

DISEÑO DE MUROS DE SOSTENIMIENTO EN CAMINOS DE MONTAÑA

Carlos F. Gerbaudo¹
M.Sc. Ingeniero Civil
F.C.E.F.y N. Univ. Nac. Córdoba
cgerbaudo@hotmail.com

Marcelo E. Zeballos²
Dr. Ingeniero Civil
F.C.E.F.y N. Univ. Nac. Córdoba
marcelozeballos@yahoo.com.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen los aspectos relevantes del diseño y construcción de muros de sostenimiento en proyectos viales emplazados en zona de montaña, para la contención de laderas y terraplenes de diferente configuración geométrica y composición de materiales.

En primer término, se presenta una discusión sobre los estudios básicos que se recomiendan realizar para alcanzar un diseño sustentable desde el punto de vista técnico, económico y constructivo, destacándose la importancia del análisis de los factores correspondientes a la constructibilidad en el diseño de la solución estructural propuesta.

En segunda instancia, se presentan soluciones típicas de sistemas estructurales de muros de sostenimiento de hormigón armado, que utilizan variadas tecnologías, tales como elementos premoldeados que forman estructuras compuestas con nudos de hormigón armado colados in situ, tensores pasivos y anclajes activos al terreno.

Finalmente, a la luz de la experiencia constructiva recogida en obra, se realizan comentarios sobre el funcionamiento de los muros y recomendaciones para el diseño de esta tipología de muros.

ABSTRACT

In the present work the relevant aspects of the design and construction of support walls in road projects located in the mountain area are exposed, for the containment of slopes and embankments of different geometric configuration and composition of materials.

First, a discussion is presented on the basic studies that are recommended to achieve a sustainable design from the technical, economic and constructive point of view, highlighting the importance of the analysis of the factors corresponding to the constructibility in the design of the solution structural proposal.

In the second instance, typical solutions of structural systems of reinforced concrete support walls are presented, using various technologies, such as precast elements that form composite structures with cast-in-place reinforced concrete knots, passive tensioners and active ground anchors.

Finally, in light of the constructive experience collected in the work, comments are made on the operation of the walls and recommendations for the design of this type of walls.

Introducción

En el presente trabajo se exponen los aspectos relevantes del diseño y construcción de muros de sostenimiento en proyectos viales emplazados en zona de montaña, utilizados para la contención de laderas y terraplenes de diferente configuración geométrica y composición de materiales.

Estudios básicos para el diseño de muros en zona de montaña

A partir de un planteo inicial de alternativas de trazado vial del camino de montaña, realizadas sobre la base de topografía general obtenida de cartas, imágenes satelitales y vuelos, y estudios de geología regional, se planifican y realizan los estudios básicos de campo, con el objeto de alcanzar un diseño sustentable desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y constructivo. Se destaca la importancia del análisis de los factores de campo, en particular, la evaluación de las condiciones geotécnicas de fundación, en el diseño de la solución estructural propuesta.

Los estudios básicos para el diseño de muros de sostenimiento en zona de montaña, pueden clasificarse en las siguientes tareas:

Replanteo, reconocimiento de campo y selección de alternativa: Replanteo de las diferentes alternativas de traza en obra con apoyo de topografía y reconocimiento de campo realizado por especialistas en geología, diseño vial y estructuras. A partir de este relevamiento de campo, se realizan ajustes en las diferentes trazas. Luego, a partir de un análisis técnico y económico, se realiza la selección de la alternativa de traza más conveniente.

Estudios de geología-geotecnia general: Implica la realización de relevamientos geológicos y geotécnicos de campo, basados en la evaluación de la composición litológica observable en superficie y la identificación de variables que permitan su aplicación en sistemas de calificación de macizos rocosos. Estos relevamientos de superficie, pueden complementarse con la ejecución de sondeos o calicatas en puntos discretos de la traza y estudios geosísmicos. El resultado pretendido es un primer modelo geoestructural de la traza, el que permite la formulación inicial de recomendaciones de condiciones geotécnicas de fundación.

Topografía detallada del sector de emplazamiento de los muros de sostenimiento: Mediante la utilización de sistemas de posicionamiento satelital, se realiza la topografía de detalle por nubes de puntos del sector de emplazamiento de los puntos, generándose un modelo digital del terreno que se utiliza en el diseño geométrico de los muros. En la planificación de esta tarea se utilizan las recomendaciones formuladas en la etapa anterior de caracterización geológica y geotécnica.

Estudios de suelo en el sector de emplazamiento de los muros: Una vez establecida con mayor certidumbre la localización y tipología general del sistema de sostenimiento a aplicar se planifica y desarrolla una campaña de caracterización geológica y geotécnica de detalle. Esta campaña suele basarse en ejecución de sondeos y/o calicatas, con ensayos de campo y laboratorio, tendientes a la definición

de parámetros resistentes y deformacionales. En general, en el caso de fundaciones apoyadas en un macizo rocoso será necesario realizar perforaciones con equipos rotativos con recuperación de testigos para caracterización del tipo de roca. En forma orientativa interesa la definición del índice de recuperación de testigos (RQD), presencia de fallas geológicas atravesadas por el sondeo, ensayos de compresión de testigos, ensayo de permeabilidad para definición del estado general de homogeneidad del macizo rocoso. Estos elementos tienden a la identificación de parámetros de caracterización global, como el índice RMR (Bieniawski, 1989) o GSI (Hoek y Brown, 2007). Igualmente, los parámetros obtenidos mediante los ensayos son de interés en análisis de fenómenos potenciales de inestabilidad global y local de ladera, o en estudios de caída de bloques.

Reconocimiento geológico y geotécnico local de las fundaciones in situ: Esta tarea es una de las más importantes en la definición de las fundaciones de una estructura emplazada en zona de montaña. A diferencia de una fundación convencional, será necesario, en término general, proponer un esquema de fundación a partir de los estudios de geología local y estudios de suelo. Efectuada la apertura de la fundación mediante la excavación del macizo rocoso hasta la cota de cimentación inicialmente prevista, los especialistas en geotécnica y el proyectista estructural, realizarán una evaluación in situ de las condiciones de cimentación, y a partir de este reconocimiento se ajustará el diseño final de la fundación de la estructura, implicando en muchos de los casos, la adecuación del diseño inicial propuesto.

Diseño conceptual de la solución estructural

El diseño conceptual para la solución estructural de un sistema de muros de sostenimiento de un camino de montaña, debe considerar los diferentes requerimientos y condicionantes de diseño, en particular el diseño vial del camino y los aspectos topográficos, geológicos, geotécnicos y en algunos casos hidráulicos, los condicionantes relacionados con los aspectos constructivos de máxima relevancia en el diseño del sistema estructural, y también los aspectos vinculados a la funcionalidad del muro, en general, utilizados para la contención de los terraplenes del camino proyectado y, en otros casos, la función de estructura soporte para el apoyo de sectores parciales de la propia calzada.

Teniendo en cuenta estas premisas, tomando de base la experiencia realizada por los autores en el diseño de los muros de sostenimiento del Camino de Montaña de la “Cuesta de Miranda” en La Rioja, se presenta el procedimiento desarrollado para el planteo del diseño conceptual de la solución estructural para el caso en estudio.

La propuesta de diseño se gestó a partir del estudio de las condiciones locales del camino en la situación previa al proyecto, tal como se muestra en la Figura 1, donde se observa un ancho de camino del orden de 3.0 a 4.0 m, sin pavimentar, ubicado al pie de una ladera de roca granítica muy fracturada con una pendiente comprendida entre 65° a 70°.

El requerimiento del diseño vial para el nuevo camino preveía un ancho total de camino de 10.70 m, compuesto por una calzada pavimentada de 6.70 m y dos banquetas

laterales de 2.0 m de ancho cada una, y una serie de parámetros viales correspondiente a Camino de Montaña, Categoría 2.

A partir de los estudios básicos de campo se identificaron los siguientes condicionantes de diseño:

En relación al método constructivo: Selección de un sistema de construcción modular y evolutivo, que no requiera la utilización de encofrados en altura, y que la configuración de los módulos permita la adaptación de la geometría para diversas tipologías de muros y para lograr el ajuste de la fundación de acuerdo a las necesidades que surgen de los reconocimientos geológicos y geotécnicos realizados in situ.

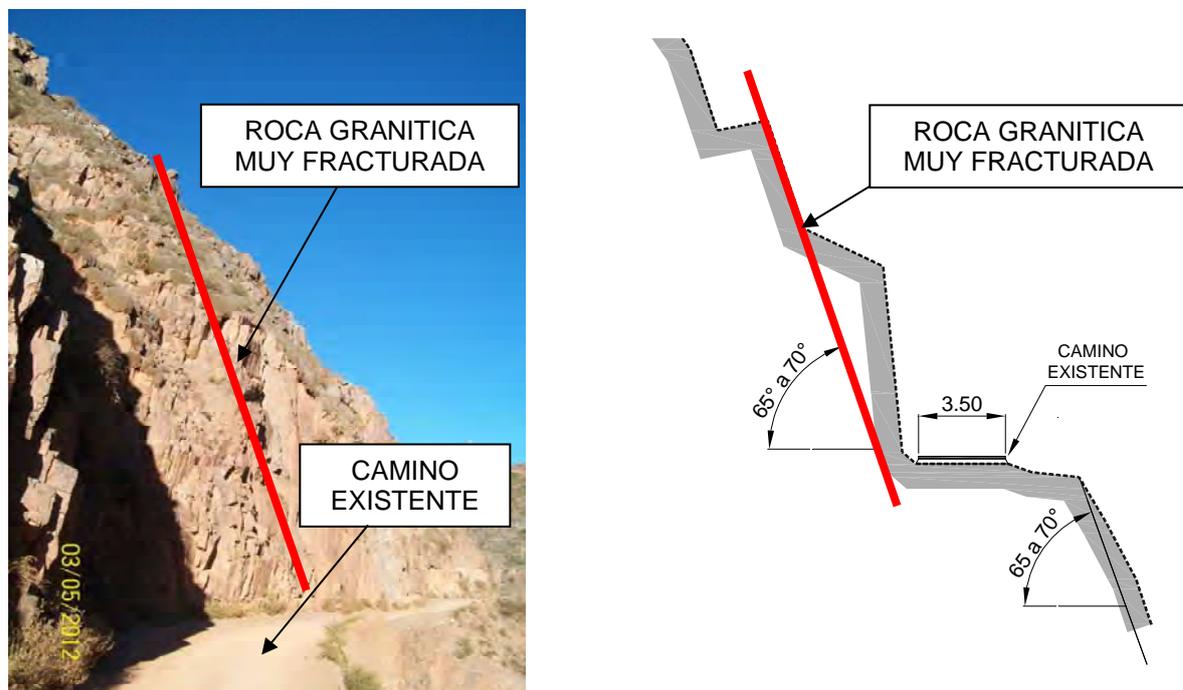


Figura 1. Estado del camino anterior al proyecto

En relación al equipamiento de obra: Diseño de elementos y/o piezas de hormigón premoldeadas de bajo peso que pueden ser manipulados, transportados y montados con equipos livianos.

En relación al aspecto geológico y geotécnico: diseño de fundaciones mediante bases superficiales apoyadas en el manto competente de roca. En particular, se debe analizar la capacidad geotécnica de carga de una base próxima a un talud.

En relación al aspecto estructural: diseño de muros de hormigón armado, anclados al terreno mediante tensores pasivos y activos, con estructura independiente para defensa vehicular externa

En relación a los aspectos de durabilidad de la obra: utilización de hormigones de alta calidad y recubrimientos apropiados.

En relación al aspecto estético: diseño de elementos premoldeados con terminación superficial exterior texturada.

Las alternativas de solución propuestas contemplaban los siguientes casos:

Alternativa 1: Construcción de un camino con terraplén convencional con taludes 1.5H:1.0V, solución inválida ya que el talud aguas abajo del pie del camino existente presenta una pendiente prácticamente vertical y no permite el apoyo del terraplén.

Alternativa 2: Ejecución de un camino con desmote en roca, que implicaba la excavación de un volumen de 195 m²/m lineal de la ladera interna de la montaña, generándose un nuevo talud que debería ser protegido para evitar desmoronamientos sobre el nuevo camino.

Alternativa 3: Elevación de la rasante, y construcción de un nuevo camino con un muro de sostenimiento lateral fundado a la cota del camino existente.

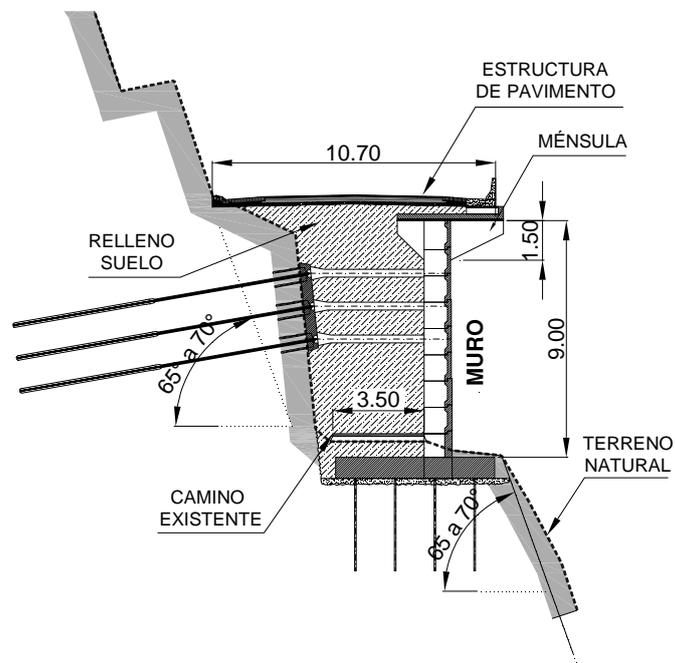


Figura 2. Esquema de solución estructural del muro de sostenimiento

Finalmente, la alternativa elegida fue la correspondiente a la Alternativa 3. En la Figura 2 se presenta un esquema de la solución estructural adoptada, que consiste en la utilización de elementos premoldeados modulares de sección tipo “U”, con dimensiones y peso reducido, apoyados sobre bases superficiales de fundación hormigonadas in situ, vinculados mediante columnas verticales de hormigón armado coladas en segunda etapa.

Los muros de altura menor a 6 m presentan un esquema estático en ménsula empotrados en la base de fundación, mientras que los muros iguales o mayores a 6 m de altura utilizan tensores de anclaje en roca en el tercio superior de su altura materializando un conjunto de apoyos elásticos. Todos los muros se arriostraron a nivel superior mediante una viga de hormigón armado realizada in-situ, y además en los muros mayores a 9 m de altura se dispuso de viga de arriostramiento a nivel

intermedio. La calidad mínima del hormigón de los muros y bases adoptado fue tipo H30, teniendo en cuenta aspectos relacionados con la durabilidad de la obra.

El diseño del extremo superior de los muros contempla dos posibilidades de solución a saber: i) un muro sin voladizo ubicado en el borde externo del camino, y ii) un muro con voladizo utilizado en aquellos casos donde las condiciones geométricas y geológicas de la ladera no permiten ubicar el paramento del muro en el borde lateral externo del camino, que se resuelve con ménsulas de hormigón armado empotradas en el extremo superior de las columnas in situ, logrando voladizos de 2.5 m de longitud, que se completan con un sistema de losa compuesta por prelosas y un hormigón de segunda etapa, generando una plataforma que sirve de apoyo a un sector de la calzada del camino.

En el siguiente apartado se describen los componentes del sistema estructural adoptado para los muros de sostenimiento en camino de montaña.

Descripción del sistema estructural de los muros de sostenimiento

En el caso de los muros de sostenimiento del camino de montaña de la Cuesta de Miranda, la solución estructural gira en torno a la utilización de módulos o piezas premoldeadas vinculadas en obra con hormigones de segunda etapa, con un conjunto de componentes estructurales y no estructurales que se describen a continuación.

Elementos Premoldeados

Los elementos premoldeados típicos de sección tipo U se conforman de una pantalla frontal de 0,12 m, 0,15 m o 0,18 m según la altura del muro considerado y dos paredes laterales de espesor variable desde 0,12 m a 0,10 m. El ancho de los módulos es de 2.0 m y la altura de estos elementos es de 1,10 m, de los cuales 0,10 m se utilizan para el acoplamiento de las piezas, resultando una altura útil de 1.0 m en cada módulo. En las paredes laterales se dejan conectores de corte en espera para lograr la vinculación con la columna de hormigón armado in-situ.

Adicionalmente a los módulos típicos, se diseñaron módulos de arranque, módulos de empalme y módulos con ventanas para el pase de la armadura longitudinal de las vigas de arriostramiento. Los módulos de arranque tienen la particularidad de no poseer el encastre en su borde inferior y son los primeros elementos que se colocan sobre la base in-situ. Los elementos de empalme se utilizaron para generar un plano de trabajo en niveles intermedios durante la construcción del muro, con insertos metálicos para lograr la conexión estructural mediante soldadura sin necesidad de hormigonar las columnas in-situ.

En la Figura 3 se muestra un esquema 3D de la pieza premoldeada típica utilizada para la conformación del muro en altura.

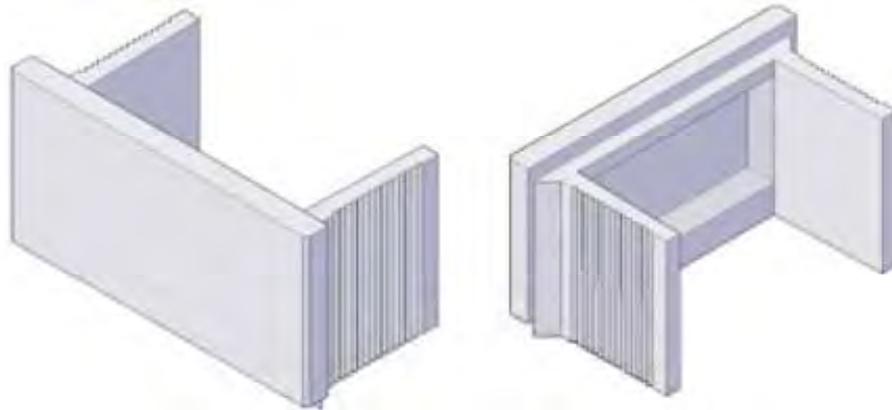


Figura 3. Esquema de la pieza premoldeada típica del muro de sostenimiento

En las Figuras 4a y 4b se presenta el esquema de los muros compuesto por los módulos premoldeados vistos desde el exterior e interior respectivamente, destacándose la posibilidad de ejecutar la columna de vinculación de hormigón armado in situ, ubicada entre los nervios de los paneles, de altura variable generando una estructura de contrafuertes de hormigón armado, que permite alcanzar alturas de muros de hasta 8 m sin necesidad de utilizar anclajes superiores al terreno.

En el caso de la obra de montaña de la Cuesta de Miranda, se utilizaron columnas de hormigón armado de sección rectangular de altura constante sin anclajes hasta 6 m de altura y con anclajes al terreno para conformar muros de sostenimiento de hasta 15 m de altura.

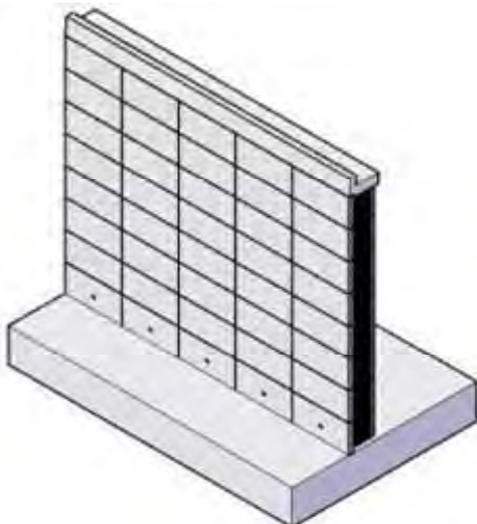


Figura 4a. Vista general del muro desde la cara exterior

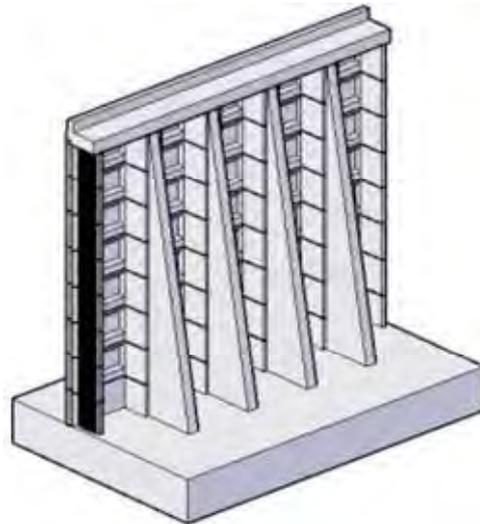


Figura 4b. Vista general del muro desde la cara interior

Componentes de hormigón armado in-situ

Los elementos premoldeados se vincularon in-situ mediante hormigón de segunda etapa conformando una columna vertical ubicada entre los nervios de los paneles.

Estas columnas tienen un ancho de 0,30 m y una altura de 1,00 m a 1,06 m en función de las dimensiones de los elementos premoldeados.

Las vigas de arriostramiento superior e intermedias son de hormigón armado. La viga de coronamiento superior se conforma con un muro de cierre de hormigón armado in situ de altura variable cuya función es la de completar la altura final necesaria del muro acompañando la pendiente longitudinal del camino. En el caso de las vigas intermedias la armadura longitudinal pasa a través de pases dejados ex profeso en los paneles premoldeados.

Es importante destacar que la defensa vehicular de hormigón armado presenta una estructura independiente desvinculada del muro de contención, de forma que la posible fuerza de impacto no sea transferida a la estructura del muro y sus fundaciones.

Fundaciones

La fundación de los muros se materializó mediante una base superficial de hormigón armado in-situ, cuyas dimensiones fueron definidas en función de las condiciones geotécnicas de fundación. Estas bases se construyeron con un noyo en coincidencia con la ubicación de las columnas verticales in-situ. Las paredes del noyo tienen una rugosidad intencional y se utilizaron para empotrar la columna en la base mediante un mecanismo de transferencia de corte. En todos los casos, se realizó un tratamiento de la superficie de fundación removiendo los bloques sueltos, limpieza de la superficie con soplete, y relleno de las oquedades con mortero cementicio, ejecutando una capa de hormigón de nivelación de un espesor mínimo de 0.20 m.

Anclajes

Los anclajes activos al macizo rocoso se ejecutaron con una perforación en roca de 3.5 pulgadas (90 mm), y una formación constituida por un cordón pretensado de 5/8 pulgadas (15 mm) inmerso en una vaina de polietileno de alta densidad, con un sistema de conductos que permiten la inyección primaria y secundaria del anclaje, generando un bulbo de anclaje de 6 m de longitud mínima. El tesado del anclaje se realizó con un gato monocordón y el anclaje con un sistema integrado de placa metálica con pote y cuña.

Drenajes

Se realizó un sistema de drenaje vertical entre el muro y el relleno formado por una geomanta, que capta el agua y la conduce hasta el dren principal, aliviando las presiones de poro del agua. En la parte inferior del muro de hormigón, se ubicó un dren de piedra triturada 10-30 envuelto en geotextil, que contiene cada 2.0 m de desarrollo tubos de salida de PVC de diámetro 100 mm, que atraviesan el muro a través de un pase previsto en los elementos premoldeados de arranque.

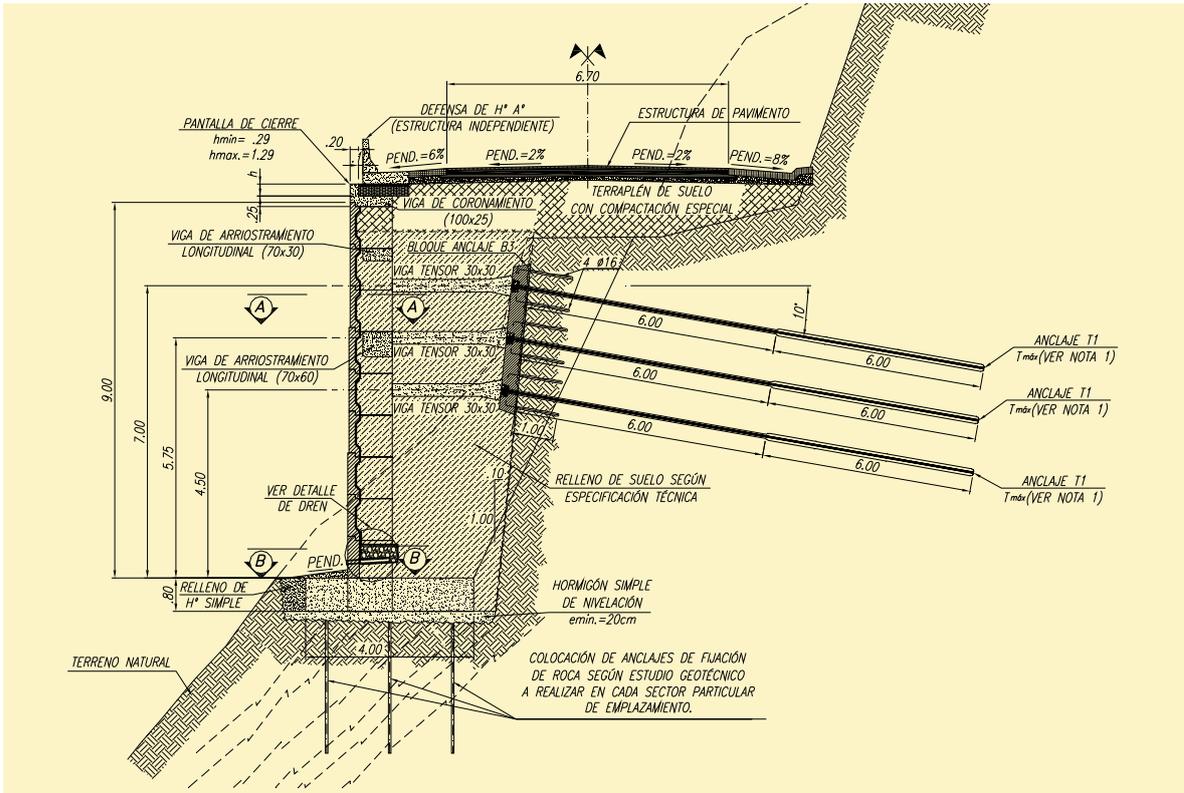


Figura 5a. Muro de sostenimiento de 9 de altura, de paramento vertical, sin voladizo

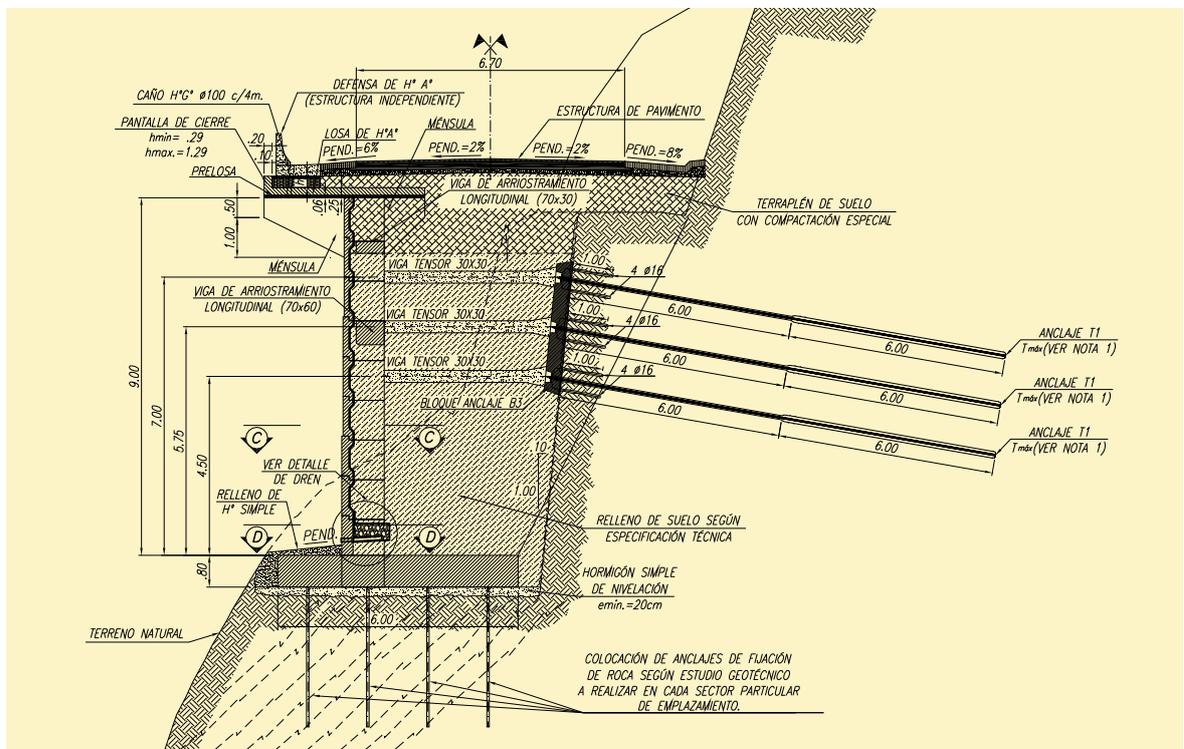


Figura 5b. Muro de sostenimiento de 9 de altura, con voladizo de 2.50 m

Diseño final del muro de sostenimiento

En la Figura 5a se presenta el diseño final de un muro de sostenimiento sin voladizo de 9 m de altura, y en la Figura 5b se muestra el caso de diseño de un muro de sostenimiento con voladizo de 2.50 m y 9 m de altura, observándose que ambos muros disponen de todos los componentes descritos en el presente trabajo, especialmente se puede apreciar el conjunto de tensores pasivos de hormigón armado que se desarrollan desde el paramento del muro hasta la ladera de la montaña, que se vinculan a un sistema de tensores activos anclados en el núcleo del macizo rocoso.

En la Figura 6 se presenta una vista general frontal de la conformación del muro de un muro de sostenimiento de contención del terraplén del camino de montaña.

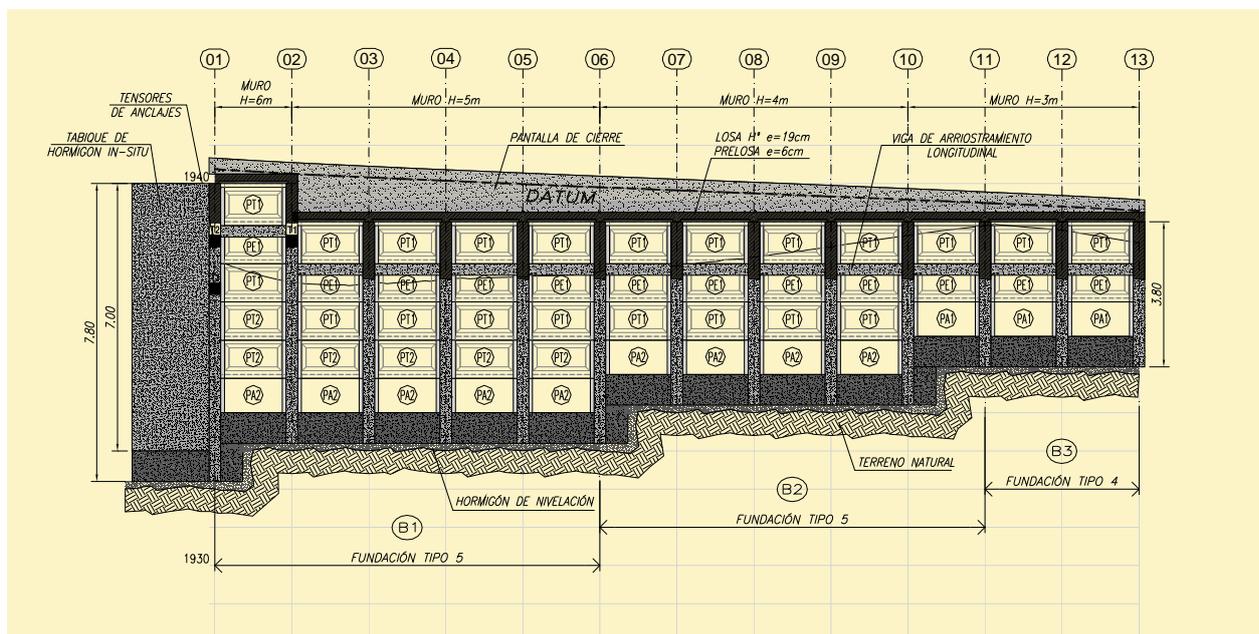


Figura 6. Vista frontal de la configuración geométrica de un muro de sostenimiento

Conclusiones y recomendaciones

A partir de los estudios y análisis realizados, y de la experiencia recogida de los casos de aplicación, es posible formular un conjunto de conclusiones y recomendaciones:

- El diseño de un sistema estructural de muros de sostenimiento en zona de caminos de montaña abarca un conjunto de tareas de múltiples disciplinas de la ingeniería, y es muy recomendable que el equipo de diseño este conformado por especialistas en todas las áreas intervinientes en el proyecto.
- El desarrollo del diseño de un sistema estructural de muros de sostenimiento en zona de caminos de montaña es dinámico, y se desarrolla mediante una primera etapa de diseño y proyecto convencional, seguido de una segunda etapa de ajuste sucesivos del proyecto que tiene en cuenta en especial las condiciones geotécnicas locales de fundación y el estado del macizo rocoso, y evoluciona en tiempo real con el avance de la obra.

- El diseño final del sistema estructural de muros de sostenimiento en zona de caminos de montaña tiene una íntima relación con el método constructivo, es decir, la elección del método constructivo condiciona la solución estructural y el diseño del muro.

Referencias

Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Clasifications. A complete manual for engineers and geologists in minning, civil and petroleum engineering.

Hoek, E. (2007). Practical Rock Engineering.