

# DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN CON APLICACIONES COMPUTACIONALES EN 3 SITIOS DE LA VÍA E45 LOCALIZADOS EN EL TRAMO BAEZA – TENA.

*Ing. Ernesto Pro Zambrano<sup>1</sup>, Ing. Hugo Bonifaz Garcia<sup>2</sup>*

*Rafael Andrés González Carrión<sup>3</sup>, Edison Rubén Flores Reinoso<sup>4</sup>*

*1 Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador, repro@espe.edu.ec*

*2 Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador, hfbonifaz@espe.edu.ec*

*3 Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador, rafaelgc17@gmail.com*

*4 Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador, erflores1989@gmail.com*

## RESUMEN

*La estabilización de taludes permite una vida útil mucho más amplia a lo largo de una vía, evitando deslizamientos que puedan causar daños a la estructura del pavimento. Los métodos de estabilización varían dependiendo del tipo de deslizamiento, métodos convencionales como muros de gaviones y no convencionales como la tierra armada y los muros anclados brindan una solución definitiva para los diferentes problemas que se presentan en las carreteras de nuestro país. En la actualidad existen herramientas automáticas para acelerar el proceso de cálculo que son cada vez más utilizadas por diseñadores para obtener tener resultados convincentes. Software como GawacWin para diseño de muros de gaviones, Macstars para diseño de Muros de tierra armada y SNAP desarrollado por (Central Federal Lands Highway) de los Estados Unidos, que se especializa en diseño de muros con anclajes. La utilización de un software estará fuertemente ligada a un conocimiento y criterios integrales para aprovechar todas las ventajas, así como también será muy importante considerar las características topográficas geotécnicas y geológicas de cada sitio donde sean aplicados, para de esta forma llegar a un diseño apropiado para solucionar cada eventualidad que se presente en un sitio de estudio.*

**Palabras Clave** Estabilización, Muros, SNAP, GAWACWIN, MACSTARS.

## **ABSTRACT**

*Slope stabilization allows a much wider along a pathway, preventing slippage that can cause damage to the pavement structure life. Stabilization methods vary depending on the type of slip, conventional methods such as gabion walls and unconventional as anchored reinforced earth walls and provides a definitive solution to the various problems that arise in our country roads. Currently there are automated tools to speed the calculation process are increasingly used by designers for having convincing results. Software as GawacWin for gabion wall design, design Macstars for walls and armed land developed by SNAP (Central Federal Lands Highway) in the United States, specializing in design of walls with anchors. The use of software will be strongly linked to a comprehensive knowledge and to take full advantage criteria and will also be very important to consider the geotechnical and geological topography of each site where they are applied, to thereby achieve an appropriate design for solve every eventuality is presented in a study site.*

**Keywords:** Stabilization, Walls, SNAP, GAWACWIN, MACSTARS.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador y en otras partes del mundo, los suelos han sufrido con el tiempo sucesivas erosiones, filtraciones, deslizamientos, asentamientos y otros efectos naturales que dependen de las características físicas y que muchas veces ocasionan daños a estructuras que estén cimentadas sobre ellos o cerca de los mismos. Es por ello que desde el punto de vista ingenieril, en algunos proyectos de construcción se necesitan métodos o técnicas que den solución a estos problemas, como la construcción de estructuras de retención, estabilización y refuerzo de suelos.

Al analizar el estado de ciertos puntos de la vía Papallacta – Baeza – Tena, se observa que existen varios sitios en los cuales se presentan deformaciones de la vía, hundimientos, deslizamientos, agrietamientos, pérdidas de calzada y deterioro de las obras de arte como: cunetas, alcantarillas, muros, etc.

Los problemas indicados, están relacionados con las características geo-mecánicas de los materiales, su régimen hidrogeológico, las altas precipitaciones, el mal manejo del drenaje superficial y deficiencias constructivas, lo que pone en peligro la integridad de los usuarios de la vía.

Con la finalidad de poner remedio a tres sitios ubicados en la vía E45 de la provincia de Napo, se realizará los diseños de las obras y las medidas necesarias a fin de lograr la estabilización de los sitios inestables.

Los muros de contención o retención son estructuras utilizadas para proveer estabilidad a taludes de tierra o de otro material donde las condiciones de pendiente natural no sean satisfactorias para una situación determinada. Existen varios tipos de muros de contención, como muros de gravedad, tierra armada, gaviones, anclados, etc.

## 2. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo contiene bases teóricas y manejo de programas para la estabilización mediante muros de contención, utilizando parámetros de caracterización del suelo propios de cada uno de los sitios estudiados, ubicados en la vía Papallacta - Baeza - Tena.

Se conoce con el nombre de talud a las superficies inclinadas con respecto a la horizontal y puede ser natural o construido. Si la superficie del terreno no es horizontal, una componente de la gravedad ocasionará que el suelo se mueva hacia abajo (Figura 1) Si la componente de la gravedad es suficientemente grande ocurrirá la falla.

La pérdida de la resistencia al corte del suelo es la que produce la inestabilidad en el talud.

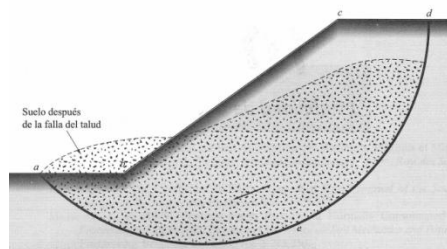


Figura 1 Inestabilidad de un talud  
Fuente: Fundamentos de Geotécnia, Braja M. Das

La forma de analizar la estabilidad de un talud es determinar el factor de seguridad:

$$FS = \frac{T_f}{T_d} \quad (1)$$

La resistencia al corte de un suelo consta de dos componentes, la cohesión y la fricción, y se expresa como:

$$T_f = c + \sigma' * \tan \Phi \quad (2)$$

El esfuerzo cortante de igual forma que la resistencia al corte tiene como componentes a la fricción y cohesión.

$$T_d = c_d + \sigma' * \tan \Phi_d \quad (3)$$

Por lo tanto el factor de seguridad queda definido en la siguiente expresión:

$$FS = \frac{c + \sigma' * \tan \Phi}{c_d + \sigma' * \tan \Phi_d} \quad (4)$$

## 2.1. TEORÍAS DE EMPUJE DE TIERRAS ESTÁTICO Y SÍSMICOS

Las teorías usadas para el diseño de los muros son las siguientes

### 2.1.1. Teoría de Rankine

La teoría de Rankine para obtener la magnitud de los empujes del suelo sobre los muros, es más sencilla que la de Coulomb, pues se basa en las siguientes hipótesis:

- El suelo es una masa isótropa y homogénea.
- No existe fricción entre el suelo y el muro.
- “ $\Phi$ ” es el ángulo de fricción interna del suelo.
- El cara interna del muro es siempre vertical, es decir se supone  $\alpha = 90^\circ$ . (Ver figura 2).
- La resultante del empuje de tierras está aplicada a  $1/3$  de la altura del muro, medida desde su base.
- La dirección del empuje es paralela a la inclinación de la superficie del relleno, es decir forma el ángulo  $\beta$  con la horizontal. (Ver figura 2).

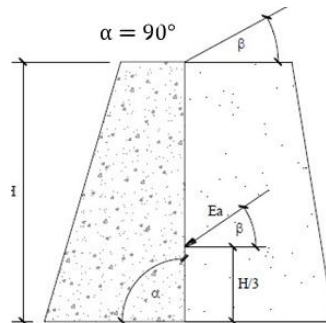


Figura 2: Ángulos y fuerzas actuantes (Teoría de Rankine)

Fuente: Análisis y diseño de muros de contención, Lucero; Pachacama, Rodriguez-2012)

Según la teoría de Rankine, la presión activa y pasiva es respectivamente:

$$P_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_a \quad (5)$$

$$P_p = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_p \quad (6)$$

Los coeficientes de los empujes varían si el terraplén de relleno es horizontal o inclinado.

Para terraplén horizontal se tiene:

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\Phi}{2} \right) \quad (7)$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\Phi}{2} \right) \quad (8)$$

Para terraplén inclinado se tiene:

$$K_a = \cos \beta * \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}} \quad (9)$$

$$K_p = \cos \beta * \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}} \quad (10)$$

### 2.1.2. Teoría de Coulomb.

La teoría de Coulomb (1776) referente al empuje de tierras, se basa en las siguientes hipótesis:

- El suelo es una masa isótropa y homogénea, con fricción interna y cohesión.
- Si bien el deslizamiento se produce usualmente a lo largo de una superficie curva, en forma de espiral logarítmica, se logra una simplificación de la teoría al suponerla plana, y se designa por plano de falla, de rotura o de cizallamiento. (Ver figura 3).

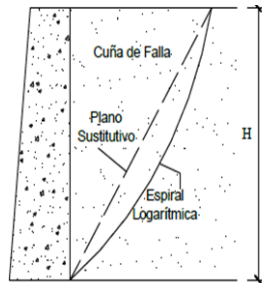


Figura 3. Cuña de falla

Fuente: Análisis y diseño de muros de contención, Lucero; Pachacama, Rodriguez-2012)

- Las fuerzas de fricción se distribuyen uniformemente a lo largo del plano siendo “ $\Phi$ ” el ángulo de fricción interna del suelo. (Ver figura 4 (a)).
- La cuña de falla se comporta como un cuerpo rígido.
- La cuña de falla se mueve a lo largo de la pared interna del muro, produciendo fricción entre éste y el suelo. “ $\delta$ ” Es el ángulo de fricción entre el suelo y el muro, también conocido como ángulo de rugosidad del muro. (Ver figura 4 (a)).
- La falla es un problema de deformación plana, y el muro se considera de longitud unitaria.

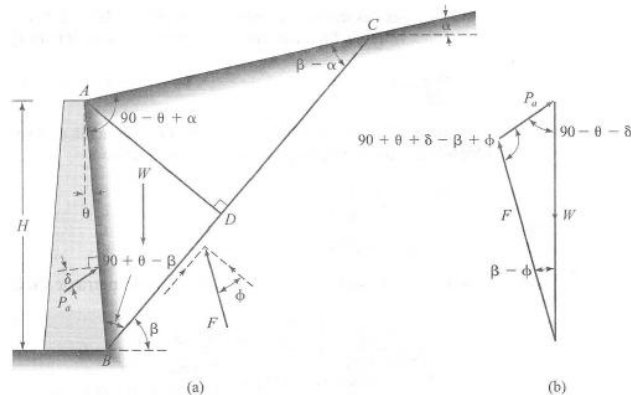


Figura 4: Cuña de falla (a) y polígono de fuerzas (b)–Presión Activa  
Fuente: Fundamentos de Geotécnia, Braja M. Das

Para obtener la presión activa de tierras por la teoría de Coulomb se usa la siguiente ecuación:

$$P_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * H^2 \quad (11)$$

Donde:

$K_a$ , es el coeficiente de la presión activa de Coulomb, definido por:

$$K_a = \frac{\cos^2(\Phi - \theta)}{\cos^2(\theta) * \cos(\delta + \theta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \Phi) * \sin(\Phi - \alpha)}{\cos(\delta + \theta) * \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (12)$$

$K_p$ , es el coeficiente de la presión pasivo de Coulomb, definido por:

$$K_p = \frac{\cos^2(\Phi + \theta)}{\cos^2(\theta) * \cos(\delta - \theta) * \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\Phi - \delta) * \sin(\Phi + \alpha)}{\cos(\delta - \theta) * \cos(\alpha - \theta)}} \right]^2} \quad (13)$$

### 2.1.3. Teoría de Mononobe – Okabe

Okabe (1926), y Mononobe y Matsuo (1929) desarrollaron las bases de un análisis pseudo-estático para evaluar las presiones sísmicas que desarrollan los suelos sobre los muros de contención, dando origen al conocido Método de Mononobe - Okabe (M - O). (Ver figura 5).

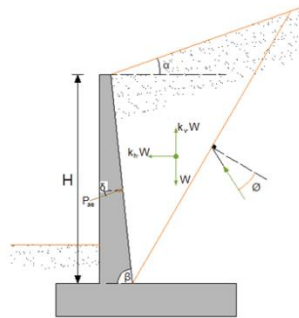


Figura 5: Componentes de la presión de tierra en condiciones sísmicas, Mononobe – Okabe  
Fuente: Tesis UPN, Sánchez Pruna 2013

Debido a la presencia del movimiento sísmico, las fuerzas que actúan sobre la cuña de falla de suelo, son esencialmente las mismas que se usan para el cálculo de la presión activa en ausencia de condiciones sísmicas, con la adición de los coeficientes “ $K_h$ ” y “ $K_v$ ”, mismos que están definidos de la siguiente manera:

$$K_h = \frac{\text{Componente horizontal de la aceleración del sismo}}{\text{Aceleración de debido a la gravedad}} \quad (14)$$

$$K_v = \frac{\text{Componente vertical de la aceleración del sismo}}{\text{Aceleración de debido a la gravedad}} \quad (15)$$

La presión activa para condiciones sísmicas se determina a través de la siguiente expresión:

$$P_{ae} = \gamma_{suelo} * H * (1 - K_v) * K_{ae} \quad (16)$$

Esta expresión da como resultado unidades de presión, es decir, fuerza por unidad de área, donde:

K<sub>ae</sub>: coeficiente de presión activa de la tierra en condiciones sísmicas definido por:

$$K_{ae} = \frac{\text{sen}^2(\phi + \beta - \theta')}{\cos \theta' * \text{sen} \beta * \text{sen}(\beta - \theta' - \delta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi - \theta' - \alpha)}{\text{sen}(\beta - \delta - \theta') * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]} \quad (17)$$

$$\theta' = \tan^{-1} \left[ \frac{k_h}{1 - k_v} \right] \quad (18)$$

De la figura 5 se tiene:

- $\alpha$  : es el ángulo que forma la superficie de la cuña con la horizontal, o ángulo del talud natural del suelo
- $\phi$ : es el ángulo de fricción interna del suelo
- $\delta$ : es el ángulo de fricción entre el suelo y muro, el cual depende de la rugosidad de las paredes del muro
- $\beta$ : es la inclinación del cara interna del muro (contacto con el suelo)
- $\gamma$  : es el peso específico del suelo
- H : es la altura del muro

## 2.2. MODOS DE FALLA

Los modos de falla analizados son los necesarios para que el muro no falle de ninguna manera posible.

### 2.2.1. Estabilidad al deslizamiento.

En la evaluación de la estabilidad al deslizamiento de todo muro de contención de tierras, se debe verificar que fuerzas desestabilizantes siempre menores a las fuerzas estabilizantes:

$$\sum F_{dst} \leq \sum F_{est} \quad (19)$$

Así, es posible determinar un factor de seguridad contra falla por deslizamiento a partir de la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\sum F_{est}}{\sum F_{dst}} \quad (20)$$

### 2.2.2. Estabilidad al volcamiento.

En la evaluación de la estabilidad al vuelco de todo muro de contención de tierras, se debe verificar que la sumatoria de los momentos desestabilizantes siempre menores que los momentos estabilizantes:

$$\sum M_{dst} \leq \sum M_{est} \quad (21)$$

Así, es posible determinar un factor de seguridad contra falla por vuelco a partir de la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\sum M_{est}}{\sum M_{dst}} \quad (22)$$

### 2.2.3. Estabilidad al hundimiento.

Esta comprobación se realiza a partir de las teorías habituales de la presión de hundimiento. Para el caso del dimensionamiento de muros convencionales, se adopta la expresión general de Terzaghi modificada por Brinch & Hansen. (Tesis Doctoral-Madrid, Jara 2008)

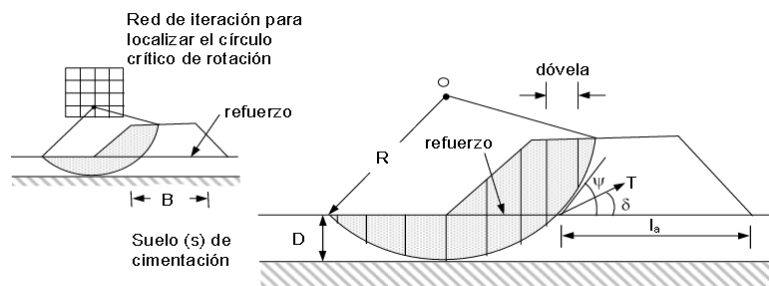
$$q_u = c_2 * N_c * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qd} * F_{qi} + \frac{1}{2} * \gamma_2 * B' * N_\gamma * F_{\gamma d} * F_{\gamma i} \quad (23)$$

### 2.2.4. Estabilidad global.

En general, el cálculo de la estabilidad global tiene gran importancia en aquellos muros que son construidos sobre terrenos de baja resistencia al corte o en aquellos casos en que el muro se encuentra emplazado sobre una ladera.

El análisis de la estabilidad global se facilita si se supone una superficie de falla circular.

La estabilidad global involucra a las fallas superficiales que se extienden a través de todo el cuerpo del terraplén, del talud o del muro y por debajo del suelo de desplante. Debe siempre realizarse un análisis de estabilidad global de rutina, para todo tipo de terraplenes, taludes o muros



reforzados y no reforzados.

Figura 6.: Análisis de deslizamiento en terraplenes

Fuente: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/estabilidad-de-taludes.pdf>

Los programas computacionales se basan en la hipótesis que la fuerza aportada por el refuerzo reduce el momento desestabilizador (MD), calculando el factor de seguridad (FS) de la siguiente manera.

Donde:

- MR: Momento resistente
- Ts: Sumatoria de fuerzas de tracción del refuerzo de todos los refuerzos interceptados.
- D, Radio "R" del círculo para refuerzos de lámina continua extensibles e inextensibles; y distancia vertical "Y" para refuerzos discretos de tira.

$$FS = \frac{M_R}{M_D - T_s * D} \quad (24)$$

### 2.2.5. Estabilidad interna.

El análisis de estabilidad interna se realiza principalmente en muros de tierra mecánicamente estabilizada y está orientado a evaluar la resistencia a la rotura de las mallas de refuerzo que se utilizan en este tipo de estructuras y la resistencia al arrancamiento que oponen las mismas en contacto con el suelo.

La superficie de máximas tracciones así definida, crea dos zonas bien diferenciadas: una zona activa, que tiende a moverse hacia los gaviones de revestimiento y una zona resistente, que corresponde a una zona estable y donde las mallas de refuerzo soportan las fuerzas de arrancamiento que se generan. (Ver Figura 7)

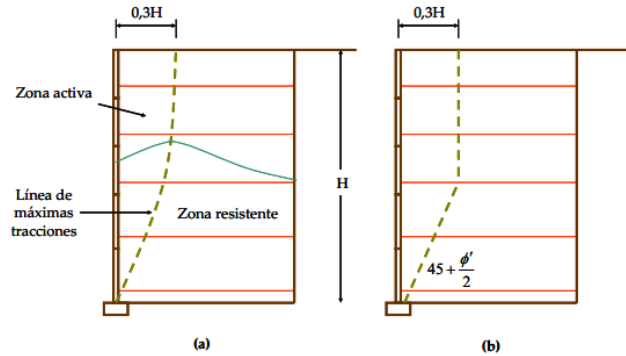


Figura 7: Línea de máximas tracciones en las tiras de refuerzo  
Curva real de localización de máximas tracciones  
Aproximación lineal de máximas tracciones

Fuente: Terramesh, (2002) "Evaluation of the Maccaferri Terramesh System Retaining Wall".

La resistencia de diseño ( $T_d$ ) de un determinado elemento de refuerzo es determinada entre la relación de la resistencia última del refuerzo dividida entre factores de reducción.

$$T_d = \frac{T_{ult}}{FR_{CR} * FR_D * FR_{ID}} \quad (25)$$

Donde:

- $T_{ult}$  : Resistencia Última
- $FR_{CR}$ : Factor de reducción - Creep.
- $FR_D$  : Factor de reducción - Daño instalación
- $FR_{ID}$  : Factor de reducción – Daños ambientales

La resistencia al arrancamiento está directamente relacionada con la longitud de las mallas en la zona resistente. Así como también la rotura o arrancamiento de los refuerzos (pullout). (Figura 8)

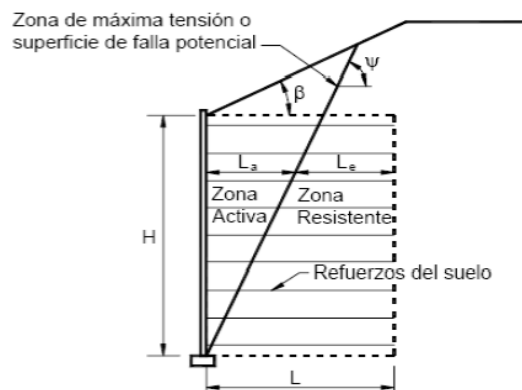


Figura 8: Superficie crítica para el cálculo de los factores de seguridad de la estabilidad interna.  
Fuente: Terramesh, (2002) "Evaluation of the Maccaferri Terramesh System Retaining Wall".

Para el cálculo la longitud mínima requerida para evitar el arrancamiento del refuerzo, se debe de calcular mediante la siguiente fórmula:



$$L_e \geq \frac{T_{max}}{\emptyset * F^* * \alpha * \sigma_v * C * R_c} \quad (26)$$

Donde:

- Le: Longitud de los refuerzos en la zona resistente.
- Tmax: Carga máxima en el refuerzo.
- $\emptyset$  : Factor de resistencia al arrancamiento de los refuerzos.
- F\*: Factor de fricción.
- $\alpha$ : Factor de corrección que considera los efectos de la escala igual a 0.8
- $\sigma_v$  : Esfuerzo vertical.
- C: Factor adimensional igual a 2.
- RC: Para refuerzos continuos es igual a 1.

## 2.2.6. Modos de falla adicionales en muros anclados.

### 2.2.6.1. Capacidad de tensión de la barra del anclaje

La capacidad de tensión en la barra de anclaje se viene dada por la siguiente ecuación:

$$R_T = A_t * f_y \quad (27)$$

Donde:

- At = Sección transversal de la barra del anclaje (cm<sup>2</sup>)
- fy = La resistencia a la fluencia de la barra del anclaje (Kg/cm<sup>2</sup>)
- Arrancamiento del anclaje

Es uno de los principales métodos de falla. Este modo de falla puede ocurrir cuando la capacidad de arrancamiento por unidad de longitud es insuficiente o cuando la longitud del anclaje es insuficiente. El arrancamiento por unidad de longitud es definida como:

$$Q_u = \pi * q_u * DDH \quad (28)$$

Donde:

- Qu = Capacidad al arrancamiento por unidad de longitud
- qu = Resistencia última al arrancamiento (Kg/cm<sup>2</sup>)
- DDH = promedio del diámetro efectivo del agujero de perforación (cm)
- Adherencia admisible del bulbo

Se puede obtener el valor de la adherencia admisible aplicando la expresión siguiente:

$$a_{adm} = \frac{c'}{F_{2c}} + \sigma' * \frac{\tan \varphi'}{F_{2\varphi}} \quad (29)$$

Siendo:

- c' = Cohesión efectiva del terreno en el contacto terreno-bulbo.(Kg/cm<sup>2</sup>)
- $\varphi'$  = Ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno en el contacto terreno-bulbo.
- $\sigma'$  = Presión efectiva del terreno en el centro del bulbo más una tercera parte de la presión de inyección aplicada. (Kg/cm<sup>2</sup>).
- F<sub>2c</sub>= 1,60; coeficiente de minoración de la cohesión.
- F<sub>2 $\varphi$</sub>  = 1,35; coeficiente de minoración de la fricción.
- Capacidad de flexión del revestimiento (pantalla)

La capacidad de flexión por unidad de longitud es el momento máximo resistente por unidad de longitud que puede ser movilizada en la sección del revestimiento (pantalla). Puede ser determinada por las siguientes expresiones:

$$RFF = \frac{C_F}{265} * (a_{vn} + a_{vm}) * \left( \frac{S_H * h}{S_V} \right) * f_y \quad (30)$$

ó

$$RFF = \frac{C_F}{265} * (a_{hn} + a_{hm}) * \left( \frac{S_V * h}{S_H} \right) * f_y \quad (31)$$

Donde:

- CF = Factor que considera presiones de suelo no uniformes detrás de la cara del muro.
- h = Espesor del revestimiento(pantalla) [m]
- avn = Área de sección transversal del refuerzo por unidad de longitud en la dirección vertical en la cabeza del anclaje.(mm<sup>2</sup>/m)
- avm= Área de sección transversal del refuerzo por unidad de longitud en la dirección vertical en el centro. (mm<sup>2</sup>/m)
- ahn = Área de sección transversal del refuerzo por unidad de longitud en la dirección horizontal en la cabeza del anclaje. (mm<sup>2</sup>/m)
- ahm= Área de sección transversal del refuerzo por unidad de longitud en la dirección horizontal en el centro. (mm<sup>2</sup>/m)
- SH = Espaciamiento horizontal del anclaje(m)
- SV = Espaciamiento vertical del anclaje (m)
- fy = Resistencia a la fluencia del reforzamiento (Mpa)

Los parámetros para calcular la capacidad de flexión de la pantalla de hormigón se detallan en la figura 9.

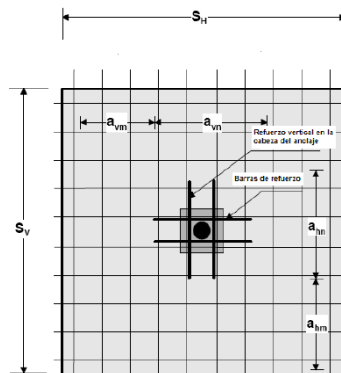


Figura 9: Parámetros para el cálculo de la flexión en la pantalla  
Fuente: Manual for Design & Construction of Soil Nail Walls

### 2.2.6.2. Capacidad de corte al punzonamiento en pantalla

La capacidad de punzonamiento viene dada por:

$$R_{FP} = C_p * V_F \quad (32)$$

Donde:

- VF = Fuerza punzonamiento actuando a través de la sección. (KN)
- CP = Factor de corrección que tiene en cuenta la contribución de la capacidad de soporte del suelo.

El factor de corrección del CP se utiliza para tener en cuenta el efecto de la presión del suelo detrás del revestimiento del muro que actúa para estabilizar el cono. Si no hay una reacción de la sub-rasante se considera,  $CP = 1,0$ . Cuando la reacción del suelo se considera, CP puede ser alta como 1,15. A efectos prácticos, la corrección se suele omitir lo que se considera como  $CP = 1,0$ .

La fuerza de punzonamiento “VF” en (kN) viene dada por la siguiente expresión:

$$V_F = 330 * \sqrt{f'_c} * \pi * D'_c * h_c \quad (33)$$

Donde:

- $D'_c$  = Diámetro efectivo de la superficie de falla cónica al centro de la sección (se considera un promedio de la superficie de falla cilíndrica, ver figura 10)[m]
- $h_c$  = Profundidad efectiva de la superficie cónica(Ver figura 2.30)[m]
- $f'_c$  = Resistencia a la compresión del concreto. (Mpa)

En la figura 10 se detalla el corte por punzonamiento en la pantalla de hormigón.

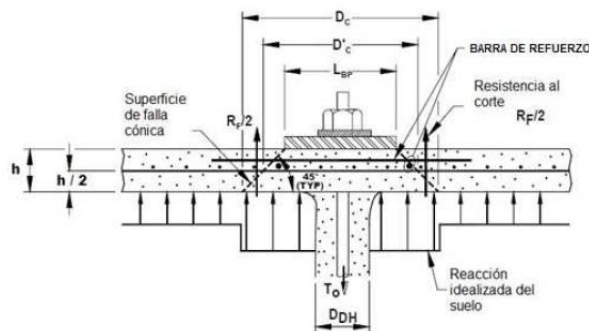


Figura 10: Corte por punzonamiento en pantalla de hormigón  
Fuente: Manual for design & Construction of Soil Nail Walls

### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

La ubicación georeferenciada de los tres sitios inestables se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 3.1: Tabla de ubicación Sitio 1

Descripción	Coordenadas(DatumWGS84)		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
Sitio No. 1	177221	9948658	1850

Tabla 3.2: Tabla de ubicación Sitio 2

Descripción	Coordenadas(DatumWGS84)		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
Sitio No. 2	189565	9927127	1668

Tabla 3.3: Tabla de ubicación Sitio 3

Descripción	Coordenadas(DatumWGS84)		Altitud
	Este	Norte	(msnm)
Sitio No. 3	190016	9917994	1159

Los diseños que se realizaron en los 3 sitios fueron en base al estudio topográfico y geotécnico, analizando las mejores opciones de implantación y métodos constructivos.

Para cada sitio se desarrolló una alternativa la cual se presenta a continuación.

### 3.1. SITIO 1

En el sitio uno se utilizó un diseño de muros con anclajes, que de acuerdo al estudio de suelos era recomendable y permitirá la estabilización de una forma adecuada.

El diseño se realizó utilizando un software especializado y comprobado con un diseño manual el cual muestra resultados similares.

En el sitio 1 se diseñó:

- El cable de anclaje
- La pantalla de hormigón
- La longitud de adherencia necesaria para que el anclaje falla por arrancamiento.

Y se comprobó:

- Estabilidad al deslizamiento
- Estabilidad al volcamiento
- Estabilidad global
- Arrancamiento del anclaje
- Diseño a flexión y punzonamiento en la pantalla

Todas estas comprobaciones fueron tomando en cuenta un coeficiente sísmico de 0.37g que demostró que se producirá de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

### 3.2. SITIO 2

En el sitio 2 se utilizó como alternativa de diseño un muro de gaviones, que tomando en cuenta la topografía y estudio geotécnico fue recomendable y permitirá la estabilización de una forma adecuada.

El diseño se realizó utilizando un software especializado y comprobado con un diseño manual el cual muestra resultados similares.

En el sitio 2 se diseñó un muro de gaviones que cumple con las normas ecuatorianas NEC-2014 y cumplirá con todas las cargas solicitadas tanto estáticas como dinámicas.

En el sitio 2 se comprobó lo siguiente:

- Estabilidad al deslizamiento
- Estabilidad al volcamiento
- Estabilidad global

Todas estas comprobaciones fueron tomando en cuenta un coeficiente sísmico de 0.37g que demostró que se producirá de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

### 3.3. SITIO 3

En el sitio tres se utilizó un diseño de muros de tierra armada, debido a que en este sitio el suelo tenía propiedades muy bajas de resistencia al corte, se optó por realizar, primeramente una sustitución de suelo y sobre este mejoramiento cimentar un muro de tierra armada con mallas.

El diseño se realizó utilizando un software especializado y comprobado con un diseño manual el cual muestra resultados similares. En el sitio 3 se diseñó un muro de tierra armada que cumple con las normas ecuatorianas NEC-2014 y cumplirá con todas las cargas solicitadas tanto estáticas como dinámicas.

En el sitio 3 se comprobó lo siguiente:

- Estabilidad al deslizamiento
- Estabilidad al volcamiento
- Estabilidad global.
- Estabilidad interna.

Todas estas comprobaciones fueron tomando en cuenta un coeficiente sísmico de 0.37g que demostró que se producirá de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

## 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cada uno de los sitios se han comparado con los diseños manuales que muestran variaciones pero no son significativas.

### 4.1. SITIO 1

En el sitio uno que tiene como diseño un muro con anclajes se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4.1 Comparación de resultados Sitio 1

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS		
PARÁMETRO	DISEÑO MANUAL	SOFTWARE
	MONONOBE-OKABE	SNAP
FS Deslizamiento	1,34	1,6
FS Volteo	2,45	2,5
Excentricidad (m)	2,4	2,6
TFP(KN) Fuerza de Punzonamiento	511,26	583,9
TFF(KN) Fuerza de Flexión	173,06	173,06
TF(KN) Fuerza de Flexión ( Diseño)	115,95	115,9

## 4.2. SITIO 2

En el sitio dos que tiene como diseño un muro de gaviones se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4.1 Comparación de resultados Sitio 2

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS				
PARÁMETRO	DISEÑO MANUAL			SOFTWARE
	Sismoresistente	SEED	MONONOBE-OKABE	GAWACWIN 1.0
Empuje Activo Total(T/m)	16,23	20,58	22,14	22,12
Empuje Pasivo(T/m)	3,48	3,48	3,48	3,42
FS Deslizamiento	1,27	1,08	1,31	1,30
FS Volteo	2,62	1,91	2,05	2,01
Excentricidad (m)	0,59	1,10	0,66	0,69
q max (T/m2) Presión máxima	10,78	14,51	15,35	15,66
q min (T/m2) Presión mínima	2,31	0,00	2,50	2,17

## 4.3. SITIO 3

En el sitio tres que tiene como diseño un muro de tierra armada se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4.1 Comparación de resultados Sitio 3

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS				
PARÁMETRO	DISEÑO MANUAL			SOFTWARE
	Sismoresistente	SEED	MONONOBE-OKABE	MACSTARS 2000
FS Deslizamiento	1,32	1,16	1,23	1,252
FS Vuelco	2,78	2,28	2,65	2,120
	MÉTODO DE BISHOP			
FS Estabilidad Interna	1,97			1,947

## 5. TRABAJOS RELACIONADOS

Para la realización de este tipo de trabajos existen infinidad de programas, la diferencia radica en la teoría considerada para realizar los cálculos, aunque generalmente los diseños no varían significativamente, se debe tomar muy en cuenta que la carga sísmica y sobrecarga vehicular si influye en gran medida en las dimensiones adoptadas en los diseños, cabe destacar que en cualquier uso de un software de diseño se debe comprobar con un diseño manual para tener certeza del calculo que se realiza.

Entre los principales software de diseño se encuentran.

- Slope
- Snailz
- GeoWalls

- Diadim
- Accecalc
- MDC

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- La topografía se realizó mediante una estación total, actualmente existen otros métodos para hacer el mismo trabajo como:
  - GPS RTK
  - LIDAR
  - ESCANNER
- Para realizar un trabajo de precisión como es el caso de este estudio es necesario que se tenga una topografía con un detalle mínimo, es decir que la separación entre curvas de nivel sea máximo de un metro.
- Los estudios de suelos utilizados en el presente trabajo, se realizaron tomando en cuenta la necesidad de obtener todos los parámetros que muestren la realidad del suelo en donde se va a cimentar la estructura.
- En el sitio uno se eligió la alternativa de muro con anclaje debido a que los resultados obtenidos en los ensayos mostraron suelos cohesivos. El principal problema no es de estabilidad sino es un problema de erosión y desgaste del talud por lo que la opción de diseño presentada garantiza la seguridad de la vía en el sitio.
- En el sitio dos el suelo presenta características de suelo granular, la estructura del pavimento de la vía se encuentra en buen estado pero existe un colapso de cuentas por falta de confinamiento en el suelo bajo las mismas, el muro de gaviones diseñado permitirá que exista una buena compactación.
- Para un buen funcionamiento de los muros de tierra armada se deberá tener énfasis en la interacción entre el suelo de relleno y el refuerzo, ya que el éxito de éste sistema depende principalmente de esta variable.
- El sitio tres presenta características muy desfavorables por lo que se plantea una reposición de suelo de mejoramiento de 2 m de altura y para la estabilización se usa un sistema de un muro de tierra armada con recubrimiento de gaviones debido a que este tipo de sistema tiene un funcionamiento adecuado en suelos con bajas características portantes.
- En el sistema de muro anclado en el sitio 3, cuando los anclajes tienen una longitud adecuada, los modos de falla por deslizamiento y volteo no representan una condición crítica en el análisis de estabilidad externa, debido a que la nada de suelo reforzado, por sus dimensiones, genera una resistencia que generalmente es superior a las fuerzas desestabilizadoras actuantes.
- Al analizar los sitios inestables y aplicando el diseño sísmico de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2013, se aprecia que los factores sísmicos incrementan las dimensiones de la geometría de los muros considerablemente, concluyendo que la NEC2013 es muy estricta para construcciones civiles.
- El diseño que se realizó en el sitio uno, dos y tres, el cual corresponde a estabilizar el lugar mediante un muro con anclajes, un muro con gaviones y un muro de tierra armada respectivamente, cumple con los requerimientos y factores de seguridad descritos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2013.

- En el presente proyecto se realizó una comprobación manual de los diseños propuestos para comparar con los resultados obtenidos con las aplicaciones computacionales, llegando a obtener valores similares que demuestran que el diseño es correcto.
- La ventaja de utilizar programas computacionales permite al usuario agilizar el cálculo respectivo y obtener varias alternativas de diseño.
- El uso correcto de un software depende del conocimiento que tenga el usuario, ya que los resultados deberán ser comprobados antes de utilizarlos en el diseño.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja M Das. (2001), Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.
- Navarro S. (2008), Estabilidad de taludes, <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/estabilidad-de-taludes.pdf>
- Terramesh. (2002), Evaluation of the Maccaferri Terramesh System Retaining Wall.
- Lucero, Pachacama, Rodriguez. (2012), Análisis y diseño de muros de contención. Tesis de grado previo a la obtención de Ingeniero Civil, Universidad Central, Quito, Ecuador
- Sanchez J. (2013), Análisis y diseño estructural de la obra de descarga del proyecto hidroeléctrico Minas – La Unión. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Federal Highway Administration (1998), Manual for design & Construction of Soil Nail Walls, [http://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/library\\_arc.cfm?pub\\_number=160](http://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/library_arc.cfm?pub_number=160)