



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
Facultad de Ingeniería

“Sede Oscar Lucero Moya”

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

**DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN
EN VOLADIZO CON HERRAMIENTAS CAD.**

AUTOR: HÉCTOR JAIME BARROSO HIDALGO

HOLGUÍN

2017



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
Facultad de Ingeniería

“Sede Oscar Lucero Moya”

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

**DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN
EN VOLADIZO CON HERRAMIENTAS CAD.**

AUTOR: HÉCTOR JAIME BARROSO HIDALGO

TUTORES: ING. FÁTIMA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ING. JULIO M. FERNÁNDEZ-RUBIO DEL CAMPO

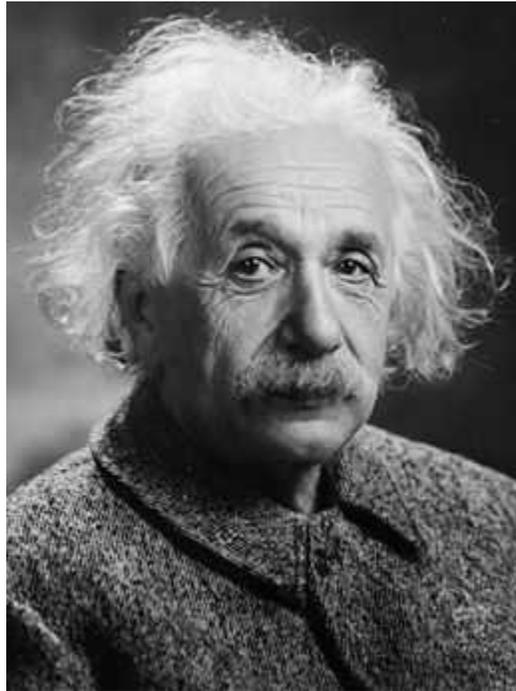
HOLGUÍN

2017

PENSAMIENTO

Los conceptos y principios fundamentales de la ciencia son invenciones libres del espíritu humano.

Albert Einstein



DEDICATORIA

A mi mama Idalia Hidalgo Gómez, a mí papa José Manuel Barroso Guillén y a mi hermano José Ramón Barroso Hidalgo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo y la ayuda en todo momento, no solo del trabajo de diploma, sino a lo largo de toda mi carrera, especialmente a mi mamá.

A mis tutores, Fátima Martínez Hernández y Julio Manuel Fernández Rubio del Campo, por la colaboración incesante y dedicación a mi investigación.

A mis amigos, Sergio, Alexis, Albertico, Rafael y compañeros de grupo.

A todos los que en mayor o menor medida incidieron en el logro alcanzado.

RESUMEN

Los muros de contención son estructuras de uso frecuente en la construcción de obras civiles en el territorio, dentro de ellos los muros en voladizo tienen una alta demanda. La necesidad de favorecer el proyecto de estas obras, en relación con el diseño geotécnico, dio lugar a la presente investigación. La solución de la problemática declarada se abordó desde la creación de un complemento CAD de diseño de muros de contención que responde a las necesidades actuales de las empresas de diseño, en especial la empresa Vértice. El mismo se desarrolló a partir del módulo Microsoft VBA en AutoCAD. El logro del objetivo y la solución del problema se alcanzaron desde la implementación de un sistema de métodos de investigación científica de naturaleza teórica, empírica y matemático-estadística. El complemento CAD fue validado a partir del criterio de especialistas, constatándose su factibilidad para ser implementada a nivel empresarial con buenos resultados.

ABSTRACT

Retaining walls are frequently used structures in the construction of civil works in the territory, inside them walls cantilever have a high demand. The need to favor the design of these works, in relation to the geotechnical design, led to the present investigation. The solution of the declared problem was approached from the creation of a CAD complement of design of retaining walls that responds to the present needs of the design companies, in particular the company Vértice. It was developed from the Microsoft VBA module in AutoCAD. The achievement of the objective and the solution of the problem were achieved through the implementation of a system of scientific research methods with character theoretical, empirical and mathematical-statistical. The CAD completeness was validated based on the criteria of specialists, being verified its feasibility to be implemented at a business level with good results.

ÍNDICE

Contenido	Pág
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO – I: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN	7
Introducción al capítulo.	7
I.1 Muros de contención. Definición.	7
I.1.1 Clasificación de los muros de contención.	8
I.1.1.2 Uso de los muros de contención. Ventajas y desventajas.	15
I.1.2 Dimensionamiento de muros de contención.	22
I.2 Fundamentos teóricos y metodológicos en torno al diseño geotécnico de muros de contención.	25
I.2.1 Diseño de muros de contención.	27
I.2.1.1 Recomendaciones para el diseño de muros de contención.	29
I.2.1.2 Factores que intervienen en el diseño geotécnico de muros de contención.	29
I.2.2 Teorías de diseño geotécnico de muros de contención.	30
I.2.2.1 Teoría de Charles-Augustin de Coulomb.	30
I.2.2.2 Teoría de William John Macquorn Rankine.	31
I.2.2.3 Método de Terzaghi.	33
I.2.2.4 Método de Mononobe - Okabe.	33
I.2.2.5 Método de Müller - Breslau.	35
I.3 Herramientas CAD.	36
I.3.1 Diseño automatizado de muros de contención.	37
I.4 Principios de diseño geotécnico empleados en Cuba.	38

I.4.1 Caracterización histórica del diseño geotécnico de muros de contención en la provincia de Holguín.	39
I.4.2 Diagnóstico del estado actual del proceso de diseño geotécnico de muros de contención en la empresa de ingeniería y diseño de la provincia de Holguín.	39
I.4.2.1 Acciones implementadas para el diagnóstico.	40
I.4.2.2 Resultados obtenidos.	41
Conclusiones del capítulo.	42
CAPÍTULO – II: DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN VOLADIZO CON HERRAMIENTAS CAD	43
Introducción al capítulo.	43
II.1 Potencialidades del uso de AutoCAD VBA IDE para la creación de la herramienta de diseño geotécnico de muros en voladizo.	43
II.2 Características generales de la herramienta.	44
II.2.1 Requerimientos para su utilización.	45
II.2.2 Instalación.	45
II.2.3 Interfaz Principal.	47
II.2.4 Breve explicación de su uso.	48
II.3 Valoración de la factibilidad del uso de la herramienta CAD para el diseño geotécnico de muros de contención a partir del criterio de especialistas.	49
II.3.1 Acciones implementadas	49
II.3.2 Resultados obtenidos.	50
Conclusiones del capítulo.	52
CONCLUSIONES GENERALES.	53
RECOMENDACIONES.	54

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

INTRODUCCIÓN

En tiempos actuales, marcados por la constante evolución de la ciencia y tecnología, se plantean nuevos desafíos cada día. En este sentido la Ingeniería Civil tiene el deber de innovar y desarrollar nuevas soluciones prácticas, para las problemáticas que se presentan en las distintas ramas que abarca. Es por ello que la tendencia actual es buscar soluciones cada vez más económicas, y a su vez cumplan los requerimientos y normativas vigentes.

Al cursar de los siglos el hombre ha estado sujeto a la necesidad de realizar cuantiosos cambios en su medio ambiente, tales como la estabilización, cortes y rellenos, para facilitar el desenvolvimiento en el mismo. Los cuales no hubiesen sido posibles sin los muros de contención, que constituyen una de las estructuras más frecuentes en la construcción de obras civiles. Es una estructura diseñada con el fin de contener o bien un terreno natural, un relleno artificial, un fluido o un elemento a almacenar.

Los arquitectos de la antigüedad fabricaban los muros de contención utilizando numerosos sillares, lo que acarrea múltiples dificultades para el transporte de las grandes piedras a considerables distancias, para luego lograr su estabilidad por el peso de las mismas o su posición. Son los egipcios los que más uso le dan al incluirlos en los sótanos de las pirámides, lo que además de sostener una estructura sobre ellas, tenían que soportar el empuje de la tierra a su alrededor, además eran usados para contener las crecidas de Nilo. Los romanos los usaron en las construcciones de acueductos y desoves de los cauces.

El proyecto de un muro de contención se compone de un diseño inicial, que luego debe ser chequeado teniendo en cuenta varios criterios, llegando finalmente al diseño definitivo de la estructura. Son muchos los casos prácticos en que se necesitan muros de contención, por ejemplo en una carretera a media ladera, como estribo de un puente, para el almacenamiento de líquidos u otros materiales, entre otros.

Según Yepes Piqueras 2012, los muros se proyectan basándose en la validación de un diseño inicial que se modifica sucesivamente hasta cumplir con todas las exigencias. En primer lugar se adopta una geometría previa empleando reglas de

predimensionamiento. Sobre este diseño tentativo se analiza el cumplimiento de determinados requisitos de seguridad (estabilidad y resistencia) y durabilidad. Si la estructura no cumple estos requerimientos, o si lo hace de forma muy holgada, se modifica el esquema inicial y se repite el proceso, como se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

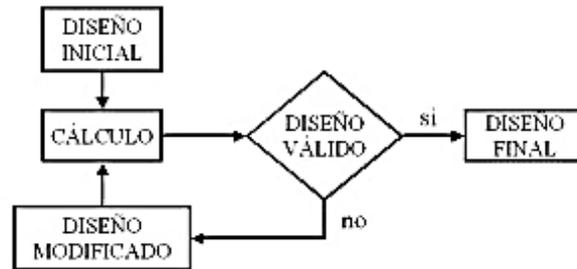


Figura 1. Diagrama de flujo.

Todo ello conforma un panorama de procedimientos artesanales de diseño alejados de una metodología objetiva en la elección de las dimensiones y los materiales. Tales métodos conducen a proyectos seguros estructuralmente, pero cuya economía queda muy ligada a la experiencia previa del ingeniero. De forma general, una estructura no sólo debe cumplir las condiciones de seguridad, calidad y funcionalidad, sino que además debe construirse al menor coste posible.

Son muchos los factores que intervienen en el diseño de muros, pero uno de los principales es sin dudas el empuje del relleno. Para determinar el valor de este empuje existen varias teorías más o menos aceptadas hoy en día, entre ellas se destacan la de Charles Augustin de Coulomb (Francia 1776), y William John Macquorn Rankine (Inglaterra 1857). Estas tienen en cuenta las fuerzas y empujes a los que está sometido un muro, como se muestra en la siguiente figura.

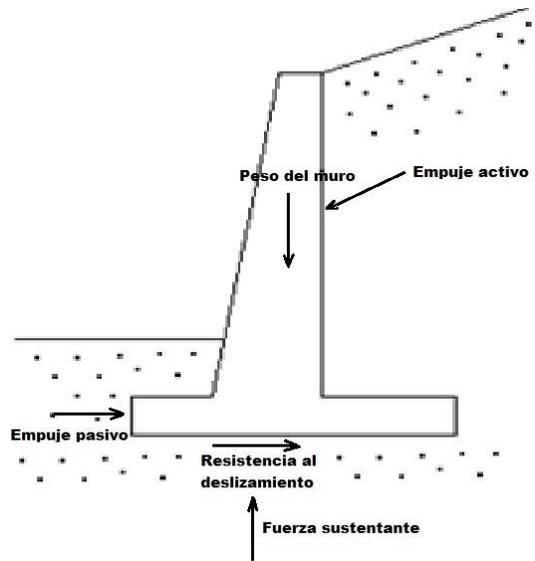


Figura 2. Fuerzas que actúan sobre un Muro de contención.

Algunos trabajos sobre optimización han tratado de resolver el diseño automatizado de estos problemas y buscar soluciones óptimas desde el punto de vista económico y medioambiental. Sobre la base de estas teorías también existen actualmente, programas que arrojan posibles dimensiones, basados en un esquema de la estructura, tal es el caso de la herramienta MIDAS. A pesar de las ventajas de estos programas, el dibujo y acotado de los planos debe hacerse de forma independiente, lo cual toma un tiempo considerable como parte del proyecto de un muro de contención.

En Cuba el diseño y construcción de muros de contención tiene una alta demanda. Al igual que en otros países, se toman en cuenta las variables antes mencionadas, como la conveniencia de su utilización, las condiciones originales del terreno, la ubicación del mismo, el costo, el esfuerzo y el tiempo.

En la provincia de Holguín existen varias empresas de ingeniería y diseño, en las que los muros de contención son objetos de obra que se proyectan con frecuencia, debido a su amplia utilización. Dos de los principales exponentes son las empresas Vértice y Raudal. En ellas el diseño de estas estructuras se lleva a cabo fundamentalmente mediante el uso de manuales que contienen esquemas, tablas, formularios y ábacos; los cuales van arrojando las dimensiones y el refuerzo que deben tener los muros, de

acuerdo a diversas combinaciones de factores como son el tipo de muro, las características del terreno de emplazamiento y los esfuerzos a los que estarán sometidos.

Luego de obtener una versión inicial del diseño, es necesario chequear la estabilidad del muro según los criterios establecidos, y en caso de que no cumpla con alguno de ellos, variar el mismo. Este proceso se realiza de forma manual, o empleando tablas previamente confeccionadas en Excel por el proyectista. Cuando finalmente se obtiene un diseño seguro y racional, se procede al dibujo y acotado de los diferentes planos con la ayuda del AutoCAD, ya que el mismo no tiene incorporado un módulo específico para estos fines.

Debido a que las herramientas con las que se cuentan se encuentran dispersas, hoy en día en el sector empresarial, el proceso de diseño de muros de contención se hace largo y engorroso, por lo que puede dar lugar a errores, y además tiene el inconveniente de que la posibilidad de valorar varias soluciones para un mismo problema se dificulta en exceso. Esto trae consigo que no se obtengan las mejores soluciones en cuanto a seguridad y economía, y la larga duración de los proyectos incide negativamente en la eficiencia de la empresa de forma general.

A raíz de la situación problemática existente se hace necesario entonces, aprovechar mejor del tiempo con la celeridad del diseño y la destinación de los recursos mediante la optimización de su uso, la búsqueda de nuevas tecnologías y el desarrollo de nuevas herramientas, que contribuyan al ahorro de estos dos elementos: tiempo y dinero.

Se identifica entonces como **problema científico**: ¿cómo realizar el diseño geotécnico de muros de contención de forma automatizada?

Constituye el **objeto de la investigación** los muros de contención, y su **campo de acción** el diseño geotécnico automatizado de muros de contención en voladizo con herramientas CAD.

De esta manera el **objetivo general** es elaborar una herramienta automatizada de diseño geotécnico de muros de contención en voladizo con tecnologías CAD.

Los **objetivos específicos** son:

- Diagnosticar el estado actual del proceso de diseño geotécnico de muros de contención y las tecnologías empleadas con estos fines.
- Crear e implementar un complemento CAD de diseño geotécnico de muros de contención que responda a las necesidades actuales de las empresas de diseño.

Se plantea como **hipótesis** de este trabajo que la creación e implementación de un complemento para el diseño geotécnico automatizado de muros de contención basado en herramientas CAD, reducirá el tiempo de proyección e incrementará la calidad en los resultados de estos tipos de proyectos en el sector empresarial.

Se plantean como **tareas de la investigación**:

- Sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos existentes en torno al diseño geotécnico de muros de contención.
- Determinar los antecedentes históricos del diseño geotécnico de muros de contención mediante el empleo de herramientas CAD.
- Diagnosticar el estado actual del diseño geotécnico de muros de contención.
- Elaborar la herramienta automatizada para el diseño geotécnico de muros de contención.
- Validar la herramienta mediante la solución de problemas del sector empresarial y el criterio de especialistas.

Los **métodos de investigación** empleados son:

- Histórico – lógico: para la determinación de los antecedentes históricos que han caracterizado el diseño geotécnico de muros de contención.
- Análisis – síntesis: para el análisis y construcción de síntesis científicas derivadas de los procesos de caracterización histórica, teórica – metodológica y empírica del objeto y el campo de la investigación, así como para la valoración

de la factibilidad de la herramienta CAD para el diseño geotécnico de muros de contención.

- Sistémico – estructural – funcional: Para concebir la estructura de la herramienta CAD empleada en el diseño geotécnico de muros de contención y caracterizar las relaciones de trascendencia entre sus partes.
- Modelación: se modela el objeto de la investigación, mediante la determinación de sus componentes, así como las relaciones entre ellos.
- Entrevistas: para la caracterización empírica del objeto y el campo de la investigación.
- Criterios de especialistas: para la valoración de la factibilidad del diseño geotécnico de muros de contención con el empleo de la herramienta CAD.
- Estadístico descriptivo: para la obtención, procesamiento y presentación de los resultados, derivados de los procesos de caracterización empírica del objeto y el campo de la investigación y de la consulta a especialistas.

La **novedad científica de la investigación** la constituye el empleo de una herramienta CAD para la automatización del diseño geotécnico de muros de contención en el sector empresarial de la provincia de Holguín. La **actualidad de la investigación** se manifiesta a partir de la alta demanda que tienen los muros de contención como estructuras en el territorio, además de la necesidad de fomentar el uso de las tecnologías de la informatización por parte de los ingenieros de hoy en día. El **aporte de la investigación** consiste en la creación de una herramienta que automatice el diseño geotécnico de muros de contención para favorecer el trabajo de las empresas de ingeniería y diseño en el territorio.

La estructura de la tesis está conformada por dos capítulos. En el primer capítulo se caracteriza histórica, teórica, metodológica y empíricamente el objeto y el campo de la investigación. En el segundo capítulo se muestra la concepción y explotación de la herramienta CAD en el diseño geotécnico automatizado de muros de contención.

CAPÍTULO – I ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN

Introducción al capítulo

En el capítulo se revelan los resultados de la caracterización histórica del objeto y el campo de la investigación, así como la sistematización de los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan el aporte de la investigación.

I.1 Muros de contención. Definición

Una estructura de contención se puede definir como un elemento de retención de materiales (generalmente suelos) que por sí mismos son inestables a un equilibrio deseado, garantizando una estabilidad bajo factores de seguridad, cumpliendo su objetivo en todo el conjunto y dominio estudiado (el problema), con el fin de salvaguardar las construcciones adyacentes, su efectivo servicio y lo más importante la vida humana.¹

Las estructuras de contención o de relleno son obras civiles construidas con la finalidad de proveer estabilidad contra la rotura de macizos de tierra o roca. Son estructuras que proveen soporte a estos macizos y evitan el deslizamiento causado por su peso propio o por cargas externas. Ejemplos típicos de estructuras de contención son los muros de contención, los tablestacados y las paredes ancladas. Aunque la geometría, el proceso constructivo y los materiales utilizados de las estructuras citadas sean muy diferentes entre sí, todas ellas son construidas para poder contener la posible rotura del macizo, soportando las presiones laterales ejercidas por este.²

Los muros de contención son estructuras que proporcionan estabilidad al terreno natural u otro material cuando se modifica su talud natural. Se utiliza como soporte de rellenos, productos mineros y agua.

¹ Velasco Cruz, Lucio Gerardo; Lucio Gerardo. Especialización en ingeniería de Vías terrestres. Mecánica de suelos Colombia, 2005

² de Almeida Barros, Pêrsio Leister. Manual técnico. Obras de contención, Maccaferri de Brasil 2005

Los muros de contención tienen como finalidad resistir las presiones laterales o empuje producido por el material retenido detrás de ellos, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su fundación. Los muros de contención se comportan básicamente como voladizos empotrados en su base.³

El muro de contención es una estructura sólida hecha a base de mampostería y cemento armado que está sujeta a flexión por tener que soportar empujes horizontales de diversos materiales, sólidos, granulados y líquidos.⁴

El autor define el muro de contención como una estructura rígida o flexible que sostiene o mantiene una masa de suelo, un producto de la actividad humana, un fluido o que confina un elemento. Puede hacer función de cimiento. Trabaja fundamentalmente a flexión. Este puede ser de hormigón ciclópeo, hormigón reforzado, de mampostería, de tierra armada, etcétera.

I.1.1 Clasificación de los muros de contención

Según la cuarta edición del libro Principios de ingeniería de cimentaciones de Braja M. Das, los muros de contención se dividen de manera general en dos principales categorías: Muros de retención convencionales y mecánicamente estabilizados. Los convencionales los clasifica en: Muros de retención de gravedad, de semigravedad, en voladizo y con contrafuertes. Los mecánicamente estabilizados se clasifican en: Muros de retención con refuerzo de tiras metálicas, con refuerzo geotextil y con refuerzo de geomallas. También los muros de tablestacas.

La tercera edición del libro de Muros de contención y muros de sótano del Instituto técnico de materiales y construcciones con sus siglas INTEMAC del Dr. Ingeniero de caminos José Calavera Ruiz, clasifica los muros de contención en muros: de gravedad, ménsula, de contrafuertes, de bandejas, criba y prefabricados.

³ Belandria Torres, Rafael Ángel; Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado, Merida Venezuela. Universidad de los Andes 2008, p-10

⁴ Cázares Llanderal, Raúl; Muros de Contención, México 2008

El libro Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado de Rafael Ángel Torres Belandria del 2008, los clasifica en: Muros de gravedad, muros en voladizo o en ménsula y muros con contrafuertes.

De forma general el autor basándose en algunos de los libros antes mencionados, agrupa a continuación los principales muros de contención.

- Muros de gravedad: Son estructuras de retención macizas, que obtienen su soporte por la acción de su propio peso y del material que descansa sobre ellos, por lo que requieren grandes dimensiones dependiendo del empuje. Las acciones que reciben, se aplican sobre su centro de gravedad. Suelen ser económicos para alturas menores de 5 metros, no tienen refuerzo, construidos de hormigón ciclópeo, hormigón en masa, mampostería de piedra o gaviones.

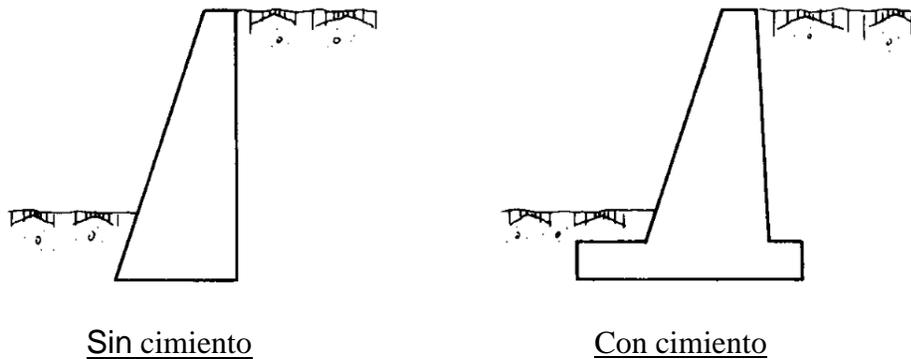


Figura 3. Muros de Gravedad (Ruiz Calavera, 2000).

- Muros de semigravedad: Muros de contención de gravedad donde para minimizar el tamaño de las secciones se utilizan pequeñas cantidades de acero. Son más esbeltos, resultan más económicos hasta 4 metros de altura.

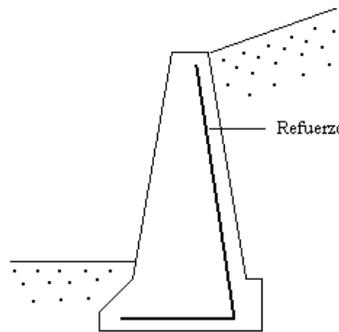


Figura 4 Muro de semigravedad (Rojas Martínez, 2009)

- Muros en voladizo: Estructuras de contención convencionales rígidas de mayor uso, que resisten el empuje de material por medio de la acción en voladizo de una pantalla vertical empotrada en una losa horizontal, trabajando a flexión, ambos reforzados para resistir los momentos y fuerzas cortantes a que están sujetos. Se construyen de hormigón armado, cuyo perfil común es el de una T o L, utilizan parte del relleno para asegurar su estabilidad. Constituyen la solución más económica hasta 8 metros.

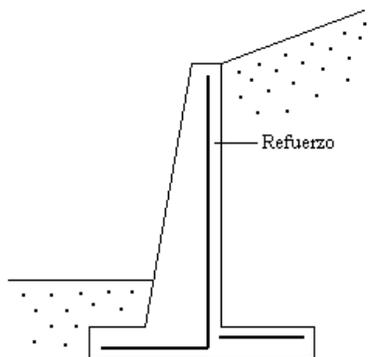


Figura 5. Muro Cantilever (Rojas Martínez, 2009).

- Muros con contrafuertes: Muros de contención en voladizo al que se le adicionan contrafuertes, cuando el muro sobrepasa la altura recomendada o existen altas presiones del material, reduciendo la fuerza cortante y los momentos flexionantes. Los contrafuertes son losas delgadas de hormigón dispuestas a intervalos a lo largo del muro, que conectan entre sí el muro con la losa de la base. En trasdós los contrafuertes están en la cara en contacto con el material, en intradós por la cara opuesta. La solución conlleva a una ferralla, encofrado y vaciado mas complejo.

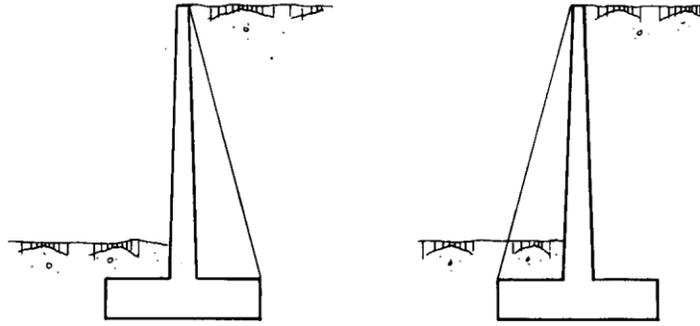


Figura 6. Muros con contrafuertes. (Ruiz Calavera, 2000).

- Muros de bandejas: Su concepto es muy diferente del que origina el muro de contrafuertes. Aquí no se trata de resistir el mismo momento flector, aumentando el canto y aligerando la sección, sino de reducir los momentos flectores debidos al relleno mediante los producidos por la carga del propio relleno sobre las bandejas. Su inconveniente fundamental radica en la complejidad de su construcción. Puede resultar una alternativa al muro de contrafuertes para grandes alturas.⁵

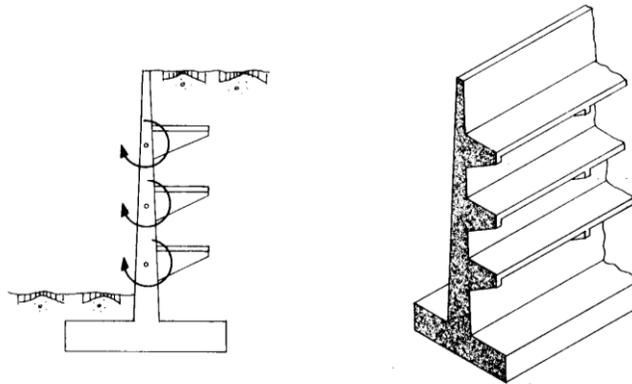


Figura 7. Muros de bandejas. (Ruiz Calavera, 2000).

- Muros criba: El concepto de muros criba de piezas prefabricadas tiene su inicio en muros análogos realizados antiguamente con troncos de árboles. El sistema

⁵ Ruiz Calavera, José. Muros de Contención y Muros de Sótano. Madrid. España ,2000, p-15

emplea piezas prefabricadas de hormigón de muy diversos tipos que forman una red espacial que se rellena con el propio suelo.⁶

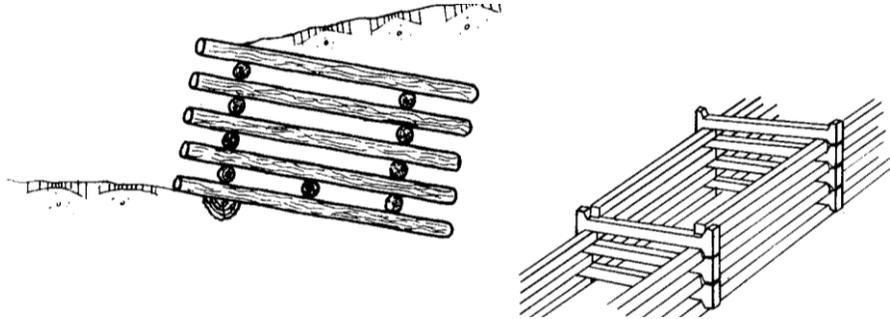


Figura 8 Muros criba (Ruiz Calavera, 2000).

- Muros de tierra reforzada o mecánicamente estabilizados: Las estructuras de tierra reforzada son terraplenes donde el suelo es su principal componente; y dentro de este, en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzo para aumentar su resistencia a la tensión y al cortante. Internamente deben su resistencia principalmente, al refuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad. Son fáciles de construir. Utilizan el suelo como su principal componente. Puede adaptarse fácilmente a la topografía. Permite construirse sobre fundaciones débiles, tolera asentamientos diferenciales y puede demolerse o repararse fácilmente, pero se requiere espacio disponible superior al de cualquier otra estructura de contención.

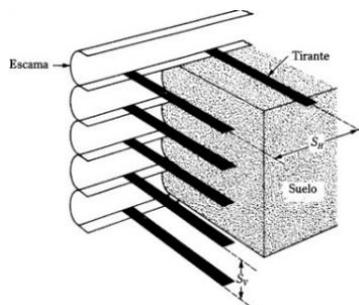


Figura 9. Muro de contención con refuerzo de tiras metálicas (Das, 1999).

⁶ Ruiz Calavera, José. Muros de Contención y Muros de Sótano. Madrid. España, 2000, p-17

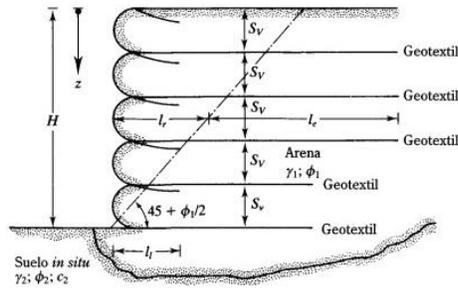


Figura 10. Muro de contención con refuerzo geotextil. (Das, 1999).

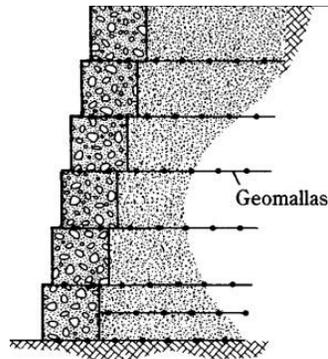


Figura 11. Muro de contención con refuerzo de geomallas (Das, 1999).

- Muros anclados: En los muros anclados se colocan varillas o tendones generalmente, de acero en perforaciones realizadas con taladro, posteriormente se inyectan con un cemento. Los anclajes pueden ser pretensados para colocar una carga sobre un bulbo cementado o pueden ser cementados simplemente sin colocarles carga activa. Permiten alturas considerables. Muy eficientes como elemento de refuerzo en materiales fracturados o sueltos. (2http)

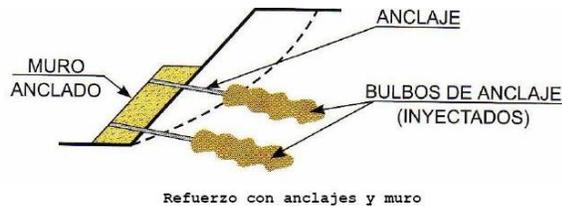


Figura 12. Esquema de muro anclado (Hernán., 2012).

- Muros de sótano: El tipo más elemental recibe como única carga vertical, aparte de su peso propio, la reacción de apoyo del forjado del techo. Dentro de la

tipología general, el caso más frecuente es que sobre el muro apoyen pilares que transmitan cargas de las plantas superiores y que existan además varios sótanos. Dependiendo de que el terreno contenido sea o no de propiedad ajena y de la relación entre empujes y cargas verticales, el cimiento va o no centrado respecto al muro. La ejecución de este tipo de muros puede ser con encofrados corridos o mediante el procedimiento de muros pantalla.⁷

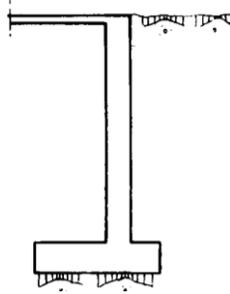


Figura 13. Muro de sótano sencillo. (Ruiz Calavera, 2000).

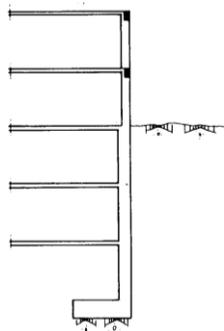


Figura 14. Muro de varios sótanos (Ruiz Calavera, 2000).

- Muros de tablestacas: Las ataguías también conocidas como tablestacas, conectadas o semiconectadas, a menudo se utilizan para construir muros continuos de estructuras costeras que van desde embarcaderos para lanchas pequeñas de recreo hasta muelles para embarcaciones de gran tamaño. A diferencia con la construcción de otros tipos de muros de retención, los muros de tablestacas no requieren usualmente el desagüe del sitio. Las tablestacas se

⁷ Ruiz Calavera, José. Muros de Contención y Muros de Sótano. Madrid. España ,2000, p-24

usan también para estructuras temporales, como cortes apuntalados. Se clasifican en dos tipos básicos: en voladizo y ancladas.⁸

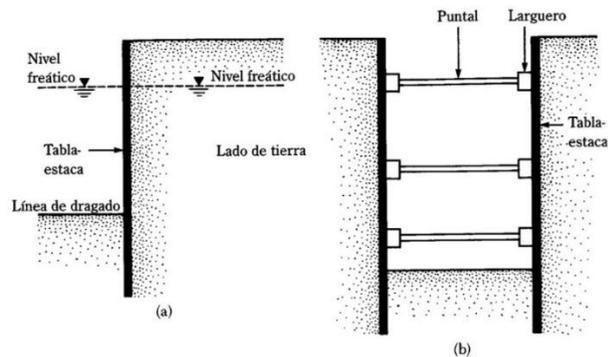


Figura 15. (a) Tablaestacas de malecón; (b) corte apuntalado (Das, 1999).

I.1.1.2 Uso de los muros de contención. Ventajas y desventajas

Frecuentemente en la construcción de edificios o puentes es necesario contener la tierra en una posición muy próxima a la vertical; siempre que se requieran rellenos y terraplenes hay necesidad de proyectar muros de contención, y en los edificios con sótanos los muros de contención son indispensables.

Dentro de los muros de gravedad se encuentran los muros de gaviones y de concreto ciclópeo.



Figura 16. Muro de hormigón ciclópeo: Son sensibles a los asentamientos. Se deforman sin perder funcionalidad (Flexibilidad) (Belandria Torres, 2008).

⁸ Das, Braja M. Principios de ingeniería de cimentaciones. Cuarta edición. California State University, 1999



Figura 17. Muro de gaviones: Son estructuras altamente permeables, lo que impide que se generen presiones hidrostáticas (Belandria Torres, 2008).



Figura 18. Muro de gaviones revestidos: Pierden flexibilidad y son sensibles a los asentamientos. (Belandria Torres, 2008).

Los muros de gravedad son con frecuencia eficientes para estabilizar deslizamientos pequeños, pero es difícil y en ocasiones no es viable, estabilizar movimientos de gran magnitud, especialmente los deslizamientos rotacionales.⁹

Dentro de los muros en voladizo, la empresa de construcción Nortén fabrica dos sistemas de Muros de contención basados en la prefabricación de un panel de hormigón armado que conforma el paramento vertical, y la ejecución de una zapata realizada in situ.

⁹ Suarez, Jaime. Deslizamientos: Técnicas de remediación.2010 . p-8

El sistema ORMAK es muy versátil, tanto para dimensiones (anchuras de paneles y coronaciones) como para las solicitaciones a las que puede estar sometido. Con esta tipología se han realizado muros de hasta 17,50 m. de altura.

El sistema MASTER, gracias al estudiado sistema de moldes, permite la fabricación de muros de anchura variable (entre 2 y 2,4m) y alturas de hasta 12 m, optimizando los contrafuertes en función de la misma.

En el caso de sótanos de edificaciones el muro de contención puede, además de contener tierras, cumplir la misión de ser elemento portante de forjados intermedios que apoyen en él.



Figura 19. Muro de sótano en construcción.

Existen varias formas de solucionar con paneles prefabricados los estribos de un puente. Además de contener las tierras, los paneles se calculan para soportar los esfuerzos que reciben del tablero.



Figura 20. Estribos de un puente de muros de contención.

En muchas ocasiones, la falta de espacio y la necesidad de aumentar la sección hidráulica, hace necesario recurrir a encauzamientos mediante paramentos verticales integrándolos en el entorno en el que se encuentran, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 21. Encauzamiento de un río mediante un muro de contención.

Son varias las obras resueltas con este tipo de muros; la solución consiste en montar el conjunto de muro y zapata hormigonado previamente en el exterior.



Figura 22. Muro de contención en obra marítima.

Uno de los sistemas de contención que fabrica Nortén consiste en un muro en ménsula fabricado con la zapata incorporada. Esto le permite ejecutarse con mucha rapidez, ya que puede rellenarse tan pronto como se coloca. Además le dota de la propiedad de ser móvil, es decir que puede manejarse fácilmente con grúa o carretilla elevadora, para variar su disposición y configuración permitiendo un óptimo aprovechamiento del

espacio. (Silos de contención de áridos, minerales y materiales granulados en general).¹⁰



Figura 23. Muro con zapata (Silo).

Muro	Ventajas	Desventajas
Voladizo	Los muros en voladizo son más económicos que los muros a gravedad debido a que el peso para la estabilidad del muro la proporciona el relleno del talud que se encuentra sobre la losa del talón del muro.	Resulta económicamente mejor cuando la altura llega a seis metros, debido a que si aumenta la altura el espesor aumentará, conllevando un incremento en el costo del material y así mismo en el costo final de la obra. Para llegar a alturas mucho mayores y reducir los momentos flectores se utilizan contrafuertes espaciados entre sí iguales o mayores a la mitad de la altura, de esta manera el costo económico del muro se incrementarán.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de muros en voladizo. (Cabascango., 2004).

Las estructuras de contención en suelo mecánicamente estabilizado son estructuras económicas, ideales para aplicaciones donde tradicionalmente se han utilizado muros de contención en concreto. Entre estas aplicaciones se destacan los estribos a puentes, muros pantalla, ampliación de terraplenes, excavaciones en terrenos donde el suelo no garantiza taludes estables, en laderas de alta pendiente o terrenos con suelos de muy

¹⁰ Empresa registrada Nortén Prefabricados de hormigón, S.L. Catálogo muros y estribos de hormigón prefabricado.2004

baja capacidad portante, donde la eliminación de los costos de mejoramiento de la fundación han logrado ahorros mayores al 50% del costo total del proyecto. ¹¹

Tipo	Ventajas	Desventajas
Refuerzo con tiras metálicas	Los refuerzos metálicos le dan rigidez al terraplén y los prefabricados de concreto en su cara de fachada los hace presentables y decorativos. Existen empresas especializadas dedicadas a su construcción.	Las zonas de refuerzo requieren protección especial contra la corrosión. Se requieren características especiales en el relleno utilizado con los elementos de refuerzo. Algunos tipos de muro de tierra armada están cubiertos por patentes.
Refuerzo con geotextil	Son generalmente muy económicos y fáciles de construir.	Son muy flexibles y se deforman fácilmente. Las capas de geotextil se pueden convertir en superficies de debilidad para deslizamientos. El geotextil se descompone con la luz solar
Refuerzo con geomalla	La malla le da cierta rigidez al terraplén y las capas no constituyen superficies de debilidad. El efecto de anclaje es mejor.	Dependiendo del material constitutivo la malla puede descomponerse o corroerse.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de diversos tipos de tierra reforzada.

¹¹ Torres, Omar ;Ingeniero de diseño y especificaciones de la subgerencia de geosintéticos. Lafayette S.A. En suelo mecánicamente estabilizado: Geomalla Flexibles y Geotextiles de Alto Módulo.Revista BIT noviembre 2003

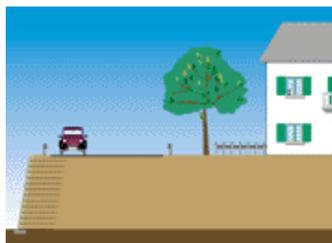


Figura 24. Muro con refuerzo de geomallas para evitar deslizamiento en parqueo.
(Belandria Torres, 2008).

Otro de los muros que tienen aplicación son los muros criba.

Muro	Ventajas	Desventajas
Criba	Simple de construir y mantener. Utiliza el suelo en la mayor parte de su volumen. Utiliza elementos prefabricados los cuales permiten un mejor control de calidad.	Se requiere material granular, autodrenante. Puede ser costoso cuando se construye un solo muro por la necesidad de prefabricar los elementos de concreto armado. Generalmente no funciona en alturas superiores a siete metros.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de muros criba.

Los muros anclados son especialmente aconsejables en obras como: Estabilización de cortes de taludes para ampliación de carreteras, reparación de fallas de borde de carreteras, excavaciones para sótanos de edificios en zonas urbanas, terracéo y nivelación de parcelas urbanas estrechas de topografía irregular, rehabilitación y estabilización de estribos de puentes.

Muro	Ventajas	Desventajas
Anclados	Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza con el	Los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos. Se puede requerir un

	<p>proceso de excavación. Permiten excavar junto a edificios o estructuras. Permiten alturas considerables.</p>	<p>mantenimiento permanente (tensionamiento). Con frecuencia se roban las tuercas y elementos de anclaje. Para su construcción se puede requerir el permiso del vecino. Su construcción es muy costosa.</p>
--	---	---

Tabla 4.1. Ventajas y desventajas de muros anclados.

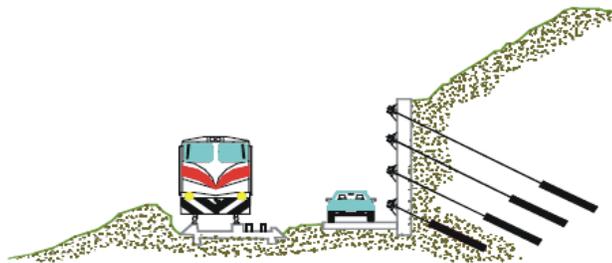


Figura 25. Muro anclado para estabilizar el talud en una carretera.

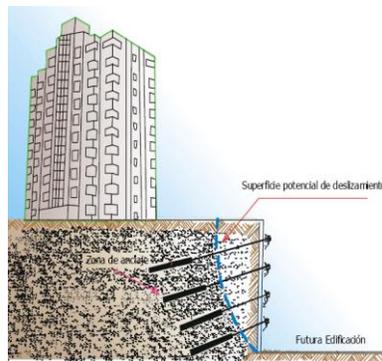


Figura 26. Muro anclado construido en centro urbano.

I.1.2 Dimensionamiento de muros de contención

Al diseñar muros de retención, un ingeniero debe suponer algunas de las dimensiones, lo que se llama proporcionamiento o dimensionamiento, que permite al ingeniero revisar las secciones de prueba por estabilidad. Si las revisiones por estabilidad dan resultados no deseados, las secciones se cambian y vuelven a revisarse. La siguiente figura

muestra las proporciones generales de varias componentes de muros de retención usados para las revisiones iniciales.

Note que la parte superior de cualquier muro de retención debe ser mayor a 12 pulgadas ($\approx 0,3\text{m}$) para apropiarse adecuadamente el concreto. La profundidad, D , hasta la base de la losa debe tener por lo menos 2 pies ($\approx 0,6\text{m}$). Sin embargo, el fondo de la losa de base debe situarse debajo de la línea de congelamiento estacional.

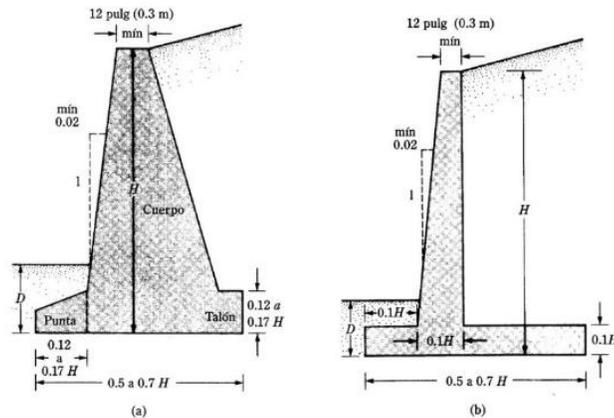


Figura 27. a) Muro de gravedad; b) Muro en voladizo.

Para muros de retención con contrafuertes, la proporción general del cuerpo y la losa de base es la misma que para muros en voladizo. Sin embargo, las losas de los contrafuertes deben tener aproximadamente 12 pulgadas ($\approx 0,3\text{m}$) de espesor y estar espaciadas a distancias centro a centro de entre $0,3H$ y $0,7H$.¹²

Tomando como dimensión de referencia la altura H del muro y siendo el trasdós vertical, la base del alzado tendrá una dimensión $H/10$, mientras que la coronación se realizará con una anchura igual o superior a 25 cm. En cuanto al cimiento, se procurará que la profundidad de cimentación sea igual o superior a 1 m; el canto del cimiento será de $H/10$, mientras que la dimensión B oscilará entre $0,4 \times H$ y $0,7 \times H$, de los que aproximadamente $B/3$ corresponderán a la puntera.

¹² Das, Braja M. Principios de ingeniería de cimentaciones. Cuarta edición. California State University, 1999, p-200

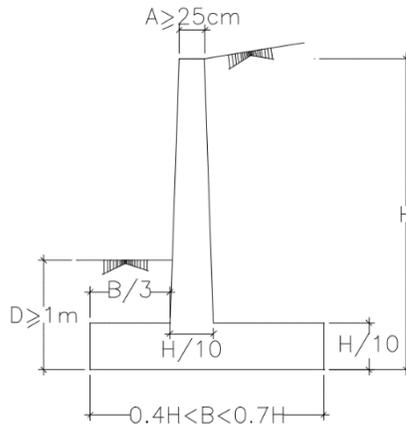


Figura 28. Dimensionamiento (Ayuso Muñoz, 1984.).

Predimensionamiento de la Empresa de construcción y diseño (VERTICE)

- Se recomienda como ancho mínimo de la corona del muro de gravedad los valores siguientes:
 - Muros de hormigón, 40 cm.
 - Muros de bloques o ladrillos, 50 cm.
 - Muros de piedra, 60 cm.
- Construir los muros de hormigón armado y al constituir la pantalla o pared una losa en voladizo es frecuente diseñarla de espesor creciente con la profundidad.
- No resulta económico para alturas superiores a los 4 m. Pudieran construirse de mayor altura, pero bajo condiciones específicas.
- El ancho (a) de la base varía entre un 40 y un 70 % de la altura (H).
- La proyección de la base frente al muro o longitud del pie, está comprendida entre
 - 1/3 y 1/4 del ancho de la base.
- El ancho del muro en la corona será 1/24 H y no menor de 20 cm, para facilitar la colocación del hormigón.
- El espesor del plato o base variará entre 1/12 y 1/8 de la altura H.

- La inclinación de la pantalla suele tomarse entre un 2 y un 6 %.
- Para reducir los momentos flectores en la pared inferior de la pantalla de los muros en voladizo, cuando la altura H es muy grande, se proyectan contrafuertes espaciados a $1/3 - 1/2 H$.

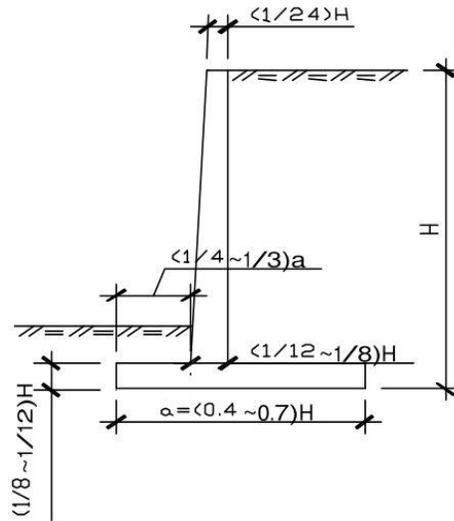


Figura 29. Dimensionamiento de un muro en voladizo.

I.2 Fundamentos teóricos y metodológicos en torno al diseño geotécnico de muros de contención

Para proyectar cualquier tipo de muros de sostenimiento es necesario determinar la magnitud, dirección y punto de aplicación de las presiones que el suelo ejercerá sobre el muro. El proyecto de los muros de contención consiste en:

- Selección del tipo de muro y dimensiones.
- Análisis de la estabilidad del muro frente a las fuerzas que lo solicitan. En caso que la estructura seleccionada no sea satisfactoria, se modifican las dimensiones y se efectúan nuevos cálculos hasta lograr la estabilidad y resistencia según las condiciones mínimas establecidas.
- Diseño de los elementos o partes del muro. El análisis de la estructura contempla la determinación de las fuerzas que actúan por encima de la base de

fundación, tales como empuje de tierras, peso propio, peso de la tierra, cargas y sobrecargas con la finalidad de estudiar la estabilidad al volcamiento, deslizamiento, presiones de contacto suelo-muro y resistencia mínima requerida por los elementos que conforman el muro.

Un volumen de tierras, que suponemos sin cohesión alguna, derramado libremente sobre un plano horizontal, toma un perfil de equilibrio que nos define el ángulo de talud natural de las tierras o ángulo de fricción interna del suelo.

El tipo de empuje que se desarrolla sobre un muro está fuertemente condicionado por la deformabilidad del muro. En la interacción muro-terreno, pueden ocurrir en el muro deformaciones que van desde prácticamente nulas, hasta desplazamientos que permiten que el suelo falle por corte. Pueden ocurrir desplazamientos de tal manera que el muro empuje contra el suelo, si se aplican fuerzas en el primero que originen este efecto. Si el muro de sostenimiento cede, el relleno de tierra se expande en dirección horizontal, originando esfuerzos de corte en el suelo, con lo que la presión lateral ejercida por la tierra sobre la espalda del muro disminuye gradualmente y se aproxima al valor límite inferior, llamado empuje activo de la tierra.

Si se retira el muro lo suficiente y pierde el contacto con el talud, el empuje sobre él es nulo y todos los esfuerzos de corte los toma el suelo. Si el muro empuja en una dirección horizontal contra el relleno de tierra, las tierras así comprimidas en la dirección horizontal originan un aumento de su resistencia hasta alcanzar su valor límite superior, llamado empuje pasivo de la tierra. Cuando el movimiento del muro da origen a uno de estos dos valores límites, el relleno de tierra se rompe por corte.

Si el muro de contención es tan rígido que no permite desplazamiento en ninguna dirección, las partículas de suelo no podrán desplazarse, confinadas por el que las rodea, sometidas todas ellas a un mismo régimen de compresión, originándose un estado intermedio que recibe el nombre de empuje de reposo de la tierra.

Se puede apreciar que los empujes de tierra se encuentran fuertemente relacionados con los movimientos del muro o pared de contención. Dependiendo de la interacción muro-terreno se desarrollaran empujes activos, de reposo o pasivos, siendo el empuje

de reposo una condición intermedia entre el empuje activo y el pasivo. Con el estado actual del conocimiento se pueden estimar con buena aproximación los empujes del terreno en suelos granulares, en otros tipos de suelos su estimación puede tener una mayor imprecisión. Los suelos arcillosos tienen apreciable cohesión, son capaces de mantener taludes casi verticales cuando se encuentran en estado seco, no ejercen presión sobre las paredes que lo contienen, sin embargo, cuando estos suelos se saturan, pierden prácticamente toda su cohesión, originando empuje similar al de un fluido con el peso de la arcilla, esta situación nos indica que si se quiere construir un muro para contener arcilla, este debe ser diseñado para resistir la presión de un líquido pesado, más resistente que los muros diseñados para sostener rellenos no cohesivos. En caso de suelos mixtos conformados por arena y arcilla, es conveniente desprestigiar la cohesión, utilizando para determinar el empuje de tierra solo el ángulo de fricción interna del material.

I.2.1 Diseño de muros de contención

Un modelo de cálculo generalmente consiste de un método de análisis basado en una teoría y un modelo de modificación de los resultados del análisis para asegurarse que los cálculos son ciertos.

Un diseño adecuado para un muro de contención debe considerar los siguientes aspectos:

- Los componentes estructurales del muro deben ser capaces de resistir los esfuerzos de corte y momentos internos generados por las presiones del suelo y demás cargas.
- El muro debe ser seguro contra un posible volcamiento.
- El muro debe ser seguro contra un desplazamiento lateral.
- Las presiones no deben sobrepasar la capacidad de soporte del piso de fundación.
- Los asentamientos y distorsiones deben limitarse a valores tolerables.

- Debe impedirse la erosión del suelo por debajo y adelante del muro bien sea por la presencia de cuerpos de agua o de la escorrentía de las lluvias.
- Debe eliminarse la posibilidad de presencia de presiones de agua detrás del muro.
- El muro debe ser estable a deslizamientos de todo tipo.

Para realizar el diseño una vez conocida la topografía del sitio y la altura necesaria del muro, es necesario:

- Escoger el tipo de muro a emplearse.
- Dibujar a escala la topografía en perfil de la sección típica del muro.
- Sobre la topografía dibujar un diagrama "tentativo" supuesto del posible muro.
- Conocidas las propiedades de resistencia del suelo y escogida la teoría de presiones a emplearse, calcular las fuerzas activa y pasiva y su punto de aplicación y dirección de $1/2$ a $2/3$, de acuerdo al ángulo de fricción del suelo y la topografía arriba del muro.
- Para paredes posteriores inclinadas se recomienda en todos los casos, calcular las presiones con la teoría de Coulomb.
- Calcular los factores de seguridad así:
 - Contra volcamiento.
 - Contra deslizamiento de la cimentación.

Si los factores de seguridad no satisfacen los requerimientos deben variarse las dimensiones supuestas y repetir los pasos anteriores. Si son satisfactorios se procederá con el diseño.

- Calcular las presiones sobre el piso y el factor seguridad contra capacidad de soporte. Si es necesario debe ampliarse el ancho de la base del muro.
- Calcular los asentamientos generados y si es necesario ampliar la base del muro.

- Diseñar los sistemas de protección contra:
 - Socavación o erosión en el pie.
 - Existencia de presiones de agua detrás del muro.

I.2.1.1 Recomendaciones para el diseño de muros de contención

- En lo posible la carga en la base debe estar concentrada dentro del tercio medio para evitar esfuerzos de tracción.
- Para volcamiento en muros permanentes debe especificarse un factor de seguridad de 2,0 o mayor.
- Para deslizamiento debe especificarse un factor de seguridad de 1,5 o mayor.
- Debe conocerse, previamente al diseño, el tipo de suelo que se empleará en el relleno detrás del muro. En ningún caso se deben emplear suelos expansivos. (Suarez, 2010)

I.2.1.2 Factores que intervienen en el diseño geotécnico de muros de contención

Los parámetros a considerar en el prediseño, serán por ejemplo, la longitud total del frente del muro, esto es, la dimensión (ancho) del muro visto en planta; la altura que deberá cubrir el muro, es decir, la suma de las dimensiones de altura de zapata y pantalla del muro, esto en función de la altura del talud que será estabilizado; el relleno en el trasdós del muro, considerando la forma del acabado o su superficie (horizontal o inclinada) y si el muro soportará la carga de un talud sobre el relleno y la altura.

Estas características del suelo consisten en el peso específico (γ), el ángulo de fricción (ϕ), el coeficiente de fricción (f_r), la capacidad admisible del suelo (q_{adm}) y la carga (W). El coeficiente de rozamiento (f_r) será obtenido en base al tipo de suelo sobre el que se construirá el muro. Como datos adicionales deberemos conocer las características de los materiales con que se construirá el muro, es decir: el peso específico ($\gamma_H = \gamma_{concreto}$).

En el diseño deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Fluctuación del nivel de agua.
- Efecto de la temperatura.

- Reajuste de las partículas del suelo por la acción de lluvias prolongadas.
- Vibraciones por acciones del tráfico.
- Posibles movimientos sísmicos.

I.2.2 Teorías de diseño geotécnico de muros de contención

Los empujes de tierra son generalmente obtenidos mediante métodos de cálculo simplificados, de base analítica o empírica, los cuales han sido desarrollados a partir del siglo XVIII y que actualmente siguen siendo empleados para el diseño de muros de contención de tierras. De todos ellos, los de más amplia aplicación corresponden a los métodos propuestos por Coulomb en 1776 y por Rankine en 1857.

I.2.2.1 Teoría de Charles-Augustin de Coulomb

La teoría planteada por Coulomb, mediante el estudio del método de máximos y mínimos aplicado al problema del empuje de tierras, permitió explicar el comportamiento de rotura de los suelos a través de la definición de la línea de rotura crítica que se crea en el trasdós de un muro, cuando se alcanza la condición de equilibrio límite, la cual es obtenida una vez que se han estudiado varias superficies potenciales de falla. En sí su teoría considera que en la superficie potencial de falla, se produce un deslizamiento como un sólido rígido del terreno del trasdós de la estructura por esfuerzo cortante, una vez que se haya movilizadado su máxima resistencia al corte.

El método de Coulomb es un método gráfico, que considera que siempre existe fricción entre el respaldo del muro y el suelo, si éste es friccionante. El empuje de tierras se determina considerando una cuña de suelo limitada por el respaldo, la superficie del relleno y una superficie teórica de falla supuestamente plana, desarrollada dentro del relleno.

Este método consiste en la realización de aproximaciones sucesivas mediante un análisis gráfico de tanteos, en los que se van dibujando varias posibles cuñas del suelo, y se obtienen los respectivos valores del empuje de cada cuña, hasta obtener el valor máximo "crítico". Se procede a dibujar el polígono de fuerzas en equilibrio en el interior de la cuña, que son las siguientes: "W" (peso del relleno), "F" (reacción lateral del suelo

adyacente sobre el plano de falla) y “E” (empuje). De estas fuerzas, se conocen el valor y dirección de “W” y la dirección de “F”, lo que permite determinar “E”. El punto de aplicación del empuje “E” en la cuña del suelo se ubica a una posición a un tercio de la altura, medida desde la base.

I.2.2.2 Teoría de William John Macquorn Rankine

Por su parte, la teoría propuesta por Rankine fue una de las primeras que incorporó el concepto de plasticidad al estudio del comportamiento del suelo bajo diversos estados tensionales. Mediante la aplicación de la teoría de la resistencia al corte de los suelos propuesta por Coulomb, Rankine determinó los estados tensionales que alcanza una masa semiinfinita de suelo arenoso cuando se mueve paralelamente a la superficie, definiendo estados límites una vez que el suelo alcanza la condición de rotura. A estos estados límites los denominó estados de equilibrio plástico, y a partir de ellos ha sido posible aplicar de una forma más racional los fenómenos de rotura posibles en una masa de suelo.¹³

La teoría del escocés William John Macquorn Rankine se basó en las siguientes hipótesis:

- El suelo es una masa homogénea e isotrópica.
- No existe fricción entre el suelo y el muro.
- La cara interna del muro es vertical ($\psi = 90^\circ$).
- La resultante del empuje de tierras está ubicada en el extremo del tercio inferior de la altura.
- El empuje de tierras es paralelo a la inclinación de la superficie del terreno, es decir, forma un ángulo β con la horizontal.¹⁴

¹³ Mori Jara, Gonzalo Andrés .Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos al diseño de estructuras de contención de tierras y su interacción con el terreno, para su empleo en obras de infraestructura viaria.Madrid,

¹⁴ Belandria Torres, Rafael Ángel; Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado, Merida Venezuela. Universidad de los Andes 2008, p-24

El método de Rankine en suelos con fricción toma en cuenta las consideraciones siguientes:

Coeficiente de presión activa de tierras:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) = 1/N_\varphi \quad \text{Ecuación (1)}$$

Coeficiente de presión pasivo de tierras:

$$K_p = \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi/2) = 1/N_\varphi \quad \text{Ecuación (2)}$$

Siendo “ φ ” el ángulo de fricción interna y “ N_φ ” la relación correspondiente “ P_v/P_h ” entre las presiones vertical y horizontal.

Si la superficie del relleno forma un ángulo “ β ” con la horizontal, las fuerzas de empuje son paralelas a la superficie:

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$K_p = \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

El método de Rankine en suelos cohesivos toma en cuenta las consideraciones siguientes:

Al igual que en los suelos con fricción, si la masa de suelo está en reposo, y suponiendo una superficie de relleno horizontal, el empuje se determina según:

- Estado plástico activo:

$$P_{ha} = \gamma \cdot z - 2 \cdot c \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$P_v = \gamma \cdot z \quad \text{Ecuación (6)}$$

Siendo “ γ ” el peso específico del material del suelo, “ z ” la altura del relleno y “ P ” presión. Con el valor de “ P_v ” siendo mayor que el de “ P_h ”, y c = cohesión o resistencia del suelo bajo normal exterior nula. Se supone valor constante.

Siendo en este caso “ P_h ” mayor que “ P_v ”.

Las fórmulas aplicables a suelos que son, al mismo tiempo, cohesivos y friccionantes, son las siguientes:

- Para el estado plástico activo:

$$P_{ha} = K_a * P_v - 2 * c * \sqrt{K_a} \quad \text{Ecuación (7)}$$

- Para el estado plástico pasivo:

$$P_{hp} = K_p * P_v + 2 * c * \sqrt{K_p} \quad \text{Ecuación (8)}$$

I.2.2.3 Método de Terzaghi

Este método es aplicable a muros de una altura no superior a 7 metros. Su aproximación se basa en una clasificación particular de los suelos en 5 grupos.

La superficie del relleno se considera plana, pudiendo ser horizontal o inclinada y sin sobrecarga.

Determinando los valores de “ K_h ” y “ K_v ”, dos parámetros introducidos por este método, se obtienen los valores de las componentes horizontal y vertical del empuje:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_h \cdot H^2 \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_v \cdot H^2 \quad \text{Ecuación (10)}$$

Siendo “ H ” la altura.

El punto de aplicación, como en los casos anteriores, se ubica a una posición a un tercio de la altura, medida desde la base.

I.2.2.4 Método de Mononobe - Okabe

Para el cálculo de la fuerza sísmica inducida sobre el muro, puede utilizarse el método de Mononobe - Okabe o similar. Este método, aunque simplifica la interacción suelo-

estructura en un evento sísmico, ha sido utilizado exitosamente para diseño en muros de contención en otras partes del mundo.

Este sistema supone:

- Relleno seco, granular y homogéneo.
- El muro se mueve lo suficiente para despreciar los efectos de punta de muro.¹⁵

El coeficiente K_{ae} para la presión activa de la tierra está dado por la expresión siguiente:¹⁶

$$K_{ae} = \frac{\cos^2 \alpha (\varphi - \Psi - a)}{\cos \Psi \cos^2 a \cos(\Psi + a + \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \Psi - \beta)}{\cos(\Psi + a + \delta) \cos(-\beta + a)}}\right)^2} \quad \text{Ecuación (10)}$$

El coeficiente K_{pe} para la presión pasiva de la tierra está dado por:

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\varphi - \Psi + a)}{\cos \Psi \cos^2 a \cos(\Psi - a + \delta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \Psi + \beta)}{\cos(\Psi - a + \delta) \cos(\beta - a)}}\right)^2} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde: γ - Peso unitario del suelo

H - Alto de la estructura

φ - Ángulo de fricción interna del suelo

δ - Ángulo de fricción de la estructura - suelo

α - Inclinación de la cara posterior de la estructura

β - Inclinación de la pendiente

k_v - Coeficiente sísmico de la aceleración vertical

k_h - Coeficiente sísmico de la aceleración horizontal

¹⁵ Suarez, Jaime. Deslizamientos: Técnicas de remediación.2010

¹⁶ Mononobe N, Matsuo . On the determination of earth pressure during earthquakes. In Proc. Of the World Engineering Conf., Vol. 9, str. 176 Okabe S> General theory of earth pressure.Japan

ψ - Ángulo de inercia sísmico

I.2.2.5 Método de Müller - Breslau

La presión pasiva de la tierra está dada por la siguiente fórmula:

$$\sigma_p = K_p \cdot \sigma_z + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde: K_p - Coeficiente de la presión pasiva de la tierra

c - Cohesión del suelo

σ_z - Tensión Total normal vertical

El coeficiente de la presión pasiva de la tierra K_p está dado por:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2(\alpha) \cdot \cos(\delta - \alpha) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta) \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cdot \cos(\alpha + \beta)}}\right)^2} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde: φ - Ángulo de fricción interna del suelo

δ - Ángulo de fricción de la estructura - suelo

β - Inclinación de la pendiente

α - Inclinación de la cara posterior de la estructura

Los componentes verticales σ_{pv} y horizontales σ_{ph} de la presión pasiva de la tierra están dados por:¹⁷

$$\sigma_{px} = \sigma_p \cdot \cos(\alpha + \delta) \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$\sigma_{pz} = \sigma_p \cdot \sin(\alpha + \delta) \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde: δ - Ángulo de fricción de la estructura - suelo

α - Inclinación de la cara posterior de la estructura

¹⁷ Kroner-Verlag, Alfred. Müller-Breslau's Erddruck auf Stützmauern. Stuttgart 1906

I.3 Herramientas CAD

Con el avance de la ciencia y las tecnologías de la informatización y las comunicaciones, han surgido diversos programas computacionales que agilizan y facilitan el trabajo de los especialistas en las diferentes esferas del conocimiento. La ingeniería civil es una de las ramas de la ingeniería, que cuenta con las mayores aplicaciones de las herramientas computacionales para el cálculo de las diversas obras estructurales, que tiempo atrás eran calculadas manualmente por los ingenieros.

El diseño asistido por computadora, más conocido por sus siglas inglesas CAD (computer aided design), es el uso de una amplia gama de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus respectivas actividades. El CAD es también utilizado en el marco de procesos de administración del ciclo de vida de productos.

Estas herramientas se pueden dividir en programas de dibujo en dos dimensiones (2D) y modeladores en tres dimensiones (3D). Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Los modeladores en 3D añaden superficies y sólidos.

Cualquier aplicación que incluya una interfaz gráfica y realice alguna tarea de ingeniería se considera software de CAD. Las herramientas de CAD abarcan desde herramientas de modelado geométrico hasta aplicaciones a medida para el análisis u optimización de un producto específico.

Existen también numerosas herramientas para la optimización de diseños. Se están realizando investigaciones para determinar automáticamente la forma de un diseño, integrando el análisis y la optimización. Para ello se asume que el diseño tiene una forma inicial simple a partir de la cual el procedimiento de optimización calcula los valores óptimos de ciertos parámetros para satisfacer un cierto criterio al mismo tiempo que se cumplen unas restricciones, obteniéndose la forma óptima con dicho parámetros.

I.3.1 Diseño automatizado de muros de contención

Aunque existen diversos softwares y aplicaciones que contribuyen al diseño geotécnico de muros de contención, no todos ellos se especializan únicamente en dicho diseño, sino que han sido creados para el cálculo y la modelación de varias estructuras, lo que aumenta la complejidad de estos programas.

El software Diseño De Muros De Contención Con Contrafuerte MCC permite realizar el diseño de un muro de contención con contrafuertes, basado en el empuje activo horizontal cooperante (E_{ahc}) según Rankine, o en el empuje activo dinámico cooperante (E_{adc}) según Mononobe-Okabe, para los chequeos de los factores de seguridad al deslizamiento y al volcamiento.

Además realiza un dimensionamiento y un diseño estructural, basados en el empuje activo dinámico cooperante según Mononobe-Okabe; ya que en este análisis se considera el efecto sísmico.

Modelado, diseño integral, y análisis, son tres especialidades que conforman el programa MIDAS, herramientas de última generación desarrolladas en base a la teoría de elementos finitos, que tienen su aplicación en la solución de problemas en ingeniería estructural, geotécnica e ingeniería mecánica. El software es desarrollado por MIDAS Information Technology Co., Ltd. con sede en Corea del Sur. Los programas MIDAS cuentan con un alto nivel técnico, interfases gráficas, facilidad de uso y constante desarrollo de sus actualizaciones.

Los componentes de MIDAS/SET son los siguientes:

- Diseño en concreto armado (ACI318-02, ACI318M-02, BS8110-97).
- Diseño de columnas, de vigas, diseño de losas, plataformas, de muros simples, de muros combinados, de zapatas aisladas, de muros de sótanos, de contrafuertes de sótanos, de muros de contención, de “corbels”.

Se han desarrollado aplicaciones MIDAS para teléfonos celulares, que permiten obtener los factores de seguridad al vuelco y al deslizamiento, como parte del diseño geotécnico de muros de contención, a partir de un predimensionamiento dado por el

usuario. Sin embargo se debe prestar atención al resultado arrojado, pues las normas y factores de seguridad empleados por la aplicación dentro de la programación, deben adaptarse a las características del país que lo emplea, para que los resultados cumplan con los requisitos de seguridad y economía.

El Software Integrated for Structural Analysis & Design, más conocido por sus siglas denominación en inglés como SAP2000, es un programa desarrollado por la empresa CSI, Computer and Structures, Inc. En Berkeley, California, EEUU. Se presenta en varias versiones (Standard, Plus y Advanced). Desde hace más de 30 años ha estado en continuo desarrollo, para brindarle al ingeniero una herramienta confiable, sofisticada y fácil de usar sobre la base de una poderosa e intuitiva interfaz gráfica con procedimientos de modelaje, análisis y diseño estructural a la vanguardia a nivel mundial.

En relación a la creación de modelos SAP2000 cuenta con una serie de plantillas predeterminadas que permiten generar la geometría de los mismos de forma rápida y eficiente. Por otra parte, maneja un sistema espacial de líneas de referencia (Grid Lines) asociadas a un determinado sistema de coordenadas (cartesiano o cilíndrico), que sirven de guía para establecer cada uno de los elementos que conforman el modelo.

SAP2000 determina a través del método de elementos finitos la respuesta en términos de fuerzas, esfuerzos y deformadas en los elementos de área y sólidos, presentando una salida gráfica y por tablas, haciéndolo la herramienta predilecta para ingenieros estructurales dedicados a la investigación, desarrollo de proyectos y construcción.¹⁸

I.4 Principios de diseño geotécnico empleados en Cuba

Los principios de diseño geotécnico empleados en Cuba, se basan en las teorías antes analizadas, siendo las de Rankine y Coulomb las más empleadas. Para diseñar apropiadamente los muros de retención, los ingenieros parten de definir los parámetros

¹⁸ Hernández., Eliud.Manual de Aplicación del Programa SAP2000 v14.2001

básicos del suelo, es decir, el peso específico, el ángulo de fricción y la cohesión del suelo retenido detrás del muro y del suelo debajo de la losa base.

Conocer las propiedades del suelo detrás del muro permite al ingeniero determinar la distribución de la presión lateral que tiene que ser considerada en el diseño. Conocida la presión lateral de tierra, la estructura como un todo se verifica por estabilidad, incluida la revisión de las posibles fallas por volteo, deslizamiento y capacidad de carga.

I.4.1 Caracterización histórica del diseño geotécnico de muros de contención en la provincia de Holguín

El diseño geotécnico de muros de contención en la provincia de Holguín ha estado marcado, desde sus inicios, por el empleo de de las teorías de Rankine y Coulomb fundamentalmente, obviándose en la mayoría de los casos el análisis de riesgo sísmico. Por las características geológicas, climáticas y topográficas de la región, se han obtenido resultados aceptables en el diseño de estas estructuras, en cuanto al balance entre el factor seguridad respecto al factor economía.

Entre los diseños más predominantes en la provincia se encuentra el muro en voladizo, y las principales funciones que desempeñan estas obras en el territorio son la de estribos de puentes.

I.4.2 Diagnóstico del estado actual del proceso de diseño geotécnico de muros de contención en la empresa de ingeniería y diseño Vértice de la provincia de Holguín

Para constatar el estado actual del proceso de diseño geotécnico de muros de contención en la empresa de ingeniería y diseño Vértice de la provincia de Holguín, fue necesario la selección de una muestra de la población existente que nos permitió caracterizar al objeto y campo de la investigación a través del diagnóstico con la implementación de diferentes acciones como se describen a continuación.

La población está constituida por 32 ingenieros, que son parte del personal que compone el departamento de estructuras, ingenieros del departamento de viales de la empresa Vértice, especialistas de la empresa INGECO y de la empresa Raudal. Se

tomó una muestra intencional, estando conformada por 12 ingenieros con más de 10 años de experiencia, lo que representa el 37,5 % de la población, 11 ingenieros con más de 2 años de experiencia y menos de 10 años para un 34,4 % y 9 ingenieros recién graduados en período de adiestramiento para un 28,1 %, con lo que se tiene finalmente un 100% de la población.

I.4.2.1 Acciones implementadas para el diagnóstico

El diagnóstico empírico del objeto y el campo de la investigación requirió de la implementación de un sistema de acciones:

- Análisis de los documentos:
 - Manual de Muros de Contención.

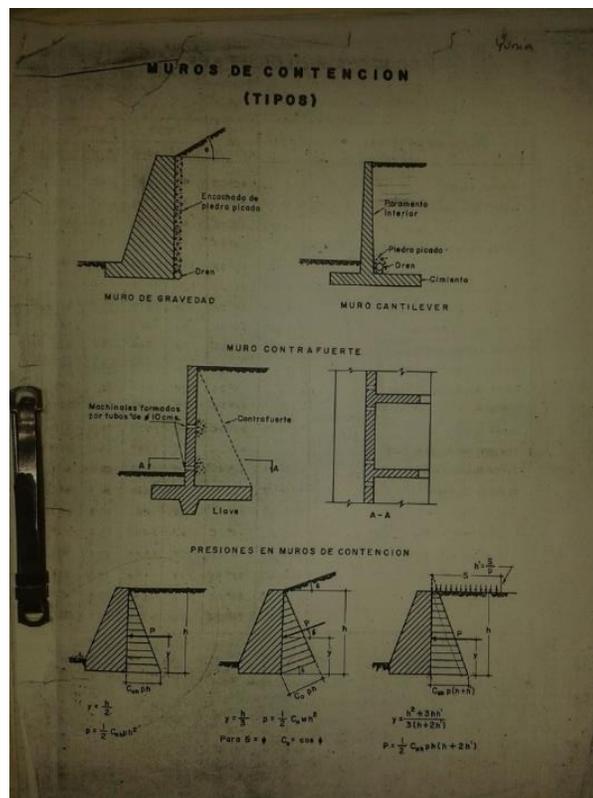


Figura 30. Manual para el diseño de muros de contención empleado en Vértice.

- Resumen para diseño de diferentes elementos estructurales, entre ellos los muros de contención. (Información tomada de Hormigón Armado. Tomo II. y Notas de clases).
- Tablas de Excel confeccionadas por varios proyectistas.
- Encuestas aplicadas a los recién graduados de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Holguín, que realizan su adiestramiento en los departamentos de Estructuras o Viales en la empresa Vértice.
- Entrevistas y encuestas aplicadas a los ingenieros del Departamento de Estructuras de la empresa Vértice.
- Entrevistas y encuestas aplicadas a los ingenieros del Departamento de Viales de la empresa Vértice.
- Entrevista a la jefa del Departamento de Estructuras de la empresa Vértice.
- Encuestas aplicadas a los ingenieros de las empresas INGECO y Raudal.

I.4.2.2 Resultados obtenidos

El diagnóstico llevado a cabo al proceso de diseño de muros de contención en esta empresa de ingeniería y diseño, permite declarar un grupo de insuficiencias que evidencian la necesidad de buscar soluciones a la problemática relativa al diseño de estas obras estructurales; entre las insuficiencias detectadas se pueden referir:

- Las herramientas con las que se cuentan se encuentran dispersas.
- Luego de obtener una versión inicial del diseño, es necesario chequear la estabilidad del muro según los criterios establecidos, y en caso de que no cumpla con alguno de ellos, variar el mismo. Este proceso se realiza de forma manual, o empleando tablas previamente confeccionadas en Microsoft Excel por el proyectista.
- El dibujo y acotado de los diferentes planos se realiza de forma independiente con ayuda del AutoCAD 2014, cuando finalmente se obtiene un diseño que el

proyectista considera seguro y racional, ya que este programa no tiene incorporado un módulo específico para estos fines.

- El proceso de diseño de muros de contención se torna largo y engorroso, por lo que puede dar lugar a errores.
- La posibilidad de valorar varias soluciones para un mismo problema se dificulta en exceso, lo cual trae consigo que no se obtengan las mejores soluciones en cuanto a seguridad y economía.
- La duración de los proyectos se torna en exceso prolongada, lo cual puede incidir negativamente en la eficiencia de la empresa de forma general.
- La utilización del software AutoCAD solo como herramienta de dibujo, por lo que no se aprovechan las potencialidades que tiene en cuanto al desarrollo de aplicaciones funcionales que pueden automatizar estos procesos de diseño.

Conclusiones del capítulo

A manera de conclusión del capítulo, el autor considera pertinente, subrayar las cuestiones siguientes:

El análisis histórico realizado en torno al objeto y campo de la investigación, evidenció que el proceso de diseño geotécnico de muros de contención presenta dificultades en la actualidad, al existir escasa utilización de herramientas computacionales que agilicen el proceso, lo que propicia la ocurrencia de errores de cálculo y ralentiza los proyectos, dificultando la posibilidad de seleccionar entre varias soluciones las más óptimas, e incide negativamente en las dimensiones finales dadas a la estructura.

CAPÍTULO II – DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN VOLADIZO CON HERRAMIENTAS CAD

Introducción al capítulo

En el presente capítulo se muestra la caracterización de la herramienta CAD para el diseño geotécnico de muros de contención en voladizo. Se detallan sus partes componentes y las ventajas que brinda, así como las acciones implementadas para la validación de su factibilidad de uso y resultados obtenidos.

II.1 Potencialidades del uso de AutoCAD VBA IDE para la creación de la herramienta de diseño geotécnico de muros en voladizo

Desde el punto de vista de los lenguajes de programación, el Visual Basic es considerado como uno de los lenguajes mas sencillos y de más fácil interacción, su sintaxis es relativamente simple, es muy intuitivo. Al iniciar la presente investigación, el autor contaba con una base en este tipo de lenguaje de programación, pues el mismo se imparte en la enseñanza preuniversitaria. Aunque la mayoría de los ambientes de VBA son similares, el AutoCAD VBA IDE tiene algunos rasgos únicos. Hay también varios comandos de AutoCAD que pueden usarse para cargar los proyectos, ejecutar los mismos, o abrir el VBA IDE. Un proyecto AutoCAD VBA es un conjunto de módulos de código, módulos de clases y formas que trabajan juntos para formar una función. Los proyectos pueden estar contenidos en un dibujo de AutoCAD, o en un fichero independiente. Los proyectos enlazados se almacenan en un dibujo de AutoCAD. Estos proyectos son automáticamente cargados siempre que se abre en AutoCAD el dibujo que los contenga, desarrollando la distribución de los proyectos de forma muy conveniente.

Al no utilizar ningún elemento asociado a una versión en específico de AutoCAD, la herramienta permite ser cargada desde cualquier versión de AutoCAD desde el 2007 o superior. Posibilita asociar comandos esenciales del AutoCAD como líneas, bloques, entre otros, pudiéndose crear una interfaz directamente desde el Autocad de fácil operabilidad.

II.2 Características generales de la herramienta

La concepción de un complemento CAD como medio para favorecer el proceso de diseño geotécnico de muros de contención en voladizo, que brinde la posibilidad de valorar varias soluciones a un mismo problema de manera rápida y con gran exactitud, está originada debido a que como se expresa en el capítulo anterior, las herramientas para llevar a cabo el diseño geotécnico de ese tipo de muro de contención tan empleado en el sector empresarial, se encuentran dispersas y el proceso se torna largo y engorroso. Esta herramienta fue creada en Microsoft Visual Basic for Applications, sobre el programa AutoCAD. Se basa en la teoría de Rankine, calculando los factores de seguridad contra el vuelco y el deslizamiento, factores necesarios para comprobar que el muro que se desea diseñar resiste las presiones ejercidas por el suelo. Además permite analizar el comportamiento de las tensiones verticales y horizontales, dependiendo del predimensionamiento ofrecido por el usuario. La herramienta se base en el flujograma siguiente:

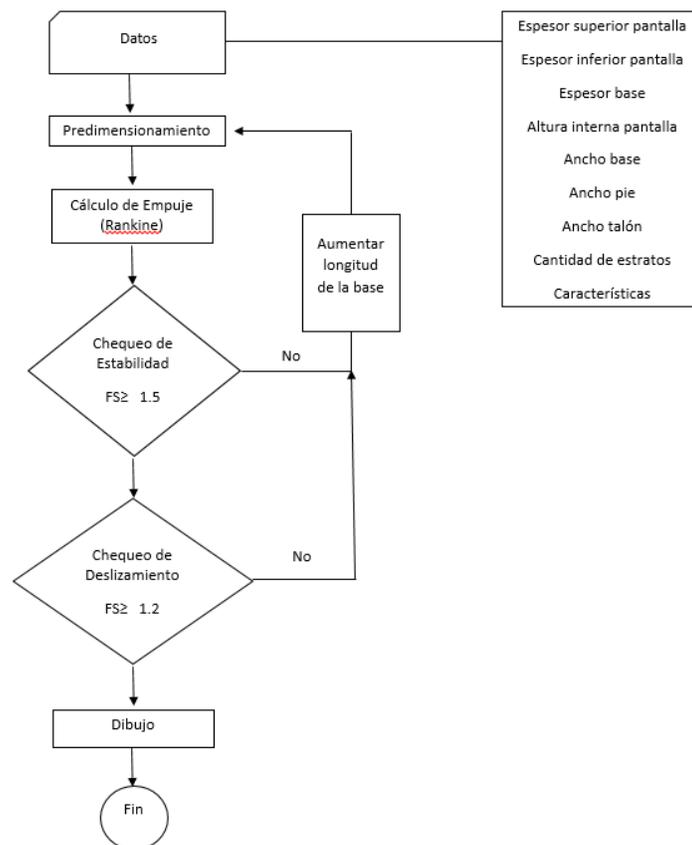


Figura 31. Flujograma en el que se basa la herramienta para el diseño de muros de contención.

Con el empleo de esta herramienta se pretende que los usuarios, puedan emprender el proceso de diseño geotécnico de muros de contención en voladizo de una manera fácil y asequible, desde el momento que se introducen los valores necesarios para el diseño. Siendo necesarios unos pocos pasos, la aplicación es capaz de generar un resultado y reportar si el muro es capaz de sostener el suelo. Con la concepción de esta aplicación se pretende brindar ayuda en la toma de decisiones respecto al diseño final de la estructura.

II.2.1 Requerimientos para su utilización

Algunos de los requisitos mínimos que debe tener el sistema operativo en el ordenador para un correcto funcionamiento de la herramienta para el diseño geotécnico de muros de contención en voladizo son los siguientes:

- Sistemas Operativos compatibles: Windows 98, NT, 2000, XP, Seven, 8.
- CPU: Procesador AMD a 300Mhz o Intel (Preferiblemente más de 550Mhz).
- RAM: 64MB (128MB recomendados)
- Espacio disponible: 129 KB
- Video: 4MB DirectX 7.0 tarjeta gráfica compatible (800x600 o más)

Es necesario que el usuario posea alguna versión del software AutoCAD, se recomienda que la misma sea del año 2007 o superior.

II.2.2 Instalación

La herramienta CAD como producto ya terminado no necesita de un proceso de instalación para ejecutarse, confiriéndole la característica de ser un elemento portable que puede ser llevado en cualquier dispositivo externo de almacenamiento y ser usada en cualquier ordenador, siempre y cuando cumpla con los requisitos antes mencionados.

Para adaptar el complemento CAD de diseño de muros de contención en voladizo, de acuerdo a las necesidades y preferencias de los usuarios, el autor creó un botón, que constituye un macro a través del cual se puede ejecutar la aplicación directamente. Este botón constituye una herramienta más del menú de herramientas del AutoCAD, y el usuario lo puede posicionar en el lugar que estime conveniente dentro del espacio de trabajo, como se muestra en la siguiente figura:

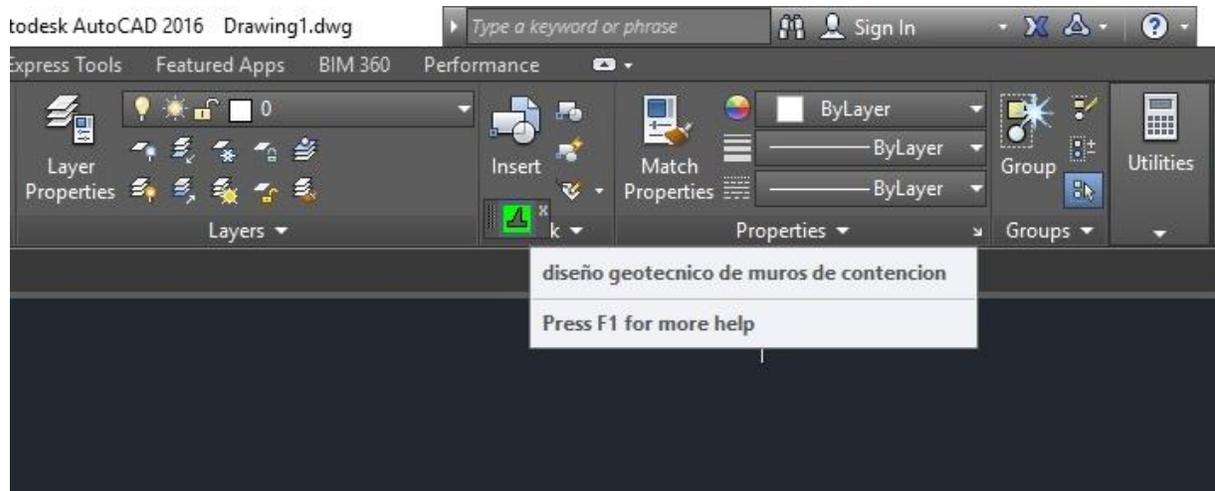


Figura 32. Secuencia a seguir para ejecutar la herramienta CAD para el diseño de muros.

En caso de que el usuario no desee la configuración del botón, puede ejecutar también la aplicación a través de los macros que se encuentran en la pestaña Manage del AutoCAD. A continuación se describe la secuencia a seguir para ejecutar la herramienta CAD para el diseño de muros de contención en voladizo por la vía antes mencionada:

1. Abrir el software AutoCAD.
2. Seleccionar la pestaña Manage.
3. Seleccionar el botón Load Application.
4. Localizar la aplicación en el ordenador o en el dispositivo portable y cargarla.

5. Seleccionar el botón Run VBA Macro y correr la aplicación seleccionada.
6. Seleccionar la cantidad de estratos.
7. Introducir los datos del suelo y el predimensionamiento del muro.
8. Visualizar el dibujo del muro y las tensiones horizontales y verticales.

Es importante señalar que el autor tuvo en cuenta el empleo del punto, como separador decimal, por lo que es necesario que el usuario configure el ordenador de forma tal que cumpla con esta especificación para su correcto funcionamiento.

II.2.3 Interfaz Principal

En la siguiente figura se muestra la interfaz principal de la herramienta CAD, la misma está compuesta por dos ventanas, las cuales integran módulos de cálculo y dibujo, con todo el basamento teórico y conceptual acerca del diseño geotécnico de muros de contención según la teoría de Rankine. La interfaz gráfica está constituida por un conjunto de botones, textos, y una imagen, a través de los cuales el usuario interactúa con el ordenador propiciando la comunicación persona – herramienta computacional y permitiendo un mejor procesamiento de las tareas a desarrollar.

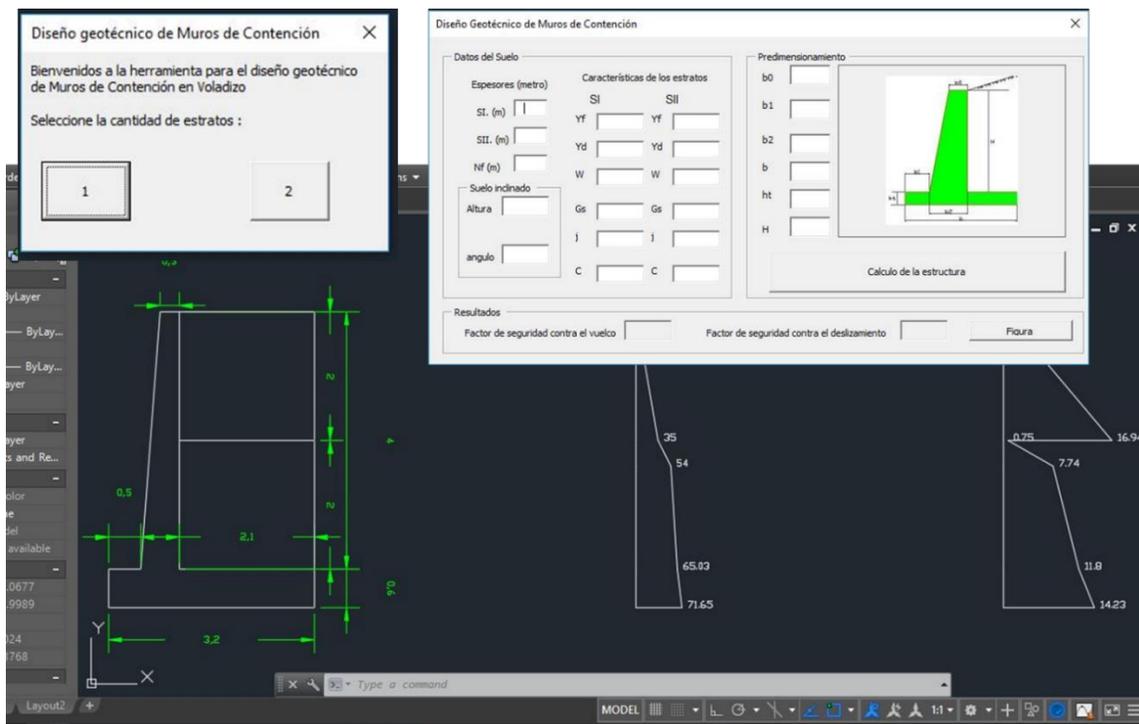


Figura 33. Interfaz principal de la herramienta CAD.

II.2.4 Breve explicación de su uso

Al ejecutar la aplicación para el diseño geotécnico de muros de contención en voladizo, como se explicó anteriormente, se muestra primeramente una ventana que pide al usuario seleccionar la cantidad de estratos, que conformarán el terreno a contener por el muro que se desea diseñar. El autor considera la posibilidad de que existan uno o dos estratos, por ser la situación más común a la que deben enfrentarse los especialistas en la práctica.

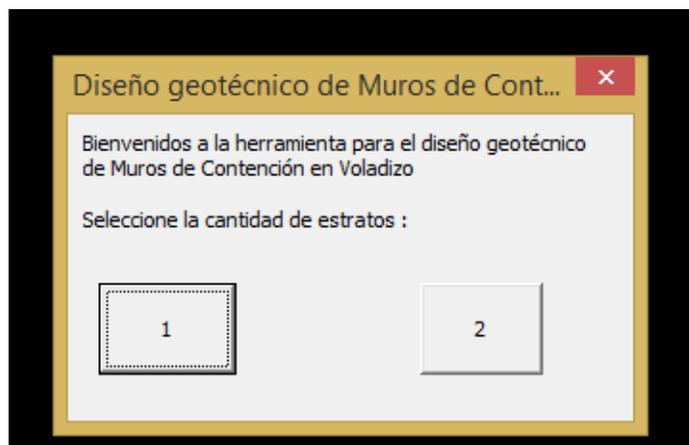


Figura 34. Primer Formulario de la herramienta.

Luego de escogerse una de las dos opciones, se muestra la siguiente ventana, que posee en la parte izquierda un esquema del muro para guiar a los usuarios en el predimensionamiento. En ella el usuario debe proporcionar los datos necesarios para que se realice el cálculo automatizado de los factores de seguridad. Los mismos se muestran en la parte inferior de la ventana, además de que la herramienta muestra información correspondiente a si el muro es estable al vuelco y al deslizamiento, y si se encuentra sobredimensionado, según sea el caso.

Diseño Geotécnico de Muros de Contención

Datos del Suelo

Espesores (metro)

SI. (m)

SII. (m)

Nf (m)

Suelo inclinado

Altura

angulo

Características de los estratos

	SI	SII
Yf	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Yd	<input type="text"/>	<input type="text"/>
W	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Gs	<input type="text"/>	<input type="text"/>
j	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Predimensionamiento

b0

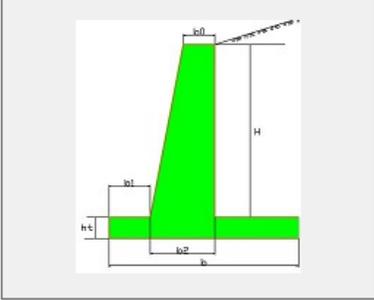
b1

b2

b

ht

H



Cálculo de la estructura

Resultados

Factor de seguridad contra el vuelco

Factor de seguridad contra el deslizamiento

Figura 35. Segundo formulario de la herramienta.

II.3 Valoración de la factibilidad del uso de la herramienta CAD para el diseño geotécnico de muros de contención a partir del criterio de especialistas

A partir de las concepciones teóricas y metodológicas sistematizadas y con la intencionalidad de poder evaluar la factibilidad del empleo de la herramienta de diseño geotécnico de muros de contención en voladizo, se seleccionó la muestra de la investigación y se determinaron las dimensiones y los indicadores a utilizar.

II.3.1 Acciones implementadas

Para la valoración de la factibilidad de la herramienta se realizaron un grupo de encuestas a especialistas, la mayoría de los cuales forman parte de la empresa de ingeniería y diseño de Holguín Vértice, y otros forman parte de otras empresas en el territorio. Los criterios empleados para la selección de los especialistas fueron en lo fundamental los siguientes:

- Ser un profesional universitario en las especialidades de Ingeniería Civil, Licenciatura en Educación Construcción, Arquitectura o Ingeniería Hidráulica.
- Tener una experiencia profesional de 1 o más años.

Se seleccionaron para la consulta un total 12 especialistas, a los que se le presentó la herramienta para constatar su factibilidad considerando los indicadores que se declaran posteriormente. Por medio de las encuestas realizadas, se solicitó a los especialistas, que emitieran sus criterios en relación con los indicadores asumidos.

Dimensiones	Indicadores
1. Motivación profesional	Ingenieros que se interesan en emplear la herramienta. Ingenieros motivados en conocer el funcionamiento de la herramienta.
2. Prestaciones que ofrece la herramienta	Facilidad de uso. Entorno audiovisual adecuado. Estructura, buena organización y lógica del procedimiento. Interacción sencilla (entrada de datos, análisis y respuesta).
3. Eficacia para facilitar el logro de los objetivos	Rapidez. Precisión. Utilidad práctica.

Tabla 2. Dimensiones e indicadores que se emplean para constatar la factibilidad de la herramienta de diseño de muros de contención.

II.3.2 Resultados obtenidos

Al evaluar la efectividad de la herramienta de diseño de muros de contención, considerándose las dimensiones e indicadores asumidos, se pudo constatar lo siguiente:

Indicadores	Ingenieros	%
Ingenieros que se interesan en emplear la herramienta.	10	81,2
Ingenieros motivados en conocer el funcionamiento de la herramienta.	12	100

Tabla 3. Comportamiento de la dimensión motivación profesional.

Las informaciones reveladas en la tabla muestran que los 12 ingenieros consultados que conformaron la muestra, interactuaron con la herramienta en sus diferentes partes, para conocer su completo funcionamiento. De ellos 10 (81,2 %) tienen interés de emplear la aplicación para el diseño geotécnico de muros de contención en voladizo en su desempeño laboral. La causa fundamental que incide en que los restantes 2 (18,8 %) no manifestaran disposición de emplearla radica en el hecho de que el diseño de muros de contención es ocasional, es decir, no constituye un objeto de obra diseñado con frecuencia en esos casos.

Indicadores	Ingenieros	%
Facilidad de uso.	11	91,7
Entorno audiovisual adecuado.	12	100
Estructura, buena organización y lógica del procedimiento.	9	75
Interacción sencilla (entrada de datos, análisis y respuesta).	10	83,3

Tabla 4. Comportamiento de la dimensión prestaciones que ofrece la herramienta.

Como resultado de la interacción con la herramienta de diseño de muros, se pudo constatar a partir de las opiniones y criterios expresados por los 12 ingenieros consultados, que de forma general el proceso de diseño no es complejo, y la herramienta va sirviendo de guía hasta que se obtienen los resultados finales. Sin embargo, se evidenciaron algunas inquietudes en el indicador relacionado con la estructura y organización a partir del criterio de 3 ingenieros (25 %), que plantearon sugerencias y modificaciones en función de evitar confusiones en cuanto a los valores que deben introducirse.

Indicadores	Ingenieros	%
Rapidez.	12	100
Precisión.	10	83,3
Utilidad práctica.	11	91,7

Tabla 5. Comportamiento de la dimensión eficacia para facilitar el logro de los objetivos.

La información cuantitativa mostrada en la tabla No. 5, en relación con el primer indicador, revela que los 12 ingenieros consultados consideran que la rapidez es una fortaleza de la herramienta de diseño de muros. De ellos solo 2 ingenieros (83,3 %) consideran que debería trabajarse en aras de obtener mayor precisión en los resultados, en comparación con los que se obtienen por los actuales métodos empleados en el sector empresarial. En cuanto a la utilidad práctica de la herramienta, 11 ingenieros de la muestra (91,7 %) consideran que la misma posee una gran aplicación práctica, por adaptarse a las condiciones y parámetros actuales en torno al diseño de estas estructuras, y sobre todo por el ahorro de tiempo que constituye su empleo. Los ingenieros que no asumen esta posición, manifiestan que el uso de la herramienta puede limitar la creatividad y arrojar resultados erróneos, si no se es capaz de interpretar correctamente la información que se introduce.

Las dimensiones e indicadores asumidos para evaluar la factibilidad de la herramienta de diseño de muros de contención demuestran, que el uso de la misma puede resultar beneficiosos de forma general, y que esta pudiera tener una buena acogida en el sector empresarial del territorio, repercutiendo favorablemente en la imagen y competitividad de las empresas de diseño.

Conclusiones del capítulo

A manera de conclusiones se plantea que:

- Se demostró el funcionamiento del complemento CAD para el diseño geotécnico de muros de contención en voladizo, así como sus potencialidades como herramienta práctica para la resolución de problemas reales.
- La estructuración y concepción de esta herramienta interactiva, aporte de esta investigación, recibieron una crítica positiva por parte de los especialistas que interactuaron con la misma, además de las distintas recomendaciones que pueden ayudar a perfeccionarla; constatando la pertinencia de la misma.

CONCLUSIONES GENERALES

- Existen algunas dificultades en empresas de ingeniería y diseño entorno al diseño geotécnico de muros de contención, al no explotarse al máximo las posibilidades que brindan las herramientas CAD.
- La rapidez con la que se puede cambiar los parámetros de diseño, analizar y comprobar resultados con poco esfuerzo, a criterio de los especialistas del sector empresarial consultados, demuestra que la implementación de la herramienta es factible.
- La veracidad de los resultados estará en función del correcto ingreso de los datos, cumpliendo con las unidades definidas y las recomendaciones en cada parte de la herramienta.

RECOMENDACIONES

- Implementar el complemento CAD en el sector empresarial, para evaluar así, a largo plazo, la adquisición de conocimientos y la motivación por parte de los ingenieros y especialistas.
- Fomentar el uso de herramientas computacionales, para favorecer el diseño de muros, no solo en voladizo, sino otros tipos empleados en la actualidad, además de otras estructuras, a tono con los adelantos científico-técnicos.
- Perfeccionar la herramienta aporte de esta investigación, en función de las necesidades e intereses de los usuarios, a medida que se presenten nuevos casos de estudio o se incorporen nuevos módulos a la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayuso Muñoz, J. (1984.). *Estructuras de hormigón para sostenimiento de tierras*. . ETSIA Córdoba.
- Belandria Torres, R. A. (2008). *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*. Merida Venezuela. Universidad de los Andes: Segunda impresión adaptada a la Norma Venezolana 1753 al 2006.
- Cabascango., L. M. (2004). *Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero civil. Estudio de alternativas de muros para la estabilización del talud en el proyecto Hipermarket San Rafael – Sangolqui*. . Quito, enero 2: Escuela politécnica nacional. .
- Cázares Llanderal, R. (2008). *Muros de contención*. México: Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA).
- Das, B. M. (1999). *Principios de ingeniería de cimentaciones. Cuarta edición*. California State University, Sacramento.
- de Almeida Barros, P. L. (2005). *Manual técnico. Obras de contención*. Maccaferri de Brasil.
- Empresa registrada Nortén Prefabricados de hormigón, S. (2004). *Catálogo muros y estribos de hormigón prefabricado*.
- Hernán., L. P. (2012). *Trabajo de graduación previo a la obtención del título de ingeniero civil*. . Quito: Universidad central de ecuador. .
- Hernández., E. (2001). *Manual de Aplicación del Programa SAP2000 v14*.
- Kroner-Verlag, A. (1906). *Müller-Breslau's Erddruck auf Stutzmauern*,. Stuttgart.
- Mariela Paez Castillo, I. F. (2005). *Modelación computacional, utilizando el Método de los Elementos Finitos, de anclajes Tipo T Invertida para torres atirantadas de telecomunicaciones*.

- Mononobe N, M. (1926). *On the determination of earth pressure during earthquakes. In Proc. Of the World Engineering Conf., Vol. 9, str. 176 Okabe S> General theory of earth pressure.* Japan: Journal of the Japanese Society of Civil Engineers.
- Mori Jara, G. A. (2008). *Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos al diseño de estructuras de contención de tierras y su interacción con el terreno, para su empleo en obras de infraestructura viaria.* Madrid: Universidad Politécnica.
- Rojas Martínez, S. (2009). *Memoria en opción al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Diseño de Muros de Contención.* Universidad Austral de Chile: Sector la Aguada Comuna de Corral.
- Ruiz Calavera, J. (2000). *Muros de Contención y Muros de Sótano (Tercera edición del Libro).* Madrid, España: Instituto Técnico de Materiales y Construcciones.
- Suarez, J. (2010). *Deslizamientos: Técnicas de remediación.*
- Torres, O. (2003). Ingeniero de diseño y especificaciones de la subgerencia de geosintéticos. Lafayette S.A. En suelo mecánicamente estabilizado: Geomalla Flexibles y Geotextiles de Alto Módulo. *Revista BIT noviembre.*
- Velasco Cruz, L. G. (2005). Especialización en ingeniería de Vías terrestres. Mecánica de suelos. *Muros de Contención.* Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. ENCUESTA A ESPECIALISTAS

Los muros de contención son estructuras de uso frecuente en la construcción de obras civiles en el territorio, dentro de ellos los muros en voladizo tienen una alta demanda. La necesidad de favorecer el proyecto de estas obras, en relación con el diseño geotécnico, dio lugar a la presente investigación. La solución de la problemática declarada se abordó desde la creación de un complemento CAD de diseño de muros de contención que responde a las necesidades actuales de las empresas de diseño. El mismo se desarrolló a partir del módulo Microsoft VBA en AutoCAD.

Debido a que las herramientas que se emplean, se encuentran dispersas, el proceso de diseño de muros de contención se hace largo y engorroso, por lo que puede dar lugar a errores, y además tiene el inconveniente de que la posibilidad de valorar varias soluciones para un mismo problema se dificulta en exceso. Esto trae consigo que no se obtengan las mejores soluciones en cuanto a seguridad y economía, y la larga duración de los proyectos.

En este sentido, y habiéndose diagnosticado algunas insuficiencias que pueden ser mejoradas con el empleo de herramientas computarizadas, solicitamos considere la pertinencia de la siguiente propuesta, destinada para tal fin, invitándole que a continuación complete el siguiente cuestionario, según las indicaciones para valorar los aspectos relativos a dicha propuesta.

Se le agradece su valiosa colaboración, al igual que su sinceridad, avalada por su experiencia y trayectoria profesional... Gracias.

TEMA:

DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN VOLADIZO CON HERRAMIENTAS CAD.

AUTOR: Héctor Jaime Barroso Hidalgo

1.- DATOS PERSONALES DEL ESPECIALISTA EVALUADOR:

Nombres y apellidos: _____

Profesión: _____

Categoría Científica: _____

Categoría Docente: _____

Cargo: _____

Años de Experiencia: _____

Centro de trabajo: _____

2.- ASPECTOS A EVALUAR

De acuerdo a las siguientes interrogantes, responda en cada aspecto según su consideración. Argumente en cada caso su respuesta:

a) ¿Considera de utilidad conocer el funcionamiento de la herramienta?:

Sí__ No__

b) ¿Cómo considera el proceso de instalación de la herramienta?:

Sencillo__ Complejo__

c) ¿Cómo considera el entorno Audiovisual? (en cuanto a presentación y tipo de letra): Adecuado__ Poco Adecuado__ No Adecuado__

d) ¿Cómo considera la estructuración de la información solicitada?: Adecuada__ Poco Adecuada__ No Adecuada__

e) ¿Cómo considera la interacción? (en cuanto a entrada de datos, análisis y respuesta): Adecuada__ Poco Adecuada__ No Adecuada__

f) ¿Considera que la rapidez es una fortaleza de la herramienta?

Sí__ No__

g) ¿Cómo caracteriza la precisión de los resultados? Alta__ Media__ Baja__

h) ¿Considera que la herramienta es útil en la práctica? Sí__ No__

i) ¿Está interesado en emplear la herramienta para el diseño de muros de contención en voladizo? Sí__ No__

Si desea comentar algún otro aspecto, hacer una observación o sugerencia parcial o general:

Firma: _____