

**METODOLOGIA DE DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL PARA MUROS DE
CONTENCION CON CONTRAFUERTES EN EL TRASDOS, BASADOS EN UN
PROGRAMA DE CÓMPUTO**

ING. HERNEY GUSTAVO GÓMEZ

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN ESTRUCTURAS
BOGOTÁ
2013**

**METODOLOGIA DE DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL PARA MUROS DE
CONTENCION CON CONTRAFUERTE EN EL TRASDOS, BASADOS EN UN
PROGRAMA DE CÓMPUTO**

**Presentado por:
ING. HERNEY GUSTAVO GÓMEZ**

TRABAJO DE GRADO

**Director:
ING. JAIME ERASMO GARZÓN MORENO**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN ESTRUCTURAS
BOGOTÁ
2013**

Bogotá, Agosto del 2013

Señor:

Ing. PEDRO NEL QUIROGA S.

Director Programa Especialización De Estructuras

Escuela Colombiana de Ingeniería

La Ciudad

Ref. Trabajo De Grado

Apreciado Ingeniero:

Por medio del siguiente documentos me permito presentar el informe final del trabajo de grado del aspirante al título de especialista en estructuras, HERNEY GUSTAVO GÓMEZ RODRIGUEZ con C.C 93.135.432 De Espinal, denominado "Metodología De Diseño Y Cálculo Estructural Para Muros De Contención Con Contrafuertes En El Trasdós, Basados En Un Programa De Cómputo", que fue dirigido por el Ingeniero JAIME ERASMO GARZÓN MORENO.

Atentamente,

Ing. HERNEY GUSTAVO GÓMEZ R.

NOTA DE ACEPTACION:

El Trabajo De Grado denominado, "Metodología De Diseño Y Cálculo Estructural Para Muros De Contención Con Contrafuertes En El Trasdós, Basados En Un Programa De Cómputo", presentado para optar al título de Especialista en Estructuras otorgado por la Escuela Colombiana De Ingeniera, cumple con los requisitos establecidos y recibe nota aprobatoria.

Ing. JAIME ERASMO GARZÓN

Ing. PEDRO NEL QUIROGA S.

DEDICATORIA

Dando gracias a DIOS, con quien todo lo puedo y quien siempre me guía por un buen camino, para poder realizar todas mis metas y objetivos. Dedicado a mi esposa y a mi familia quienes me brindaron su apoyo en el transcurso del posgrado. A todos los profesores-ingenieros que ofrecieron su sabiduría y conocimiento en cada una de las asignaturas.

HERNEY GÓMEZ.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a todas las personas que de una u otra manera participaron y ayudaron a realizar este trabajo de grado, especialmente a:

- Él ingeniero Jaime E Garzón M, director del trabajo de grado, por su ayuda y conocimiento; ya que sin él no se hubiese podido terminar este trabajo de grado.
- Él ingeniero Pedro Nel Quiroga, director del programa de especialización en estructuras, por su amabilidad y cordialidad.
- La ingeniera Sandra Aguilar, coordinadora del programa de especialización en estructuras por su colaboración.
- La ingeniería Diana Marcela López, por su colaboración y apoyo.
- Él ingeniero Julio Rodríguez, por su colaboración.
- Él ingeniero Jonnathan Estrada, por su colaboración.

LISTADO DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Partes del Muro de contención con contrafuertes.	12
Figura 2. Muros de contención con contrafuertes.	12
Figura 3. Clasificación de muros de contención con contrafuertes.	13
Figura 4. Muro de contención con contrafuertes - romano en la vía Flaminia (Italia).	15
Figura 5. Empujes actuantes en muros de contención con contrafuertes.	27
Figura 6. Mapa de valores de A_a – Colombia	28
Figura 7. Asentamientos en muros con contrafuertes	29
Figura 8. Falla por volcamiento	30
Figura 9. Falla por desplazamiento – deslizamiento	31
Figura 10. Predimensionamiento de muros con contrafuertes	34
Figura 11. División e identificación de las secciones del muro con contrafuertes	36
Figura 12. Empujes actuantes en el muro con contrafuertes	38
Figura 13. Diagrama - valores de momentos y cortantes actuantes	40
Figura 14. División del vástago del muro	41
Figura 15. División del vástago del muro para verificación del cortante	44
Figura 16. Diseño del puntal	46
Figura 17. Acero del puntal	47
Figura 18. Diseño del talón	48
Figura 19. Acero del talón	50
Figura 20. Diseño del contrafuerte	50
Figura 21. Esquema para el método de Mononobe-Okabe	53
Figura 22. Cuadro de Ingreso de Datos	57
Figura 23. Cuadro de Pre diseño	58
Figura 24. Cuadro de Chequeo	59
Figura 25. Cuadro de Diseño de Muro	60
Figura 26. Cuadro de Diseño de Zarpa	61
Figura 27. Cuadro de Diseño de Contrafuerte	62
Figura 28. Cuadro de Presupuesto	63
Figura 29. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 1	67
Figura 30. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 1	68
Figura 31. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 2	68
Figura 32. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 2	69
Figura 33. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 3	69
Figura 34. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 3	70
Figura 35. Diagramas y valores arrojados por el MCC	71

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	14
CAPITULO I	20
1. Marco teorico	21
1.1 Muros De Contencion Y Su Funcionamiento	21
1.2 Consideraciones Fundamentales	22
1.3 Tipos De Muros De Contencion	23
CAPITULO II	25
2. Dimensionamiento	26
2.1 Estabilidad	26
2.2 Estabilidad Interna	26
2.3 Estabilidad Externa	29
2.3.1 Asentamientos	29
2.3.2 Seguridad Al Vuelco	30
2.3.3 Desplazamientos	31
2.4 Efectos Sismicos	31
CAPITULO III	33
3. Diseño De Muros	34
3.1 Pre-dimensionamiento	34
3.2 Dimensiones Del Muro	34
3.3 Diseño De Muros Con Contrafuertes	35
CAPITULO IV	55
4. Manual-Guia Del Programa MCC	56
4.1 Manejo De Software Diseño De Muros De contencion Con Contrafuertes MCC	56
CAPITULO V	64
5. Modelacion En SAP2000 De Un Muro Con Contrafuerte	65
5.1 Introduccion	65
5.2 Modelacion En SAP2000 De Un Muro Con Contrafuerte	65
CAPITULO VI	72
6. CODIGO FUENTE DEL PROGRAMA MCC	73
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
8. BIBLIOGRAFIA	76

GLOSARIO

- Coeficiente de presión activa (K_a): se puede determinar por las teorías de Coulomb o Ranking par suelos granulares
- Coeficiente de presión pasiva (K_p): se puede determinar por las teorías de Coulomb ó Ranking .
- Coeficiente de presión dinámica activa (K_{as}): se determina por la formula de Mononobe-Okabe
- Coeficiente de empuje K_0 = relación de la presión horizontal con la presión vertical
- Coeficiente de fricción (μ): coeficiente rozamiento entre el suelo y el hormigón, es el resultado del correspondiente estudio geotécnico
- Contrafuertes: Un contrafuerte, también llamado estribo, es un engrosamiento puntual en el lienzo de un muro, normalmente hacia el exterior, usado para transmitir las cargas transversales a la cimentación.
- Corona: parte superior del alzado del muro
- C_{sh} : Componente horizontal del empuje (activo-pasivo)
- C_{sv} : Componente vertical del empuje (activo-pasivo)
- Deslizamiento: desplazamiento del muro respecto a un punto base irremomible.
- Empuje activo (E_{ah}): cuando la parte superior de un muro se mueve suficientemente como para que se pueda desarrollar un estado de equilibrio plástico (el terreno empuja sobre el muro), la presión estática es activa y genera un empuje total E_{ah} .
- Empuje pasivo (E_{ph}): cuando un muro empuja contra el terreno se genera una reacción que se conoce como empuje pasivo
- Empuje de reposo: cuando el muro está restringido en su movimiento lateral y conforma un sólido completamente rígido, la presión estática del suelo es de reposo y genera un empuje total E_0 , aplicado en el tercio inferior de la altura.
- Esfuerzos de flexión: Combinación de las fuerzas de tracción y de compresión que se desarrollan en la sección transversal de un elemento estructural para resistir una fuerza transversal
- f'_c : Es el esfuerzo de compresión del concreto
- f_y : Indicación del esfuerzo máximo que se puede desarrollar en el acero sin causar una deformación plástica. Es el esfuerzo en el que un material

exhibe una deformación permanente específica y es una aproximación práctica de límite elástico

- Gamma (γ): peso específico del material de relleno y/o del material existente.
- Intradós: cara del muro visible
- Material granular: conjunto de partículas macroscópicas sólidas, lo suficientemente grandes para que la única fuerza de interacción entre ellas sea la fricción.
- Muros de contención: Se denomina **muro de contención** a un tipo estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente tierras.
- Puntera: parte del cimiento que no tiene carga del relleno del muro, intersección del cimiento con la prolongación del intradós.
- Superficie de falla: superficie a lo largo de la cual un lado se ha desplazado con respecto al otro, en una dirección paralela a la superficie.
- Tacón: parte del cimiento que se introduce en el suelo para ofrecer mayor resistencia al deslizamiento
- Talón: parte del cimiento opuesta a la puntera, queda por debajo del trasdós y bajo el terreno contenido
- Trasdós ó Extradós: cara del muro en contacto con el material de relleno (material granular)
- Vástago, alzado ó cuerpo: parte del muro que se levanta a partir de los cimientos de este, y que tiene una altura y un espesor en función de la carga a soportar.
- Volcamiento: giro del muro respecto a un punto del talón
- W : carga sobre el relleno y/o talud del relleno
- ϕ : ángulo de fricción interna del material
- i : ángulo de inclinación del talud sobre el relleno
- δ : ángulo de fricción entre el suelo del relleno y el trasdós del muro.
- β . ángulo de inclinación entre el trasdós y la vertical.

RESUMEN

En este trabajo de grado, se ha realizado un estudio práctico y didáctico del tema conocido como Estabilización de taludes por medio de muros de contención con contrafuertes, y se ha procurado ofrecer un entendimiento básico de diseño, con la intención de dar a conocer un poco más esta técnica utilizada en obras civiles, dadas sus múltiples ventajas tanto económicas como estéticas y su capacidad para resistir esfuerzos de cualquier tipo, siendo en varias ocasiones la única solución factible.

Problemas de estabilidad de suelos.

Son muchos los factores que provocan y caracterizan los movimientos por inestabilidad de un suelo, estos factores se pueden clasificar con base en dos aspectos principales; por un lado los relacionados directamente con el material movable como la topografía, litología, estructura del suelo, etc., y por el otro los factores externos o indirectos como la acción humana, características ambientales, humedad, sismos, etc.

En tal caso, y dependiendo de las propiedades de cada suelo, existirán riesgos de cambios volumétricos con los cambios de humedad, y/o una baja capacidad de soporte. Concretamente tendremos entonces un suelo que debemos estabilizar, para poder utilizarlo evitando los problemas mencionados.

Para aclarar conceptos sobre el problema que tratamos, debemos analizar lo siguiente:

- La estabilización de un suelo consiste en minimizar o evitar la libertad de movimiento de este, la cual resulta indeseable para el uso que queremos darle.
- Existen diferentes formas para estabilizar un suelo, en la actualidad la forma más segura de tratar un suelo es con la contención que ofrece una estructura, en este caso un muro de contención con contrafuerte.

Muros de contención.

Se define como muro de contención a Toda estructura continua, que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno al proporcionarle a este, soporte lateral.

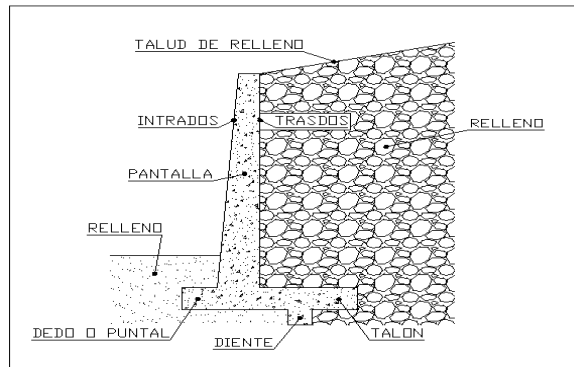


Figura 1. Partes del Muro de contención con contrafuertes.

El propósito fundamental de un muro es el de servir como elemento de contención para terrenos naturales o artificiales.

Un muro puede también desempeñar una acción secundaria; transmitir cargas verticales al terreno, desempeñando la misma función que un cimiento.

Los muros de contención se pueden clasificar en:

- Muros de gravedad.
- Muros de semi-gravedad.
- Muros de voladizo.
- Muros de contrafuerte.

MUROS CON CONTRAFUERTE.

Son una modificación de los muros de voladizo, en los que al aumentar la altura, se torna necesario aumentar los espesores del muro y debido a que las dimensiones generales aumentan, son más óptimos los muros con contrafuertes; donde al tener alturas grandes, no es necesario tener espesores considerablemente grandes.

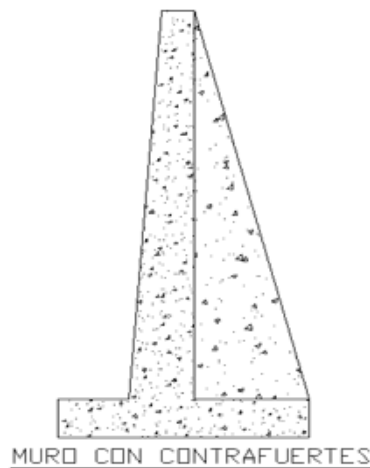


Figura 2. Muros de contención con contrafuertes.

Los muros con contrafuerte son los que están constituidos por placas verticales espaciadas que se apoyan sobre grandes voladizos.

Los muros con contrafuertes son óptimos para alturas iguales ó mayores a 8 metros, estos muros ofrecen las siguientes ventajas:

- Manejan espesores en un rango de 30 cm a 50 cm; según la altura.
- El figurado del acero es similar al de una parrilla, lo cual lo hace mas fácil de manejar.
- La separación de los contrafuertes se puede manejar; para permitir que un compactador pequeño pueda realizar su función

Este tipo de muros puede tener los contrafuertes en el trasdós (fig. 1a) o en el intradós (fig. 1b), además los contrafuertes pueden ser triangulares ó en "L". En este proyecto analizaremos los muros con contrafuertes triangulares en el trasdós.

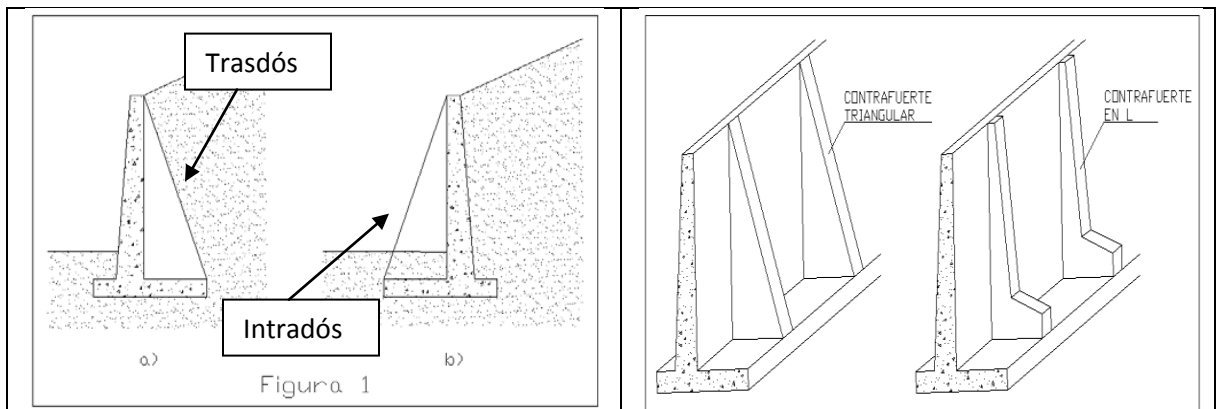


Figura 3. Clasificación de muros de contención con contrafuertes.

INTRODUCCION

La realización de este trabajo es importante, porque es un complemento esencial para los cursos de muros de contención, que se dictan en la carrera profesional de Ingeniería Civil, el cual da a adquirir un conocimiento de cómo diseñar y calcular los muros de contención con contrafuertes en el trasdós, tema que no está profundizado en las bibliografías conocidas en esta rama de la Ingeniería Civil.

Además el tener conocimiento sobre la metodología de diseñar y calcular muros de contención con contrafuertes en el trasdós, es de gran ayuda cuando nos encontramos con parámetros que nos limitan el diseño como son: la altura, base, los espesores de los muros de contención y los cambios de gamma (γ) a lo largo de su altura.

Entre los motivos que se tiene para realizar este proyecto se encuentran los siguientes:

- Encontrar la mejor metodología de diseño y cálculo para aplicarla a los muros de contención con contrafuertes en el trasdós.
- Realizar un programa de cómputo que facilite y agilice el diseño y cálculo de los muros de contención con contrafuertes en el trasdós; el cual sea una herramienta útil para usar en campo.
- Enriquecer y aumentar los conocimientos adquiridos en el curso de muros de contención y cimentaciones complejas II dictado en la especialización de estructuras, de la Escuela De Ingenieros.

A continuación se dará una breve explicación de algunos aspectos (origen, evolución) de los muros de contención con contrafuertes.

Origen

Tomando como base la madre naturaleza, se llegó a construir sistemas de contrafuertes, entre ellos los muros con contrafuertes.

Los contrafuertes arrastraron los nuevos problemas a tierra, y los descargaron sobre ella. Teniendo en cuenta que hicieron posible el engrandecer las construcciones humanas como nunca se había hecho en la historia, su papel a los ojos del público profano, fue meramente secundario o inexistente. La humildad de su trabajo se vio reflejada en la desnudez de sus formas, en el románico, o en la ocultación bajo una distribución de espacios interiores artificiosa, en el gótico.

Sin ánimo de abusar de los tópicos, parece que incluso podríamos establecer una analogía entre pilares y contrafuertes con la personalidad de arquitectos e ingenieros.

La primera aparición de los contrafuertes supera a la historia de la humanidad. Algo tan sencillo como la tierra conteniendo a la propia tierra, o el natural equilibrio determinado por el rozamiento interno de los materiales que componen el suelo. Es muy probable que el hombre aprendiera rápidamente la elección y adaptara el terreno en sus primeros asentamientos haciendo uso de los taludes.

Evolución

Por economía, por falta de medios y porque, en definitiva, las primeras comunidades no lo necesitaban, es posible que durante mucho tiempo, no hubo necesidad de ir más allá, como mucho de taludes estabilizados con piedras y rudimentarios muros de escollera. Pero las civilizaciones avanzaron, las aldeas, las villas, dieron lugar a las primeras ciudades, y de ahí, se empezaron a gestar los estados en la concepción que hoy tenemos de ellos.

Con el siguiente documento se pretende hacer una reflexión sobre la evolución de los sistemas de contrafuertes, entendiendo estos como subgrupo de los sistemas de contención por gravedad, de desde sus orígenes en la naturaleza y con la aparición de cada nuevo material, observando de forma transversal, como se han producido esos cambios en tres grandes grupos de obras: de contención de tierras, hidráulicas, y edificación. Difícilmente exhaustiva en catalogo, fechas y localizaciones, el esfuerzo principal estará en determinar los puntos por los que la ingeniería ha ido pasando mas tarde o más temprano, en todas las civilizaciones.



Figura 4. Muro de contención con contrafuertes - romano en la vía Flaminia (Italia).

La ingeniería romana buscó la economía, ciertamente, pero sin sacrificar los parámetros de calidad que aseguraban la misión para la que estaban diseñadas. Por ello, tuvieron que hacer esfuerzos adicionales en terrenos difíciles. Así, han llegado hasta nuestros días, sistemas de contención de tierras junto a las calzadas. Parece ilógico pensar que los primeros muros de contención de piedra fueron absolutamente verticales. Seguramente, entendieron después que, si eran demasiado delgados no resistían, y si eran lo gruesos que necesitaban ser, el material estaría desaprovechado, así que empezaron a inclinar el intradós. El siguiente paso no era tan obvio, porque suponía un cambio estructural importante.

Los muros descritos hasta ahora, resistían esencialmente la flexión de eje horizontal. Conscientes de lo que hacían ó no, al aligerar el prisma triangular descargaron sobre los contrafuertes la función de resistir, como ménsulas, la flexión de eje horizontal, mientras que en los tramos de muro aligerado, reaparecían flexiones de eje vertical. Ambos esfuerzos habían de ser resistidos por rozamiento entre sillares, por lo que, en un principio, resultaron obras muy pesadas.

Este fue, esencialmente, el comportamiento de los muros de contención, durante siglos. Las mejoras en las dimensiones debieron venir de la mano de mejoras en el rozamiento entre los elementos que conformaban los muros, con el uso de conglomerantes (morteros romanos de puzolana, argamasa de cal, hasta llegar al uso de morteros de cemento portland) y llaves entre hiladas.

Pero con la refundación de los que hoy entendemos como los primeros estados de la Europa moderna, se retomaron las buenas costumbres en la construcción de las vías, y, efectivamente, tuvo que llegar el hormigón armado y el uso industrial de los materiales cerámicos, para que los muros de contrafuertes de piedra desaparecieran frente a una competencia que ganaba la batalla en facilidad de ejecución y economía de materiales. Con el hormigón, armado o no, se imitan, en forma y esquema estructural, todos los tipos de muros de contención anteriores, especialmente los más ligeros, los que en tiempos se debieron construir con tabla y ménsulas de madera, ya que las exigencias de contención son, en general, menores: la mejora en la maquinaria de movimiento de tierras ha facilitado mucho el trabajo en las obras lineales. Por otra parte, han aparecido nuevas formas de contener las tierras haciendo que trabajen contra sí mismas, con el uso de anclajes más (muros pantalla) o menos (tierra armada, muros verdes) contundentes. Por lo tanto, los muros de contención con contrafuertes podrían parecer condenados definitivamente a la extinción. Pero, en realidad, a lo que están condenados es a su desaparición, entendiéndose en el sentido literal de la

palabra. Porque los armados permiten resistir las tracciones que antes la piedra, o la cerámica, de por sí no resistían. Y por lo tanto, la historia da un giro de 180°, nunca mejor dicho, y encontramos muros de contención en los que los contrafuertes resisten los empujes de las tierras en el sentido contrario al que tradicionalmente los resistían, trasladando tracciones a la cimentación, donde antes se trasladaban compresiones, quedando los contrafuertes ocultos bajo las tierras que contienen.

Los sistemas de contrafuertes, en forma de talud nada aligerado, fueron las herramientas para estabilizar la construcción y contener las fuerzas actuantes de las presiones de tierra. Esto, no ha cambiado desde la antigüedad hasta nuestros días, solo se ha mejorado en la contundencia de los materiales.

Objetivo general

Elaborar un programa de cómputo basado en una metodología, con el cual se pueda diseñar y calcular muros de contención con contrafuertes en el trasdós, en diferentes tipos de suelos.

Objetivos específicos

- Elaborar un plan de estudio y asesoramiento.
- Identificar los tipos de muros de contención con contrafuertes que existen actualmente.
- Corroborar los conceptos adquiridos en otras fuentes.
- Conocer diferentes metodologías de diseño para los muros de contención con contrafuertes en el trasdós.
- Identificar las fuerzas de presión y tensión que actúan sobre los elementos que conforman un muro de contención con contrafuertes en el trasdós.
- Identificar las características principales de estos tipos de muros (muros con contrafuertes).
- Diseñar una hoja de cálculo que permita plantear un programa de cómputo para el diseño y calculo de muros con contrafuertes en el trasdós.
- Crear una herramienta de fácil acceso y manejo, a la hora de calcular estos tipos de muro de una manera rápida y segura, cuando el ingeniero se encuentra en campo, sin las ayudas y/o facilidades que ofrece una oficina de diseño y calculo.
- Comparar los resultados del programa a realizar, con los resultados que ofrece el desarrollo de un muro analizado por medio de SAP 2000 y calculado por medio de hojas de cálculo; tal como se haría en una oficina de diseño y calculo.
- Encontrar el porcentaje de error (por arriba ó por debajo) que presentaría el programa desarrollado para el cálculo de muros de contención con contrafuertes.

Diseño Metodológico Y Alcance

El plan de trabajo consistirá en investigar y analizar qué métodos de diseño para el desarrollo de muros de contención con contrafuertes en el trasdós existen actualmente, para basarnos en uno de estos métodos; el cual se aplique a un programa de cómputo para el desarrollo desde el punto de vista de dimensionamiento y calculo estructural de este tipo de de muros de contención.

Este proyecto ha sido planificado para dar a conocer una problemática específica, sus consecuencias y posibles soluciones en un diseño práctico mediante la utilización del software.

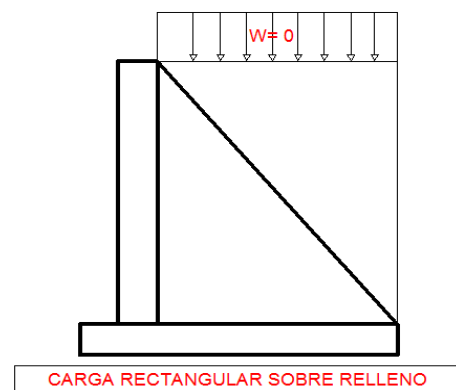
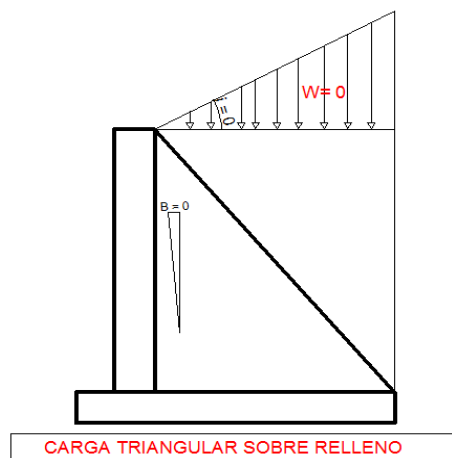
El alcance de este proyecto contempla 2 puntos:

- Entregar una metodología de diseño para muros de contención con contrafuertes en el trasdós.
- Entregar un programa de computo que diseñe y calcule este tipo de muros de contención

Limitaciones

El desarrollo del trabajo originado a partir del problema: “Como diseñar y calcular actualmente los muros de contención con alturas mayores a 8 metros y espesores entre 30 cm y 50 cm, en diferente tipos de suelos que presentan variación del gamma (γ) a lo largo de su profundidad”, basados en un programa de computo,. Tiene las siguientes limitaciones:

- No se considero sobrecarga sobre el relleno del muro $w=0$ (carga rectangular para el cálculo según Rankine y/ó carga triangular para el cálculo según Mononobe-Okabe); con esto se aclara que la pendiente del talud de relleno $i=0$; es decir (W , para carga rectangular y triangular) e (i) serán igual a cero.



- Las áreas de acero obtenidas serán empleadas para escoger el diámetro y la cantidad de varillas a criterio del diseñador.
- El acero se calcula con la incidencia del empuje activo dinámico cooperante (E_{adc}).

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1. Marco Teórico

Los muros de contención tienen como finalidad resistir las presiones laterales ó 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. Designamos con el nombre de empuje, las acciones producidas por las masas que se consideran desprovistas de cohesión, como arenas, gravas, cemento, trigo, etc. En general los empujes son producidos por terrenos naturales, rellenos artificiales o materiales almacenados.

1.1. Muros de contención y su funcionamiento

Los muros de contención se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales. Estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía. Por ejemplo, en la construcción de vías férreas o de carreteras, el ancho de servidumbre de la vía es fijo y el corte o terraplén debe estar contenido dentro de este ancho. De manera similar, los muros de los sótanos de edificios deben ubicarse dentro de los límites de la propiedad y contener el suelo alrededor del sótano.

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:

- a- Selección del tipo de muro y dimensiones.
- b- 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.
- c- 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.

1.2. Consideraciones Fundamentales

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 ϕ .

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 despreciar la cohesión, utilizando para determinar el empuje de tierra solo el ángulo de fricción interna del material.

1.3. Tipos De Muros De Contención

Los muros de contención de uso más frecuente son:

- Muros de gravedad: Son muros con gran masa que resisten el empuje mediante su propio peso y con el peso del suelo que se apoya en ellos; suelen ser económicos para alturas moderadas, menores de 5 m, son muros con dimensiones generosas, que no requieren de refuerzo. En cuanto a su sección transversal puede ser de varias formas. Los muros de gravedad pueden ser de concreto ciclópeo, mampostería, piedra o gaviones. La estabilidad se logra con su peso propio, por lo que requiere grandes dimensiones dependiendo del empuje. La dimensión de la base de estos muros oscila alrededor de 0,4 a 0,7 de la altura. Por economía, la base debe ser lo más angosta posible, pero debe ser lo suficientemente ancha para proporcionar estabilidad contra el volcamiento y deslizamiento, y para originar presiones de contacto no mayores que las máximas permisibles.
- Muros en voladizo o en ménsula: Este tipo de muro resiste el empuje de tierra por medio de la acción en voladizo de una pantalla vertical empotrada en una losa horizontal (zapata), ambos adecuadamente reforzados para resistir los momentos y fuerzas cortantes a que están sujetos. Estos muros por lo general son económicos para alturas menores de 10 metros. La forma más usual es la llamada T, que logra su estabilidad por el ancho de la zapata, de tal manera que la tierra colocada en la parte posterior de ella, ayuda a impedir el volcamiento y carga el muro aumentando la fricción suelo-muro en la base, mejorando de esta forma la seguridad del muro al deslizamiento. Estos muros se diseñan para soportar la presión de tierra, el agua debe eliminarse con diversos sistemas de drenaje que pueden ser

pases colocados atravesando la pantalla vertical, o sub-drenajes colocados detrás de la pantalla cerca de la parte inferior del muro. Si el terreno no está drenado adecuadamente, se puede presentar presiones hidrostáticas no deseables.

- **Muros con contrafuertes** (objeto de análisis del proyecto): Los contrafuertes son uniones entre la pantalla vertical del muro y la base. La pantalla de estos muros resiste los empujes trabajando como losa continua apoyada en los contrafuertes, es decir, el refuerzo principal en el muro se coloca horizontalmente, son muros de concreto armado, económicos para alturas mayores a 10 metros. tanto la pantalla como los contrafuertes están conectados a la losa de fundación. Los contrafuertes se pueden colocar en la cara interior de la pantalla en contacto con la tierra o en la cara exterior donde estéticamente no es muy conveniente. Los muros con contrafuertes representan una evolución de los muros en voladizo, ya que al aumentar la altura del muro aumenta el espesor de la pantalla, este aumento de espesor es sustituido por los contrafuertes; la solución conlleva un armado, encofrado y vaciado más complejo. En los Muros con contrafuertes el empuje del terreno es recibido por una pantalla y transmitido al suelo de cimentación por medio de una zapata. La unión entre la pantalla y zapata se lleva a cabo por medio de contrafuertes, que pueden ser exteriores o interiores. Las principales características de estos muros son: el contrafuerte es un elemento de unión entre la pared vertical y la zapata, que evita el giro y colapso que pueda tener la pantalla debido al empuje de las tierras. Estos contrafuertes están sujetos a tensiones y por lo tanto requerirán acero a lo largo de AB (longitud) .Así mismo debe anclarse tanto en la pantalla como en la zapata de cimentación. La separación económica entre contrafuertes puede obtenerse por la ecuación empírica propuesta , con ligeras modificaciones: $S = 0.75 + 0.30H < 3.00m$ Siendo S la separación entre ejes, en metros, y h la altura del contrafuerte en metros. Otros autores aconsejan emplear una separación máxima de 3m. La estabilidad exterior y el deslizamiento se investiga para una unidad de contrafuerte de longitud correspondiente a la misma que existe entre contrafuerte. La longitud de la zapata puede quedar, aproximadamente siendo igual a la mitad del muro y con un 30% de dicha longitud formando el pie de la zapata y el resto para talón.

CAPITULO II

DIMENSIONAMIENTO

2. Dimensionamiento.

2.1. Estabilidad.

Tanto el peso, como las dimensiones de un muro hacen que este sea una solución eficiente como sistema de contención de tierras. La construcción de un muro de contención, puede tener una finalidad estructural, pero también de decoración y mejora estética del espacio y de las áreas de su alrededor. Para el diseño de muros de contención es necesario analizar tanto la estabilidad interna como la estabilidad externa del conjunto que se forma con la estructura de contención.

2.2. Estabilidad Interna

Realizamos este análisis, basado en las teorías clásicas de impulsos de tierras de Coulomb y Rankine, determinando a través de ellas los esfuerzos verticales y horizontales en ciertos niveles o alturas del suelo. **Hipótesis de Coulomb.** Estableció un estudio coherente de equilibrio en el momento de la rotura de un suelo situado tras un muro de contención para simplificar el análisis matemático. Esto en base a que observó que los derrumbes de los muros de contención daban lugar al deslizamiento de una cuña de tierra de forma muy parecida a un área triangular.

Así entonces, supone que el material de relleno es un material indeformable pero vulnerable al rompimiento y sustentó su teoría en la hipótesis de que el empuje activo resultaba del equilibrio del peso de esa cuña, con la reacción actuando a lo largo del plano, donde antes del deslizamiento se alcanzaba la resistencia al corte del suelo. Podemos resumir para un mejor entendimiento que, Coulomb supuso que el empuje activo de un suelo contenido por un muro, dependía del peso en equilibrio de esa masa de suelo y que la forma más cercana a esta masa de suelo era una sección triangular. Como complemento a su análisis inicial, Coulomb incluyó la hipótesis que determinaba que el punto de aplicación del empuje lateral del suelo estaba situado a un tercio de la altura del muro.

Hipótesis de Rankine. Como resultado de un estudio analítico de las tensiones, Rankine formó la hipótesis en la que consideraba que la masa de suelo en estudio está compuesta de un material homogéneo y que no presenta cohesión, por lo cual el peso específico y el ángulo de fricción interna, serían constantes en cualquier punto del terreno y que todos los puntos de la superficie plana, paralela a la superficie libre, se encuentran en el mismo estado de tensión. Establece también que la masa de tierra se encuentra en estado de equilibrio elástico o equilibrio límite estable cuando se produce el empuje activo. Esto cuando se permite la expansión lateral de la masa de suelo.

Teoría de Mononobe-Okabe. Para determinar el empuje activo dinámico de un suelo es necesario un análisis complejo de la interacción suelo-estructura,

es por esto que quienes han investigado sobre este tema han adoptado hipótesis simplificadas, para lo cual se ha considerado que el relleno es de un material granular no saturado, evitando así el cálculo de empujes adicionales producto de humedades excesivas y además que la cimentación es indeformable.

Mononobe y Okabe también basaron su análisis en estas hipótesis, incluyendo la consideración de que una cuña de suelo de forma muy próxima a triangular y rígida, producto de un efecto sísmico, se desliza sobre un plano de falla (su base), colisionando con la pantalla del muro que la soporta hasta ser contenida y provocando un empuje activo dinámico (**E_{ad}**) superior al estimado (empuje activo horizontal **E_{ah}**) en el diseño inicial del muro.

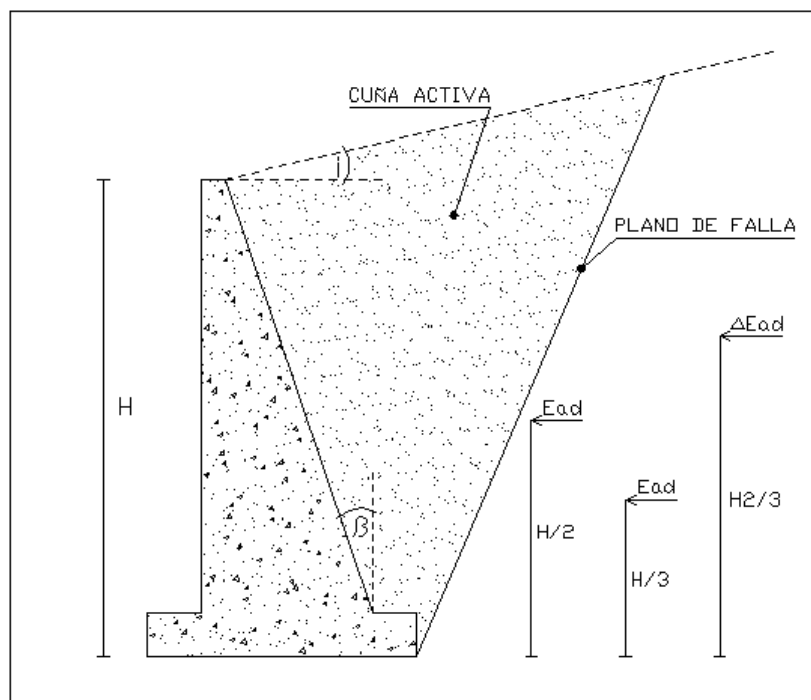


Figura 5. Empujes actuantes en muros de contención con contrafuertes.

Luego de realizar un estudio de la influencia de los parámetros que intervienen en la teoría de Mononobe-Okabe; Terzariol en 1987 pudo concluir que el ángulo de fricción entre el muro y el suelo de relleno (δ) no tiene una influencia significativa, siendo el ángulo de fricción del suelo (ϕ) la variable más trascendente, y que la pendiente del talud de relleno (i) estará restringida a un valor máximo debiendo cumplir $(\phi - \delta - i \geq 0)$. Terzariol demostró también que no habrá variaciones significativas en el valor del empuje activo dinámico si en lugar de considerar dos empujes (**E_{ad}** y **ΔE_{ad}**), se considera que el empuje total actúa a $0.5 H$.

El coeficiente sísmico horizontal (k_h) se toma de la NSR-10, según la zona sísmica en la que se ubicará el muro;

NSR-10 — Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño

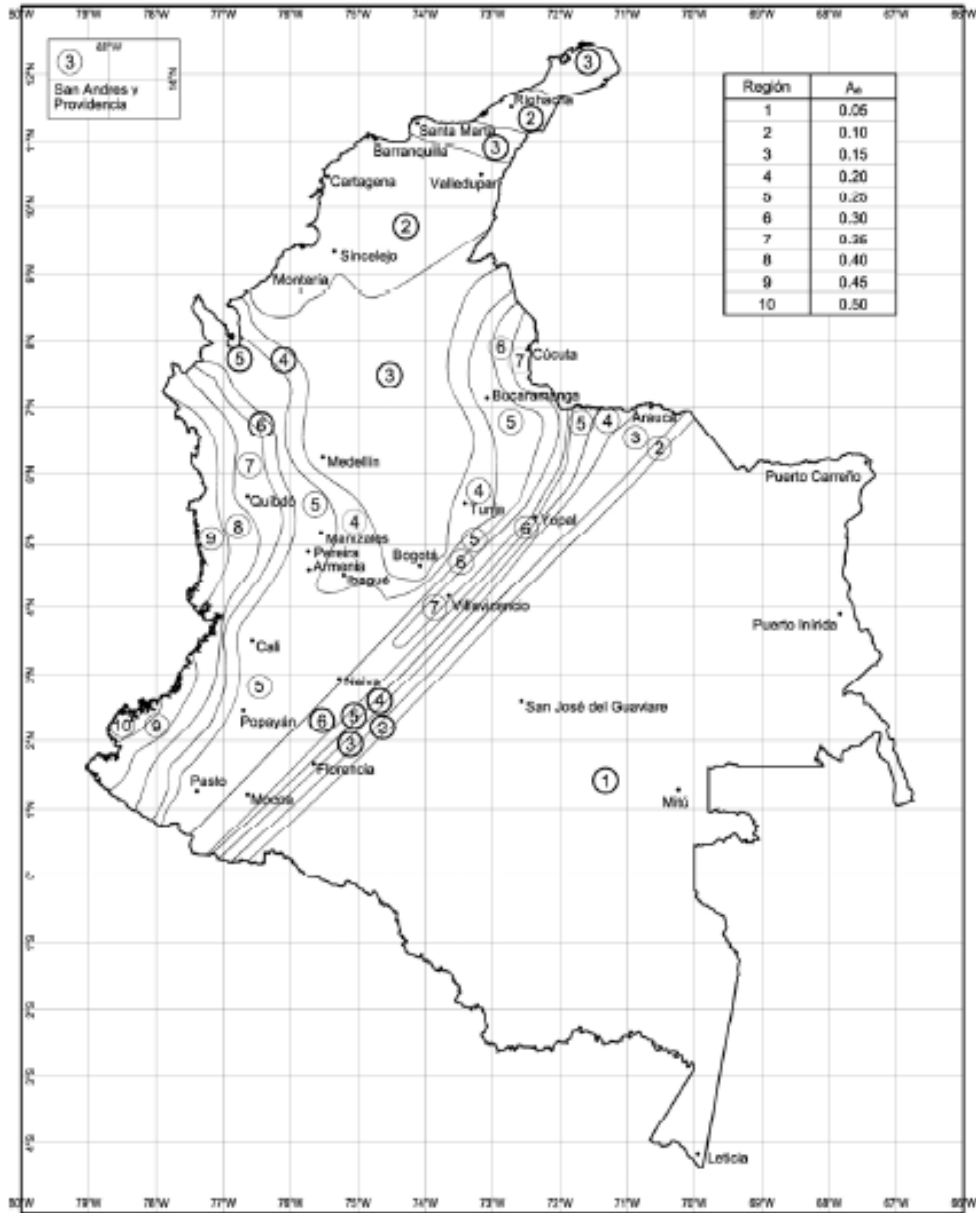


Figura A.2.3-2 — Mapa de valores de A_a

A-18

Figura 6. Mapa de valores de A_a - Colombia

2.3. Estabilidad Externa.

Para analizar este parámetro se aplicaran los métodos ya conocidos de cálculo y determinación de estabilidad para muros de contención. Para el estudio y determinación de la estabilidad externa de una obra de contención es necesario analizar todos los aspectos relativos a esta condición, tales como asentamiento, seguridad al vuelco y desplazamiento del muro.

2.3.1 Asentamientos.

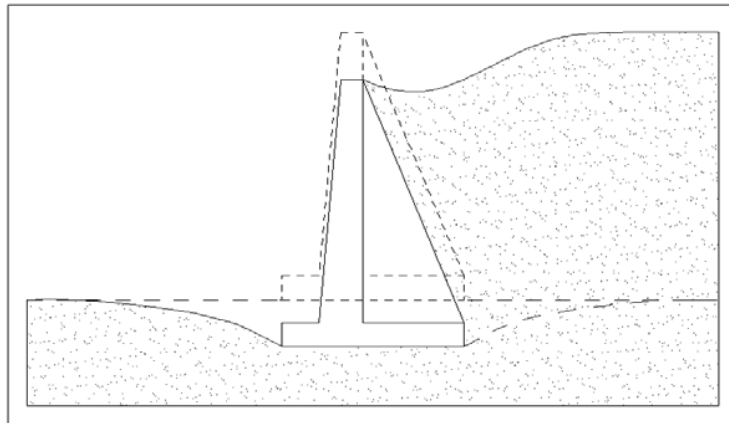


Figura 7. Asentamientos en muros con contrafuertes

Para el diseño y construcción de toda estructura se deben considerar los asentamientos de esta, ya que estamos aumentando la carga que soporta el suelo, transmitida a través de la cimentación de la estructura. Esta carga será la resultante del peso propio del elemento, la carga muerta y la carga viva relativas al conjunto estructural. Los asentamientos en las obras de contención están necesariamente contemplados, ya que estas están apoyadas en suelos cuyas características de estabilidad y capacidad de soporte de carga, no son obviamente, de seguridad ni tampoco las mejores. Se ha podido establecer diferencias y reconocer los asentamientos del elemento estructural, y los asentamientos del suelo que lo soporta.

Estas variaciones en la estructura de un suelo pueden presentarse en tres etapas; inicialmente, es decir durante la construcción del elemento que soportara; inmediatamente después de concluida su construcción y en un corto plazo; y a largo plazo, es decir durante la vida útil del elemento cargado. Los valores admisibles o permitidos de asentamientos para obras de contención, dependen del servicio final la misma, siendo restringidos si sobre el muro o el suelo que soporta, se planifica una obra adicional o continua.²³

Este parámetro pierde importancia si el propósito final del muro, es la simple contención de una masa de suelo.

2.3.2 Seguridad al vuelco.

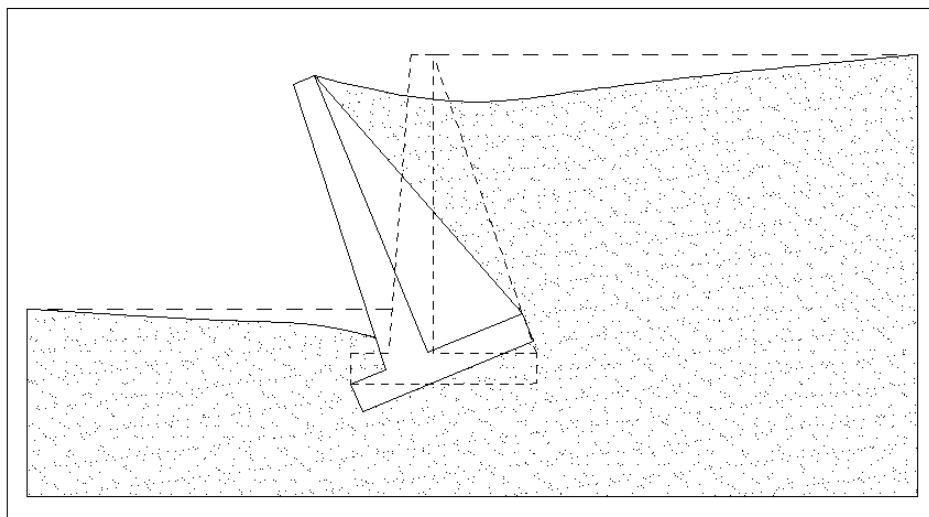


Figura 8. Falla por volcamiento

El empuje del suelo de relleno en la parte posterior de la pantalla del muro de contención (trasdós) provoca un momento cuyo valor es proporcional a la altura del muro, e inverso al ángulo de fricción del suelo. Para este efecto de momento, se supone que el punto de giro está ubicado en la esquina inferior izquierda de la base del muro, y el cálculo estructural y la excentricidad del muro se debe realizar comprobando que la estabilidad del muro, aplicado el empuje del suelo, cumple con los factores de seguridad al volcamiento del muro. Para este parámetro de diseño se debe analizar también, la capacidad admisible de carga del suelo en el cual estará cimentado o apoyado el elemento de contención. El peso total del conjunto muro-suelo, debe ser menor a la capacidad de carga del suelo que soporta al conjunto.

2.3.3 Desplazamiento.

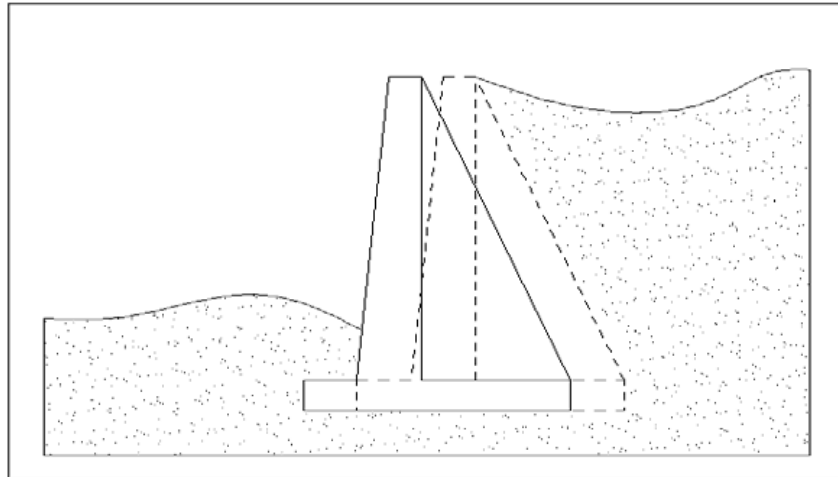


Figura 9. Falla por desplazamiento - deslizamiento

La falla de un conjunto, muro–suelo en contención, puede producirse por el desplazamiento de este conjunto, consecuencia de un empuje cuyo valor es superior a la fuerza de fricción que el suelo y la base del muro aportan al conjunto. El valor de la fuerza de fricción es muy importante en el diseño del muro ya que esta fuerza junto con el empuje pasivo, determinan el valor del factor de seguridad al deslizamiento. La fuerza de fricción (**Fr**) es el producto entre el coeficiente de fricción (**fr**) y la fuerza aplicada; a continuación tabulamos algunos valores de coeficientes.

Material	fr
Arena o grava gruesa sin limo.	0.5-0.7
Materiales granulares gruesos con limo.	0.45
Arena o grava fina.	0.4-0.6
Arcillas densas.	0.3-0.5
Arcillas blandas o limo.	0.2-0.3

Tabla 1.

2.4. Efectos Sísmicos

Las estructuras de contención, bajo condiciones estáticas, están sometidas a fuerzas relacionadas con la masa del muro, el empuje del suelo contenido, y a fuerzas externas como tirantes o rellenos de nivel en el frente del muro. El diseño de una estructura de contención debe establecer el equilibrio entre estas fuerzas, logrando que los esfuerzos resultantes de todo el conjunto no se aproximen demasiado a los valores de resistencia al corte del suelo que soporta el elemento,

es decir, exista un rango de seguridad en la proximidad entre estos valores. Para el diseño se debe prever que en un sismo, las fuerzas inerciales y los cambios en la resistencia de los suelos pueden afectar el equilibrio del muro y producir deformaciones excesivas y permanentes en el cuerpo y en la cimentación del muro, dando lugar a las fallas por asentamiento, deslizamiento o vuelco. El comportamiento de un muro de contención o estabilización durante un evento sísmico, dependerá de la presión lateral total que el suelo le proporciona al muro durante el movimiento o vibración provocados por el sismo. Esta presión incluye tanto la presión gravitacional estática que existe antes de que el sismo ocurra, como la presión dinámica inducida por el sismo.

Tal como se redactó anteriormente, Mononobe y Okabe (M-O) desarrollaron las bases de un análisis pseudo-estático con el fin de estimar las presiones que ejercen los suelos sobre los muros de contención durante un movimiento sísmico, dando así origen al método de Mononobe-Okabe. Este método incluye en el cálculo la valoración de aceleraciones pseudo-estáticas horizontales y verticales, actuantes sobre la cuña activa de Coulomb. El empuje dinámico (sísmico) del suelo, se obtiene entonces a partir del equilibrio de la cuña luego de chocar esta, con la pantalla del muro.

CAPITULO III

DISEÑO DE MUROS

3. Diseño De Muros

3.1. Pre-dimensionamiento

Para el diseño real y definitivo de un muro de contención, resulta necesario realizar un pre-diseño del mismo, en el cual tomaremos en cuenta solamente los más importantes aspectos, relativos a la función final del muro y a las dimensiones y distancias que este deberá cubrir.

Los parámetros a considerar en el pre-diseño, 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.

3.2. Dimensiones Del Muro

Como ya se especifico anteriormente, para el diseño de cualquier tipo de obra civil, se requiere de un pre-diseño. Para las estructuras de contención se han normado las dimensiones internas de sus elementos en base a las experiencias de diseño y pruebas de laboratorio, tomando como puntos de partida los valores mínimos o recomendados que los análisis y cálculos han arrojado.

Para el pre-diseño de un muro de contención con contrafuertes, se recomienda mantener las dimensiones en las siguientes relaciones.

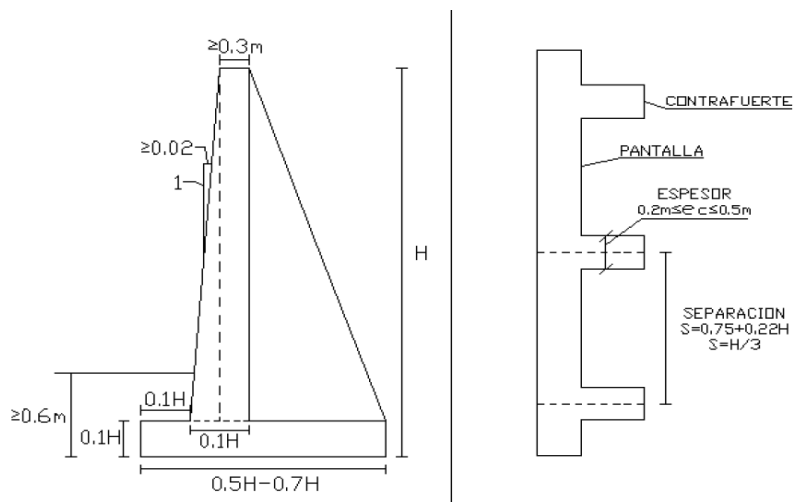


Figura 10. Predimensionamiento de muros con contrafuertes

La separación (S) entre contrafuertes será cualquiera de los valores obtenidos con las relaciones especificadas; dado que en la práctica estos valores rara vez coincidirán, se aconseja tomar un valor promedio entre los obtenidos. El espesor (e_c) de los contrafuertes, se tomará en relación a la altura de la pantalla, es decir, ya que los muros con contrafuertes se emplean para alturas mayores a los 8 metros, mientras la altura sea más cercana a los 8m., menor será el espesor del contrafuerte y viceversa.

3.3. Diseño De Muros Con Contrafuertes

Puesto que el siguiente método considera una carga (talud del relleno) de forma rectangular con altura (W) y el método M-O considera una carga de forma triangular con inclinación (i), es preciso indicar que para diseñar un muro por ambos métodos, no se deberá proyectar sobre este, dichas cargas; es decir (W) e (i) serán igual a cero. Para el diseño de un muro de contención, es necesario realizar un análisis del suelo sobre el que se construirá el muro, de este análisis obtendremos las características más importantes del suelo y que influyen de una manera tan significativa que definen las dimensiones inicialmente asumidas, así como el diseño final del muro.

Estas características del suelo consisten en el peso específico (γ), el ángulo de fricción (ϕ), el coeficiente de fricción (fr), la capacidad admisible del suelo (q_{adm}) y la carga (W). El coeficiente de rozamiento (fr) 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 ($\gamma_H = \gamma_{concreto}$) y la resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$), y el esfuerzo de fluencia del acero (f_y).

Empezamos dividiendo en figuras regulares la sección del muro.

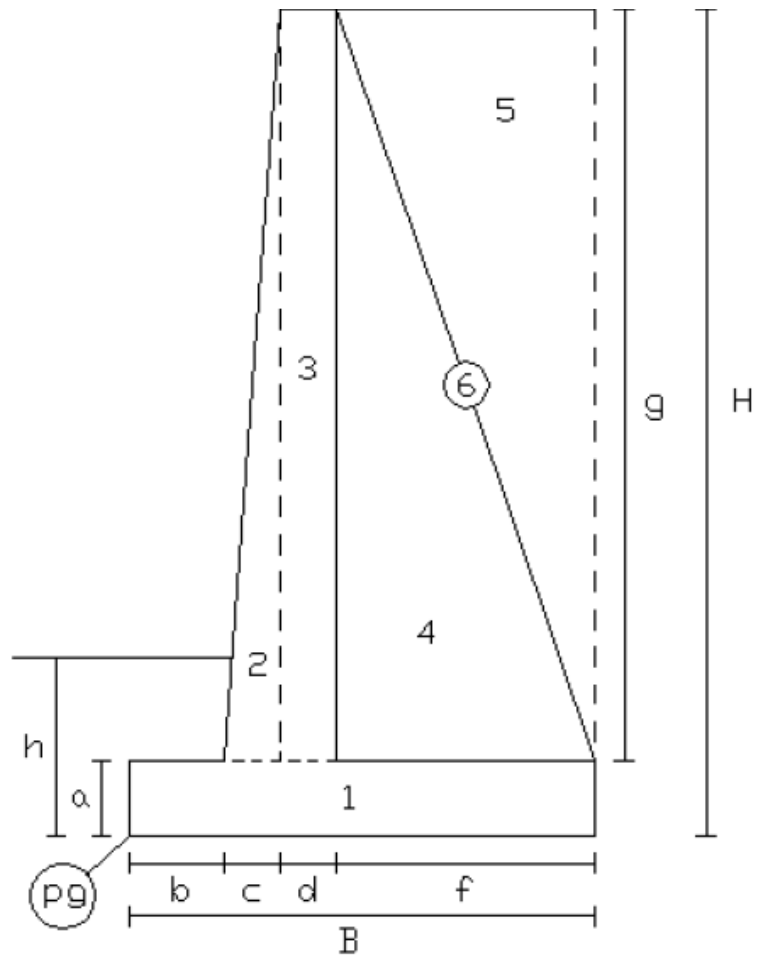


Figura 11. División e identificación de las secciones del muro con contrafuertes

Separación entre contrafuertes (S).- Se escogerá un valor medio entre:

$$s = 0,75 + 0,22H \qquad s = \frac{H}{3}$$

Espesor del contrafuerte (e_c).- Su valor estará comprendido entre:

$$0,2m \leq e_c \leq 0,5m$$

Siendo este valor proporcional a las alturas que este tipo de muros pueden cubrir.

Determinamos la sumatoria de fuerzas verticales (ΣV) y el momento estabilizador (M_e).

Figura	factor	Base	Ancho	Altura	W material	W total	Brazo	M
1	1	B	S	a	Y_H	$B \cdot a \cdot S \cdot Y_H$		
2	0.5	c	S	g	Y_H	$c \cdot g \cdot S \cdot Y_H$		
3	1	d	S	g	Y_H	$d \cdot g \cdot S \cdot Y_H$		
4	0.5	f	e	g	Y_H	$f \cdot g \cdot e \cdot Y_H$		
5	0.5	f	e	g	Y	$f \cdot g \cdot e \cdot Y$		
6	1	f	$S - e_c$	g	Y	$f \cdot g \cdot (S - e) \cdot Y$		
						Σv		$\Sigma M = M_e$

Los valores de la columna (factor) son coeficientes para el cálculo del área de cada figura, (1) para las figuras rectangulares y (0,5) para las triangulares. El (Brazo) se medirá con respecto al punto inferior izquierdo (pg) de la base del muro

Cálculo de empujes.

Coeficiente de presión activa horizontal ($K_a = C_{ah}$):

$$C_{ah} = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi}$$

Coeficiente de presión pasiva horizontal ($K_p = C_{ph}$):

$$C_{ph} = \frac{1 + \text{sen}\phi}{1 - \text{sen}\phi}$$

Empuje horizontal.- Empuje activo horizontal (E_{ah}) y empuje pasivo horizontal (E_{ph}). Estos valores son equivalentes a las áreas de los diagramas de presiones triangulares; (es de aclarar que para nuestro programa el W es igual a cero).

$$E_{ah} = \frac{1}{2} C_{ah} * \gamma * H(H + 2W)$$

$$E_{ph} = \frac{1}{2} C_{ph} * \gamma * h^2$$

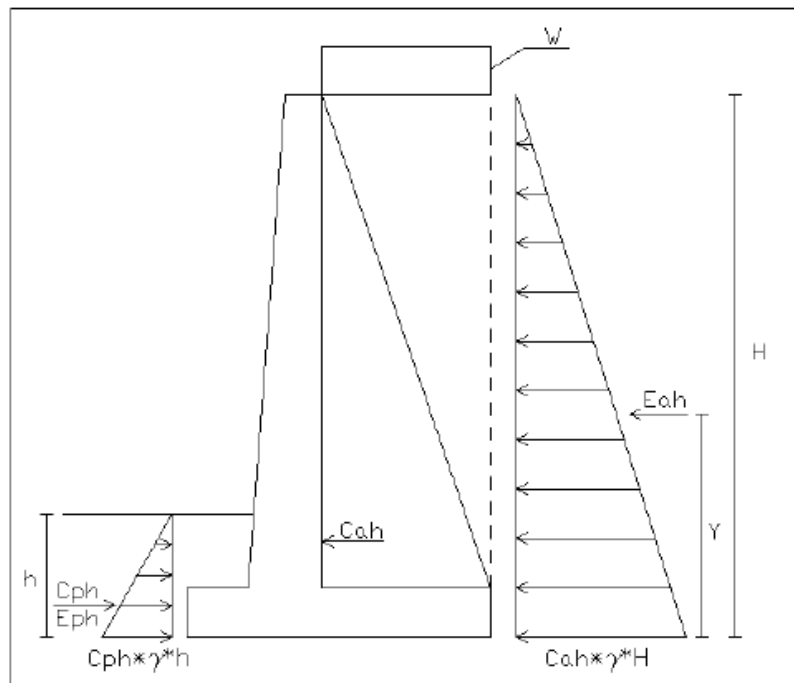


Figura 12. Empujes actuantes en el muro con contrafuertes

Empuje por ancho cooperante.- Equivalente al empuje activo horizontal total entre los ejes de los contrafuertes.

$$E_{ahc} = E_{ah} * S$$

Posición de la resultante:

$$Y = \frac{H^2 + 3HW}{3(H + 2W)}$$

Seguridad al volcamiento - Momento de volcamiento (Mv):

$$Mv = E_{ahc} * Y$$

Factor de seguridad al volcamiento (Fsv):

$$Fsv = \frac{Me}{Mv} \geq Fsv(\text{inicial})$$

Seguridad al deslizamiento - Factor de seguridad al deslizamiento (Fsd):

$$Fsd = \frac{Fr + Eph}{\sum Fd} = \frac{f_r * (\sum V) + Eph}{\sum Fd} \geq Fsd(\text{inicial})$$

Donde (Fr) es la fuerza de fricción y (fr) el coeficiente de fricción.

Seguridad de falla por capacidad de carga.

Excentricidad.- Respecto al centro de gravedad de la base.

$$e = \frac{B}{2} - \frac{Me - Mv}{\sum V}$$

Se debe cumplir la siguiente condición para evitar esfuerzos de tracción del suelo, ya que estos son muy pequeños. En caso de no cumplirse esto, se deberá aumentar la base del muro.

$$e \leq \frac{B}{6}$$

Presión vertical.- Es la presión transmitida al suelo por la losa de la base. Estos valores no deberán ser mayores a la capacidad admisible del suelo (q_{adm}).

$$q_{max} = \frac{\sum V}{A} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) < (q_{adm}) \quad q_{min} = \frac{\sum V}{A} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) < (q_{adm})$$

Donde (A) es el área de la base entre los ejes de los contrafuertes.

Diseño de la pantalla.

Cálculo de momentos y cortantes.- Estos valores se calcularán según ACI 360-05-LRFD 94.

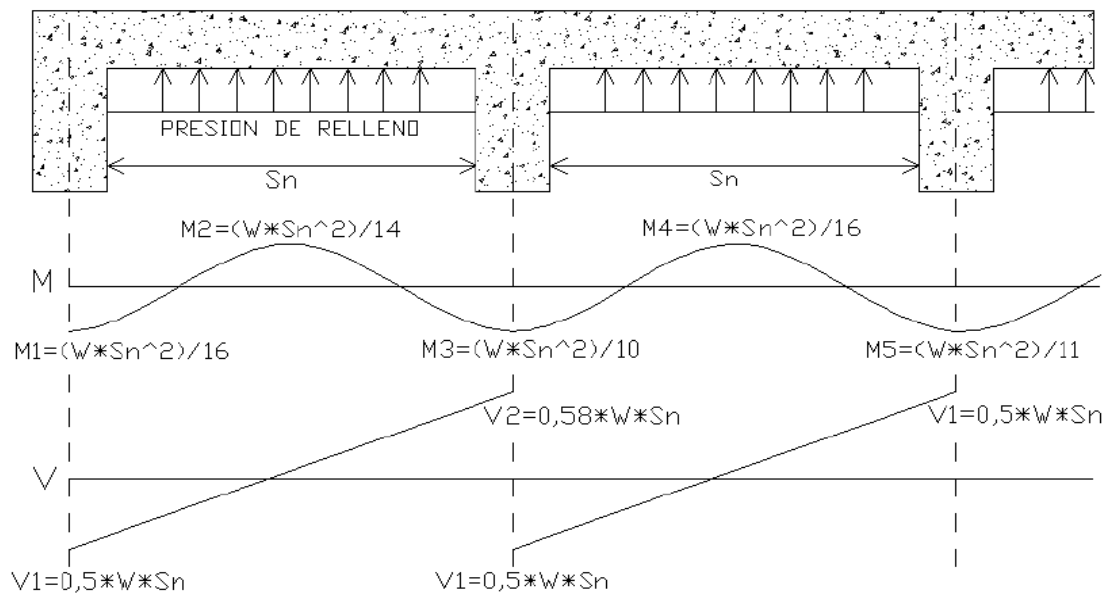


Figura 13. Diagrama - valores de momentos y cortantes actuantes

Momentos.- Se calcula todos los valores de los momentos, para el (W) de cada sección.

$$M_1 = \frac{1}{16} W' * S_n^2$$

$$M_2 = \frac{1}{14} W' * S_n^2$$

$$M_3 = \frac{1}{10} W' * S_n^2$$

$$M_4 = \frac{1}{16} W' * S_n^2$$

$$M_5 = \frac{1}{11} W' * S_n^2$$

Cortantes.- Se calcula el valor de cada cortante, para el (W) de cada sección.

$$V_1 = 0,50 * W' * S_n$$

$$V_2 = 0,58 * W' * S_n$$

Empuje por secciones:

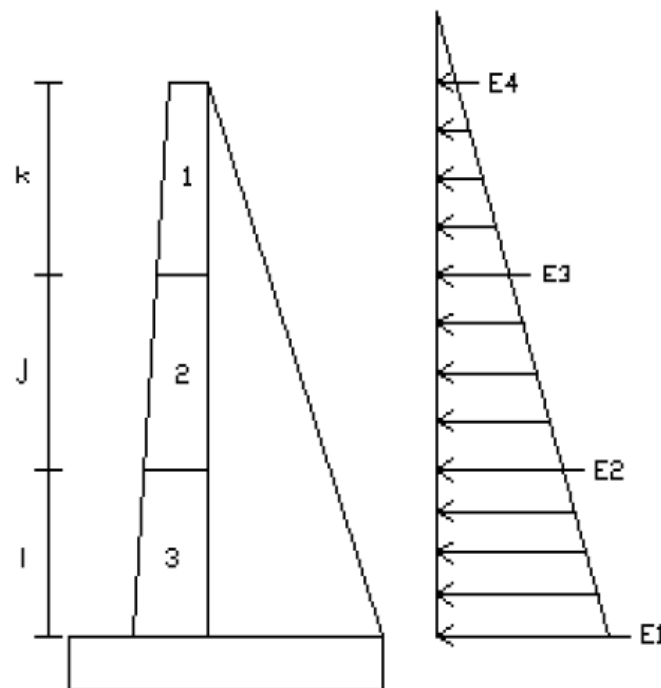


Figura 14. División del vástago del muro

$$E_1 = C_{ah} \cdot \gamma \cdot h \cdot 1.4 \rightarrow h = (i+j+k)$$

$$E_2 = C_{ah} \cdot \gamma \cdot h \cdot 1.4 \rightarrow h = (j+k)$$

$$E_3 = C_{ah} \cdot \gamma \cdot h \cdot 1.4 \rightarrow h = (k)$$

$$E_4 = C_{ah} \cdot \gamma \cdot h \cdot 1.4 = 0 \rightarrow h = (0)$$

Presiones promedio en cada tramo de pantalla:

$$\text{Sección 1. } W'_1 = \frac{E_3 + E_4}{2}$$

$$\text{Sección 2. } W'_2 = \frac{E_2 + E_3}{2}$$

$$\text{Sección 3. } W'_3 = \frac{E_1 + E_2}{2}$$

Con (W) de cada sección, obtendremos los cinco momentos y dos cortantes correspondientes a cada una de ellas.

Sección	M1	M2	M3	M4	M5	V1	V2
1							
2							
3							

De estos valores de momentos, se considerará el mayor (M_{Max}), para calcular la cuantía de acero.

Cuantía de acero:

$$\rho_b = 0,85 * f'c * \frac{\beta}{fy} * \frac{600372}{600372 + fy}$$

Donde: $\beta=0,85$.

Cuantía máxima de acero:

$$\rho_{max} = 0,75 * \rho_b$$

Se verifica el espesor mínimo requerido por flexión, utilizando la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{\Phi * R_u * b}}$$

$$R_u = \rho_{max} * fy * \left(1 - 0,59 * \rho_{max} * \frac{fy}{f'c}\right)$$

Donde $\Phi = 0,90$ y $b = 1$

Verificación de corte: Se considera el mayor valor de los cortantes de cada sección.

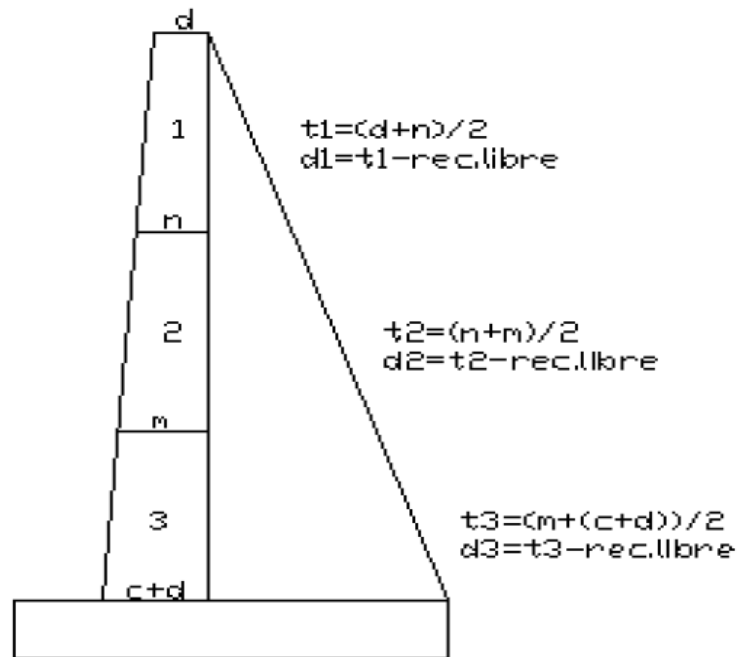


Figura 15. División del vástago del muro para verificación del cortante

Sección 1: $v_1 = \frac{V_{secc.1}}{b * d_1}$

Sección 2: $v_2 = \frac{V_{secc.2}}{b * d_2}$

Sección 3: $v_3 = \frac{V_{secc.3}}{b * d_3}$

$$\phi V_{adm} = 0.85 * (\sqrt{f'c}/6)$$

Con los valores máximos del cortante de cada sección, se deberá cumplir:

$$v_1 < \phi V_{adm}$$

$$v_2 < \phi V_{adm}$$

$$v_3 < \phi V_{adm}$$

Si esto no se cumple, se debe aumentar el espesor de la pantalla y recalcular.

Determinación de la armadura (A_s): Se calcula para cada sección, utilizando la siguiente formula.

$$A_s = \phi * \frac{f'c}{f_y} * b * d * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * M_u}{\Phi * b * d^2 * f'c}} \right)$$

Donde: $\phi = 0,85$

$b = 1$ metro (ancho de franja).

$d = d1, d2, d3$.

$M_u =$ Momentos en cada sección.

$\Phi = 0,90$

Armadura mínima: $0.0033 * \rho * b * d$

Donde $b=1$ m y $d= d1, d2, d3$

Sección	M1	M2	M3	M4	M5
1	As				
	As min.				
2	As				
	As min.				
3	As				
	As min.				

El área de acero para cada sección será el mayor valor entre (A_s) y ($A_{s \text{ min}}$) de los cinco momentos calculados.

Armadura por temperatura: $A = 0.0022 * b * t$

De este valor se distribuye 1/3 para la cara interior (trasdós) y 2/3 para la cara exterior (intradós).

$$A_s \text{ cara interior} = A_{sh} / 3$$

$$A_s \text{ cara exterior} = A_{sh} * 2 / 3$$

Diseño del dedo o puntal.

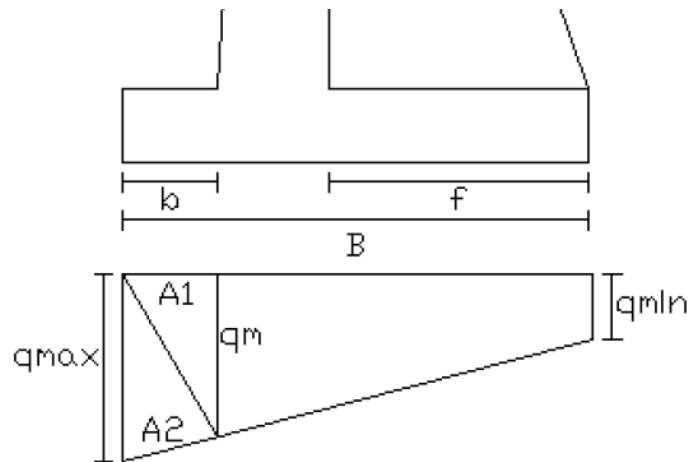


Figura 16. Diseño del puntal

Los nuevos valores de (q_{max}) y (q_{min}) son los calculados anteriormente multiplicados por un factor de mayoración de cargas (1.7) , ($A1$) y ($A2$) son las áreas de los triángulos correspondientes.

Determinamos el valor de (V_u): $V_u = A1+A2$

Verificación de corte:

$$v_u = \frac{V_u}{b * d}$$

Donde (b)= 1m (ancho de franja) y (d)= altura del dedo menos recubrimiento libre. Se deberá cumplir:

$$v_u < \phi V_{adm}$$

Si esto no se cumple se deberá aumentar la altura del dedo y recalcular.

Momento en la cara de la pared:

$$M_u = A_1 * \left(\frac{b}{3}\right) + A_2 * \left(\frac{2 * b}{3}\right)$$

Donde (b) es la longitud del dedo o puntal.

Armadura por flexión:

$$A_s = \phi * \frac{f'c}{fy} * b * d * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * M_u}{\Phi * b * d^2 * f'c}}\right)$$

$$\phi = 0,85$$

b = 1 metro (ancho de franja).

d = altura del dedo menos recubrimiento libre.

M_u = Momento en la cara de la pared.

$$\Phi = 0,90$$

Armadura mínima: $0.0033 * \rho * b * d$

La cantidad de armadura será el mayor valor entre (A_s) y (A_{smin}). Estará ubicada a lo largo de la cara inferior del dedo o puntal.

Armadura por temperatura: $A = 0.0022 * b * t$

Donde b= 1m y t= altura del dedo o puntal.

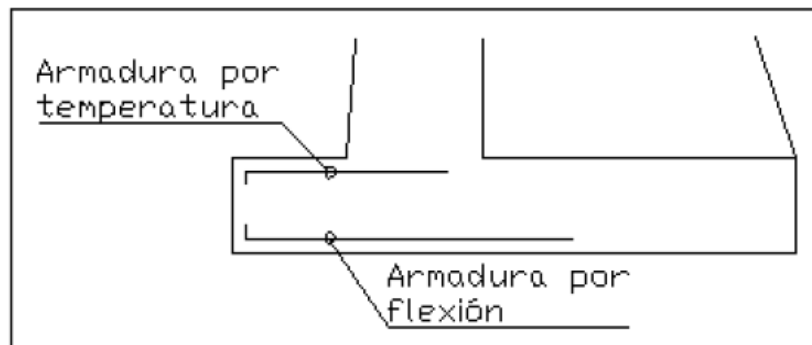


Figura 17. Acero del puntal

Diseño del talón.

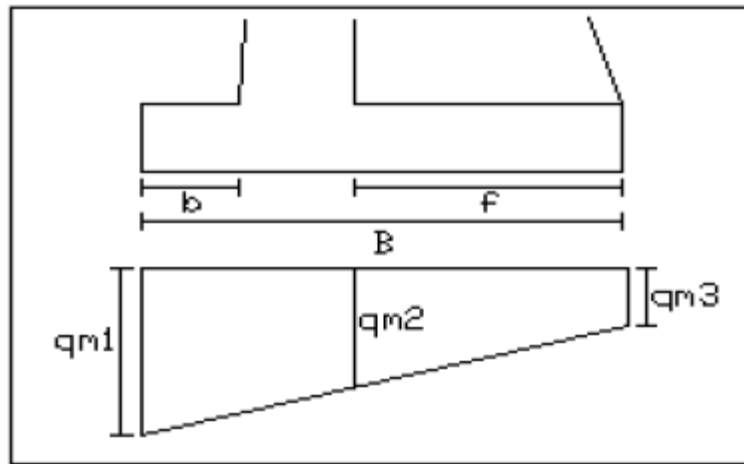
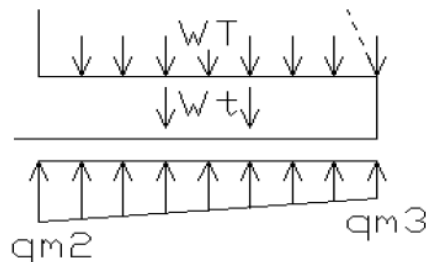


Figura 18. Diseño del talón

Los valores de (q_{m1}) y (q_{m3}) son los calculados inicialmente (q_{max}) y (q_{min}) , respectivamente, multiplicados por un factor de mayoración (1.7) de cargas.



(W_T) = Sumatoria del peso de las figuras 4, 5, y 6.

$$W_t = f * a * S * \gamma_H$$

$$\nu u = (W_T + W_t) * \text{fact. mayoración}$$

Presión:

$$P_r = \nu u / (f * S)$$

Momento en el talón.- Para el cálculo del momento se considerará el mayor valor entre:

$$M_{(+)} = \frac{W * S n^2}{12} \qquad M_{(-)} = \frac{W * S n^2}{10}$$

Donde (**W**) será el mayor valor entre ($P_r - q_{m2}$) y ($P_r - q_{m3}$).

Armadura por flexión:

$$A_s = \phi * \frac{f'c}{fy} * b * d * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * M_u}{\Phi * b * d^2 * f'c}} \right)$$

Donde: $\phi = 0.85$

$b = 1$ metro (ancho de franja).

$d =$ altura del talón menos recubrimiento libre.

$M_u =$ Momento en la cara de la pared.

$\Phi = 0.90$

Armadura mínima: $0.0033 * \rho * b * d$

La cantidad de armadura será el mayor valor entre (A_s) y (A_{smin}). Estará ubicada tanto en la cara superior como en la cara inferior del talón.

Armadura por temperatura: $A = 0.0022 * b * t$

Donde $b = 1$ m y $t =$ altura del talón

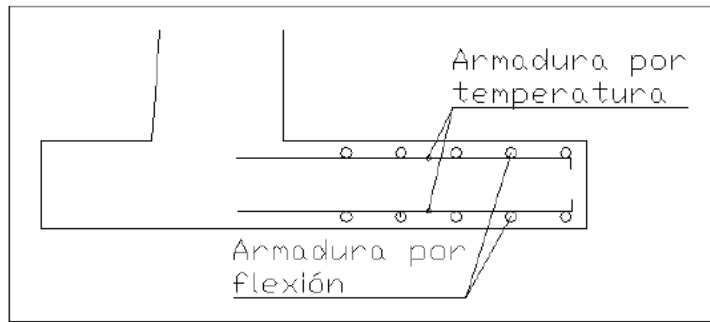


Figura 19. Acero del talón

Diseño del contrafuerte.

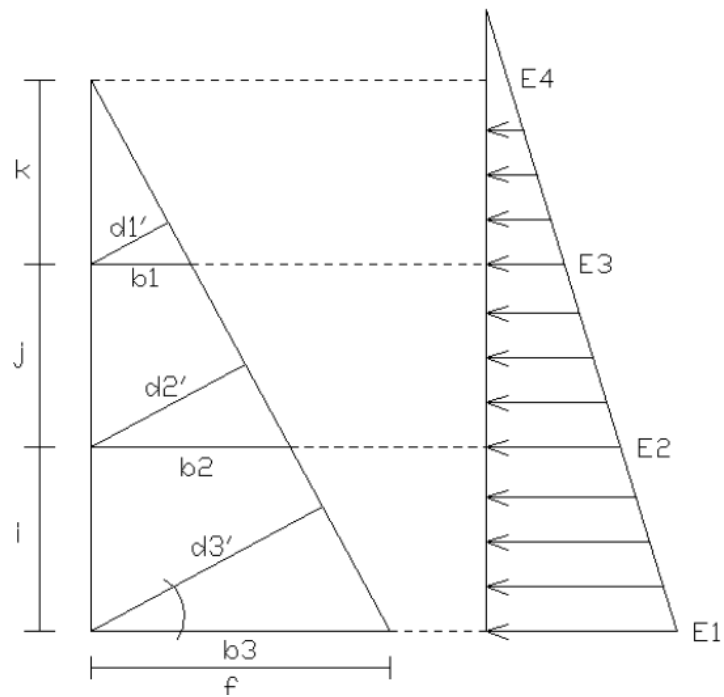


Figura 20. Diseño del contrafuerte

Momento flector:

Sección	Pr	h	F	F*h	Y	M
1	E3	k	W1*k			
2	E2	j	W1*k+W2*j			
3	E1	i	W1*k+W2*j+W3*i			

Donde (W) es la presión en cada sección, (S) la separación entre contrafuertes, y (Y) la posición de la resultante en cada sección:

$$Y = \frac{H^2 + 3HW}{3(H + 2W)}$$

Diseño a flexión:

Sección	b	d	dc	As	As min
1	b1	d1'	d1'-rec.libre		
2	b2	d2'	d2'-rec.libre		
3	b4	d3'	d3'-rec.libre		

Para el cálculo de (As) y (As min), (b) será el espesor del contrafuerte.

Diseño de armadura de anclaje horizontal pantalla-contrafuertes.

$$A_{v1} = \frac{V1 + V2}{\Phi * fy}$$

Se calcula (A_{v1}) para cada sección, se divide a la mitad para las dos ramas y se toma el mayor de los tres valores.

Espaciamiento máximo.

$$S_{max} \leq \text{Espesor contrafuerte}$$

Diseño de armadura de anclaje vertical cimentación-contrafuertes.

$$R_1 = 1.08 * W * S_n$$

Donde (W) será el mayor valor entre $(P_r - q_{m2})$ y $(P_r - q_{m3})$, y (S_n) la separación entre contrafuertes.

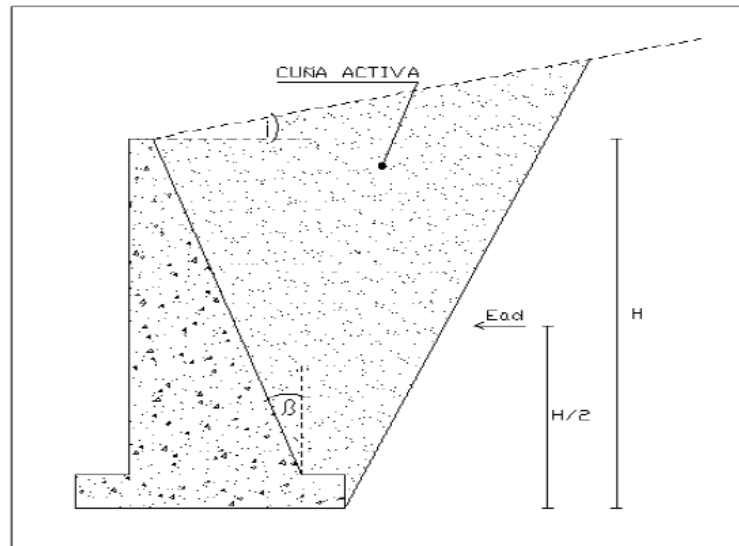
$$A_{s1} = \frac{R_1}{\Phi * f_y} \qquad A_{s2} = \frac{R_1/2}{\Phi * f_y}$$

Empuje Dinámico (Mononobe-Okabe).

Para aplicar este método debemos conocer el peso específico (γ) y el ángulo de fricción (ϕ) del suelo de relleno, así como el ángulo de fricción (δ) entre el suelo de relleno y el trasdós del muro, tabulamos algunos valores:

Material	δ°
Roca sana limpia.	35
Grava limpia, mezclas de grava-arena, arena gruesa.	29-31
Arena: limpia fina-media, limosa media-gruesa, grava limosa o arcillosa.	24-29
Arena: limpia fina, limosa, arcillosa fina-media.	19-24
Arcilla arenosa fina, limo no plástico.	17-19
Arcilla pre consolidada o residual muy rígida o dura.	22-25
Arcilla media rígida-rígida y arcilla limosa.	17-19
Roca débil sobre roca débil.	35
Roca dura sobre roca débil.	33
Roca dura sobre roca dura.	29
Acero sobre acero en empalmes de tablestacas.	17

El método de Mononobe-Okabe, como ya se indicó anteriormente, considera el empuje del suelo de relleno como la acción de una cuña triangular activa de suelo sobre la pantalla del muro, este empuje se calculará así:



$$\theta = \text{arc. tag} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right)$$

Figura 21. Esquema para el método de Mononobe-Okabe

Donde (K_h) será el coeficiente sísmico horizontal y (K_v) el coeficiente sísmico vertical, correspondientes a la zona para la cual se diseñará el muro. Puesto que estamos diseñando un muro con contrafuertes, el ángulo de inclinación (β) entre el trasdós y la vertical se considera igual a cero, y el valor del ángulo (i) entre el talud de relleno y la horizontal, estará condicionado a cumplir:

$$\phi - \theta - i \geq 0$$

Coeficiente de empuje activo dinámico:

$$K_{ad} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta * \cos^2\beta * \cos(\delta + \beta + \theta) * \left(1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) * \cos(i - \beta)}}\right)^2}$$

Empuje activo dinámico:

$$E_{ad} = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * (1 - K_v) * K_{ad}$$

Empuje por ancho cooperante.- Equivalente al empuje dinámico horizontal total entre los ejes de los contrafuertes.

$$E_{adc} = E_{ad} * S$$

CAPITULO IV

MANUAL-GUIA DEL PROGRAMA MCC

4. Manual-Guía Del Programa MCC

4.1. Manejo De Software Diseño De Muros De Contención Con Contrafuerte MCC



La presente herramienta (software) nos permite realizar el diseño de un muro de contención con contrafuertes, basado en el empuje activo horizontal cooperante (Eahc) según Rankine, o en el empuje activo dinámico cooperante (Eadc) 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.

MANEJO DEL SOFTWARE MCC

Al momento de ejecutar el programa se abre una ventana donde se muestra una serie de pestañas (8 en total) que son las que nos llevan al diseño final del **MURO DE CONTENCIÓN CON CONTRAFUERTE**.

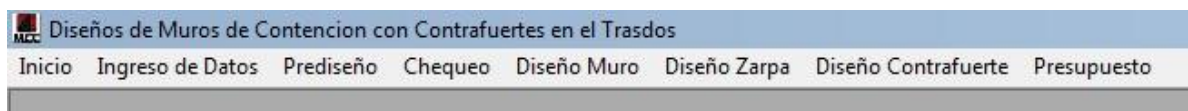






Figura 1. Pestañas involucradas por el software

A continuación numeramos cada una de las pestañas con su respectiva descripción.

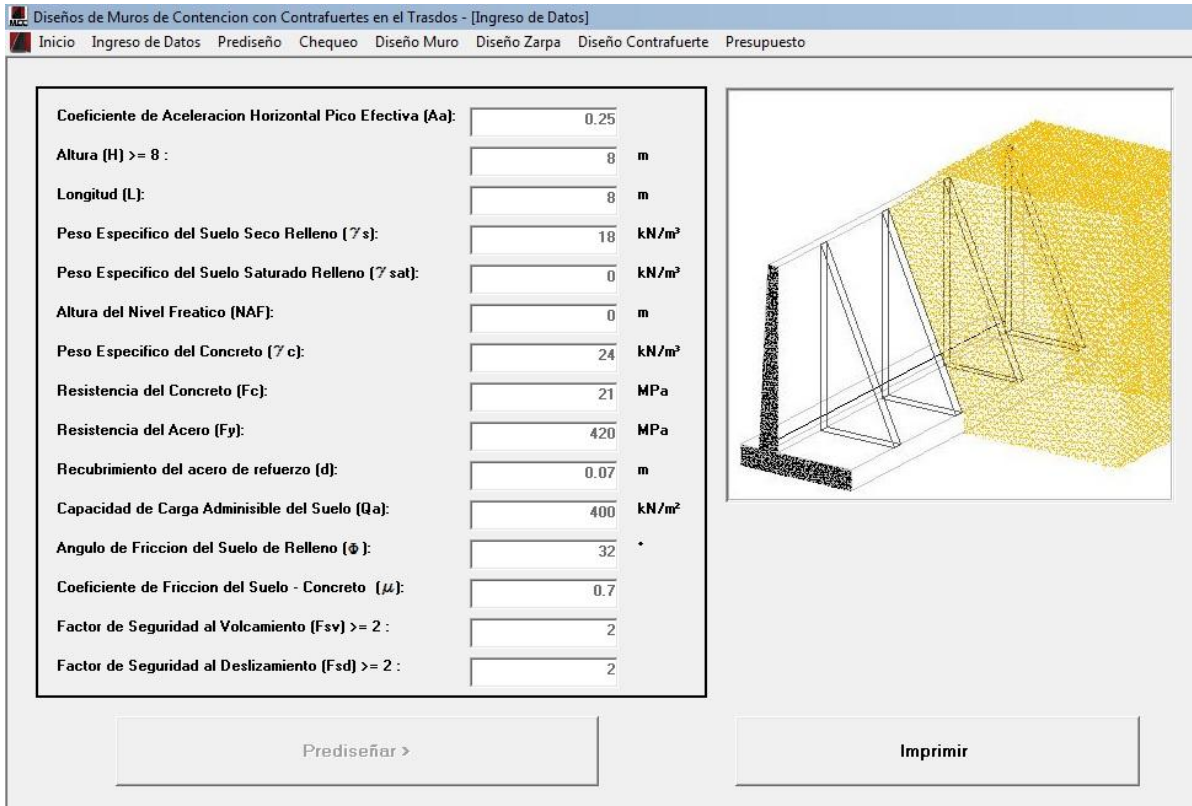
INICIO

-  **Abrir:** Abre un archivo ya elaborado.
-  **Guardar:** Salva el archivo del diseño que se está elaborando.
-  **Diseñar de nuevo:** Abre una nueva hoja para realizar un diseño nuevo.

 **Imprimir todo:** Imprime todo al archivo del diseño realizado.

INGRESO DE DATOS

Muestra un cuadro con los parámetros necesarios para comenzar a realizar el diseño. Se deben llenar los datos de acuerdo a las dimensiones generales requeridas (altura y longitud), a los criterios previos del diseñador y a los valores de las propiedades del material a utilizar. Luego de insertar los datos solicitados se oprime el botón de **Prediseñar** donde nos envía a la siguiente pestaña.



Parámetro	Valor	Unidad
Coefficiente de Aceleracion Horizontal Pico Efectiva (Aa):	0.25	
Altura (H) >= 8 :	8	m
Longitud (L):	8	m
Peso Especifico del Suelo Seco Relleno (γ_s):	18	kN/m ³
Peso Especifico del Suelo Saturado Relleno (γ_{sat}):	0	kN/m ³
Altura del Nivel Freatico (NAF):	0	m
Peso Especifico del Concreto (γ_c):	24	kN/m ³
Resistencia del Concreto (Fc):	21	MPa
Resistencia del Acero (Fy):	420	MPa
Recubrimiento del acero de refuerzo (d):	0.07	m
Capacidad de Carga Admisible del Suelo (Qa):	400	kN/m ²
Angulo de Friccion del Suelo de Relleno (ϕ):	32	°
Coefficiente de Friccion del Suelo - Concreto (μ):	0.7	
Factor de Seguridad al Volcamiento (Fsv) >= 2 :	2	
Factor de Seguridad al Deslizamiento (Fsd) >= 2 :	2	

Figura 22. Cuadro de Ingreso de Datos

PREDISEÑO

Muestra dos cuadros: El primero es un cuadro de referencia con unos valores en color rojo el cual nos da una referencia, que indica los mínimos valores a tener en cuenta en el pre diseño. El segundo cuadro corresponde a los parámetros de pre diseño necesario para realizar el diseño del muro donde se deben llenar los datos

de acuerdo a los criterios del diseñador. Luego de insertar los datos solicitados se oprime el botón de **Chequear** donde nos envía a la siguiente pestaña.

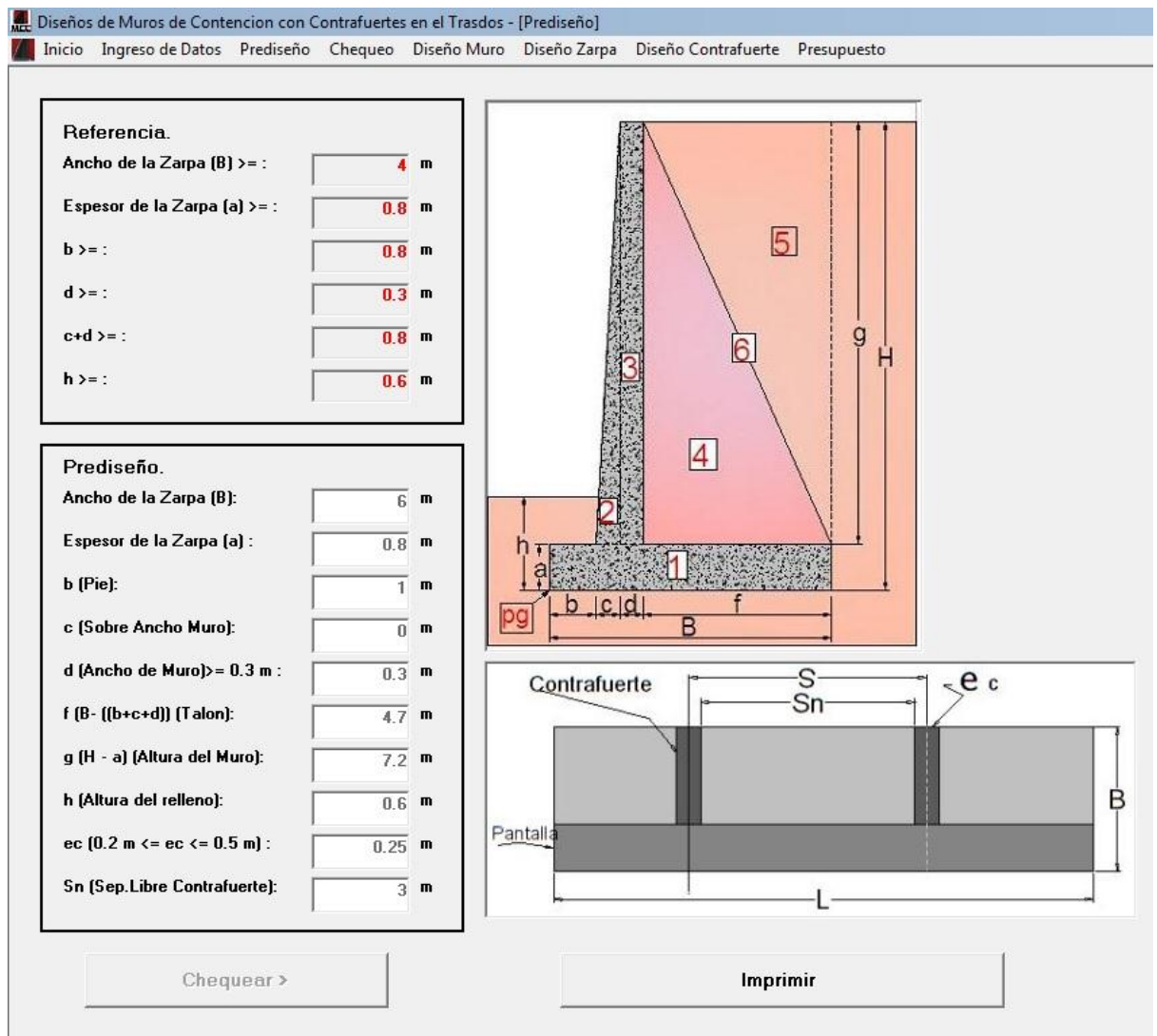


Figura 23. Cuadro de Pre diseño

CHEQUEO

Muestra un cuadro en el cual chequea los factores de seguridad y cálculos de empuje, momentos y carga. Cuando están bien diseñados los parámetros anteriores muestra un "OK", es decir, que indica que todo está bien, en caso contrario que no estén bien los parámetros el programa pide que se regrese a la pestaña anterior, para cambiar algunas dimensiones y rediseñe nuevamente. Luego de verificar que los datos solicitados están bien diseñados se oprime el botón de **Diseño** donde nos envía a la siguiente pestaña.

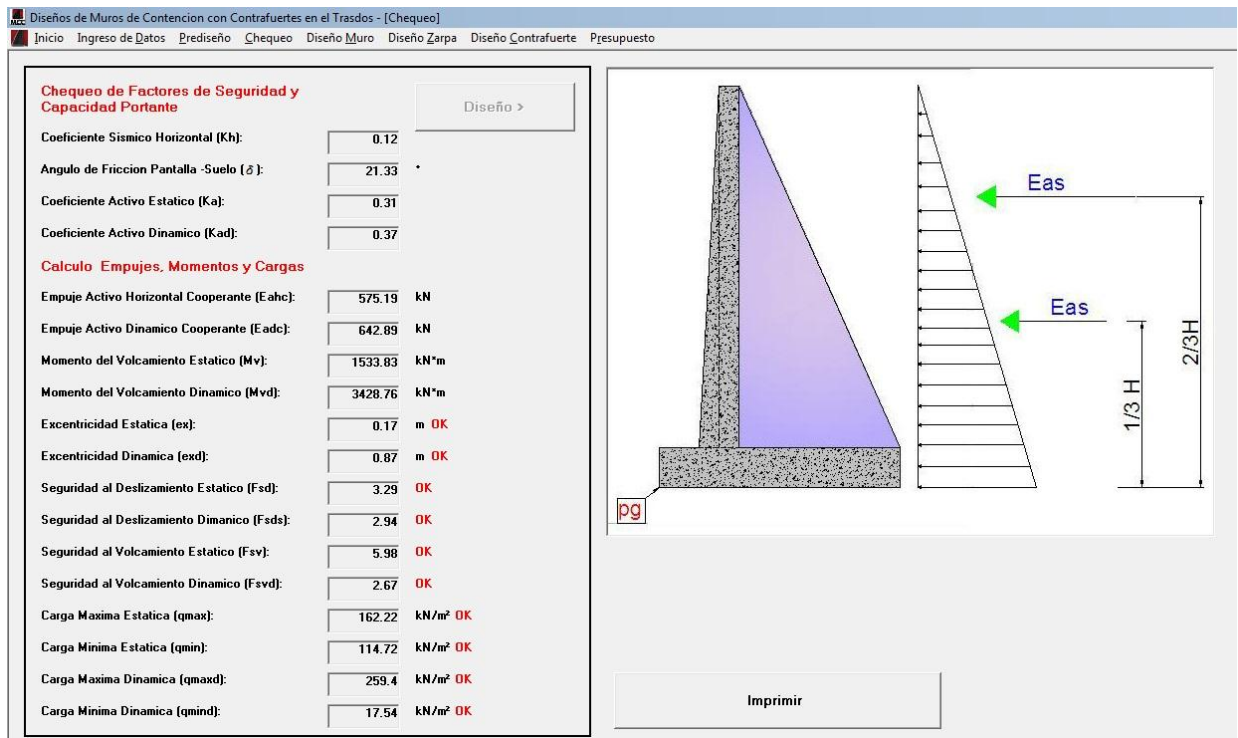


Figura 24. Cuadro de Chequeo

DISEÑO MURO Ó VASTAGO

Muestra el esquema del Muro de contención dividido en tres secciones de acuerdo a la fuerza de empuje ejercido por el terreno. En cada sección muestra los momentos y las fuerzas cortantes que se ejercen de acuerdo a las solicitaciones dadas; al igual se muestra otro esquema para proceder a colocar el tipo de refuerzo necesario tanto en el muro como en la zarpa (de acuerdo a criterio del calculista). Luego de diseñar el muro se oprime el botón de **Diseño Zarpa** donde nos envía a la siguiente pestaña.

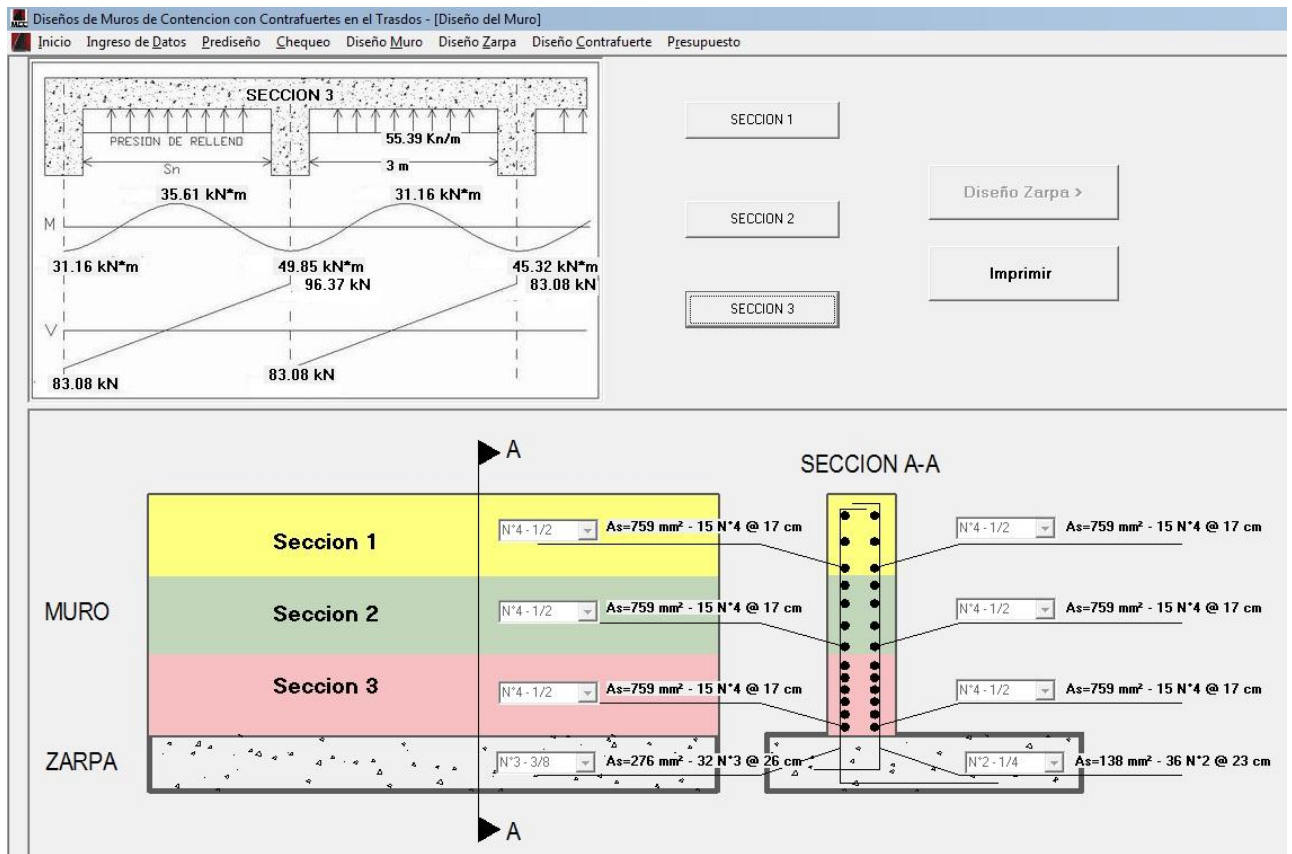


Figura 25. Cuadro de Diseño de Muro

DISEÑO ZARPA

Muestra el esquema de la Zarpa para proceder a colocar el tipo de refuerzo transversal y longitudinal necesario tanto en el pie como en el talón. Luego de diseñar la zarpa se oprime el botón de **Diseño Contrafuerte** donde nos envía a la siguiente pestaña.

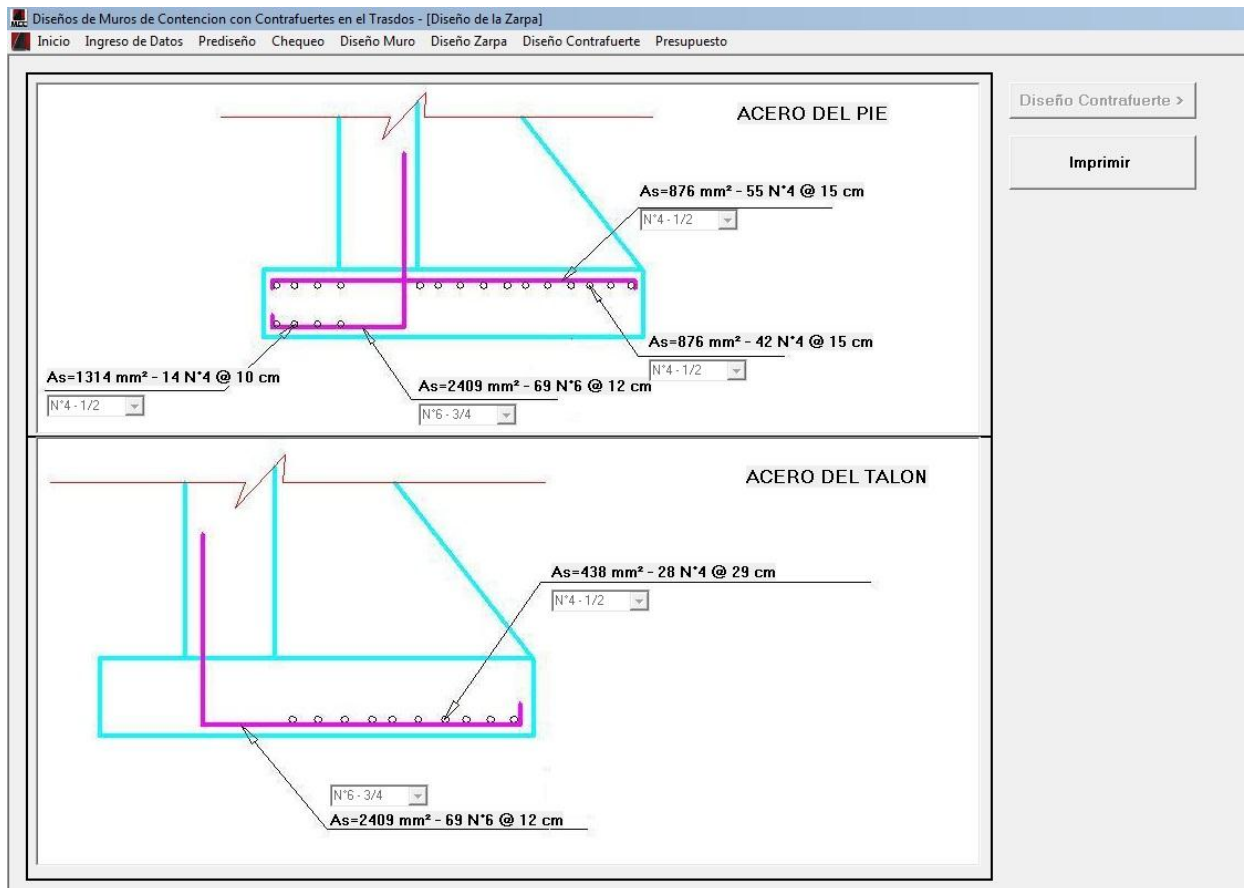


Figura 26. Cuadro de Diseño de Zarpa

DISEÑO CONTRAFUERTE

Muestra el esquema del Contrafuerte para proceder a colocar el tipo de refuerzo transversal y longitudinal necesario. Luego de diseñar el contrafuerte se oprime el botón de **Presupuesto** donde nos envía a la siguiente pestaña.

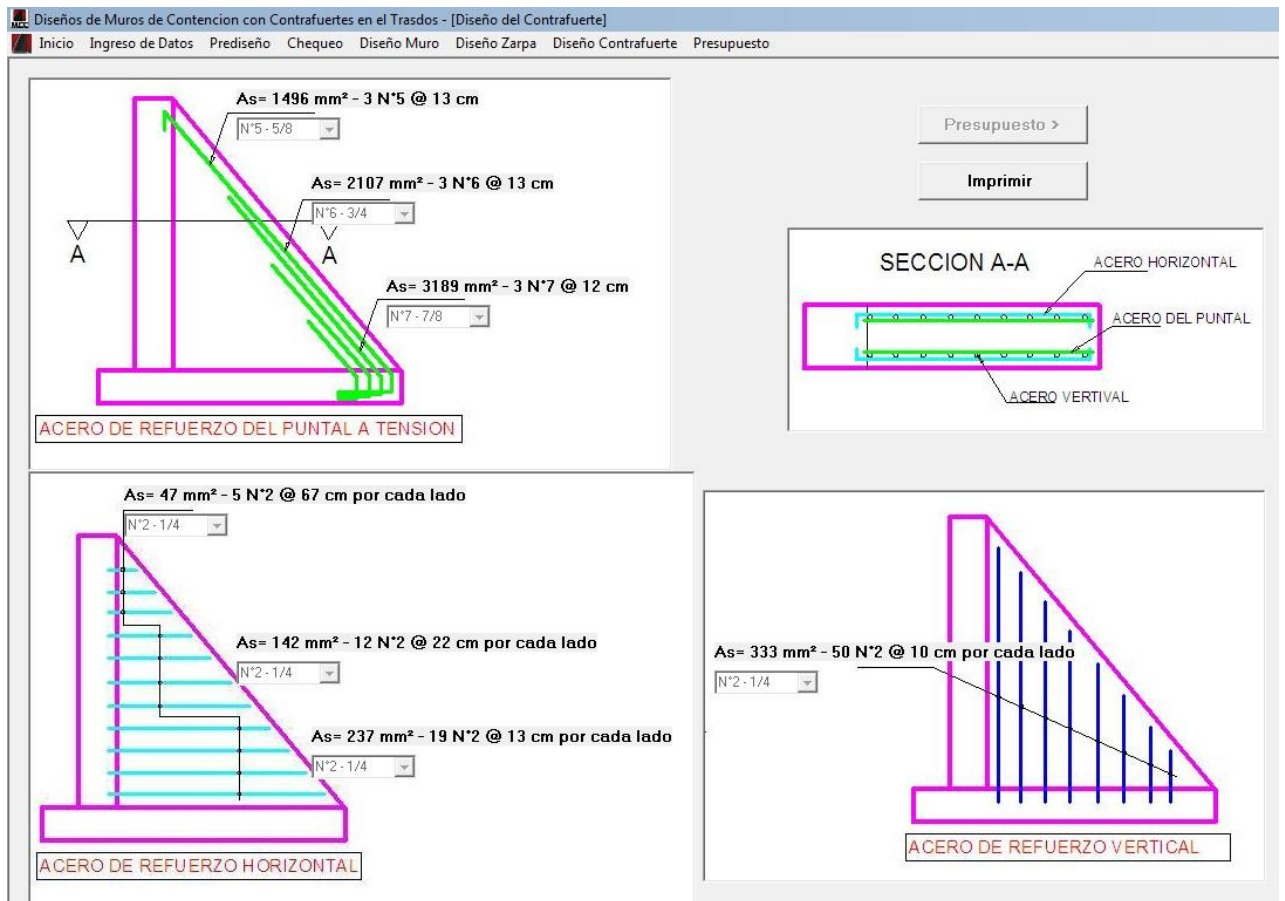


Figura 27. Cuadro de Diseño de Contrafuerte

PRESUPUESTO

Muestra un cuadro donde se puede observar la cantidad total de m³ de concreto que se requiere, al igual que la cantidad total de Kg de acero.

Adicionalmente se puede colocar el valor (\$) del m³ del concreto y el valor (\$) de Kg de acero (a todo costo) y calcula automáticamente el valor (\$) total del muro de contención con contrafuerte.

Diseños de Muros de Contención con Contrafuertes en el Trasdos - [Presupuesto]

Inicio Ingreso de Datos Prediseño Chequeo Diseño Muro Diseño Zarpa Diseño Contrafuerte Presupuesto

Total volumen concreto (m3):	72.6
Valor m3 de concreto (\$/m3):	240000
Valor total del concreto (\$):	\$ 17.424.000,00
Total peso acero (kg):	5220,3
Valor kg de acero (\$/kg):	2500
Valor total del concreto (\$):	\$ 13.050.738,00
Total Valor Presupuesto del Muro:	\$ 30.474.738,00

Calcular Presupuesto

Imprimir

Figura 28. Cuadro de Presupuesto

CAPITULO V

MODELACION EN SAP 2000 DE UN MURO CON CONTRAFUERTE

5. Modelación En SAP2000 De Un Muro Con Contrafuerte.

5.1. Introducción

Con el siguiente modelo en SAP2000 del muro de contención, se quiere comparar los valores de momentos obtenidos con el software MCC y los obtenidos con el SAP2000; esto con el fin de obtener el porcentaje de error por encima ó por debajo que obtenemos al correr el programa MCC.

5.2. Modelación en SAP 2000 de un muro con contrafuertes

Para determinar el los momentos actuantes sobre el Muro de Contención con Contrafuertes se colocan las cargas obtenidas de la **fuerza de empuje del terreno** correspondiente a 15.98 kN/m^2 - 23.97 kN/m^2 - 39.97 kN/m^2 respectivamente (estas cargas se explican en el numeral 2.2 Cargas aplicadas sobre Muro de Contención con Contrafuertes).

Las medidas del Muro de Contención con Contrafuertes son:

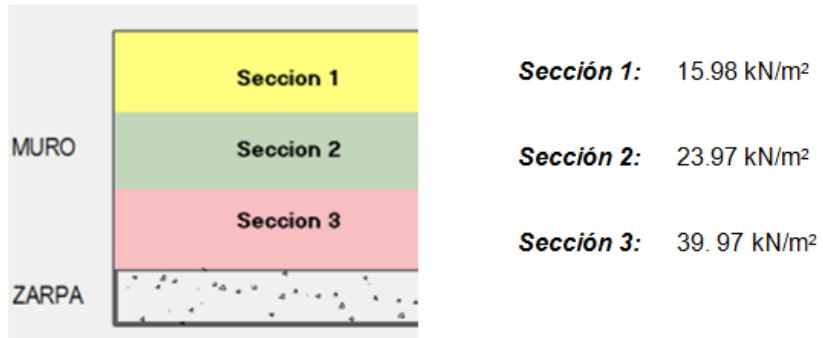
Muro: 7.20 m de altura x 8.00 m de longitud x 0.30 de espesor.

Zarpa: 6.00 m de ancho x 8.00 m de longitud x 0.80 de espesor.

Cargas aplicadas sobre Muro de Contención con Contrafuertes

Por efectos de las fuerzas de empuje del terreno se aplicaron tres cargas diferentes en tres secciones diferentes de acuerdo al diagrama de presiones del terreno. Para efectos de la carga muerta por peso propio de la estructura el programa de modelación utilizado que en este caso es SAP 2000, la calcula internamente.

Las cargas aplicadas en las tres secciones son:



Tipos de Carga

Muerta (D)

Diagramas de Momentos

Para efectos de comparación tomamos únicamente los *momentos máximos positivos M1-1 (+)*.

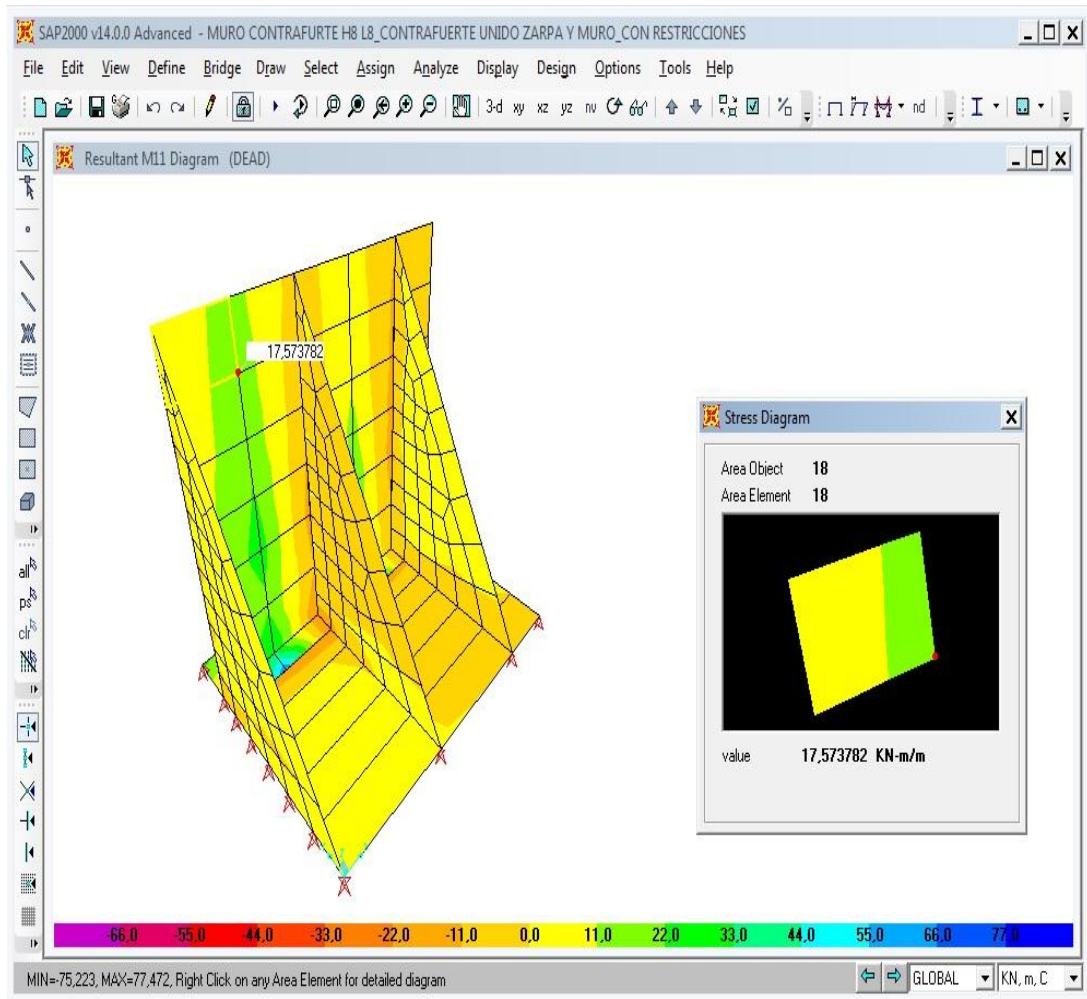


Figura 29. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 1

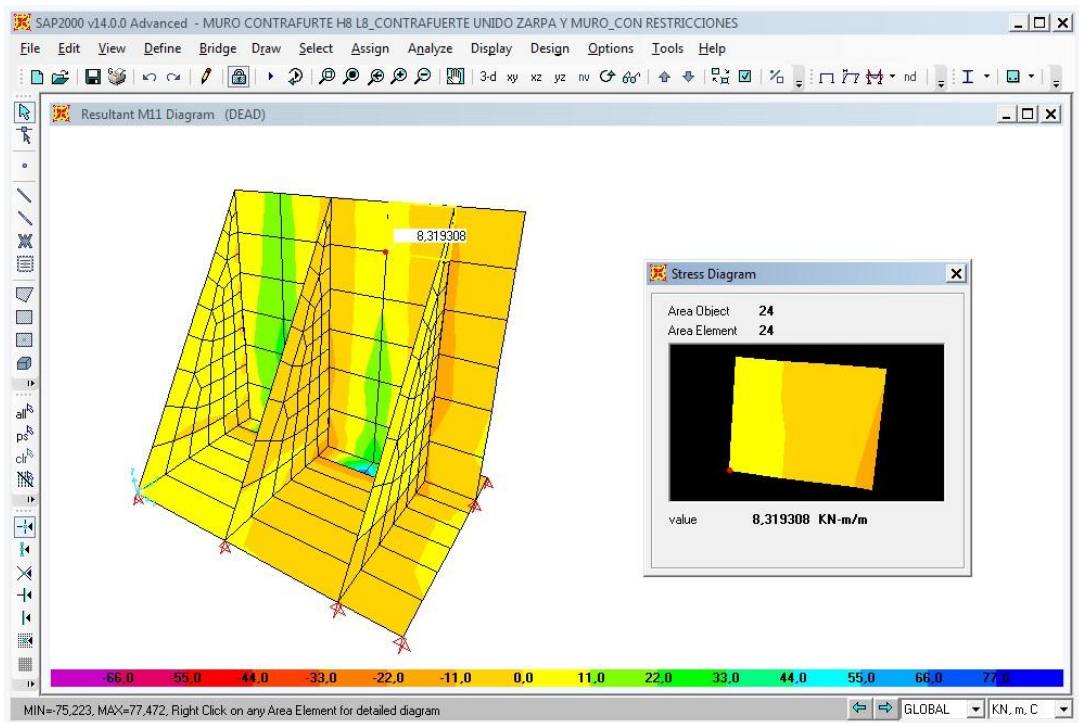


Figura 30. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 1

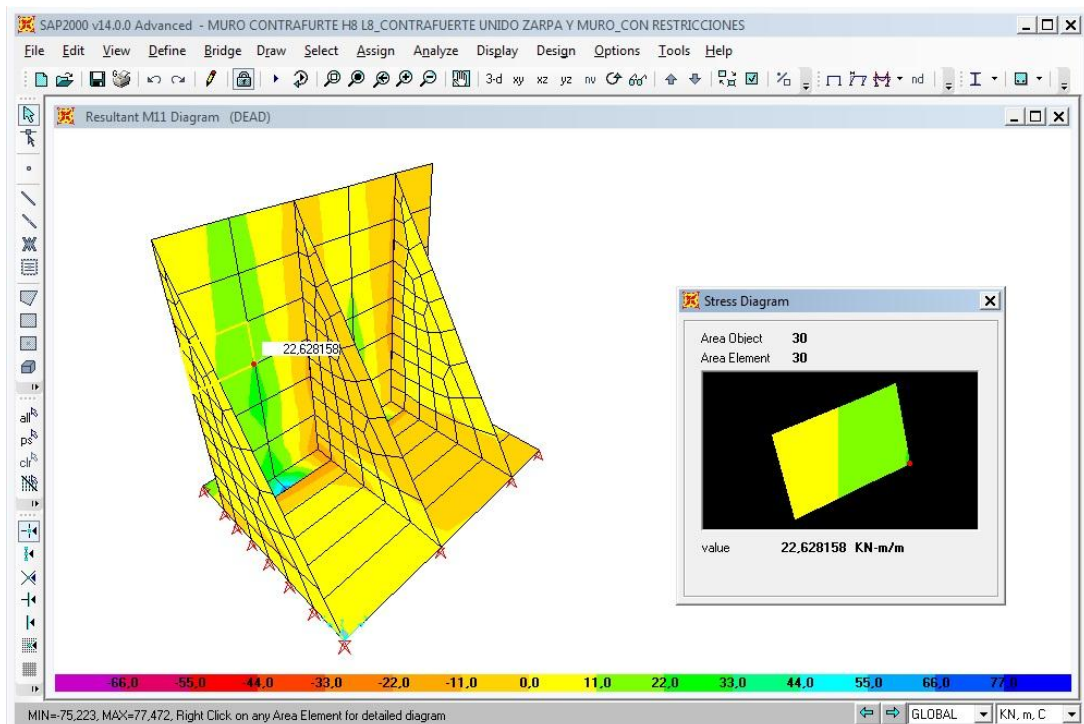


Figura 31. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 2

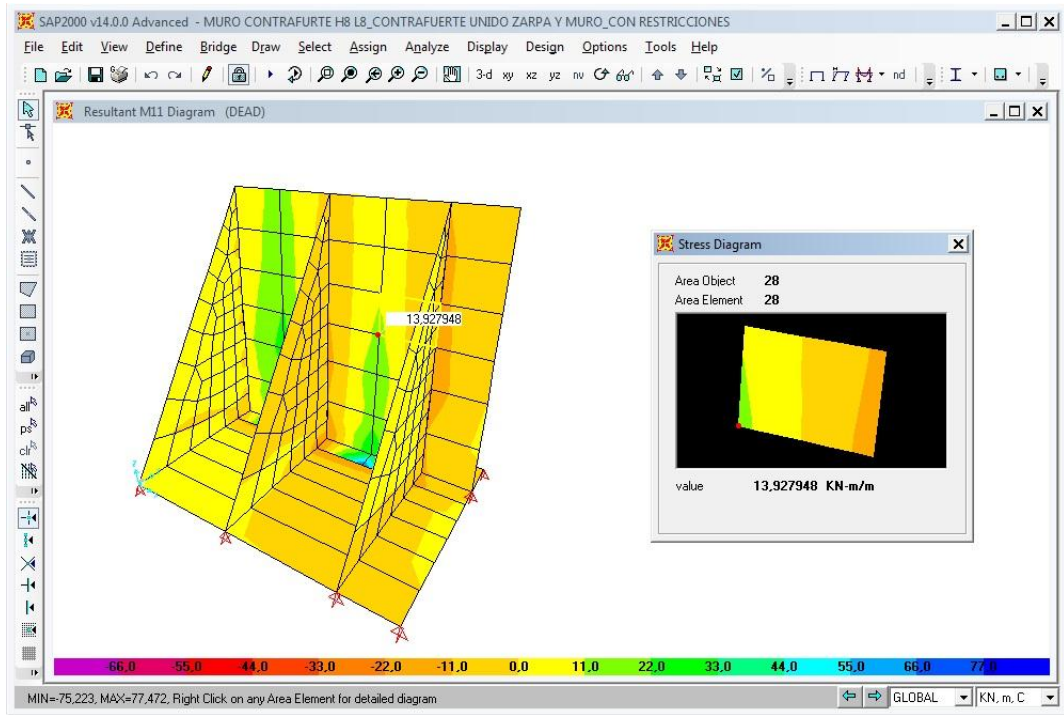


Figura 32. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 2

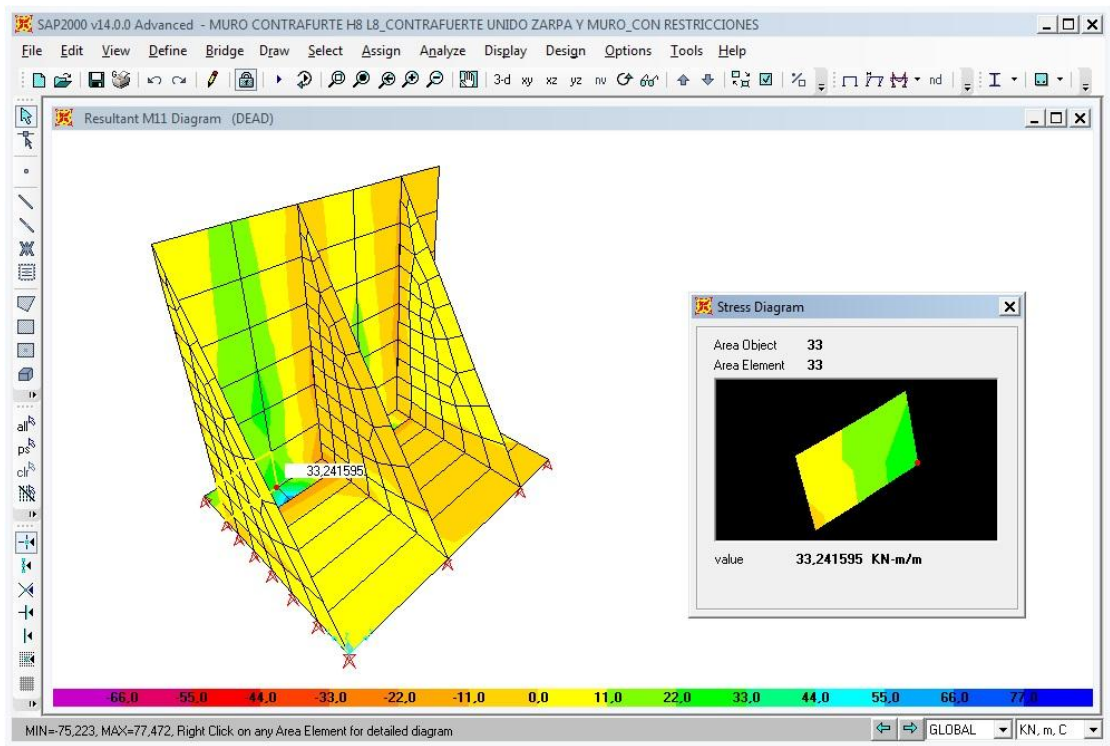


Figura 33. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 3

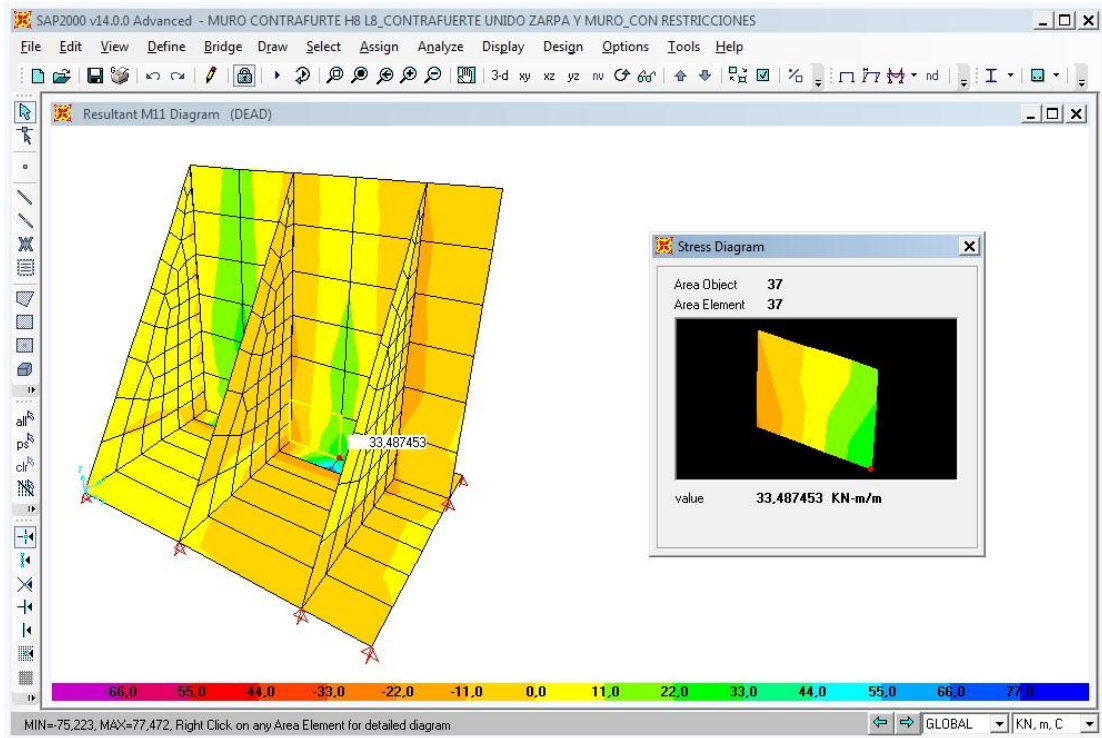
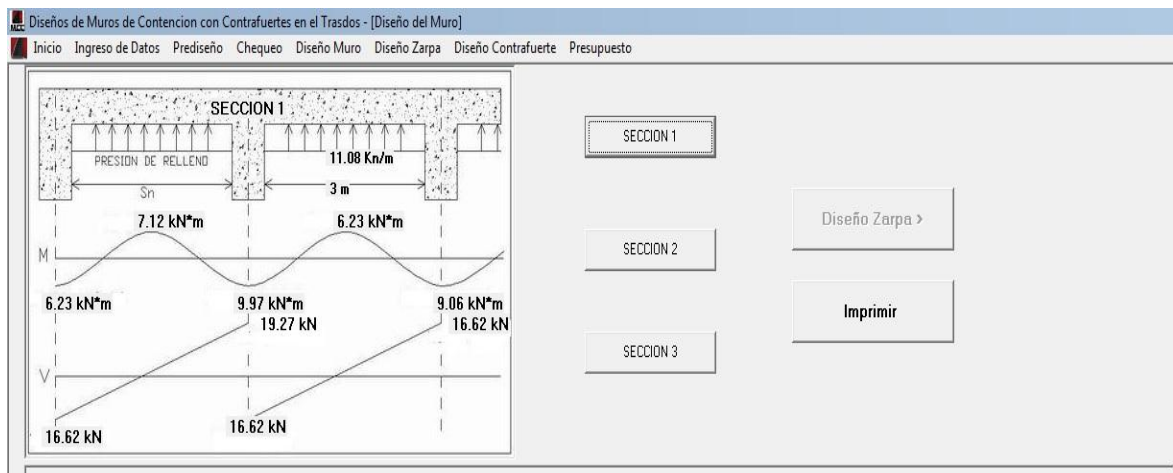


Figura 34. Momento máximo positivo M1-1 (+) - Sección 3

Análisis de resultados

- El diseño de placa tiene las siguientes características:
 1. Espesor de la placa = **50 cm**
 2. La placa tiene una cuantía de acero de **14.85 cm²**



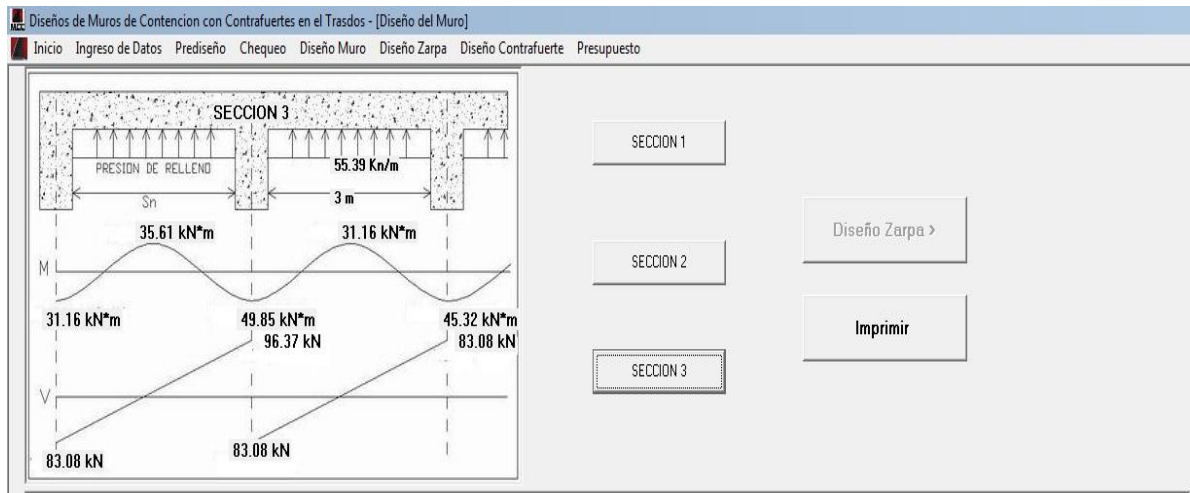
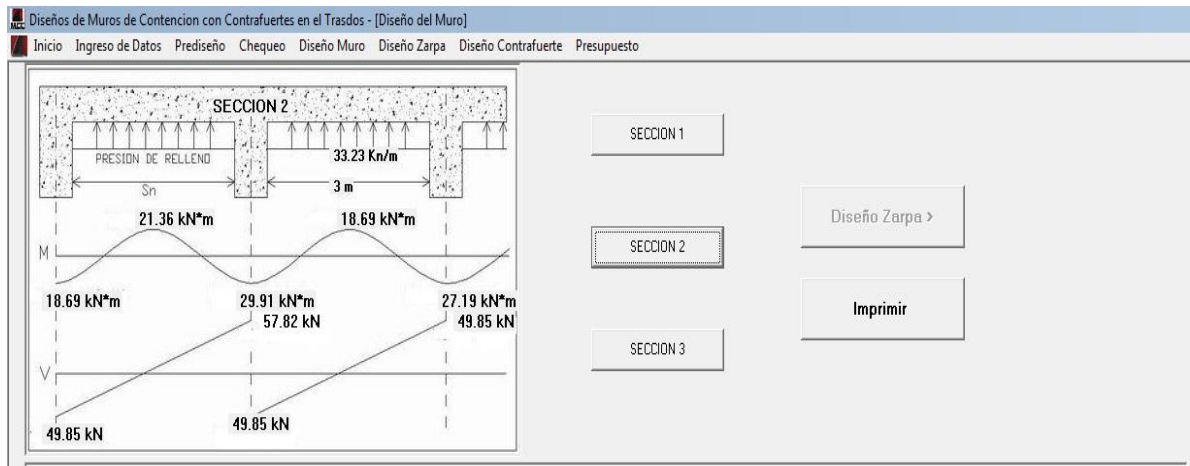


Figura 35. Diagramas y valores arrojados por el MCC

CAPITULO VI

CODIGO FUENTE DEL PROGRAMA MCC

6. CODIGO FUENTE DEL PROGRAMA MCC

El presente programa se desarrollo en VISUAL BASIC 6, en el anexo 1 se muestra el código fuente del programa; para futuras modificaciones.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El tipo de muro con contrafuertes más adecuado, se puede considerar como aquel con los contrafuertes en el trasdós, esto dependiendo de las circunstancias del terreno, que no pueden ser generalizadas razón por la cual recomendamos esta opción subjetivamente.
- Al desarrollar el programa MCC y comparar los valores de momentos arrojados por SAP2000 y por MCC; se obtuvo un porcentaje de error que limita entre el 5% al 10%, siendo los valores del MCC, mayores a los obtenidos en SAP2000, lo cual permite tener un factor de seguridad adicional al diseño.
- La herramienta MCC, es una ayuda didáctica para ser usada en el curso de cimentaciones profundas y muros de contención, donde podemos diseñar y calcular estos tipos de muros, para ser comparados con el análisis que se realiza manualmente.
- El diseño estructural final del muro con contrafuertes se realizó basándose en el empuje activo dinámico – MONONOBE – OKABE.
- Los muros con contrafuertes ofrecen claras ventajas en cuanto a la seguridad y al espacio requerido para su base o cimentación así como en su capacidad para soportar grandes empujes, pero a esto debemos asociar las desventajas en cuanto a encofrados más complicados y definidos lo cual deriva en tiempos de construcción y costos mucho mayores que los requeridos con otro tipo de muros.
- Como ya se indicó anteriormente, para diseñar un muro con contrafuertes con empuje dinámico (M-O), la forma de la sección del talud de relleno sobre la corona del muro deberá ser triangular y si es por el empuje según Rankine se considera un relleno rectangular sobre la corona del muro; en el programa MCC este relleno no existirá si se va a diseñar con ambos métodos, con esto se dice que la carga “W” (rectangular ó triangular) es cero.
- El espesor del contrafuerte estará comprendido entre 0,2 y 0,5 m. siendo proporcional a la altura mínima (8m) del muro y pudiendo ser mayor en casos especiales donde se tenga suelos con bajo ángulo de fricción y/o grandes alturas.
- El empuje activo por ancho cooperante está en función de la separación entre contrafuertes (Sprom). Al disminuir esta separación, disminuiríamos entonces el valor del empuje, pero se deberá tomar en cuenta que esto aumentará el número de contrafuertes a lo largo del muro así como el tiempo de construcción y consecuentemente los costos.
- Los factores de seguridad al volcamiento y al deslizamiento tomarán su valor en base a la importancia de la obra. Comúnmente para muros se considera como mínimos, factores de seguridad de 1.5, que aumentan su

valor en proporción a la importancia que implica su seguridad. En el programa MCC, se sugiere tomar estos factores de seguridad igual a 2.

- Para disminuir la presión vertical bajo la base del muro (disminuir el peso del conjunto suelo-muro), se ajustarán las dimensiones de la base, aumentando (b) y disminuyendo (f), de manera que la pantalla se aproxime al lado derecho del conjunto. Con esto conseguiremos que el volumen del suelo sobre el muro sea menor.
- El valor del empuje, según Mononobe-Okabe, del suelo contenido sobre la pantalla del muro es mucho mayor en comparación con el empuje calculado según Rankine. En el diseño realizado siendo igual a cero, tanto la altura (W) como el ángulo (i), y siendo constantes todos los demás valores, podemos observar que el empuje M-O siempre es mayor que el empuje Rankine.
- En cuanto a la influencia del ángulo de fricción del suelo contenido, podemos determinar que, al disminuir en tan solo un grado su valor, el empuje horizontal aumenta significativamente, esto es una buena opción para tener en cuenta a la hora de construir.
- El programa se realizó, para ser utilizado como una herramienta rápida y eficaz en el momento que nos encontremos en campo u obra y no contemos con las herramientas y facilidades que nos ofrece una oficina de diseño.
- Con la herramienta MCC, podemos diseñar y sacar un presupuesto rápido con un factor de seguridad.
- Con el anexo 1, se entrega el código con que se realizó el programa, para futuras mejoras y adiciones.

8. BIBLIOGRAFIA

- Calavera Ruiz, j. 1990. Muros De Contención Y Muros De Sótano. 2° edición.INTEMAC
- Calavera Ruiz, j. 1990. Muros De Contención Y Muros De Sótano. 2° edición.INTEMAC
- Bowles, Joseph. Análisis Y Diseño De Fundaciones.
- Nilson, Arthur, H. Diseño De Estructuras De Concreto. 11° Edición. Mc Graw Hill
- Calavera Ruiz, j. 1990. Proyecto Y Calculo De Estructuras De Hormigón. Tomo I.INTEMAC
- Calavera Ruiz, j. 1990. Proyecto Y Calculo De Estructuras De Hormigón. Tomo II.INTEMAC
- Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente- NSR 10