

GUÍA PARA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MUROS DE RETENCIÓN

Hernández Gómez, Guillermo (1); Amaya Chagolla, Itzel (1); Rodríguez Solís, Aylin (1); Leal Vaca, Julio César (2)

1 [Licenciatura de Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato] | [memo_hernandez000@hotmail.com, itzel_amch@outlook.es, aylin.rodriguez.s@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [jcesarlealv@hotmail.com]

Resumen

En este trabajo se presenta una guía acompañada de un código de software que optimiza el análisis y diseño de los muros de retención. Un muro de retención es una estructura que tiene el propósito de retener un suelo y proporcionarle estabilidad, se utilizan en casos donde existen desniveles en las pendientes de terreno. Esta guía se enfoca en muros de retención en voladizo (o cantiléver), hechos de concreto, con rellenos no estratificados y no se ha tomado en cuenta la presión pasiva de tierra al frente del muro, ni sobrecargas. Para el análisis de estabilidad se emplean métodos ya conocidos, tomando en cuenta su estabilidad externa, evaluando los factores de seguridad de volteo, deslizamiento y capacidad de carga; y con respecto a la estabilidad interna del muro en su diseño estructural se tomaron en cuenta las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento del D. F. Se pudo comprobar las mejoras que se logran al incluir un dentellón en la base del muro, para ciertos casos; en el diseño estructural se consideran las acciones por esfuerzo cortante y momentos flexionantes, logrando la optimización de los espesores de sección y la cuantía de acero.

Abstract

In this article is presented a guide with a software code to optimize the analysis and design of retention walls. A retention Wall is an structure who has the purpose of restraint ground for its stabilization. It is being used in case where there is unequal change of slope. This guide is focused on retention walls of the cantilever type, they are made of concrete with non-stratified filling and without taking into account the passive pressure of the ground in front of the wall and overload. For the analysis of stability, it is implemented known methods, considering the external stability and evaluating safety factors: turning, sliding and load capacity as well as the internal stability of the Wall in its structural design using Complementary Technical Norms of the Regulation of D. F. It was possible to verify the improvements that are obtained to include a toothbrush in the base of the wall, in certain cases; In the structural design are considered the actions by shear and flexing moments, achieving the optimization of section thicknesses and the amount of steel.

Palabras Clave

Factor de seguridad; Estabilidad; Estructura; Análisis; Muros en voladizo.

INTRODUCCIÓN

Muros de retención.

- Marco teórico.

Un muro de retención es una estructura que tiene como propósito de retener un suelo o material suelto para proporcionarle estabilidad; este material empuja el muro tratando de volcarlo o desplazarlo. Su función principal es usarlos en casos donde existen cambios desiguales y violentos en la pendiente del terreno. [1]

Los muros de retención se usan en muchos casos como cortes y terraplenes en carreteras, en puentes y alcantarillados.

Se propone la optimización del análisis y diseño de muros de contención en voladizo de manera que se ahorre tiempo de cálculo y en consecuencia exista un ahorro económico al momento de crear un muro. Para tal efecto se ha desarrollado un programa (Optimización de Murros de Contención, OMC) y una guía en la que se presentan los métodos utilizados para su revisar su estabilidad externa, revisada por los factores de seguridad de volteo, deslizamiento y capacidad de carga, así como la estabilidad interna dependiente del armado de acero. También se añade el funcionamiento por pasos del software acompañado de su diagrama de flujo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muros de retención en voladizo (Figura 1) están hechos de concreto reforzado y constan de un tallo delgado y una losa de base, es económico para una altura aproximada de 8 metros. [1]

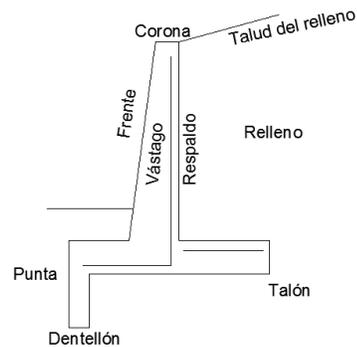


Figura 1. Muro en voladizo.

Presión de tierras.

Los muros a analizar en este guía solo considerarán la presión activa que ejerce el relleno sobre el muro, la presión pasiva no jugará un papel importante porque se opta por la opción de perderse por remoción, por lo que se tomará en cuenta solo la presión que se ejerce del desplante sobre el dentellón, en caso de ser necesario.

Las teorías primordiales para el cálculo de la presión lateral de tierra son Rankine y Coulomb, para usarlas se deben hacer varias figuraciones sencillas. En este caso utilizaremos la teoría de la presión activa de Coulomb [1], y se consideran tres tipos de suelos: cohesivo, friccionante y cohesivo-friccionante; de los cuales es necesario conocer los valores de la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ) del relleno. A continuación, se muestran algunos rangos (Tabla 1):

Material de Relleno	Rango ϕ
Grava	27°-30°
Arena gruesa	20°-28°
Arena fina	15°-25°
Arcilla firme	15°-20°
Arcilla limosa	12°-16°

Tabla 1.

Para poder empezar a diseñar un muro se necesita conocer la altura entre las dos cotas del terreno, inferior y superior, de lo cual resulta la necesidad de construir un muro. Inicialmente en el

diseño se propone una sección geométrica del muro, cuyas dimensiones se han propuesto como proporciones de la altura (H). Se deberán considerar los pesos del material con que se construirá dicho muro y el peso específico de los materiales de relleno que empujarán sobre el mismo y sus parámetros mecánicos de resistencia al esfuerzo cortante de cohesión y ángulo de fricción interna. Se tomarán en cuenta, en caso de existir, otras fuerzas actuantes como sobrecargas o aquellas que resulten de la interacción con otros elementos estructurales, tales como vigas de puentes, por ejemplo. Respecto de los empujes de tierras deben considerarse la presión activa y pasiva, provenientes de los rellenos. El relleno que sobreyace por arriba del nivel de desplante y detrás del talón del muro ejercerá la presión activa, en tanto que el relleno o en su caso el terreno natural al ser excavado entre la superficie al frente del muro y el nivel del desplante proporciona la presión pasiva, y cuando resulta necesario un dentellón sobre este también habrá de considerarse la presión pasiva. Bajo las acciones antes mencionadas la estructura se revisa por estabilidad externa calculando los factores de seguridad por volteo, deslizamiento y capacidad de carga. En una segunda etapa se revisa la estabilidad interna para dimensionar de forma definitiva y óptima; en esta revisión se consideran los esfuerzos cortantes y momentos flexionantes actuantes sobre la sección preliminar que se proporcionó en la etapa anterior y ahora se ajustarán los espesores de dicha sección bajo la acción de las fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

Estabilidad externa.

El muro puede voltearse, desplazarse o puede exceder la capacidad de carga del terreno, presentándose inestabilidad general sin que fallen los elementos del concreto.

Para obtener estabilidad del muro, se realizan tres revisiones:

- Revisión por volteo.
- Revisión por deslizamiento.
- Revisión por capacidad de carga.

Para el predimensionamiento general del muro se recurre a la propuesta indicada en la Figura 2, Joseph Bowles [2]; con excepción de que en este

trabajo la punta del muro puede variar desde 0.0 m hasta B, menos el espesor del vástago.

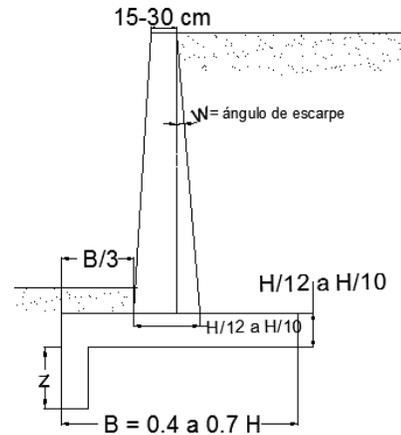


Figura 2. Dimensiones preliminares del muro.

Es necesario conocer la distribución de las presiones que se indican en la Figura 3. En la Tabla 2 se indican las fórmulas utilizadas en cada uno de los diagramas de dicha figura.

Presión activa y sus componentes.	$P_a = \frac{1}{2} P V r H^2 k a$ $P_{av} = P_a \sin(\theta + \omega) \text{ componente vertical}$ $P_{ah} = P_a \cos(\theta + \omega) \text{ componente horizontal}$
Presión pasiva.	$P_p = \left(\frac{1}{2} P V d z^2 k p + 2 C_2 z \sqrt{k p} + q_{max} z k p \right) \cos(k_2 \phi_2)$
Esfuerzos.	$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \text{ en la punta}$ $q_{min} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \text{ en el talón}$

Las definiciones de cada una de las variables de las fórmulas anteriores se incluyen en la guía y en las referencias.

Para la revisión por volteo se calcula la relación entre momentos de volteo contra momentos opositores en el muro respecto al punto C. (Figura 3).

$$FS_v = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} > 2$$

Dónde:

$\sum M_R$: Sumatoria de los momentos estabilizantes respecto al punto C.

$\sum M_O$: Sumatoria de los momentos desestabilizantes respecto al punto C.

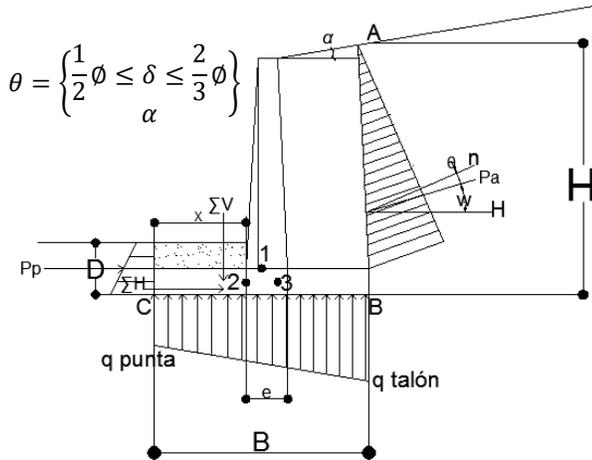


Figura 3. Cargas actuantes en el muro. El diagrama de presión activa P_a , corresponde en la figura al que resultaría para el caso de un relleno friccionante. θ es el ángulo menor entre α y δ .

Para la revisión por deslizamiento se calcula la relación entre la sumatoria de las fuerzas horizontales resistentes y la sumatoria de las fuerzas horizontales de empuje ($\sum H$). En caso de no alcanzar el mínimo del factor de seguridad se opta por agregar un dentellón.

$$FSd = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \phi_2) + Bk_2 c_2 + P_p}{P_a \cos \theta} > 1.5$$

Donde:

$\sum V$: Sumatoria de fuerzas verticales.

k_1, k_2 : Factores de reducción de ϕ_2 y c .

ϕ_2 : Ángulo de fricción del suelo.

c_2 : Cohesión del suelo.

P_p : Presión pasiva.

P_a : Presión activa.

α : Ángulo de inclinación del relleno..

En la revisión por capacidad de carga se determina la presión máxima en la punta del muro y esta deberá ser menor o igual que la capacidad de carga admisible. Para obtener la capacidad de

carga última en este trabajo se utiliza la ecuación general de capacidad de apoyo de Meyerhof [3].

$$FSq = \frac{q_u}{q_{max}} > 3$$

Dónde:

q_u : Capacidad de carga obtenida de la ecuación de Meyerhof.

q_{max} : Esfuerzo máximo.

Estabilidad interna.

Los valores de la fuerzas cortantes y momentos flexionantes se calculan inicialmente en los puntos críticos del muro indicados como 1, 2 y 3 en la Figura 3, y después se hace un recorrido a lo largo del vástago y la base para determinar esos elementos mecánicos y proporcionar el acero de refuerzo por flexión y el acero requerido por temperatura en toda la sección. Se procura en el diseño que no se demande refuerzo por esfuerzos cortantes, de manera que el todo el esfuerzo cortante sea soportado por el espesor de concreto [4].

Para la revisión del armado se han tomado las consideraciones de las Normas Técnicas Complementarias de D. F.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó el comportamiento de los factores de seguridad de volteo, deslizamiento y capacidad de carga de la estabilidad externa al modificar la geometría del muro. Estas modificaciones se basan principalmente en las proporciones recomendadas por Bowles [3] que son las mostradas en la Figura 2.

Los resultados de los factores de seguridad al variar la base del muro B para los casos de la Tabla 2. Se combinan estos tipos de suelo entre desplante y relleno para buscar el comportamiento más óptimo.

En la Figura 4, como ejemplo del comportamiento de los factores de seguridad se presenta uno de los casos antes mencionados. Se observa el comportamiento que tienen los factores de seguridad externa, en relación con la base del

muro; el factor de deslizamiento y de capacidad de carga pueden llegar a tener valores similares, cuando el suelo de desplante es muy firme ($c=7500 \text{ kg/m}^2$ y $\phi=37^\circ$) y el relleno se considera con una compacidad suelta ($\phi=29^\circ$).

Cohesivos		
Consistencia	c (kg/ cm ²)	γ (kg/ m ³)
Blando	0.25 – 0.5	1200 – 1300
Medio	0.5 – 1	1300 – 1400
Duro	1.0 – 4.0	1400 – 1500

Tabla 2.a)

Friccionantes		
Compacidad	Φ	γ (kg/ m ³)
Suelto	28° – 30°	1350
Media	31° – 36°	1400
Alta	37°– 39.5°	1450

Tabla 2.b)

También puede ser observado que los factores de seguridad aumentan si B crece, sin embargo, FSv y FSd aumentan menos que FSq.

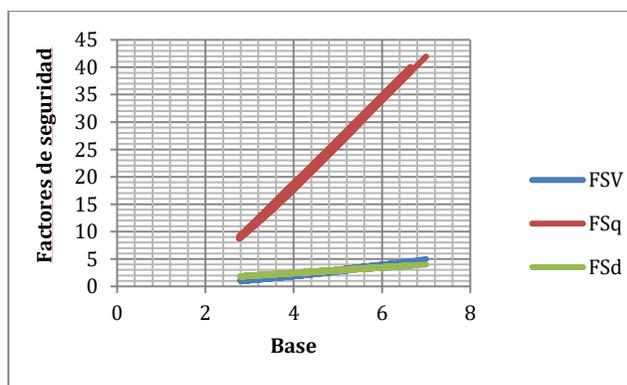


Figura 4. Gráfica de factores de seguridad de estabilidad externa.

Los valores más pequeños aceptables logrados con el programa para este caso fueron FSv=1.79, FSd=1.79 y FSq=8.95, considerando que la

seguridad queda determinada por el factor más pequeño de los tres valores. Estos resultados permiten observar que el predimensionamiento no es suficiente para lograr la optimización, y es necesario considerar valores de $B < 0.4H$, para alcanzar valores próximos a 2.0 tanto en FSv y FSd. Esto se puede lograr por medio del software desarrollado.

CONCLUSIONES

Se logran menores secciones para los muros en los casos en que el terreno de cimentación tiene una alta capacidad de carga y el relleno fuese consistente y sin posibilidades de reblandecerse. Esto representaría un relleno con cohesión, con la cual los empujes se reducen. En la práctica debería aplicarse un cementante como estabilizador, ya que no es recomendable diseñar con rellenos cohesivos, debido a que la cohesión tiende a reducirse cuando se incrementa el contenido de agua, y pueden presentarse empujes adicionales por expansión, dependiendo de las características de la fracción fina arcillosa de este tipo de relleno. Con el programa se puede optimizar el análisis y diseño de los muros en voladizo, teniendo como alternativa el uso de dentellones y la movilidad del vástago a lo largo de la base, procurando el uso de aceros mínimos.

REFERENCIAS

- [1] Braja M. Das. (2001). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. México: International Thompson Editores.
- [2] Bowles Joseph E. (1995). Foundation analysis and design. Singapore: Mc Graw Hill.
- [3] Meyerhof, G. G. (1963). Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations. Canadian Geotechnical Journal, volumen (1), pp. 16-26.
- [4] Mc Cormac Jack, Russell H. Brown. (2011) Diseño del Concreto Reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor.