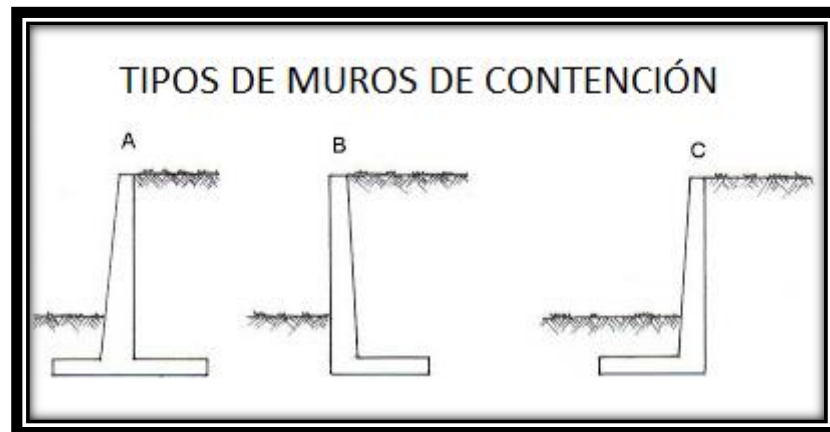


Figura N° 13 – Tipos de Muros de Contención (Fuente: Proy. IIRSA Sur)

5.1.3. Estabilización de Talud con Auto-perforantes:

El sistema con auto-perforantes permite que se pueda anclar al terreno por medio de las barras de acero y el inyectado que se coloca después, una de sus principales ventajas es el poco espacio requerido para realizar el procedimiento en taludes (Protentidos DYWIDAG, 2016).

Este tipo de anclaje es conocido como sistema pasivo de anclaje, esto es debido a que no posee un pre-tensado como algunos de los sistemas de anclaje más comunes en nuestro medio.

El acero aporta gran tensión al talud, de acuerdo a los cálculos realizados para cada caso, se determina la longitud de las barras de acero, además del espaciamiento requerido para poder garantizar la estabilidad del talud a intervenir.

Este sistema ha avanzado su tecnología, con lo que se ha podido alcanzar un rendimiento de 30 anclajes por día, además que el riesgo de tener que perforar nuevamente (causado por el colapso de los barrenos al ser insertados en el talud) ha disminuido considerablemente.

Las longitudes de los pernos más comunes son entre 3 y 4 m; sin embargo, se puede llegar a insertar pernos de más de 15 m de longitud (mediante el uso de manguitos), de acuerdo a la geología del terreno. Además también existe la posibilidad de perforar e inyectar lechada simultáneamente.

El perforado se realiza por medio de un carro de perforación que cuenta con un martillo en cabeza, este puede ser neumático o hidráulico, el cual utiliza un determinado tipo de barrido de acuerdo a las características del talud.

Por las características de este procedimiento, es bastante usado en minas subterráneas, en centrales hidroeléctricas subterráneas, entre otros proyectos con condiciones similares, para estabilizar los túneles a medida que se va avanzando con la profundidad de éstos.

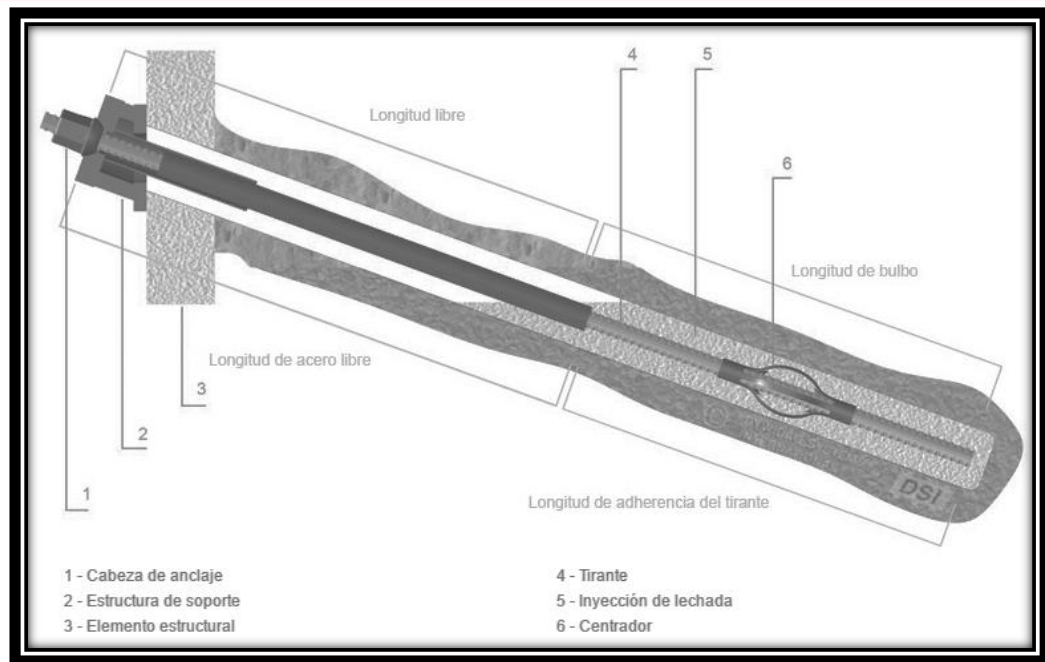


Figura N° 14 – Esquema Barra de Anclaje (Fuente: DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL)

5.2. COMPARACIÓN DE COSTOS Y RENDIMIENTOS:

Para realizar la comparación del sistema ErdoX con otros sistemas de contención de taludes, se presentarán las 3 alternativas siguientes: Sistema Terramesh, Muro de concreto armado y Sistema ErdoX, las cuales fueron propuestas para un proyecto en la Carretera Interoceánica Sur (IIRSA Sur) en el tramo comprendido entre Urcos e Ñapari – Cusco, que se encuentra concesionada a la empresa Odebrecht, en donde se presentó desprendimiento de material en el talud inferior de la carretera en el tramo mencionado.

A continuación se presentan 3 tablas de los costos detallados que implican cada tipo de sistema de contención de taludes, cada una con su respectivo esquema del perfil del talud a intervenir, para luego comparar las principales partidas a tener en cuenta para observar con mayor detalle las similitudes y diferencias que pueda presentar cada sistema. Además, posteriormente, se comparará el tiempo de ejecución al utilizar cada alternativa propuesta.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U.	MONTO (US\$)
100	OBRAS PROVISIONALES				
101	TOPOGRAFÍA Y GEOREFENCIACIÓN	km	0.01	644.51	3.22
102	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	3.00	9,543.21	28,629.63
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
201A	DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
202A	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,760.96	2.56	4,508.06
203	CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
205	CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				
505A	RELLENO PARA SUELO REFORZADO (TERRAMESH)	m3	2,405.23	18.81	45,242.38
543B	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE II	m2	450.28	1.97	887.05
	TUBERIA FLEXIBLE PERFORADA	m	22.05	9.43	207.93
	SUBDRENAJE TIPO IV	ml	96.46	18.67	1,800.91
	GEOMALLA WG 200	m2	455.70	4.38	1,995.97
	GEOMALLA WG 120	m2	303.80	4.11	1,248.62
	TERRAMESH 1 x 1 x 4 MALLA DE 10 x 12 d = 2.7 mm (ZN + AL + TBC)	und	152.00	120.68	18,343.36
	TERRAMESH 0.50 x 1 x 4 MALLA DE 10 x 12 d = 2.7 mm	und	130.00	160.78	20,901.40
570	GEOCOMPUESTO PARA DRENAJE 11 mm	m2	99.00	13.11	1,297.89
571	GEOMANTA MACMAT L 2 x 30	m2	213.14	7.64	1,628.39
	ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EN DME	m3	1,760.96	0.94	1,655.30
	TRANSPORTES				
	TRANSPORTE DE MAT GRANULAR MENOR A 1 km	m3.km	2,364.85	1.97	4,658.75
	TRANSPORTE DE MAT GRANULAR MAYOR A 1 km	m3.km	257,312.96	0.67	172,399.68
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MENOR A 1 km	m3.km	1,549.64	1.97	3,052.79
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MAYOR A 1 km	m3.km	1,685.23	0.67	1,129.10
				TOTAL	309,898.57

Tabla N° 07 – Costos Sistema Terramesh (Fuente: Odebrecht)

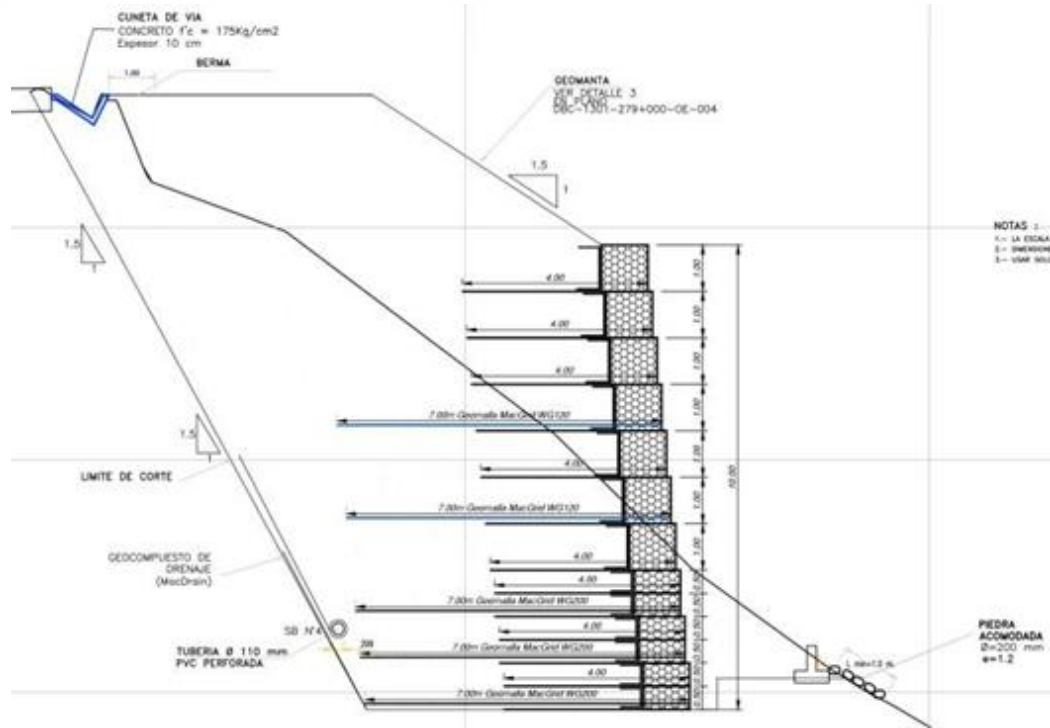


Figura N° 15 – Esquema Sistema Terramesh (Fuente: Odebrecht)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U.	MONTO (US\$)
100	OBRAS PROVISIONALES				
101	TOPOGRAFÍA Y GEOREFENCIACIÓN	km	0.01	644.51	3.22
102	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	3.00	9,543.21	28,629.63
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
201A	DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
202A	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,748.59	2.56	4,476.39
203	CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
205	CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				
	RELLENO PARA ESTRUCTURAS	m3	1,282.25	11.65	14,938.21
	TUBERÍA FLEXIBLE PERFORADA	m	22.05	9.43	207.93
570	GEOCOMPUESTO PARA DRENAJE 11 mm	m2	99.00	13.11	1,297.89
571	GEOMANTA MACMAT L 2 x 30	m2	213.14	7.64	1,628.39
	ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EN DME	m3	466.33	0.94	438.35
508	CONCRETO f'c = 210 kg/cm2	m3	318.99	111.18	35,465.31
510	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	478.10	17.34	8,290.25
511	ACERO DE REFUERZO fy = 4200 kg/cm2	kg	12,768.53	1.44	18,386.68
	TRANSPORTES				
	TRANSPORTE DE MAT GRANULAR MENOR A 1 km	m3.km	320.91	1.97	632.19
	TRANSPORTE DE MAT GRANULAR MAYOR A 1 km	m3.km	55,928.25	0.67	37,471.93
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MENOR A 1 km	m3.km	410.37	1.97	808.43
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MAYOR A 1 km	m3.km	446.28	0.67	299.01
	TOTAL				153,281.95

Tabla N° 08 – Costos Muro de Concreto (Fuente: Odebrecht)

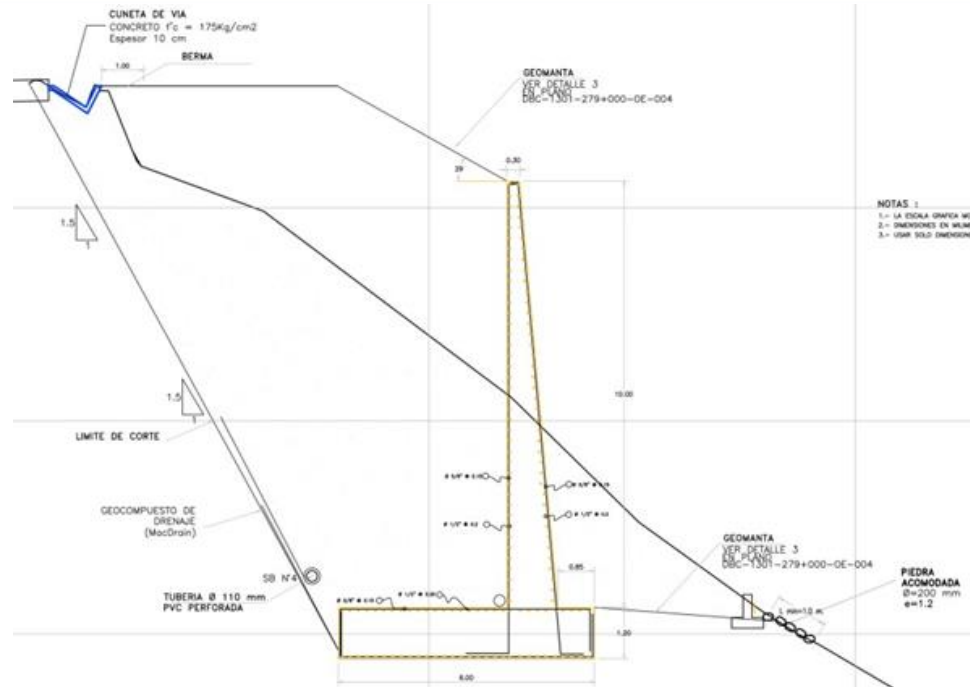


Figura N° 16 – Esquema Muro de Concreto (Fuente: Odebrecht)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U.	MONTO (US\$)
100	OBRAS PROVISIONALES				
101	TOPOGRAFÍA Y GEOREFENCIACIÓN	km	0.01	644.51	3.22
102	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	1.00	9,543.21	9,543.21
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
201A	DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
202A	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,753.10	2.56	4,487.94
203	CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
205	CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				
	ELEMENTO ERDOX (INCLUYE PLACA DE APOYO)	und	21.00	2,675.73	56,190.33
	CAMA DE GRAVA DEBADO SISTEMA ERDOX (2 x 2 x 0.5) (PEDRAPLEN)	m3	17.00	5.18	88.06
	RELLENO PARA SITEMA ERDOX (RELLENO PARA ESTRUCTURAS)	m3	1,390.54	11.65	16,199.79
543B	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE II	m2	235.12	1.97	463.19
	TUBIERÍA FLEXIBLE PERFORADA	m	22.05	9.43	207.93
	SUBDRENAJE TIPO IV	ml	96.46	18.67	1,800.91
570	GEOCOMPUESTO PARA DRENAJE 11 mm	m2	99.00	13.11	1,297.89
	PIEDRA ACOMODADA (ENROCADO d = 0.60 m)	m2	10.00	12.63	126.30
	CABEZAL DE SALIDA DE SUB DREN (CONCRETO 140 kg/cm ²)	m3	0.40	100.04	40.02
	ENCOFRADO CAB. SALIDA	m2	2.80	17.34	48.55
571	GEOMANTA MACMAT L 2 x 30	m2	213.14	7.64	1,628.39
	ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EN DME	m3	362.56	0.94	340.81
	TRANSPORTES				
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MENOR A 1 km	m3.km	319.05	1.97	628.53
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MAYOR A 1 km	m3.km	346.97	0.67	232.47
	TOTAL				93,635.66

Tabla N° 09 – Costos Sistema ErdoX (Fuente: Odebrecht)

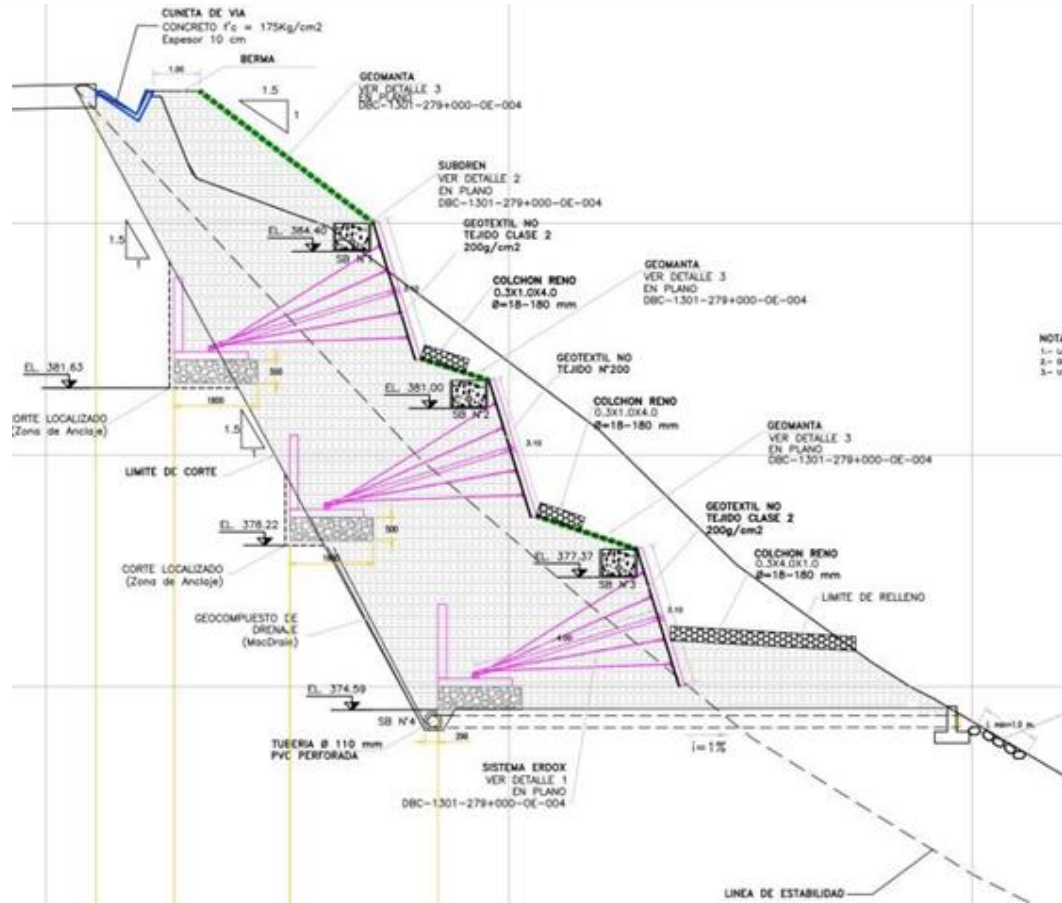


Figura N° 17 – Esquema Sistema ErdoX (Fuente: Odebrecht)

Como se puede observar, el costo total del sistema ErdoX es el más económico y por lo tanto conveniente para estabilizar este talud, el costo de este sistema es 93,635.66 US \$, el cual es mucho menor que el costo del sistema Terramesh (309,898.57 US \$, es decir, más del 330% comparado con ErdoX) y también considerablemente menor que la opción del Muro de Concreto (153,281.95 US \$, es decir, más del 160% comparado con ErdoX).

A continuación se presenta una comparación de los costos de las partidas de movimiento de Tierras:

TERRAMESH				
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,760.96	2.56	4,508.06
CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
			TOTAL	4,816.19
MURO CONCRETO				
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,748.59	2.56	4,476.39
CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
			TOTAL	4,784.52
ERDOX				
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,753.10	2.56	4,487.94
CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
			TOTAL	4,796.07

Tabla N° 10 – Comparación Costos de Movimiento de Tierras

(Fuente: Propia)

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el movimiento de tierras requerido para los 3 tipos de sistemas es muy similar y no hay una variación significativa (menor al 1%); por lo tanto, no es un rubro a considerar al comparar los costos y rendimientos de los diferentes sistemas de contención de taludes.

La principal desventaja que presenta el sistema Terramesh en proyectos de este tipo es el transporte de material granular, debido a la gran cantidad de este tipo de material que es requerido, para este caso representa un costo aproximado del 60% del costo total; mientras que para el Muro de Concreto el transporte de material granular representa un costo aproximado del 25% del costo total; y para el tercer caso, en el sistema ErdoX no requiere transporte de material granular. En este tipo de proyectos es en los que ve reflejada la ventaja del sistema ErdoX al no requerir materiales de mejores características para rellenar las estructuras.

Los rendimientos alcanzados con este tipo de sistema también son bastante favorables, como se demostró anteriormente el sistema ErdoX no requiere transporte de material granular, lo que representa una gran ventaja para este sistema, ya que los otros sistemas requieren de gran cantidad de material granular, el cual tiene que ser transportado desde lugares lejanos al proyecto.

Al comparar los sistemas Terramesh y ErdoX, se puede observar la ventaja de usar este último, ya que se logra reemplazar un sistema de 14 niveles por uno de solo 3, lo cual disminuye considerablemente tanto el tiempo de ejecución como el costo.

Como se trata de un proyecto que compromete la estabilidad de una carretera, se tiene la necesidad de solucionar el problema en el menor tiempo posible, para este caso, se logró culminar el proyecto en 26 días, lo cual es un

tiempo bastante corto, ya que con las otras alternativas se proyectaba a culminar en 83 días para el sistema Terramesh y 71 días con el Muro de Concreto.

A continuación se muestran imágenes del proyecto con el sistema ErdoX:



Figura N° 18 – Secuencia Sistema ErdoX IIRSA Sur (Fuente: Odebrecht)

Capítulo 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Este sistema es bastante conveniente para la mayoría de casos en los que existe inestabilidad de taludes, esto debido a varios factores positivos, entre los principales tenemos los siguientes:
- Muy bajo impacto ambiental (debido a que es posible revegetar los elementos en la mayoría de casos).
 - Costos menores a comparación de otros sistemas (en promedio la tercera parte que el costo del sistema Terramesh).
 - Rendimientos muy buenos con respecto a otros sistemas parecidos presentes en el mercado local (hasta 3 veces mayor).
 - Versatilidad para adaptarse a diversos casos en los que se necesite utilizar (por ejemplo, muro de contención, DME, defensa ribereña, espigones, disipadores de fuerza, entre otros).
 - Bajo impacto social, ya que si por ejemplo, es necesario estabilizar un talud cercano a una carretera, no es necesario bloquearla completamente mientras se ejecuta el proyecto, lo cual es bastante beneficioso porque en ocasiones estas carreteras son la única vía de comunicación de pueblos alejados.
 - Es una estructura antisísmica debido a la flexibilidad que posee gracias al mono-anclaje, lo que le permite poder adaptarse ante posibles

asentamientos diferenciales o desprendimientos de material, sin adicionarle cargas no previstas a la estructura.

- En la mayoría de los casos, no es necesario transportar material de mejor calidad de otras zonas para rellenar las estructuras, sino que se usa el mismo material excavado como relleno, beneficiando tanto en términos de costos y plazos, como en impacto ambiental (causado por las emisiones de la maquinaria al transportar el material hacia el lugar del proyecto).
 - Adquiere estabilidad inmediatamente después de rellenar la estructura (o compactarla si fuera necesario), lo que permite tener mejores rendimientos en la construcción.
- Al ser este un sistema nuevo en el país, es muy poco conocido, por lo que se debería difundir más su uso, debido a los beneficios mencionados, en especial porque no solo favorece a la empresa constructora en costos y rendimientos, sino que también tiene impactos positivos para el medio ambiente y los pobladores de las zonas afectadas.
- En el caso del sistema Terramesh, como en el de otros sistemas de contención de taludes similares, es necesario transportar material estructural de mejores características para garantizar el correcto funcionamiento del sistema; sin embargo, si se encuentra en un proyecto en el cual transportar material de buena calidad implica no solo elevar los costos, sino que también se ven afectados los plazos por la lejanía de canteras que cuenten con material de las características

necesarias. En este tipo de casos se resalta el beneficio del sistema ErdoX que no necesita transportar material de mejores características para la mayoría de casos.

- Los costos por m² de cada tipo de elemento ErdoX no varían significativamente, por lo que al analizar una inestabilidad de talud, es mejor optar por los modelos reforzados, para así poder colocar la menor cantidad de elementos posible para asegurar la estabilidad del talud.
- El sistema, por lo general, no presenta complicaciones, al contactar con la empresa Odebrecht en el proyecto de la carretera IIRSA Sur, en los aproximadamente 15 casos de inestabilidad solucionados con este sistema, no se presentó ninguna complicación.



BIBLIOGRAFÍA:

➤ BETONFORM®

2014 Muro de Contención pre-armado ErdoX® - INFORME TÉCNICO
SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

➤ BETONFORM®

2014 Análisis de Precios Unitarios.

➤ BETONFORM®

2014 Especificaciones Técnicas Estructura ErdoX.

➤ BETONFORM®

2012 Betonform ErdoX - Artículo Técnico.

➤ BETONFORM®

2010 Betonform® ErdoX® - Catálogo (IT – FR - ES)

➤ Betonform®

2012 System ErdoX. Roma. Consulta: 03/10/13

<http://www.betonform.com/en/products/system-erdox.html>

➤ Betonform LA

2012 System ErdoX. Lima. Consulta: 03/10/13

<http://www.betonformla.com/en/products/system-erdox.html>

➤ 2013 Estabilización de Talud con Sistema de Contención Tipo Paraguas -

ErdoX®. Premio Destaque Odebrecht 2013. Consulta: 27/09/13

➤ Betonform LA

2012 Instalación ErdoX® Tierra - Obra de emergencia IIRSA Sur.

<http://www.youtube.com/user/bformla?feature=watch>

➤ Betonform LA

2012 ErdoX® - Muro de contención pre-armado

<http://www.youtube.com/watch?v=v8jSoqn7orw&feature=c4-overview&list=UUzvC262N2QIVKXLKVGfRcg>

➤ HITEC Terramesh

2002 Evaluation of the Maccaferri Terramesh System Retaining Wall

➤ Maccaferri do Brasil

2008 Gaviones Terramesh

- Sistema Terramesh – Maccaferri Latinoamérica. Consulta: 14/10/13

<http://www.maccaferri-arg.com.ar/productos/doble-torsion/terrameshsup%C2%AEsup/16264-2.html>

- SUÁREZ, Jaime

1998 “Deslizamientos y Estabilidad de taludes”. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

- Terramesh® - Maccaferri

2013 Sistema Terramesh – Maccaferri Latinoamérica. Consulta: 16/11/14

http://www.maccaferri-arg.com.ar/media/om_www/brazil/downloads/Novos/encarteTecnico_terramesh_es.pdf

- Proyecto IIRSA Sur

2013 Comparación Sistemas de Contención de Taludes (ErdoX, Terramesh y Muros de Concreto Armado)

- GHIO, Virgilio

2001 “Productividad en la construcción: diagnóstico, crítica y propuesta”.
Lima: PUCP. Fondo editorial.

- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

2013 Glosario de Términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima: MTC

➤ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

2000 Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras (EG – 2000). Lima

➤ Protentidos DYWIDAG

2016 Estabilización de taludes con anclajes autoperforantes. Consulta: 16/08/16

<http://www.dywidag.com.br/es/proyectos/dsi-worldwide-projects/detalles/article/estabilizacion-de-taludes-con-anclajes-autoperforantes-huecos-dywidag.html>

➤ DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL

2016 Anclajes de barra DYWIDAG. Consulta: 22/02/17

<http://www.dsi-chile.com/productos/construccion/geotecnia/anclajes-de-barra-dywidag.html>