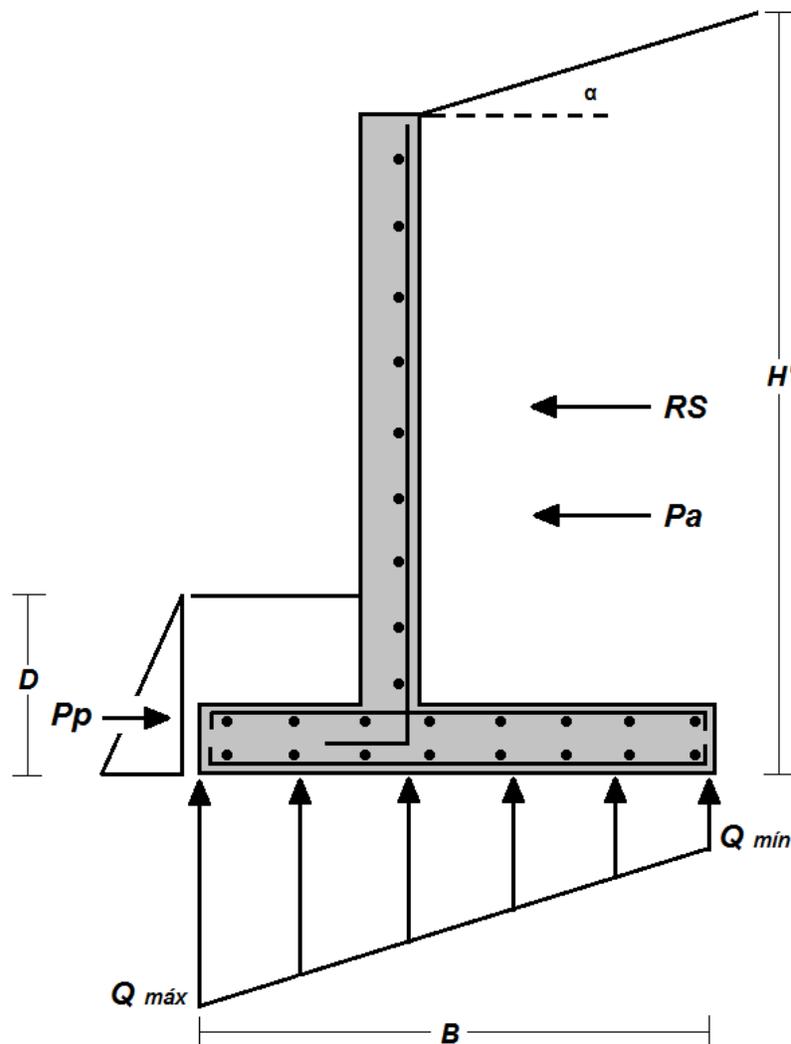


# Desarrollo de una herramienta digital para diseñar muros de contención en concreto y mampostería



# Abstract

Retaining walls are structures that maintain a determined level of height between two masses of land. They are made up of two structural elements, the stem that is the height of the wall and the footing that provides support to the wall.

The principal objective of this project was to create a digital tool at Constructora COMAC S.A., utilizing the Microsoft Excel® program; it designs retaining walls of both concrete and masonry retaining walls. These can be cantilever walls, which are walls that don't have support in the upper part, or reinforced concrete walls, which have different conditions of support in the upper part. These latter types of walls can be sway walls or nonsway walls.

The design of the walls foundation followed all the guidelines of the Seismic Code of Costa Rica 2002, and the Code of Foundations of Costa Rica, the last edition 2009, in order to guarantee the safety of the design.

Finally, with the development of this tool, the construction company was provided with an efficient and effective program of design for the foundations of retaining walls, which helps them to decrease the time of labor needed to complete these types of civil works.

Keywords: Foundations, Retaining Wall, Program, Footing

# Resumen

Los muros de contención son estructuras que pretenden mantener un nivel determinado entre dos masas de suelo, están compuestos por dos elementos estructurales, el vástago del muro que es la parte de altura y la cimentación que es la que le da la estabilidad y soporte al muro.

El objetivo principal de esta práctica profesional fue desarrollarle a Constructora COMAC S.A., mediante el programa Microsoft Excel®, una herramienta digital que diseñe muros de contención en concreto o en mampostería reforzada. Los muros pueden ser de tipo voladizo, los cuales no tienen apoyos en su parte superior o muros arriostrados en la parte superior con diferentes condiciones de apoyo, estos pueden ser del tipo empotrado-articulado o articulado-articulado.

En el diseño del muro y su cimentación se siguieron todos los lineamientos establecidos por el Código Sísmico de Costa Rica 2002 y el Código de Cimentaciones de Costa Rica, última edición 2009, para garantizarse la seguridad del diseño.

Finalmente, con el desarrollo de esta herramienta se dotó a la empresa constructora de un programa de diseño de muros de contención rápido y eficaz, que le ayudará a disminuir el tiempo de trabajo en ese tipo de obras civiles.

Palabras Claves: Muros de contención, Cimentaciones, Contención, Programa.

# **Desarrollo de una herramienta digital para diseñar muros de contención en concreto y mampostería**

ANDRÉS CAMPOS CASTILLO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

SETIEMBRE del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN.



# Contenido

<b>PREFACIO .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>8</b>
<b>CÁLCULO DE LAS FUERZAS ACTUANTES EN EL MURO .....</b>	<b>9</b>
DIMENSIONAMIENTO DEL VÁSTAGO Y DE LA CIMENTACIÓN DEL MURO.....	9
CÁLCULO DE LA PRESIÓN ACTIVA .....	10
CÁLCULO DEL SISMO EN EL SUELO DE RELLENO .....	11
CÁLCULO DEL SISMO EN EL VÁSTAGO DEL MURO .....	12
CÁLCULO DE LA SOBRECARGAS EN EL MURO.....	13
CÁLCULO DE LA PRESIÓN ACTIVA PARA UN MURO ARTICULADO-EMPOTRADO .....	14
CÁLCULO DE LA FUERZA SÍSMICA PARA UN MURO ARTICULADO-EMPOTRADO .....	15
CÁLCULO DE LA SOBRECARGA PARA UN MURO ARTICULADO-EMPOTRADO .....	16
CÁLCULO DE LA PRESIÓN ACTIVA PARA UN MURO ARTICULADO-ARTICULADO .....	17
CÁLCULO DE LA FUERZA SÍSMICA PARA UN MURO ARTICULADO-ARTICULADO .....	18
CÁLCULO DE LA SOBRECARGA PARA UN MURO ARTICULADO-ARTICULADO .....	19
<b>ESTABILIDAD DEL MURO DE CONTENCIÓN 20</b>	
REVISIÓN CONTRA VOLCAMIENTO DEL MURO.....	20
REVISIÓN CONTRA DESLIZAMIENTO DEL MURO .....	21
REVISIÓN CONTRA CAPACIDAD SOPORTANTE.....	23
<b>DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN .....</b>	<b>28</b>
CÁLCULO DE FUERZAS EN EL VÁSTAGO DEL MURO .....	28
DISEÑO POR FLEXIÓN DEL VÁSTAGO PARA MUROS EN CONCRETO.....	30
DISEÑO POR FLEXIÓN DEL VÁSTAGO PARA MUROS EN MAMPOSTERÍA .....	32
REVISIÓN DEL ANCHO DEL VÁSTAGO DEL MURO .....	33
CÁLCULO DE MOMENTOS EN EL CIMIENTO.....	35

DISEÑO POR FLEXIÓN DE LA CIMENTACIÓN.....37  
 DISEÑO POR CORTANTE DE LA CIMENTACIÓN.....39  
 DISEÑO POR FLEXIÓN DEL DIENTE DE LA CIMENTACIÓN .....40  
 DISEÑO POR CORTANTE DEL DIENTE DE LA CIMENTACIÓN ....41

**RESULTADOS .....44**

PRESENTACIÓN Y GUÍA DE USO DE LA HERRAMIENTA DIGITAL  
 .....44  
 DISEÑO DE LA PANTALLA Y LA CIMENTACIÓN PARA UN MURO  
 TIPO VOLADIZO EN CONCRETO.....51  
 DISEÑO DE LA PANTALLA Y LA CIMENTACIÓN PARA UN MURO  
 TIPO VOLADIZO EN MAMPOSTERÍA.....74

**ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....78**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....82**

**APÉNDICES .....84**

**ANEXOS .....86**

**REFERENCIAS .....92**

# Prefacio

Los muros de contención son estructuras que tienen como función principal mantener un nivel determinado de terreno entre dos masas de suelo. Están compuestos por dos elementos estructurales, el vástago del muro que es la parte de altura, es decir la pared y la cimentación que es la que le da la estabilidad al muro.

A la hora de construir un muro de contención se debe estar muy seguro de que exista un diseño que respalde la seguridad del muro, ya que este puede estar ubicado en lugares donde proteja la vida de las personas como por ejemplo que retenga una masa de suelo a la par de una vivienda o el caso de que una vivienda dependa del muro para estar ubicada en cierto lugar determinado.

Es de suma importancia que a la hora de diseñar el muro de contención se sigan todos los lineamientos del Código Sísmico De Costa Rica 2002 y del Código De Cimentaciones de Costa Rica última edición 2009, ya que con ello se asegura la obra civil, y protegemos el entorno que nos rodea.

El objetivo principal de este trabajo es, mediante, el programa Microsoft Excel® desarrollar una herramienta de trabajo que realice el análisis de estabilidad y diseño estructural, tanto dimensionamiento como la colocación del acero, del vástago y la cimentación para diferentes tipos de muros de contención de concreto reforzado y mampostería reforzada, al final del diseño el programa estará en capacidad de proporcionarnos una memoria de cálculo en donde aparezcan todos los parámetros que se consideraron para realizar el diseño del muro. Con esta herramienta se espera que constructora COMAC S.A. cuente con una herramienta rápida y eficiente para el diseño de muros de contención.

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a la oportunidad que me brindó constructora COMAC S.A. de realizar dicha

práctica profesional en sus instalaciones. Agradecimientos especiales al Ingeniero Civil Juan Carlos Sotela Alfaro, dueño de constructora COMAC S.A., quien, en todo momento, me prestó su ayuda para que este trabajo fuera posible. Al Ingeniero en Construcción, Carlos Alberto Villalobos Villalobos quien, con su vasta experiencia en el entorno laboral, brindó su ayuda para llevar a cabo los objetivos de este proyecto, al Ingeniero Civil Gustavo Rojas, que como profesor guía de este proyecto el cual facilitó el desarrollo del mismo mediante observaciones y recomendaciones para facilitar y mejorar el desarrollo del proyecto y al Filólogo Edgardo Espinoza Obando, quien con su aporte profesional contribuyó a que el documento escrito tuviera la correcta redacción y ortografía.

# Resumen ejecutivo

Este trabajo se realizó como práctica profesional para optar por el título de licenciatura en Ingeniería en Construcción en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Dicha práctica se desarrolló en la empresa Constructora COMAC S.A., ubicada en los Colegios de Moravia, la cual se dedica a la construcción y diseño de obras civiles. Para la actividad de diseño ellos manejan programas en Microsoft Excel® para facilitar y agilizar el proceso de diseño, actualmente, no cuenta con una herramienta para diseñar pantallas y cimentaciones de muros de contención, y de ahí nace la idea de desarrollar una herramienta que diseñe muros de contención.

El objetivo principal de este proyecto fue desarrollarle a Constructora COMAC S.A., mediante el programa Microsoft Excel® una herramienta digital que diseñe pantallas y cimentaciones de muros de contención en concreto o en mampostería reforzada. Los muros pueden ser de tipo voladizo, que son muros que no tienen apoyos en su parte superior, o un muro arriostrado en la parte superior con diferentes condiciones de apoyo, este puede estar empotrado-articulado o articulado-articulado.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

1. Realizar el diseño estructural del vástago y la cimentación para un muro de contención en voladizo en concreto o en mampostería reforzada para un máximo de 6 metros de altura, para un relleno plano con o sin sobrecarga y un relleno con un cierto grado de inclinación.

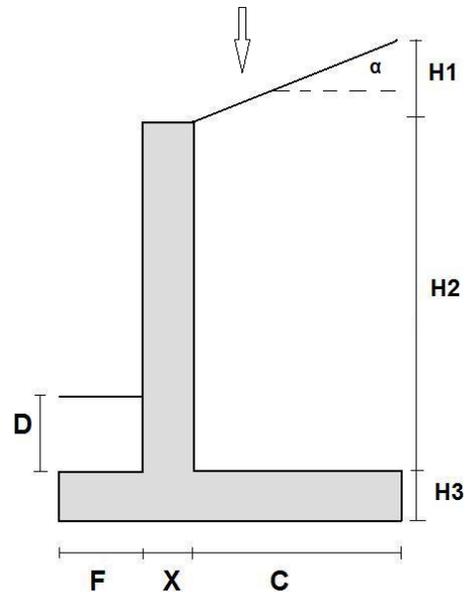


Figura 1. Muro de contención en voladizo, fuente autor.

2. Realizar el diseño estructural del vástago y la cimentación para un muro de contención arriostrado en la parte superior en concreto o mampostería reforzada para un máximo de 6 metros de altura, con condiciones de apoyo articulado en la parte superior y empotrado en su base y articulado en la parte superior y articulado en su base.

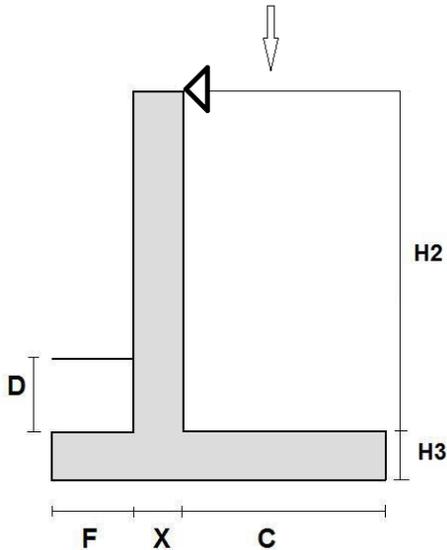


Figura 2. Muro de contención arriostrado en su parte superior

tipo de muro, ya sea en voladizo o arriostrado en su parte superior. Una vez que el usuario haya escogido el tipo de muro de contención, el programa lo llevará a una interface en donde podrá introducir todo los datos principales del muro de contención por diseñar, como el tipo de suelo y altura del muro. Con todos los datos introducidos en el programa, este recomendará al usuario unas medidas preliminares de la cimentación y el vástago para que las introduzca en un cuadro de dimensionamiento para obtener los factores de seguridad de la estabilidad del muro. Si los factores de seguridad son muy altos o no cumplen con lo que dicta el Código de Cimentaciones, el usuario podrá cambiar con las dimensiones de la placa para encontrar el diseño óptimo del cimientto.

3. Realizar el análisis de estabilidad, entiéndase por volcamiento, deslizamiento, capacidad soporte del muro en concreto o en mampostería reforzada, asentamientos y estabilidad global.
4. Generar una memoria de cálculo, producto del diseño del programa en donde aparezcan todas las especificaciones que fueron consideradas en el diseño.

La herramienta digital se limita a diseñar cimentaciones únicamente superficiales para muros de contención en voladizo y muros de contención arriostrados en la parte superior en concreto reforzado y mampostería reforzada. No se diseñará para muros que tengan contrafuertes y que tengan una altura de más de 6 metros, ya que para muros de más de esta altura resultan muy costosos.

Con el desarrollo de este proyecto se ha logrado que la constructora cuente con una herramienta útil de trabajo para diseñar pantallas y cimientos de muros de contención, de una forma rápida en donde se tengan todos los parámetros de diseño en una memoria de cálculo.

Por medio de la herramienta digital, el usuario podrá interactuar con una interface y escoger el tipo de muro de contención, ya sea en concreto o en mampostería. También podrá seleccionar el

# Introducción

Esta práctica profesional fue realizada en constructora COMAC, ubicada en Moravia centro. Esta se ha caracterizado por ser una empresa que no solo se dedica a construir sus proyectos, sino también a diseñar elementos estructurales de los mismos, por lo que ha hecho programas que les facilite el trabajo a la hora de realizar cualquier diseño de algún proyecto.

La Constructora cuenta con herramientas digitales para diseñar vigas, columnas, muros, paredes y programas para presupuestar las construcciones. Actualmente, ella no cuenta con un programa que le ayude a diseñar muros de contención de una forma rápida y eficaz. Es por esto que nace la iniciativa de realizar esta herramienta, puesto que en ocasiones se deben diseñar muros de retención de diferentes tipos, por lo que esta herramienta ayudará a realizar el trabajo de diseño más rápido, con posibilidades de hacer cambios en muy poco tiempo y de además de contar con una memoria de cálculo que respalde el trabajo.

Este proyecto consistirá en realizar una herramienta digital en Microsoft Excel® que diseñe pantallas y cimentaciones de muros de retención en voladizo y arriostrados en la parte superior y que analice su estabilidad como lo que es volcamiento, deslizamiento en la base, capacidad de soporte. Estos muros pueden ser en concreto reforzado o en mampostería reforzada con diferentes condiciones de carga, tales como:

- Diferentes condiciones de apoyo en la base, ya sea que este empotrada o articulada.
- Que presenten diferentes tipos de suelo en el sitio de suelo.

- En su parte superior, el muro puede contar con diferentes tipos de sobrecargas: como poseer una línea de carga, una carga distribuida en un área determinada o tener un cierto grado de inclinación del suelo detrás del muro.

Esas condiciones de carga se pueden combinar para dos diferentes tipos de muro, tanto el arriostrado como en voladizo, y agregándole que pueden existir muros colindantes y no colindantes lo que daría diferentes tipos de casos de muros de contención.

La herramienta digital presenta un menú principal para que el usuario pueda escoger la configuración de muro que el desee, una vez que el escoge el programa lo llevará a otra hoja de cálculo en donde deberá insertar los datos correspondientes del problema por solucionar como: la resistencia del concreto  $f'c$ , la resistencia del acero  $f_y$ , el tipo de suelo, dimensiones generales del muro y de la cimentación y las fuerzas externas a él como las sobrecargas en caso de que las tenga.

Una vez que el usuario haya insertado todos los datos, el programa le dará una memoria de cálculo en donde se indicará la posición de los aceros, los esfuerzos para el cual fue diseñado la cimentación y las diferentes consideraciones que se tomaron para hacer el diseño.

La herramienta digital se limita a diseñar cimentaciones, únicamente, superficiales para muros de contención en voladizo y muros de contención arriostrados en la parte superior en concreto reforzado y mampostería reforzada. No se diseñará para muros que tengan contrafuertes y que tengan una altura de más de 6 metros.

# Objetivos

## Objetivo General

Desarrollar en el programa Microsoft Excel® una herramienta de trabajo que realice el análisis de estabilidad y diseño estructural, tanto dimensionamiento como la colocación del acero, de la pantalla y la cimentación para diferentes tipos de muros de contención de concreto reforzado y mampostería reforzada.

## Objetivos Específicos

1. Elaborar el diseño estructural para un muro de contención en voladizo en concreto o mampostería reforzada con un máximo de 6 metros de altura con diferentes condiciones de apoyo, para un relleno plano o inclinado con o sin sobrecarga.
2. Realizar el diseño estructural para un muro de contención arriostrado en la parte superior en concreto o mampostería reforzada para un máximo de 6 metros de altura, con condiciones de apoyo articulado en la parte superior y empotrado en su base y articulado en la parte superior y articulado en su base.
3. Realizar el análisis de estabilidad, entiéndase por volcamiento, deslizamiento y capacidad soportante del muro de contención en concreto o en mampostería reforzada.
4. Generar una memoria de cálculo, producto del diseño del programa en donde aparezcan todas las especificaciones que fueron consideradas en el diseño.

# Metodología

La metodología para llegar a los objetivos planteados empezó primero con una investigación de la literatura existente para definir el dimensionamiento en general y la estabilidad de los muros de contención, como lo es la resistencia al vuelco, al deslizamiento y la capacidad soportante. A su vez se debe revisar el **Código de Cimentaciones de Costa Rica** última edición para verificar los factores de seguridad correspondientes al vuelco, deslizamiento y capacidad soportante.

Para entrar a lo que es el diseño estructural del vástago y el cimiento del muro se revisa la literatura correspondiente a diseño estructural en concreto y mampostería, acompañado de las normas del **Código Sísmico De Costa Rica 2002**.

Una vez que se tuvo todos los conceptos de diseño listos se procedió a hacer el diseño de cada una de las variaciones de los muros de contención en papel para así visualizar mejor la teoría y hacer los ajustes necesarios para programarlos en Microsoft Excel®. Entre las variaciones están los muros en voladizo con o sin relleno inclinado, con o sin sobrecarga o combinaciones de esas dos. Para los muros arriostrados se presentan las mismas variantes solo que en este van a importar las condiciones de apoyo en su parte superior y cimiento.

Con los diseños preliminares de los muros de contención listos y programados en Microsoft Excel® se realizaron unos diseños de unos muros de contención que ya habían sido diseñados para compararlos con los resultados de los modelos programados. Este proceso ayudó a corregir cualquier error que se haya cometido a la hora del diseño de los muros de contención.

Con los modelos listos y corregidos, se procedió a desarrollar la herramienta digital para el diseño de muros de retención con el asesoramiento del profesor guía y con las

especificaciones dadas por Constructora COMAC S.A.

# Cálculo de las fuerzas actuantes en el muro

## Dimensionamiento del vástago y de la cimentación del muro

Para empezar a diseñar un muro de retención en voladizo o arriostrado en su parte superior se deben suponer algunas de sus dimensiones para llevar a cabo el diseño. Estas dimensiones van a depender, prácticamente, de la altura (H) del muro. En la siguiente figura se muestran las dimensiones del muro con su respectiva cota.

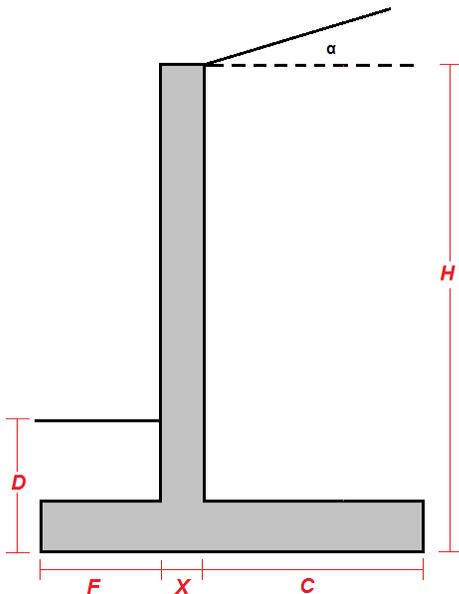


Figura 3. Cotas del muro

Un muro de contención se compone de varias partes: como el vástago del muro compuesto de la altura (H) y el ancho (X), la punta del muro que es la parte delantera del muro, en este caso, representada por la dimensión (F) y el tacón que es la parte trasera del muro, representada por la dimensión (C). En la sección 7.2 del libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das 2001* se plantean el dimensionamiento del muro de la siguiente manera.

- $F = 0,15H$
- $C = 2 \cdot F$
- $X = 0,3$  metros como mínimo

Este dimensionamiento se hace para un análisis del muro sin la fuerza sísmica del suelo de relleno, por lo que no coincide con nuestro caso, ya que para este análisis si se considera la fuerza sísmica como actuante en el muro, por lo que se tomaron las mismas dimensiones preliminares mencionadas anteriormente, aumentadas en un veinte por ciento para satisfacer las necesidades de la fuerza sísmica. También en ancho de la pantalla del muro de disminuyó a 15 centímetros, ya que empezar con un ancho mínimo de 30 centímetros es muy grande. Se tomó esa dimensión de quince centímetros porque el bloque más pequeño de mampostería para construir muros de retención tiene esa medida. Las dimensiones planteadas son las siguientes:

- $F = 0,18H$
- $C = 2 \cdot F$
- $X = 0,15$  metros como mínimo

Una vez que se han obtenido las dimensiones preliminares del muro de contención, se debe hacer todo el análisis de las fuerzas que actúan sobre él. Cabe destacar que si el muro no cumple con algunos de los factores de seguridad contra volcamiento, deslizamiento y capacidad soportante, se deben modificar las dimensiones del muro y realizar el análisis nuevamente hasta que estos cumplan. O también puede darse el caso en que los factores de seguridad son muy altos entonces se debe disminuir las dimensiones del muro.

## Cálculo de la presión activa

Cuando el muro de retención se desplaza hacia fuera, o sea hacia donde hay menos cantidad de suelo, la presión del suelo se da en condición activa. A esa fuerza provocada por la masa de suelo se llama presión activa, que está representada en la figura 4:

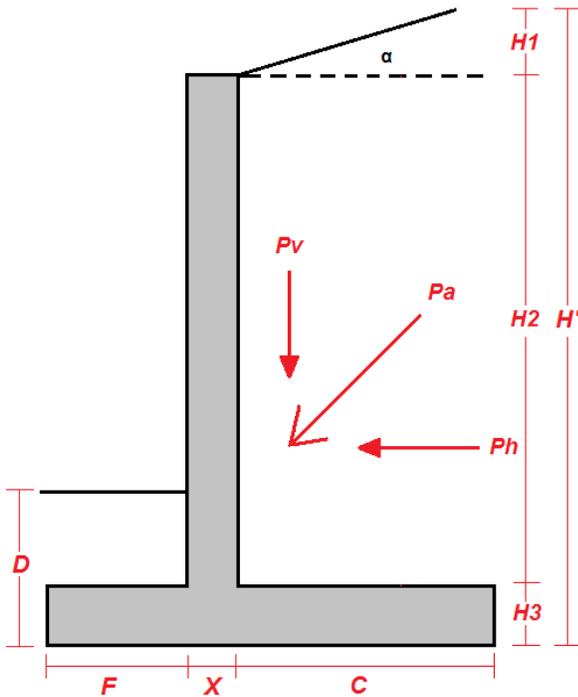


Figura 4. Presión Activa

La presión activa se puede presentar de dos maneras en un muro de contención, una es

cuando hay un relleno de suelo plano que presenta una resultante horizontal en el terreno y otra cuando hay un relleno de suelo inclinado que presenta una resultante con el ángulo de inclinación del terreno, en este caso hay que descomponerla en componentes para llevar a cabo el análisis de estabilidad. La resultante de la presión activa se coloca a  $1/3 \cdot H'$  metros del suelo cuando se va a calcular el análisis de estabilidad del muro y a  $1/3 \cdot H2$  cuando se va a calcular la presión sobre el vástago del muro y se calcula con las siguientes fórmulas.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma (H')^2 k_a \tag{1}$$

Donde:

Pa: es la presión activa.

γ: es la densidad húmeda del suelo.

H': es la altura total del muro (ver figura 4).

Ka: es el factor de presión activa.

Para obtener las componentes horizontales y verticales de la presión activa se usan las siguientes fórmulas:

$$P_v = P_a \sin \alpha \tag{2}$$

Donde:

Pv: es la componente vertical de la presión activa

α: es el ángulo de inclinación del suelo de relleno

$$P_h = P_a \cos \alpha \tag{3}$$

Donde:

Ph: es la componente horizontal de la presión activa

α: es el ángulo de inclinación del suelo de relleno

Estas fórmulas para el cálculo de la presión activa sirven para cuando se trata de un tipo de suelo. Cuando hay más de un estrato de suelo detrás del muro de retención se debe calcular un peso específico de suelo equivalente,

<sup>1</sup> Fórmula tomada de la sección 6.2.2.2. del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

<sup>2</sup> Fórmula tomada de la sección 7.2 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

<sup>3</sup> Fórmula tomada de la sección 7.2 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Daz

el cual nos va a semejar las condiciones de sitio como si solo hubiera un tipo de suelo. Para calcular el gama equivalente del suelo se deben calcular cada resultante del tipo de suelo que se encuentre detrás del muro. Cuando se tiene las resultantes calculadas se debe encontrar un gama que nos dé una resultante de empuje activo igual a la sumatoria de las resultantes obtenidas de los diferentes tipos de suelo.

La resultante final se obtiene con la siguiente fórmula:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_{EF} (H')^2 \quad 4$$

Donde:

Pa: es la presión activa.

$\gamma_{EF}$ : es el gama equivalente del suelo.

H': es la altura total del muro (ver figura 4).

También se debe calcular la presión en la base del muro, esta se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\sigma_h = \gamma_{EF} H' \quad 5$$

Donde:

$\gamma_{EF}$ : es el gama equivalente del suelo.

H': es la altura total del muro (ver figura 4).

## Cálculo del sismo en el suelo de relleno

El suelo de relleno también hace una contribución a las fuerzas que se aplican al muro con el sismo del suelo, esta tiene una configuración trapezoidal sobre el vástago del muro, que se compone de dos presiones iniciales P1 y P2 y una resultante R q se ubica a 0.6H metros desde el fondo del muro. Esta configuración de fuerzas aparece en la figura 5:

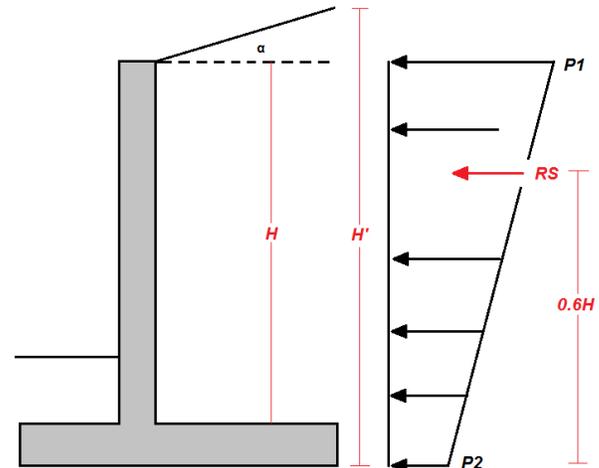


Figura 5. Sismo en una masa de suelo.

Las fórmulas que se utilizan para calcular las presiones y resultante del sismo son tomadas de la sección 13.8 del **Código Sísmico De Costa Rica (CSCR-2002)** y son las siguientes:

$$R_{sismo} = \frac{1}{2} \gamma_r (H')^2 \left( \frac{3}{4} a_{ef} \right) \quad 6$$

Donde:

R: es la resultante del sismo.

$\gamma_r$ : es la densidad húmeda del suelo de relleno.

H': es la altura total del muro (ver figura 5).

$a_{ef}$ : es la aceleración efectiva del suelo tomada de la sección 2.4 del Código Sísmico De Costa Rica (CSCR-2002).

$$P_1 = \frac{3}{20} \gamma_r H' a_{ef} \quad 7$$

Donde:

P1: es la presión que ejerce el sismo sobre el muro.

$\gamma_r$ : es la densidad húmeda del suelo de relleno.

H': es la altura total del muro (ver figura 3).

$a_{ef}$ : es la aceleración efectiva del suelo tomada de la sección 2.4 del Código Sísmico De Costa Rica (CSCR-2002).

<sup>4</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>5</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>6</sup> Fórmula tomada de la sección 13.8 del Código Sísmico de Costa Rica 2002.

<sup>7</sup> Fórmula tomada de la sección 13.8 del Código Sísmico de Costa Rica 2002.

$$P_2 = \frac{3}{5} \gamma_r H' a_{ef} \quad 8$$

Donde:

P2: es la presión q ejerce el sismo sobre el muro.

$\gamma_r$ : es la densidad húmeda del suelo de relleno.

H': es la altura total del muro (ver figura 3).

$a_{ef}$ : es la aceleración efectiva del suelo tomada de la sección 2.4 del Código Sísmico De Costa Rica (CSCR-2002).

La resultante del sismo se ubica a **0.6H** cuando se va a calcular la fuerza sobre el vástago de muro, pero se ubica a **0.6H'** cuando se va a hacer el análisis de estabilidad del muro.

## Cálculo del sismo en el vástago del muro

Al igual que una edificación, un muro de contención también experimenta fuerza sísmica en sus elementos estructurales, en el caso de un muro esta va a influir en su vástago. Para calcular la fuerza sísmica se siguen todos los parámetros y fórmulas dictadas en el **Código Sísmico De Costa Rica (CSCR-2002)**.

Para calcular el sismo se toma los siguientes parámetros:

- Zona Sísmica: Sección 2.1
- Perfil de Suelo: Sección 2.2
- Aceleración Efectiva: Sección 2.4
- Uso Estructural: Sección 4.1
- Tipo de Estructura: Sección 4.2
- Ductilidad Global ( $\mu$ ): Sección 4.3 -
- Periodo: Sección 7.4
- Factor espectral dinámico FED: Sección 5.7
- Factor de sobre resistencia SR: Sección 5

Una vez que se han obtenido todos los datos pertinentes al sismo, se utilizan las

<sup>8</sup> Fórmula tomada de la sección 13.8 del Código Sísmico de Costa Rica

siguientes fórmulas para calcularlo: primero se debe calcular el peso de un metro de muro,

$$W = \sum w_i \quad 9$$

Donde:

Wi: Peso del muro.

Seguidamente se debe calcular el coeficiente sísmico.

$$C = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR} \quad 10$$

Donde

$a_{ef}$ : Aceleración Pico Efectiva.

I: Factor de Importancia.

F.E.D: Factor Espectral Dinámico.

S.R: Factor de Sobrerresistencia.

Y luego se calcula el cortante en la base.

$$V = C * W \quad 11$$

Donde:

V: Cortante en la base.

C: Coeficiente Sísmico.

W: Peso Total del edificio.

La distribución de la fuerza del sismo en el muro aparece como una fuerza cortante en la base del mismo y se caracteriza por ser de forma puntal. En la práctica profesional no se acostumbra a tomar esa fuerza para el diseño ya que el suelo está en contacto en toda la cara del muro y no solo en su base, por lo que se toma la fuerza cortante y se divide entre la altura H2 del muro para obtener una carga distribuida en lugar de una fuerza puntal como se muestra en la figura 6:

<sup>9</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del Código Sísmico de Costa Rica

<sup>10</sup> Fórmula tomada del capítulo 5 del Código Sísmico de Costa Rica

<sup>11</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del Código Sísmico de Costa Rica

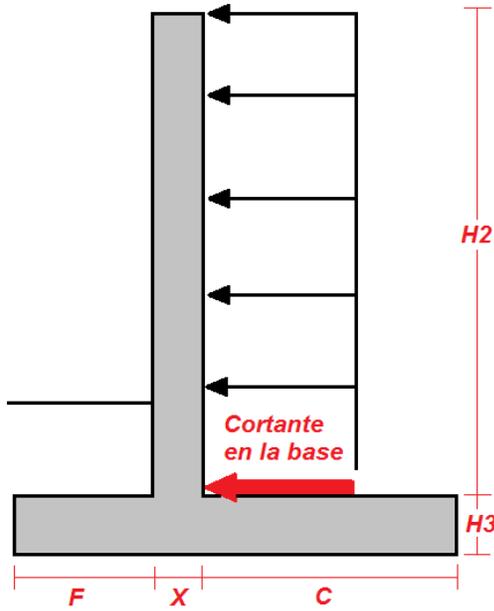


Figura 6. Sismo en el vástago del muro.

## Cálculo de la sobrecargas en el muro

Cuando existen sobrecargas encima de un muro, estas se deben de trabajar de manera que su peso o esfuerzo se transmita al muro en una resultante para poder obtener los momentos respectivos. El libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das* plantea dos casos: uno, los cuales son los más usados que semejan figuras típicas de la construcción como paredes, cargas puntuales, área de carga. Cuando se tiene una línea de carga encima del muro y cuando hay una sobrecarga aplicada a un área determinada. A continuación se presentan los dos casos.

### Caso 1: línea de carga

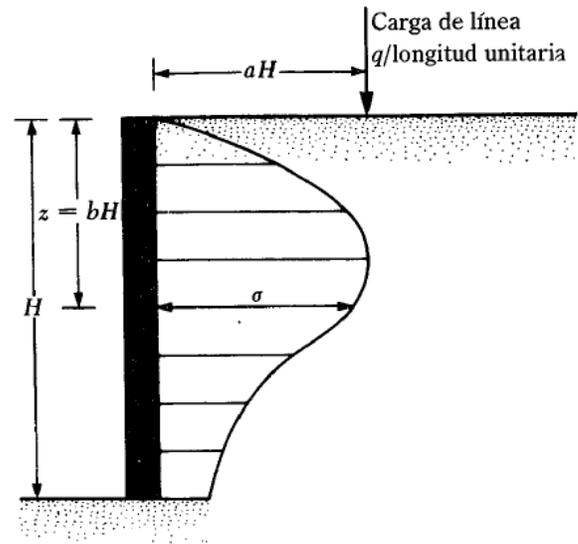


Figura 7. Sobrecarga lineal, tomada del libro Braja M. Das

Las fórmulas para calcular la sobrecarga son las siguientes:

$$\sigma = \frac{4q}{\pi H} \frac{a^2 b}{(a^2 + b^2)^2} \quad \text{para } a > 0.4H \quad 12$$

Donde:

a: es la distancia de la carga lineal hasta el muro.  
b: son los tramos en donde se obtiene el esfuerzo.

H: es la altura del muro.

q: es la magnitud de la carga lineal.

$$\sigma = \frac{q}{H} \frac{0.203b}{(0.16 + b^2)^2} \quad \text{para } a \leq 0.4H \quad 13$$

Donde:

b: son los tramos en donde se obtiene el esfuerzo.

H: es la altura del muro.

q: es la magnitud de la carga lineal.

<sup>12</sup> Fórmula tomada de la sección 6.7 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

<sup>13</sup> Fórmula tomada de la sección 6.7 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

Una vez obtenido los valores de los esfuerzos, estos al graficarse, se obtiene una curva como se nota en la figura 7, por lo que hay que tomar todos los valores y obtener un promedio de ellos para así obtener una carga distribuida en el muro en lugar de una distribución de esfuerzos en forma de curva, y la resultante se ubica a  $H/2$  metros desde el suelo.

**Caso 2: sobrecarga aplicada a un área determinada**

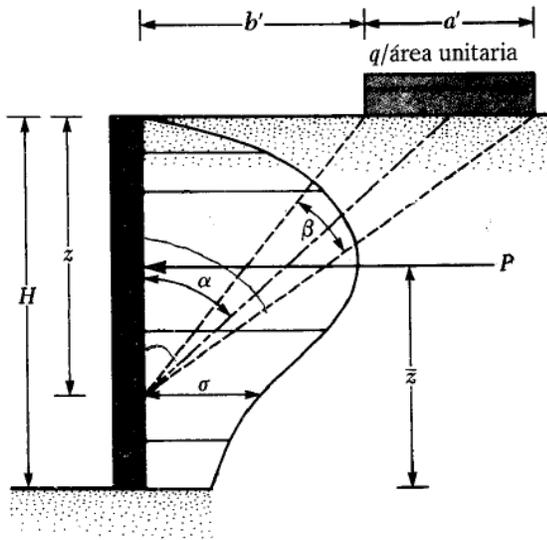


Figura 8. Sobrecarga aplicada a un área determinada, tomada del libro Braja M. Das

Las fórmulas para calcular la sobrecarga son las siguientes:

$$P = \frac{q}{90} [H(\theta_2 - \theta_1)] \tag{14}$$

Donde:

q: es la magnitud de la carga aplicada.

H: es la altura del muro.

$\theta_1$ : ángulo para obtener resultado.

$\theta_2$ : ángulo para obtener resultado.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{b'}{H} \right) \tag{15}$$

<sup>14</sup> Fórmula tomada de la sección 6.7 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

<sup>15</sup> Fórmula tomada de la sección 6.7 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

Donde:

$\theta_1$ : ángulo para obtener resultado.

b': es la distancia del área de carga al muro.

H: es la altura del muro.

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{a'+b'}{H} \right) \tag{16}$$

Donde:

$\theta_1$ : ángulo para obtener resultado.

b': es la distancia del área de carga al muro.

H: es la altura del muro.

a': es el largo del área de carga aplicada.

# Cálculo de la presión activa para un muro articulado-empotrado

Para calcular la presión activa de un muro que se encuentra arriostrado en su parte superior por una articulación, se calcula igual como si estuviera en voladizo, pero se deben utilizar una serie de fórmulas para obtener la resultante en la base. En la figura 9 se puede ver la configuración de fuerzas que presenta el muro:

<sup>16</sup> Fórmula tomada de la sección 6.7 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

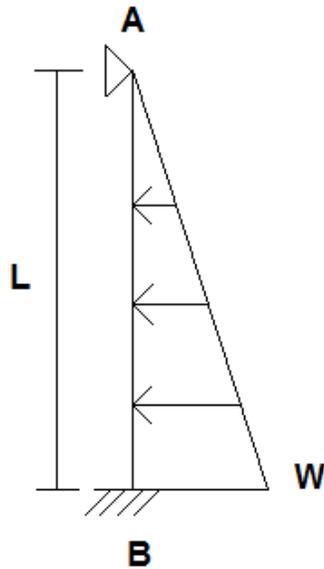


Figura 9: Diagrama de presiones para un muro articulado-empotrado

Primero se debe obtener la presión activa para obtener la carga W del diagrama:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma (H')^2 k_a \quad 17$$

Donde:

Pa: es la presión activa.

$\gamma$ : es la densidad húmeda del suelo.

H': es la altura total del muro (ver figura 2).

Ka: es el factor de presión activa.

Así mismo obtener la reacción en la base B con la siguiente fórmula:

$$S_B = \frac{2wL}{5} \quad 18$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

A su vez, el momento en la base causado por la presión activa es:

$$M_B = \frac{wL^2}{15} \quad 19$$

<sup>17</sup> Fórmula tomada de la sección 6.2.2.2. del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

<sup>18</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

## Cálculo de la fuerza sísmica para un muro articulado-empotrado

La distribución sísmica del suelo en la cara del vástago del muro presenta una forma trapezoidal como se aprecia en la figura 10, por lo que su cálculo debe dividirse en dos, para una distribución triangular como la presión activa y una distribución lineal de carga como lo muestra la figura 10.

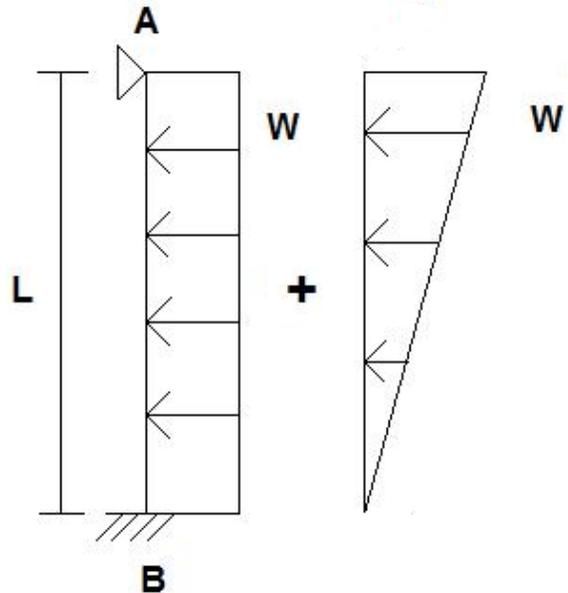


Figura 10: Distribución sísmica para un muro articulado-empotrado

<sup>19</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

Para la distribución lineal de carga triangular se utiliza la siguiente fórmula:

$$S_B = \frac{9wL}{40} \quad 20$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

Y su respectivo momento en la base es:

$$M_B = \frac{7wL^2}{120} \quad 21$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

La siguiente fórmula para calcular la distribución lineal de carga sirve tanto para el cálculo del sismo del suelo como para el sismo que produce el vástago del muro.

$$S_B = \frac{5wL}{8} \quad 22$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

Y su respectivo momento en la base es:

$$M_B = \frac{wL^2}{8} \quad 23$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

<sup>20</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>21</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>22</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>23</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

# Cálculo de la sobrecarga para un muro articulado-empotrado

Para el cálculo de la sobrecarga se toma la distribución de carga lineal en la cara del vástago del muro como lo muestra la figura 11:

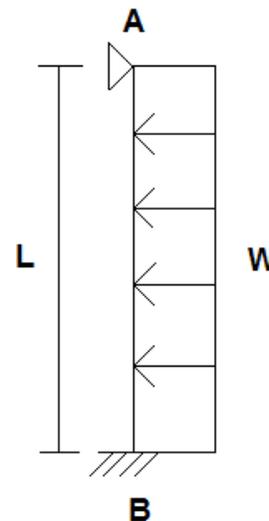


Figura 11: Distribución de una sobrecarga para un muro articulado-empotrado

Y se utiliza la siguiente fórmula para su cálculo:

$$S_B = \frac{5wL}{8} \quad 24$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

Y el cálculo del momento en la base es:

<sup>24</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

$$M_B = \frac{wL^2}{8}$$

25

Donde:

W: es el peso o presión activa

L: es la altura del muro

Una vez que se han encontrado todas las reacciones de las respectivas fuerzas que empujan al muro, se procede a calcular el cortante total en la base, que sería la sumatoria de todas las fuerzas cortantes para un muro arriostrado con una articulación en la parte superior y un empotramiento en la base, y se representa por la simbología de  $\sum Fr$ . De la misma manera se hace para encontrar el momento total en la base de la cimentación, que sería la sumatoria de todos los momentos anteriormente para un muro arriostrado con una articulación en la parte superior y un empotramiento en la base y estaría representado con la simbología de  $\sum Mo$ .

El cortante total y el momento total se utilizarán para obtener los factores de seguridad contra volcamiento y deslizamiento que se calcularán más adelante.

## Cálculo de la presión activa para un muro articulado-articulado

Para calcular la presión activa de un muro que se encuentra arriostrado en su parte superior por una articulación y con una articulación en la base, no se calcula igual como si estuviera en voladizo, si no hay que utilizar una serie de fórmulas para obtener la resultante en la base. En la figura 12 se puede ver la configuración de fuerzas que presenta el muro:

<sup>25</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

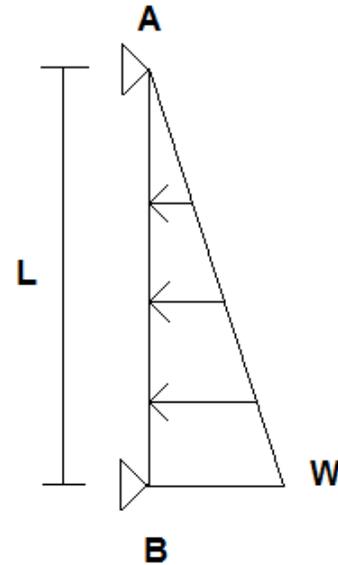


Figura 12: Diagrama de presiones para un muro articulado-articulado

Primero se debe obtener la presión activa para obtener la carga W del diagrama:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma (H')^2 k_a \quad 26$$

Donde:

Pa: es la presión activa.

$\gamma$ : es la densidad húmeda del suelo.

H': es la altura total del muro (ver figura 2).

Ka: es el factor de presión activa.

Así mismo obtener la reacción en la base B con la siguiente fórmula:

$$S_B = \frac{wL}{3} \quad 27$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

A su vez el momento en la base causado por la presión activa es:

$$M_{max} = 0.064wL^2 \quad 28$$

<sup>26</sup> Fórmula tomada de la sección 6.2.2.2. del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

<sup>27</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

# Cálculo de la fuerza sísmica para un muro articulado-articulado

La distribución sísmica del suelo en la cara del vástago del muro presenta una forma trapezoidal como se aprecia en la figura 5, por lo que su cálculo debe dividirse en dos, para una distribución triangular como la presión activa y una distribución lineal de carga como lo muestra la figura 13.

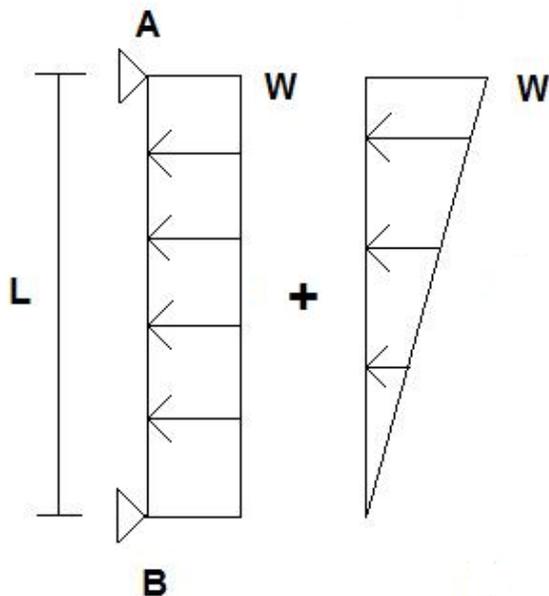


Figura 13: Distribución sísmica para un muro articulado-articulado

<sup>28</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

Para la distribución lineal de carga triangular se utiliza la siguiente fórmula:

$$S_A = \frac{wL}{6} \tag{29}$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

Y su respectivo momento en la pantalla es:

$$M_{max} = 0.064wL^2 \tag{30}$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

La siguiente fórmula para calcular la distribución lineal de carga sirve tanto para el cálculo del sismo del suelo como para el sismo que produce el vástago del muro.

$$S_B = \frac{wL}{2} \tag{31}$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

Y su respectivo momento en la pantalla es:

$$M = \frac{wL^2}{8} \tag{32}$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

<sup>29</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>30</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>31</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

<sup>32</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

# Cálculo de la sobrecarga para un muro articulado-articulado

Para el cálculo de la sobrecarga se toma la distribución de carga lineal en la cara del vástago del muro como lo muestra la figura 14:

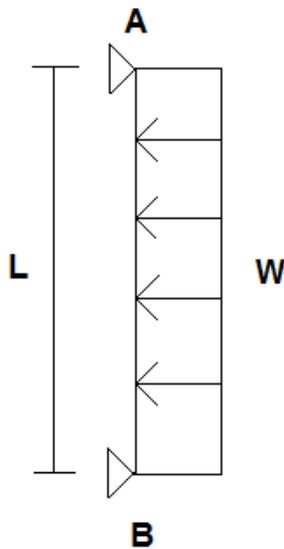


Figura 14: Distribución de una sobrecarga para un muro articulado-articulado

Y se utiliza la siguiente fórmula para su cálculo:

$$S_B = \frac{wL}{2} \quad 33$$

Donde:

W: es el peso o presión activa.

L: es la altura del muro.

Una vez que se han encontrado todas las reacciones de las respectivas fuerzas que empujan al muro, se procede a calcular el cortante total en la base, que sería la sumatoria de todos los cortantes anteriormente para un muro arriostrado con una articulación en la parte superior y una articulación en la base y está representado por la simbología de  $\sum Fr$ .

El cortante total se utilizará para obtener el factor de seguridad contra deslizamiento que se calcularán más adelante Para volcamiento no se calcula el factor de seguridad ya cuando hay un muro de contención articulado-articulado su momento en la base es cero, por lo que no presenta momento de volcamiento.

<sup>33</sup> Fórmula tomada del libro Handbook of Concrete Engineering

# Estabilidad del muro de contención

Cuando se ha analizado y calculado todas las fuerzas que afectan al muro como la presión activa, el sismo en el suelo, el sismo del muro y las sobrecargas, se procede a realizar el análisis de estabilidad del muro así como la revisión de vuelco, deslizamiento y capacidad de soporte. A continuación se presentan los procesos para calcular el volcamiento, deslizamiento y capacidad soportante:

## Revisión contra volcamiento del muro

Las masas de suelos se caracterizan no solo por tener un peso que empuja hacia abajo, sino que también tienen una componente horizontal que empuja hacia los lados. Una vez construido el muro de contención, la masa de suelo que se encuentra en el relleno tiende a volcar el muro para la dirección donde hay menos suelo, esa fuerza que empuja es llamada la presión activa del suelo que ya fue calculada anteriormente. A esa fuerza de empuje activa hay que sumarle la fuerza horizontal del sismo del suelo, la resultante del sismo en el muro y las resultantes de las sobrecargas para obtener la fuerza total que produce el volcamiento. En la siguiente figura se muestra el muro con las fuerzas incidentes del vuelco.

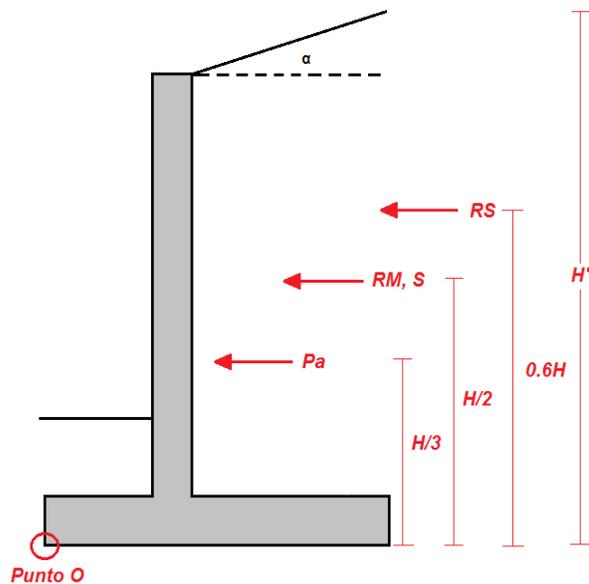


Figura 15. Fuerzas que provocan y detienen el vuelco del muro

Para llevar a cabo el análisis del volcamiento primero hay que calcular los momentos resistentes contra el vuelco que son los  $\sum Mr$ . Estos momentos resistentes son la sumatoria de los momentos que producen los pesos del muro y del suelo en el punto O. Para mayor facilidad del cálculo de estos momentos es recomendable confeccionar una tabla con las áreas, pesos, brazos de palanca y momentos como la siguiente:

Parte	Peso(kg)	Brazo(m)	Mr(kg-m)
1			
2			
3			
4			
5			
	Σ de pesos		Σ de Mr

Tabla 1. Cálculo de momentos resistentes

Para el cálculo de los momentos que producen el vuelco (ΣMo) para un muro en voladizo se deben sumar todos los momentos que lo producen y también es recomendable confeccionar una tabla para mayor facilidad de cálculo.

Parte	Brazo(m)	Mo(kg-m)
Presión activa		
Sismo del suelo		
Sismo del muro		
Sobrecarga		
		Σ de Mo

Tabla 2. Cálculo de momentos que producen el vuelco

Si el muro de contención es arriostrado en su parte superior y presente diferentes configuraciones de apoyo como articula en su parte superior y empotrado en su base o articula en su parte superior y articulado en su base, se debe utilizar el momento total en la base para cada caso en particular representado por Σ Mo y que fue calculado anteriormente.

Una vez obtenido los momentos de resistente y actuantes del vuelco se procede a calcular el factor de seguridad contra volcamiento que según la sección 3.4.1.2 del **Código De Cimentaciones De Costa Rica segunda edición** tiene que ser mayor a 1.5 sin fuerza sísmica del suelo y 1.2 con fuerza sísmica de suelo. EL factor de seguridad se calcula con la siguiente fórmula:

$$FS_{volc} = \frac{\sum M_r}{\sum M_o}$$

34

Donde:

ΣMr: sumatoria de momentos resistentes al vuelco

ΣMo: sumatoria de momentos que producen el vuelco.

## Revisión contra deslizamiento del muro

En el caso del deslizamiento, las fuerzas que lo producen son: la presión activa, la resultante del sismo del suelo, la resultante del sismo del muro y la resultante de la sobrecarga. Por otro lado, las fuerzas que tienden a resistir el deslizamiento son la presión pasiva Pp, los pesos de las partes del muro y del suelo que se encuentran encima del muro, más la fricción del suelo con el cimiento y la cohesión. En la figura 16 se muestra la configuración de fuerzas que producen y resisten el deslizamiento:

<sup>34</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

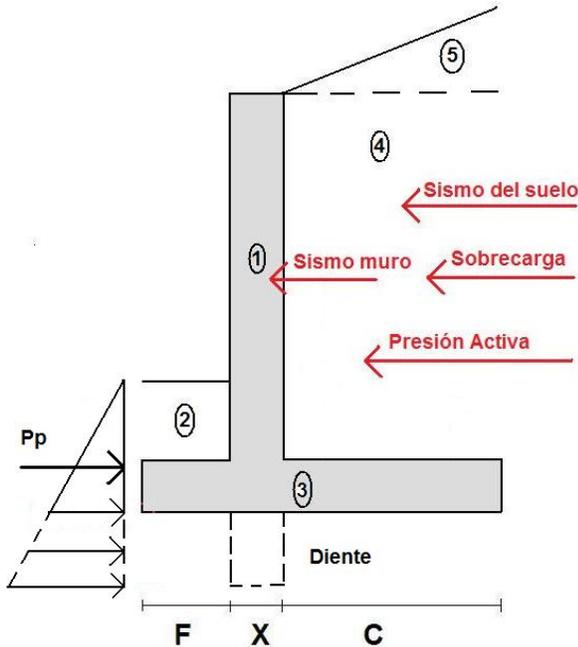


Figura 16. Fuerzas que provocan y contrarrestan el deslizamiento del muro

La presión pasiva se obtiene con la siguiente fórmula.

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_2 D^2 + 2c_2 D \sqrt{K_p} \quad 35$$

Donde:

- Kp: es el coeficiente de presión pasiva.
- $\gamma_2$ : es la densidad húmeda del suelo de base.
- D: es el desplante del muro hasta donde termina el cimentación (hasta donde termina el diente de la cimentación en el caso que se ocupe).
- C2: es la cohesión del suelo de base.

La suma de los pesos se obtiene de la tabla 1 que se uso para calcular los momentos contra el volcamiento. Para el cálculo total de las fuerzas resistentes contra el deslizamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sum F_{R'} = (\sum V)F + Bc_a + P_p \quad 36$$

<sup>35</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

<sup>36</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

Donde:

- Pp: es la resultante de la fuerza pasiva.
- $\sum V$ : es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo.
- B: es el ancho de la cimentación.
- Ca: es la cohesión del suelo.
- F: es la fricción entre el suelo y el concreto.

La presión pasiva hay que multiplicarla por unos factores de reducción de 0.67 debido a que esta no se puede tomar completa para el cálculo de la fricción.

Una vez obtenidas las fuerzas resistentes, se calculan las fuerzas que provocan el deslizamiento con la siguiente fórmula:

$$\sum F_d = P_a + R_s + R_{sm} + R_{sobre} \quad 37$$

Donde:

- Pa: es la presión activa.
- Rs: es la resultante del sismo en el suelo.
- Rsm: es la resultante del sismo en el muro.
- Rsobre: es la resultante de la sobrecarga.

Si el muro de contención es arriostrado en su parte superior y presente diferentes configuraciones de apoyo como una articulación en su parte superior y un empotramiento en su base o articulado en su parte superior y articulado en su base, se debe utilizar la fuerza total de deslizamiento en la base de muro para cada caso en particular representada por  $\sum F_d$  y que fue calculado anteriormente.

Con ambas fuerzas calculadas se utiliza la siguiente fórmula para obtener el factor de seguridad contra deslizamiento:

$$FS_{desl} = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d} \quad 38$$

Donde:

- $\sum F_{R'}$ : son las fuerzas resistentes al deslizamiento.

<sup>37</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

<sup>38</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

$\sum F_d$ : son las fuerzas que provocan el deslizamiento.

El factor de seguridad contra deslizamiento tiene que ser mayor a 1.5 sin fuerza sísmica mayor a 1.2 con fuerza sísmica según la sección 3.4.1.2 del **Código Sísmico De Costa Rica segunda edición 2009**.

## Revisión contra capacidad soportante

Para obtener la capacidad soportante de una cimentación superficial se utilizara el método del libro **Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das.**, en donde primero se obtiene un momento neto con la siguiente fórmula.

$$M_{neto} = \sum M_r - \sum M_o \quad 39$$

Donde:

$\sum M_r$ : sumatoria de momentos resistentes al vuelco.

$\sum M_o$ : sumatoria de momentos que producen el vuelco.

Aquí los momentos  $\sum M_o$  pueden provenir de la sumatoria de momentos que producen el vuelco para un muro de contención en voladizo o de la sumatoria de momentos de un muro de contención arriostrado; depende del caso que se esté trabajando.

Luego se debe calcular una distancia X en la cimentación que es la distancia en donde actúa la resultante, está dada por la siguiente fórmula.

$$CE = X = \frac{M_{neto}}{\sum V} \quad 40$$

<sup>39</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

<sup>40</sup> Fórmula tomada de la sección 7.4 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

Donde:

$M_{neto}$ : es el momento obtenido de la fórmula 37.

$\sum V$ : es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo.

Con los dos cálculos anteriores se debe calcular la excentricidad de la carga de la siguiente manera.

$$e = \frac{B}{2} - CE \quad 41$$

Donde:

e: es la excentricidad de la carga

B: es el ancho del cimiento

CE: es la distancia X

Con la excentricidad calculada se pueden presentar dos casos de resultantes de presiones en la cimentación:

### Caso 1:

$$e < \frac{L}{6} \quad 42$$

Donde:

L: es el ancho del cimiento.

e: es la excentricidad de la carga.

Cuando la excentricidad es menor a L/6, la cimentación va a presentar una configuración de presiones trapezoidales debajo de ella, en la figura 17 se pueden ver:

<sup>41</sup> Fórmula tomada de la sección 6.7 del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

<sup>42</sup> Igualdad tomada de la sección 4.2.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

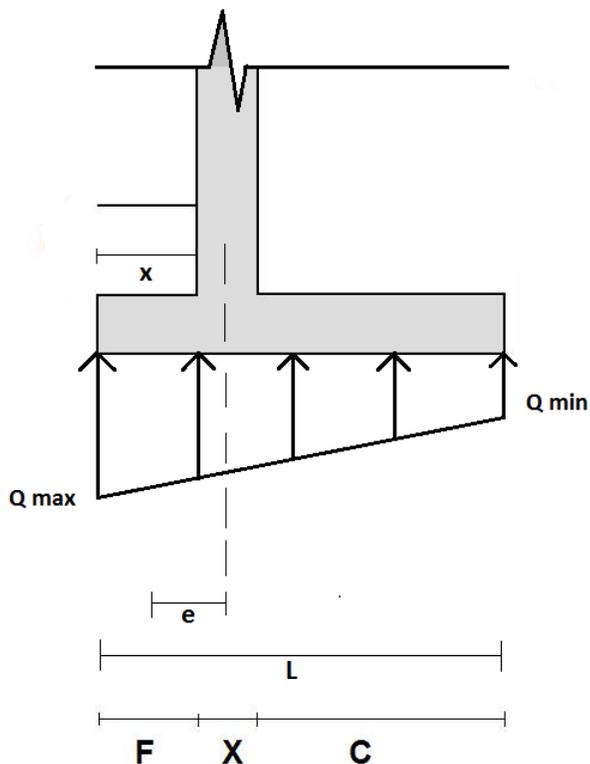


Figura 17. Presiones trapezoidales

Las presiones Q máxima y Q mínima se calculan con las siguientes fórmulas:

$$Q_{max} = \frac{\Sigma V}{A} \left( 1 + \frac{6e}{L} \right) \quad 43$$

Donde:

ΣV: es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo.

A: es el área del cimiento B\*ancho unitario (1 m).

L: es el ancho del cimiento.

e: es la excentricidad.

$$Q_{min} = \frac{\Sigma V}{A} \left( 1 - \frac{6e}{L} \right) \quad 44$$

Donde:

ΣV: es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo.

<sup>43</sup> Fórmula tomada de la sección 4.2.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

<sup>44</sup> Fórmula tomada de la sección 4.2.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

A: es el área del cimiento B\*ancho unitario (1 m).  
L: es el ancho del cimiento.  
e: es la excentricidad.

**Caso 2:**

$$\frac{L}{6} < e < \frac{L}{2}$$

45

Donde:

L: es el ancho del cimiento

Cuando la excentricidad es mayor a L/6 y menor que L/2, la configuración de las presiones debajo de la cimentación son triangulares, en la figura 18 se pueden ver:

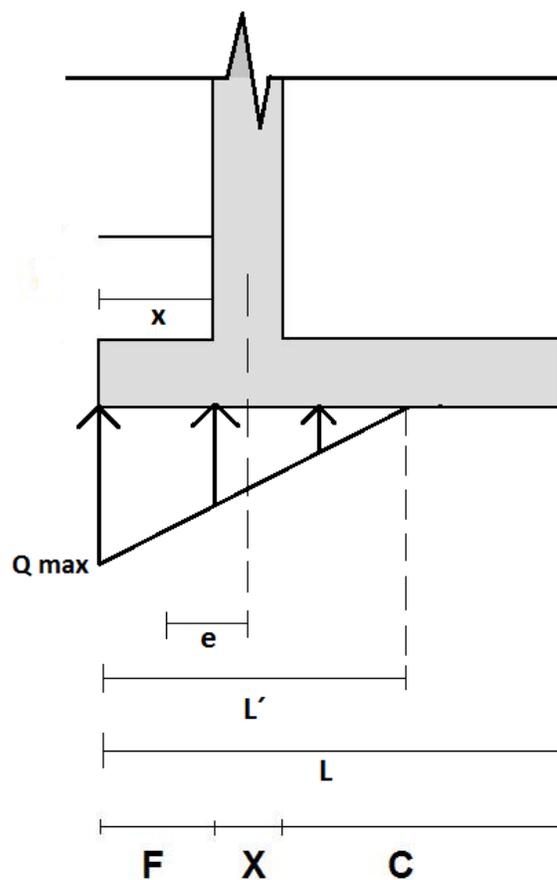


Figura 18. Presiones triangulares

<sup>45</sup> Igualdad tomada de la sección 4.2.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

Para calcular la presión máxima cuando las presiones tienen forma triangular, se utiliza la siguiente fórmula:

$$q = \frac{2V}{3B\left(\frac{L}{2} - e\right)} \quad 46$$

Donde:

V: es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo.

B: es el largo del cimiento, 1 metro.

L: es el ancho del cimiento.

e: es la excentricidad.

También se debe calcular una distancia L' que es la distancia en donde las presiones calculadas actúan sobre el cimiento, y que según el **Código de Cimentaciones de Costa Rica** tiene que ser **mayor a L/2**, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$L' = 3\left(\frac{L}{2} - e\right) \quad 47$$

Donde:

L: es el ancho del cimiento.

e: es la excentricidad del cimiento.

Cuando las presiones tienen esta forma, las dimensiones del triángulo son  $(Q_{max} \cdot L')/2$ . El **Código de Cimentaciones De Costa Rica** dice que la distancia L' tiene que ser mayor a L/2, donde L es el ancho del cimiento, ya que si esta es menor, el muro de contención es demasiado inestable y podría volcarse.

Para las dos formas de presiones anteriores, ya sean triangulares o trapezoidales, hay que utilizar las combinaciones de cargas del **Código Sísmico De Costa Rica 2002 C.S.C.R.** Esas combinaciones son las siguientes:

$$CU = 1.4 \cdot CP$$

$$CU = 1.2 \cdot CP + 1.6 \cdot CT + 1.6 \cdot CE$$

$$CU = 1.05 \cdot CP + f_1 \cdot CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95 \cdot CP \pm CS + CE \quad 48$$

<sup>46</sup> Fórmula tomada de la sección 4.2.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

<sup>47</sup> Fórmula tomada de la sección 4.2.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

Para calcular el factor de seguridad contra capacidad soportante hay dos casos:

**Caso 1:**

Este es cuando tengo un estudio de suelo que me proporciona todos los valores y resistencias del suelo en estudio. Aquí se debe comparar la capacidad admisible del suelo, que viene con un factor de seguridad aplicado de 3 y compararla con la presión máxima del suelo Q<sub>max</sub>. El **Código de cimentaciones de Costa Rica segunda edición** en la sección 3.4.1.2 dice que para que el diseño del cimiento se puede llevar a cabo, la capacidad admisible del suelo debe ser mayor a la Q<sub>max</sub> del suelo, de lo contrario hay que rediseñar la placa de cimiento.

$$Q_{adm} > Q_{max\text{suelo}} \quad 49$$

Donde:

Q<sub>adm</sub>: es la capacidad admisible del suelo.

Q<sub>max</sub>: es la presión máxima en la punta del cimiento del muro.

**Caso 2:**

Es cuando no tengo un estudio de suelos que me respalde por lo tanto se necesita encontrar la capacidad última del suelo para encontrar el factor de seguridad contra capacidad soportante. Esa capacidad última se calcula con las siguientes fórmulas:

$$q_u = c_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}^{50}$$

Donde:

Q<sub>u</sub>: es la fórmula general de la capacidad última del suelo

C: es la cohesión del suelo.

Para calcular la capacidad última del suelo se deben calcular los siguientes datos e introducirlos en la fórmula anterior. Esos valores se calculan con las siguientes fórmulas:

<sup>48</sup> Fórmulas tomadas de la sección 6.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

<sup>49</sup> Igualdad tomada del Código de Cimentaciones de Costa Rica segunda edición

<sup>50</sup> Todas las fórmulas del caso dos son tomadas del libro Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das

$$q = \gamma_2 D$$

Donde:

$\gamma_2$ : es la densidad húmeda del suelo de base.

D: es el desplante desde inicio del suelo hasta al final del diente.

$$B' = B - 2e$$

Donde:

B: ancho de la cimentación.

e: es la excentricidad.

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{D}{B'}$$

Donde:

D: es el desplante desde inicio del suelo hasta al final del diente.

B': es el valor calculado de la siguiente fórmula.

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi_2 (1 + \sin \phi_2)^2 \frac{D}{B'}$$

Donde:

D: es el desplante desde inicio del suelo hasta al final del diente.

B': es el valor calculado de la siguiente fórmula.

$\Phi$ : es el ángulo de fricción del suelo.

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$\psi^o = \tan^{-1} \left( \frac{P_a \cos \alpha}{\sum V} \right)$$

Donde:

$P_a$ : es la presión activa.

$\sum V$ : es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo.

$\alpha$ : es el ángulo de inclinación del suelo de relleno.

$$F_{ci} = F_{qi} = \left( 1 - \frac{\psi^o}{90^o} \right)^2$$

Donde:

$\Psi$ : es el ángulo calculado en la formula anterior.

$$F_{\gamma i} = \left( 1 - \frac{\psi^o}{\phi} \right)^2$$

Donde:

$\Phi$ : es el ángulo de fricción del suelo.

$\Psi$ : es el ángulo calculado en la formula anterior.

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi}$$

Donde:

$\Phi$ : es el ángulo de fricción del suelo.

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

Donde:

$\Phi$ : es el ángulo de fricción del suelo.

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Donde:

$\Phi$ : es el ángulo de fricción del suelo.

El factor de seguridad se calcula con la siguiente fórmula

$$FS_{capac} = \frac{q_u}{q_{max}}$$

Donde:

$q_u$ : es la capacidad última del suelo

$q_{max}$ : es la presión máxima calculada de acuerdo con los diagramas de presiones, triangulares o trapezoidales.

El **Código de Cimentaciones De Costa Rica** dice que el factor de seguridad para capacidad soportante debe ser mayor a 3 cuando en el análisis de estabilidad del muro de contención no se toma en cuenta la fuerza sísmica que ejerce el suelo sobre el muro, o sea, sujeto a carga estática y mayor a 2 cuando el análisis de estabilidad del muro está sujeto a carga estática más carga dinámica, o sea, cuando hay fuerza sísmica. Esto según a la según la sección 3.4.1.2 del C.S.C.R. 2002

Los asentamientos son una parte muy importante de la construcción de un muro de construcción, ya que esta puede fallar a causa de asentamientos en su base. En este caso no se hicieron cálculos de asentamientos ya que cuando se toma un factor de seguridad de 3 o 2

para la capacidad soportante del suelo, no hace falta calcular los asentamientos ya que la capacidad soportante los absorbe.

También la estabilidad global no se calculó para este proyecto ya que es un tema aparte del diseño de muros de retención, pero se debe calcular por aparte con estabilidad de taludes para asegurar la estabilidad del terreno.

# Diseño estructural del muro de contención

## Cálculo de fuerzas en el vástago del muro

Las fuerzas en el vástago de muro se obtienen de la misma manera que como se estuvieran calculando para el análisis de estabilidad para un muro en voladizo, articulado-empotrado o articulado-articulado. La única consideración que hay que tomar en cuenta es que ya no se usa la altura  $H'$  del muro, que es la sumatoria de todas las alturas, porque la cimentación no es parte del vástago del muro, por lo que la fuerza que afecta su espesor no estaría afectando la pantalla del muro, entonces se utiliza la altura  $H$ , es que la altura de la pantalla del muro. En la figura 19 se pueden observar las fuerza que afectan la pantalla del muro y sus respectivas resultantes ubicadas en función de la altura  $H$ .

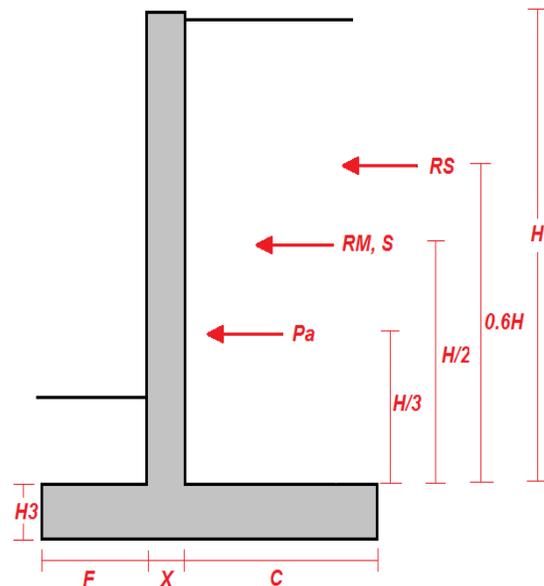


Figura 19. Fuerzas actuantes en el vástago del muro.

De acuerdo al tipo de muro que se haya seleccionado, ya sea en voladizo o arriostrado en su parte superior, las fuerzas actuantes deforman la pantalla del muro de una manera diferente, por lo que el cálculo del momento último y el cortante depende de cada caso. Cuando el muro de contención es de tipo voladizo su vástago o pantalla se deforma de la siguiente manera, como se muestra en la figura 20.

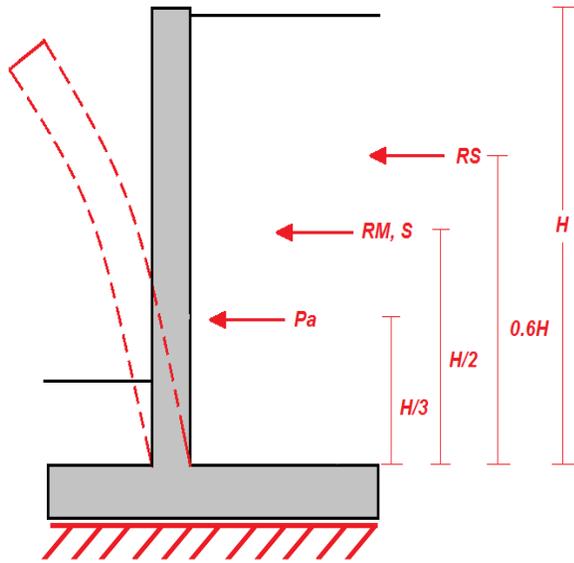


Figura 20. Deformación del vástago para un muro tipo voladizo

En un muro de contención tipo voladizo su extremo superior se encuentra suelto, por lo que las fuerzas de empuje tienden a doblarlo para el lado donde empuja el suelo. Su momento y cortante máximo se encuentran en su base y con ellos se debe diseñar para flexión y cortante.

La colocación del acero del muro va a depender del lado que empuje el terreno al muro. Para muros en voladizo el acero a tensión se debe colocar en la cara que está en contacto con el suelo, como se aprecia en la figura 21.

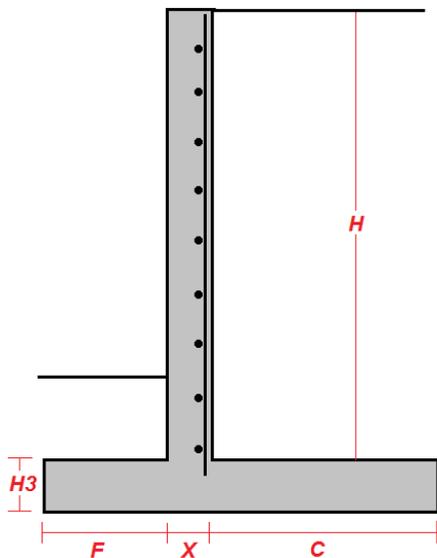


Figura 21. Colocación del acero del vástago para un muro tipo voladizo

Para un muro de contención arriostrado en la su parte superior por un apoyo articulado y un empotramiento en su base el muro se tiende a deformar de la siguiente manera, como se observa en la figura 22.

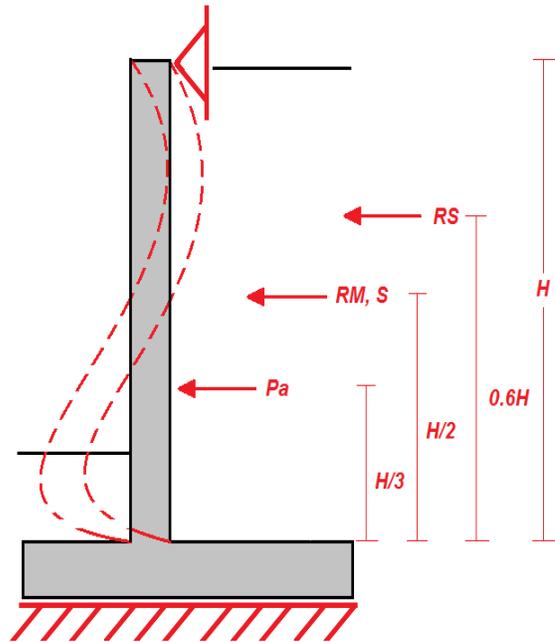


Figura 22. Deformación del vástago para un muro de contención articulado-empotrado.

Debido a que la deformación del muro presenta tensión en ambas caras de la pantalla, se debe tomar el momento máximo de cada extremo para calcular el acero requerido y este debe ubicarse como se muestra en la figura 23.

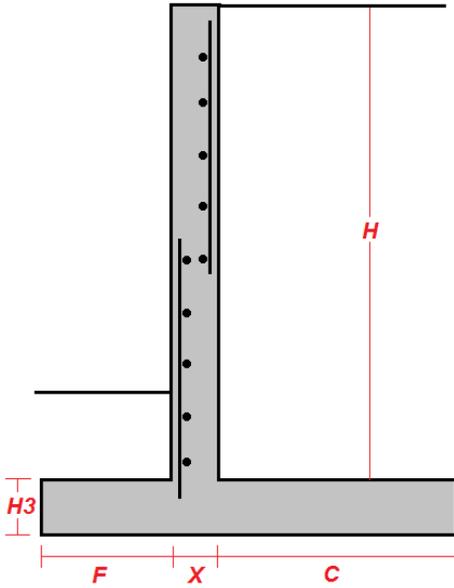


Figura 23. Colocación del acero del vástago para un muro articulado-empotrado.

Para un muro de contención arriostrado en la su parte superior por un apoyo articulado y una articulación en su base, el muro se tiende a deformar de la siguiente manera, como se observa en la figura 24.

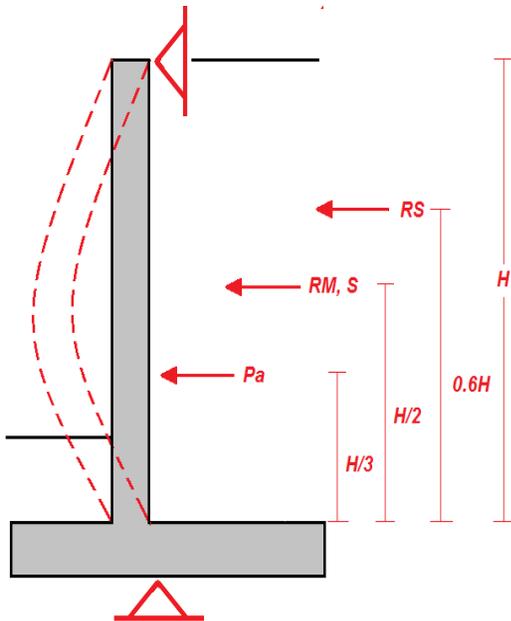


Figura 24. Deformación del vástago para un muro de contención articulado-articulado.

Característico de este caso la tensión del vástago se encuentra en la cara exterior de la pantalla, o sea, la que no está en contacto con el suelo que empuja al muro y su acero para flexión se debe colocar en la cara externa del vástago. En la siguiente figura se observa la posición en donde debe ir colocado el acero de flexión del vástago.

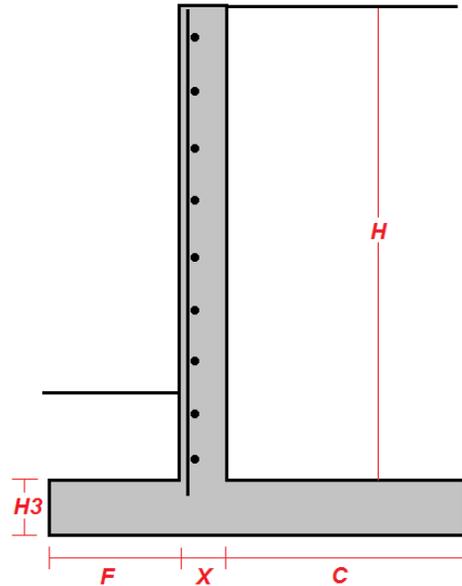


Figura 25. Colocación del acero del vástago para un muro articulado-articulado.

## Diseño por flexión del vástago para muros en concreto

Para calcular el acero por flexión del vástago o pantalla de cualquiera de los diferentes tipos de muros de contención en concreto se deben seguir el siguiente procedimiento.

Primero se debe calcular el momento último para el tipo de muro deseado con las combinaciones de carga del **Código Sísmico de Costa Rica**.

$$CU = 1.4 \cdot CP$$

$$CU = 1.2 \cdot CP + 1.6 \cdot CT + 1.6 \cdot CE$$

$$CU = 1.05 \cdot CP + f_1 \cdot CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95 \cdot CP \pm CS + CE \quad 51$$

Luego de calcular el momento se debe calcular lo siguiente. Cálculo de la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0.85 f'_c b_w}} \quad 52$$

Donde:

$f'_c$ : es la resistencia del concreto

$b_w$ : es el ancho del cimiento

$\phi$ =factor de reducción para flexión 0.9

$M_u$ : es el momento último en el vástago.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

Después se debe calcular los centímetros cuadrados de acero que necesita el cimiento, se calculan con la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{0.85 f'_c b_w a}{f_y} \quad 53$$

Donde

$f'_c$ : es la resistencia del concreto.

$b_w$ : es el ancho del cimiento.

$a$ : es la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

$f_y$ : es la resistencia del acero.

Con los centímetros de aceros requeridos para la sección, hay que calcular la cuantía de acero de los centímetros cuadrados calculados, esa se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad 54$$

<sup>51</sup> Fórmulas tomadas de la sección 6.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

<sup>52</sup> Fórmula tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>53</sup> Fórmula tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>54</sup> Fórmula tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

Donde:

As: son los centímetros de acero calculado.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

$b$ : es el ancho del cimiento.

También se debe calcular la cuantía de acero mínimo que lleva el cimiento, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho_{min} = \begin{cases} \frac{0.8 \sqrt{f'_c}}{f_y}, f'_c > 310 \\ \frac{14}{f_y}, f'_c < 310 \end{cases} \quad 55$$

Donde:

$f'_c$ : es la resistencia del concreto

Se calcula  $\beta$  en función de la resistencia a la compresión del concreto.

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 \text{ si } f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - \frac{f'_c - 280}{70} \text{ si } 280 < f'_c \leq 560 \\ 0.65 \text{ si } f'_c > 560 \end{cases} \quad 56$$

Donde:

$f'_c$ : es la resistencia del concreto

Después, se debe calcular la relación  $c/d$ , la cual tiene que ser menor a 0.375 para que el cimiento se trabaje como una viga sub reforzada.

$$\frac{c}{d} < 0.375 \quad 57$$

Si la relación se cumple, se utiliza el acero calculado anteriormente. Este acero por flexión de debe colocar de manera vertical en la pantalla del muro, seguidamente se debe calcular el acero longitudinal por temperatura de la malla que lleva la pantalla. En losas estructurales como las de las cimentaciones en donde el acero de refuerzo se extiende o es colocado en una sola dirección se debe colocar acero por temperatura y retracción del concreto en dirección

<sup>55</sup> Fórmula tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>56</sup> Fórmula tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>57</sup> Fórmula tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

perpendicular al acero de flexión para resistir dichos esfuerzos. El área del refuerzo por temperatura se calcula por medio de las siguientes fórmulas:

$$\frac{14}{f_y} b_w d \quad 58$$

Donde:

$f_y$ : es la resistencia del acero.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

$B_w$ : es el ancho del cimientto.

$$\frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad 59$$

Donde:

$f'_c$ : es la resistencia del concreto.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

$B_w$ : es el ancho del cimientto.

Para su espaciamiento el **American Concrete Institute ACI** dice "que en ningún caso debe colocarse acero de retracción o temperatura a una distancia mayor a 45 centímetros". También cuando la pantalla o vástago de muro de contención es mayor a 20 centímetros se debe poner doble malla de acero, esto según el **Código Sísmico De Costa Rica 2002**.

## Diseño por flexión del vástago para muros en mampostería

Para calcular el acero por flexión del vástago o pantalla de cualquiera de los diferentes tipos de

<sup>58</sup> Fórmulas tomadas de la sección 8.2.3 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

<sup>59</sup> Fórmulas tomadas de la sección 8.2.3 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

muros de contención en mampostería se deben seguir el siguiente procedimiento.

Primero se debe calcular el momento último para el tipo de muro deseado con las combinaciones de carga del **Código Sísmico de Costa Rica**.

Una vez calculado el momento último sobre la pantalla del muro se debe asumir una distancia  $a$ , que es la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos, para calcular el acero requerido para la sección. Este se calcula con la siguiente fórmula.

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \quad 60$$

Donde:

$M_u$ : es el momento último calculado en el vástago del muro de retención.

$f_y$ : es la resistencia del acero.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

$a$ : es la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

Como se había utilizado un  $a$  supuesto se debe calcular el nuevo valor de  $a$  con el acero requerido por la sección, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_m b} \quad 61$$

Donde:

$a$ : es la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

Esta iteración de valores se debe repetir hasta hacer converger el valor de  $a$  para encontrar el valor real del acero que necesita la sección para resistir la flexión.

Cuando se determina el acero para la sección se debe calcular el tamaño máximo de diámetro de varilla que se permite para el acero dentro de los bloques para muros de contención. El **Código Sísmico De Costa Rica 2002** nos da una fórmula para calcularlo, que es la siguiente:

<sup>60</sup> Fórmula tomada del curso de Estructuras de Mampostería

<sup>61</sup> Fórmula tomada del curso de Estructuras de Mampostería

$$\phi \text{ máximo} = \frac{t}{8}$$

62

Donde:  
t: es el ancho del bloque.

Con el acero vertical calculado se procede a calcular el acero longitudinal de muro. Este se caracteriza porque se coloca únicamente para contrarrestar la temperatura del concreto. Para muros de contención en mampostería el **Código Sísmico De Costa Rica 2002** dice que el acero mínimo por temperatura para muros en mampostería es una varilla # 3 colocada a una distancia máxima entre ellas de 40 centímetros.

En la siguiente figura se puede observar cómo va colocado el acero vertical y horizontal para un muro de contención en mampostería

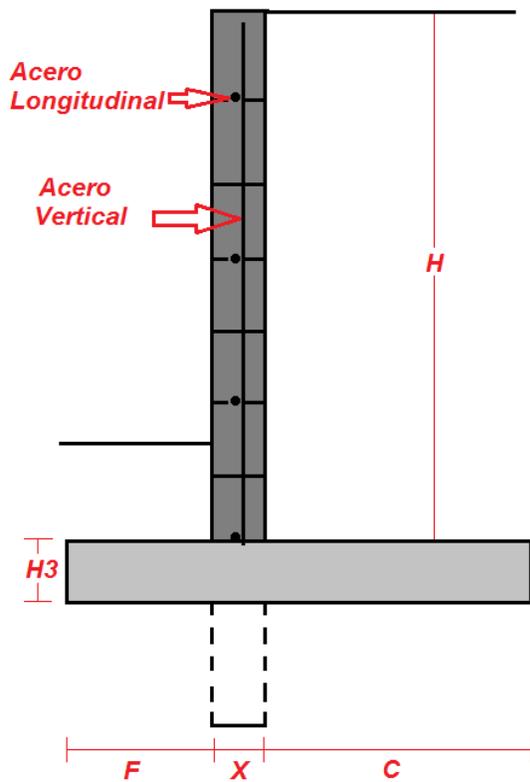


Figura 26. Distribución del acero en un muro de contención en mampostería

## Revisión del ancho del vástago del muro

Una vez calculado el acero para flexión del vástago del muro, se debe verificar que su ancho de sección resiste el cortante en su base, este actúa en la unión del vástago del muro con el cimiento. Esa unión se revisa para que el material con el que esté construida la pantalla del muro no falle por cortante. En la siguiente figura se muestra el cortante último actuando en el ancho del vástago del muro.

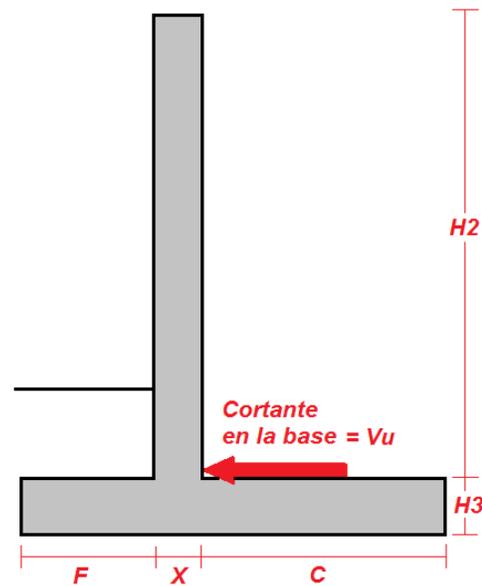


Figura 27. Cortante último

### Para un muro en concreto

Para encontrar el cortante último en el muro se debe tener en cuenta las siguientes fuerzas: empuje del suelo, sismo del suelo, carga permanente y carga temporal. Para ello se deben utilizar las combinaciones de carga del **Código Sísmico De Costa Rica 2002 C.S.C.R.**

<sup>62</sup> Fórmula tomada del Código Sísmico De Costa Rica 2002

$$\begin{aligned}
 CU &= 1.4 \cdot CP \\
 CU &= 1.2 \cdot CP + 1.6 \cdot CT + 1.6 \cdot CE \\
 CU &= 1.05 \cdot CP + f_1 \cdot CT \pm CS + CE \\
 CU &= 0.95 \cdot CP \pm CS + CE
 \end{aligned}
 \tag{63}$$

El cortante último del suelo  $V_u$  se obtiene de la combinación mayor y se compara contra la resistencia al cortante del concreto, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d
 \tag{64}$$

Donde:

$f'_c$ : es la resistencia del concreto.

$b_w$ : es el ancho del vástago del muro.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al centroide del acero en tensión.

Una vez calculado el valor de la resistencia al cortante del concreto  $V_c$  max se debe multiplicar por el  $\Phi$  de cortante que es 0.75 y compararlo con el  $V_u$  obtenido de las combinaciones de la siguiente manera para que el vástago resista el  $V_c$  debe ser mayor al  $V_u$  del muro

$$\Phi V_c \max > V_u
 \tag{65}$$

### Para un muro en mampostería

Para encontrar el cortante último en el muro se deben tener en cuenta las siguientes fuerzas: empuje del suelo, sismo del suelo, carga permanente y carga temporal. Para ello, se debe utilizar las combinaciones de carga del **Código Sísmico De Costa Rica 2002 C.S.C.R.**

$$\begin{aligned}
 CU &= 1.4 \cdot CP \\
 CU &= 1.2 \cdot CP + 1.6 \cdot CT + 1.6 \cdot CE \\
 CU &= 1.05 \cdot CP + f_1 \cdot CT \pm CS + CE \\
 CU &= 0.95 \cdot CP \pm CS + CE
 \end{aligned}
 \tag{66}$$

El cortante último  $V_u$  se obtiene de la combinación mayor y se compara contra la resistencia al cortante de la mampostería. Para obtener el cortante en la mampostería se deben seguir los siguientes pasos. Primero se debe calcular la siguiente relación:

$$\frac{M}{V \cdot D}
 \tag{67}$$

Donde:

$M$ : es el momento último en la base del muro.

$V$ : es el cortante último en la base del muro.

$D$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

Con la relación anterior se calcula el valor  $C_d$  de la siguiente tabla:

$M/(V \cdot D)$	$C_d$
$\leq 0.25$	<b>0.64</b>
$\geq 1$	<b>0.32</b>

Tabla 3: Valores de  $C_d$

Con el  $C_d$  definido se calcula el  $V_m$  máximo que es el cortante que resiste los bloques de mampostería, este se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{m \max} = 14.5 * C_d * Ae
 \tag{68}$$

Donde:

$V_m$  max: cortante que resiste la mampostería

$C_d$ . Es el coeficiente obtenido de la formula anterior

<sup>63</sup> Fórmulas tomadas de la sección 6.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

<sup>64</sup> Fórmula tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>65</sup> Igualdad tomada del libro Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>66</sup> Fórmulas tomadas de la sección 6.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

<sup>67</sup> Relación tomada del curso de Estructuras de Mampostería

<sup>68</sup> Fórmula tomada del curso de Estructuras de Mampostería

Ae: es el área bruta del muro, para un metro de ancho

Una vez calculado el valor de  $V_m \max$  se debe multiplicar por el  $\Phi$  de cortante que es 0.6 y compararlo con el  $V_u$  obtenido de las combinaciones de la siguiente manera:

$$\phi V_m \max > V_u \quad 69$$

Si esta comparación se cumple el muro resiste el cortante actuante, si no hay que modificar el ancho del muro, como colocar un bloque más ancho o colocar dos hiladas de bloques.

## Cálculo de momentos en el cimiento

Una vez que se han hecho los análisis con respecto a volcamiento, deslizamiento y capacidad soportante y los factores de seguridad se han cumplido de acuerdo a lo que dice el **Código de Cimentaciones De Costa Rica**, se puede empezar a diseñar el cimiento del muro de contención.

A la hora de hacer el diseño hay que dividir el cimiento en dos partes para poder obtener los momentos de diseño. Hay que dividirla en punta y tacón y obtener los momentos en los puntos más críticos (P y J) como se puede ver en la figura 28:

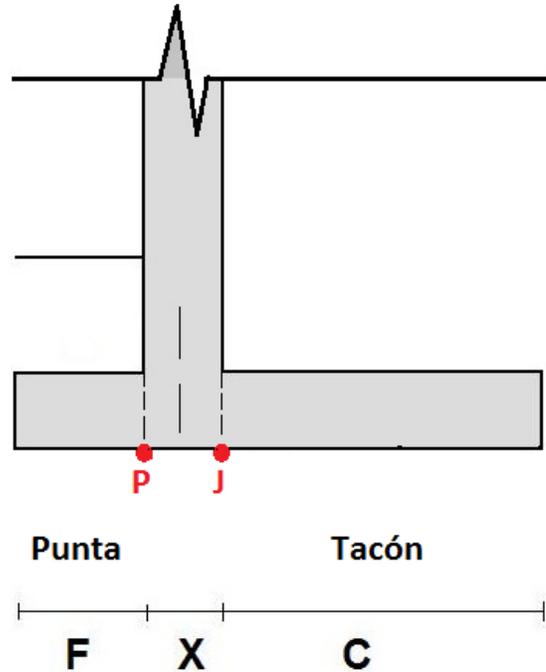


Figura 28. Momentos críticos

### Cálculos de momentos en el punto P

Para obtener los momentos en el punto crítico P se debe hacer una sumatoria del momento que causa el peso encima de la cimentación más el momento del peso de la punta del cimiento menos el momento que causan las presiones que le corresponden a ese tramo de cimiento. En la siguiente figura se puede apreciar la configuración de las fuerzas que afectan al punto P, tanto para los dos casos cuando las presiones son triangulares y trapezoidales

<sup>69</sup> Relación tomada del curso de Estructuras de Mampostería

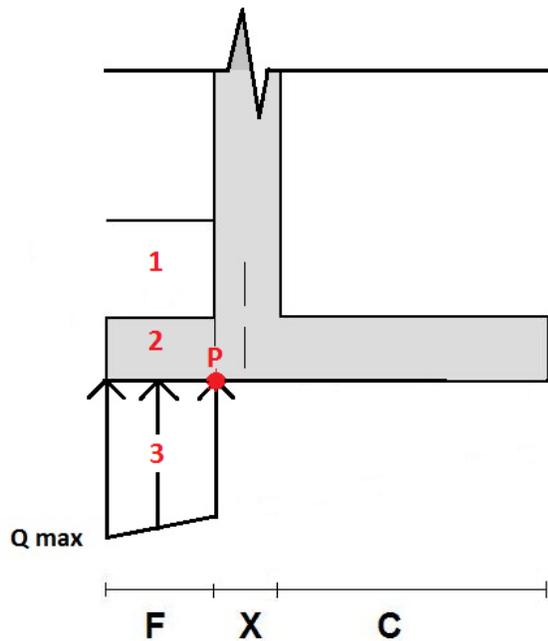


Figura 29. Momentos críticos en el punto P

La sumatoria de momentos en el punto P se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\sum M_P = M_1 + M_2 - M_3$$

Donde:

M1: es el momento causado por la masa de suelo encima del la punta del cimientado.

M2: es el momento causado por la punta de concreto del cimientado.

M3: es el momento causado por el triángulo de presiones debajo de la punta del cimientado.

### Cálculos de momentos en el punto J

Para obtener los momentos en el punto crítico P se debe hacer una sumatoria del momento que causa el peso encima de la cimentación, incluyendo si el relleno tiene un ángulo determinado o hay una sobrecarga presente, más el momento que causa el peso de la punta del cimientado menos los momentos que causan las presiones que le corresponden a ese tramo de cimientado. En la siguiente figura se puede apreciar la configuración de las fuerzas que afectan al

punto P, para cuando las presiones son triangulares:

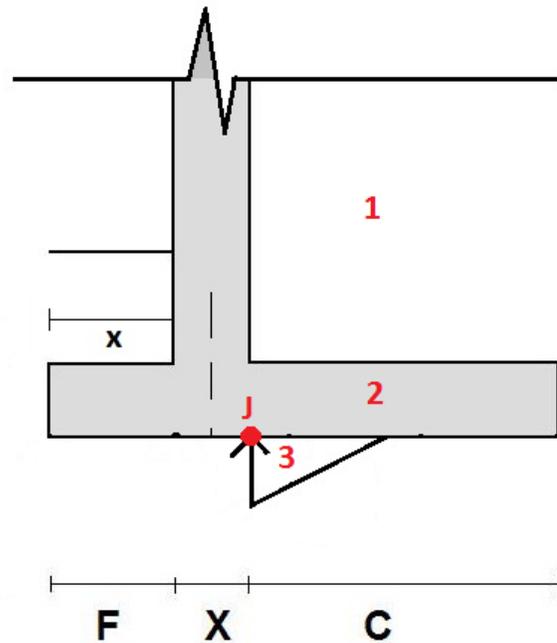


Figura 30. Momentos críticos en el punto J

La sumatoria de momentos en el punto J se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\sum M_J = M_1 + M_2 - M_3$$

Donde:

M1: es el momento causado por la masa de suelo encima del tacón del cimientado, en donde incluye inclinación y sobrecarga del suelo.

M2: es el momento causado por el tacón de concreto del cimientado.

M3: es el momento causado por el triángulo de presiones debajo del tacón del cimientado.

Cuando las presiones son trapezoidales se utiliza la siguiente configuración de momentos:

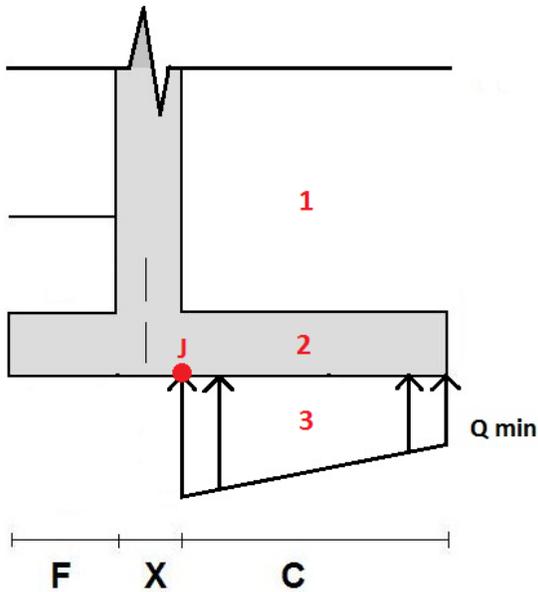


Figura 31. Momentos críticos en el punto J

La sumatoria de momentos en el punto J se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\sum M_J = M_1 + M_2 - M_3$$

Donde:

M1: es el momento causado por la masa de suelo encima del tacón del cimiento, en donde incluye inclinación y sobrecarga del suelo.

M2: es el momento causado por el tacón de concreto del cimiento.

M3: es el momento causado por el triángulo de presiones debajo del tacón del cimiento.

Cuando se ha obtenido los momentos resultantes en ambos extremos del cimiento se toma esos momentos para diseñar el cimiento.

## Diseño por flexión de la cimentación

A la hora de diseñar el cimiento para flexión se debe tomar en cuenta los momentos calculados en el punto P y en el punto J, ya que esos son los momentos últimos para comenzar a diseñar. Para desarrollar el diseño se debe calcular las

siguientes fórmulas. Cálculo de la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0.85 f'_c b_w}} \tag{70}$$

Donde

f'c: es la resistencia del concreto

bw: es el ancho del cimiento

ϕ=factor de reducción para flexión 0.9

Mu: es el momento último en el punto P o J

d: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

Después se debe calcular los centímetros cuadrados de acero que necesita el cimiento, se calculan con la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{0.85 f'_c b_w a}{f_y} \tag{71}$$

Donde

f'c: es la resistencia del concreto.

bw: es el ancho del cimiento.

a: es la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

fy: es la resistencia del acero.

Con los centímetros de aceros requeridos para la sección, hay que calcular la cuantía de acero de los centímetros cuadrados calculados, esa se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \tag{72}$$

Donde:

As: son los centímetros de acero calculado.

d: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

b: es el ancho del cimiento.

También se debe calcular la cuantía de acero mínimo que lleva el cimiento, y se calcula con la siguiente fórmula:

<sup>70</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>71</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>72</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

$$\rho_{min} = \begin{cases} \frac{0.8\sqrt{f'c}}{f_y}, f'c > 310 \\ \frac{14}{f_y}, f'c < 310 \end{cases} \quad 73$$

Donde:

f'c: es la resistencia del concreto

Se calcula β en función de la resistencia a la compresión del concreto

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 \text{ si } f'c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - \frac{f'c - 280}{70} \cdot 0.05 \text{ si } 280 < f'c \leq 560 \\ 0.65 \text{ si } f'c > 560 \end{cases} \quad 74$$

Donde:

f'c: es la resistencia del concreto

Después, se debe calcular la relación c/d, la cual tiene que ser menor a 0.375 para que el cimiento se trabaje como una viga sub reforzada.

$$\frac{c}{d} < 0.375 \quad 75$$

Si la relación se cumple, se utiliza el acero calculado anteriormente. Con el momento en P se obtiene el acero inferior del cimiento y con el momento en J se obtiene el acero superior del cimiento, como se muestra en la siguiente figura:

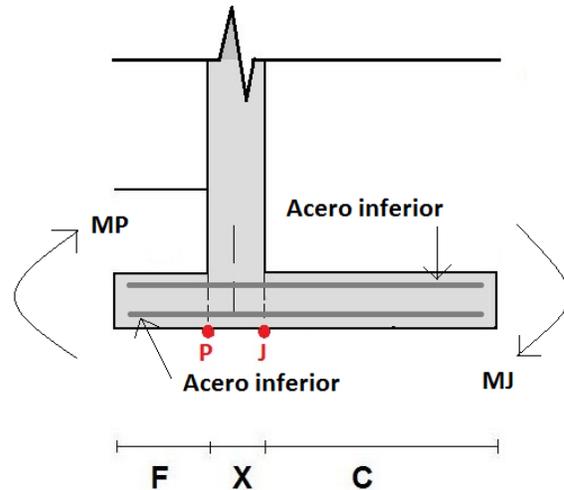


Figura 32. Acero superior e inferior del cimiento

En losas estructurales como las de las cimentaciones en donde el acero de refuerzo se extiende o es colocado en una sola dirección se debe colocar acero por temperatura y retracción del concreto en dirección perpendicular al acero de flexión para resistir dichos esfuerzos. El área del refuerzo por temperatura se calcula por medio de las siguientes fórmulas:

$$\frac{14}{f_y} b_w d \quad 76$$

Donde:

f<sub>y</sub>: es la resistencia del acero.

d: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

B<sub>w</sub>: es el ancho del cimiento.

$$\frac{0.8\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d \quad 77$$

Donde:

f'c: es la resistencia del concreto.

d: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

B<sub>w</sub>: es el ancho del cimiento.

<sup>73</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>74</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>75</sup> Relación tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>76</sup> Fórmulas tomadas de la sección 8.2.3 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

<sup>77</sup> Fórmulas tomadas de la sección 8.2.3 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

Cuando se obtiene las dos áreas de acero se toma la mayor y esa es la que se utiliza para el acero por temperatura que se coloca longitudinalmente.

Una vez que se han calculado los tres aceros, el superior, inferior y longitudinal, se deben colocar en la placa de cimentación para llevar a cabo la obra. En la figura 33 muestra la configuración final de los aceros en el cimiento del muro.

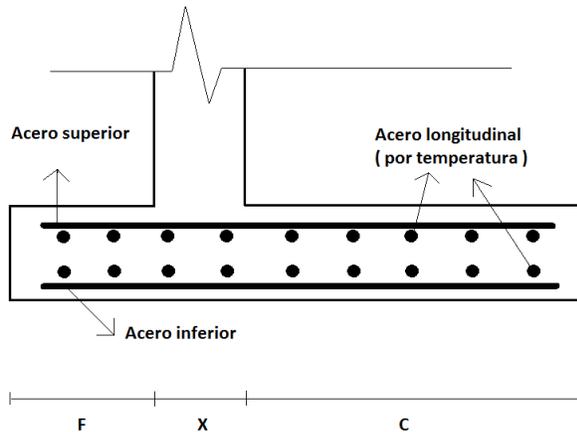


Figura 33. Configuración final de aceros

## Diseño por cortante de la cimentación

Al igual que se diseña para flexión, el cimiento, también, hay que diseñarlo para cortante. Este se debe calcular a una distancia  $D/2$ , donde  $D$  es el ancho de la cimentación, según el **ACI 318** y el libro de **Diseño Estructural de Concreto Nilson**. En la figura 34 se muestra donde actúa el cortante a una distancia de  $D/2$ :

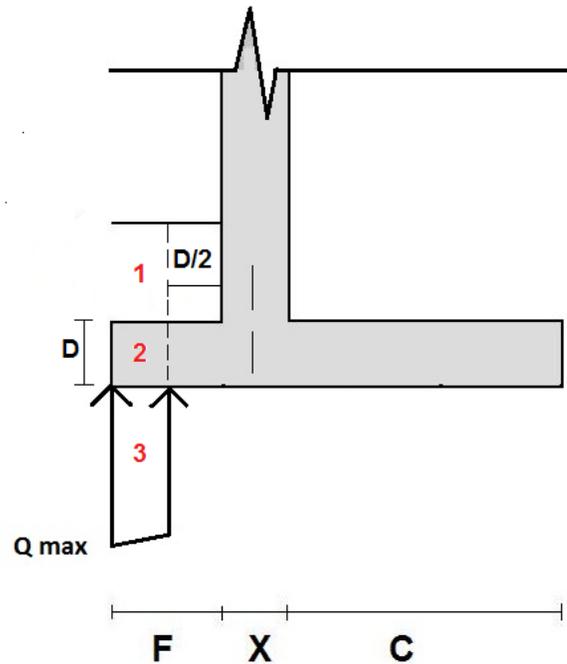


Figura 34. Cortante a distancia  $D/2$

Para obtener el  $V_u$  se debe obtener los pesos del suelo y del cimiento a  $D/2$  y restarle la presión del suelo causada a una distancia de  $D/2$ ; el  $V_u$  se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$V_u = \text{Peso}_1 + \text{Peso}_2 - \text{Peso}_3$$

El cortante que resiste el concreto se obtiene de la siguiente fórmula:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d \quad 78$$

Donde:

$f'_c$ : es la resistencia del concreto.

$b_w$ : es el ancho del vástago del muro.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al centroide del acero en tensión.

Este esfuerzo cortante se debe multiplicar por un factor de reducción  $\phi$ , que para el caso del cortante es 0.75, y compararlo con el esfuerzo último de cortante. Para que el cimiento resista el último cortante, el valor de  $\phi V_c$  debe ser mayor al valor de  $V_u$ .

<sup>78</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

$\phi V_m \max > V_u$

79

### Cálculo de momentos en el diente del cimiento

Para obtener los momentos en el diente del cimiento se debe tomar en cuenta las presiones de la presión pasiva y calcular los momentos en el punto más crítico del diente, como se observa en la figura 35:

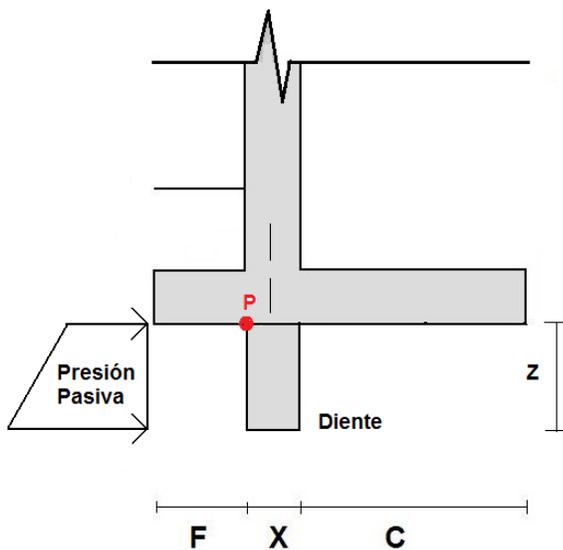


Figura 35. Cálculo de momentos en el diente

Una vez que se ha calculado el momento en el punto P respecto al diente, se deben utilizar las combinaciones de carga del Código Sísmico de Costa Rica para obtener el momento último de diseño.

$CU = 1.4 \cdot CP$

$CU = 1.2 \cdot CP + 1.6 \cdot CT + 1.6 \cdot CE$

$CU = 1.05 \cdot CP + f_1 \cdot CT \pm CS + CE$

$CU = 0.95 \cdot CP \pm CS + CE$

80

<sup>79</sup> Relación tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>80</sup> Fórmulas tomadas de la sección 6.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

## Diseño por flexión del diente de la cimentación

Cuando se diseña el diente del cimiento para flexión se deben tomar en cuenta los momentos calculados en el punto P, ya que en ese punto se encuentra el momento máximo para comenzar a diseñar. Primero se debe iniciar calculando la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0.85 f'_c b_w}}$$
 81

Donde

f'c: es la resistencia del concreto.

bw: es el ancho del cimiento.

φ=0.9.

Mu: es el momento último en el punto P.

d: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

Después se debe calcular los centímetros cuadrados de acero que necesita el cimiento.

$$A_s = \frac{0.85 f'_c b_w a}{f_y}$$
 82

Donde

f'c: es la resistencia del concreto.

bw: es el ancho del cimiento.

a: es la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

fy: es la resistencia del acero.

Con los centímetros de aceros requeridos para la sección, hay que calcular la cuantía de acero de los centímetros cuadrados calculados, esa se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$
 83

<sup>81</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>82</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

Donde:

As: son los centímetros de acero calculado.

d: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión.

b: es el ancho del cimiento.

También se debe calcular el acero mínimo que lleva el cimiento, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho_{min} = \begin{cases} \frac{0.8\sqrt{f'c}}{f_y}, f'c > 310 \\ \frac{14}{f_y}, f'c < 310 \end{cases} \quad 84$$

Donde:

f'c: es la resistencia del concreto.

Se calcula β en función de la resistencia a la compresión del concreto

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 \text{ si } f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - \frac{f'_c - 280}{70} \cdot 0.05 \text{ si } 280 < f'_c \leq 560 \\ 0.65 \text{ si } f'_c > 560 \end{cases} \quad 85$$

Donde:

f'c: es la resistencia del concreto.

Después se debe calcular la relación c/d, la cual tiene que ser menor a 0.375 para que el cimiento se trabaje como una viga sub reforzada.

$$\frac{c}{d} < 0.375 \quad 86$$

Si la relación se cumple se utiliza el acero calculado anteriormente. En la figura 36 se puede ver la colocación del acero del diente:

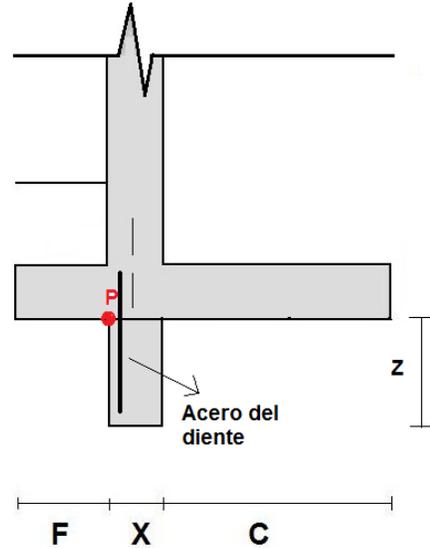


Figura 36. Cálculo de momentos en el diente

## Diseño por cortante del diente de la cimentación

Al igual que se diseña para flexión, el diente también hay que diseñarlo para cortante. Este se debe calcular en todo el largo del diente, según el **ACI 318** y el libro de **Diseño Estructural de Concreto Nilson**. En la figura 37 se muestra donde actúa el cortante en el diente:

<sup>83</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>84</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>85</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

<sup>86</sup> Relación tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

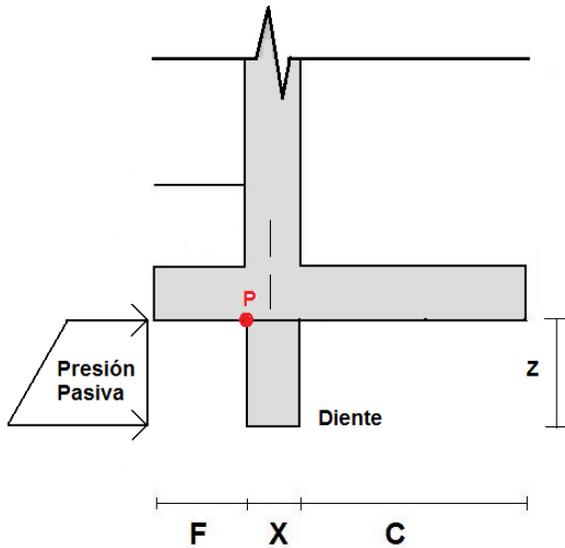


Figura 37. Cálculo del cortante en el diente

Para obtener el  $V_u$  se deben obtener las presiones activas del suelo y aplicarles las combinaciones de carga del Código Sísmico De Costa Rica.

$$CU = 1.4 \cdot CP$$

$$CU = 1.2 \cdot CP + 1.6 \cdot CT + 1.6 \cdot CE$$

$$CU = 1.05 \cdot CP + f_1 \cdot CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95 \cdot CP \pm CS + CE \quad 87$$

Ahora para obtener el cortante que resiste el concreto se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d \quad 88$$

Donde:

$f'_c$ : es la resistencia del concreto.

$b_w$ : es el ancho del vástago del muro.

$d$ : es la distancia de la fibra más alejada en compresión al centroide del acero en tensión.

<sup>87</sup> Fórmulas tomadas de la sección 6.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2002

<sup>88</sup> Fórmula tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

Una vez calculado el valor de  $V_c$  max se debe multiplicar por el  $\Phi$  de cortante que es 0.75 y compararlo con el  $V_u$  obtenido de las combinaciones de la siguiente manera:

$$\Phi V_c \text{ max} > V_u \quad 89$$

Ahora con todas las dimensiones definidas del muro y sus respectivos aceros podemos observar en la figura 38 y 39 la posición del acero para un muro tipo voladizo en concreto y mampostería.

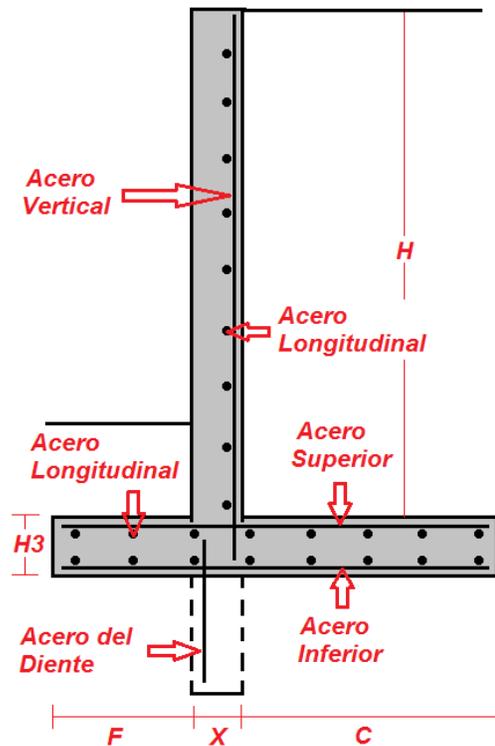


Figura 38. Colocación del acero para un muro de contención en concreto tipo voladizo

<sup>89</sup> Relación tomada del libro Diseño de Estructuras de Concreto Nilson 1999

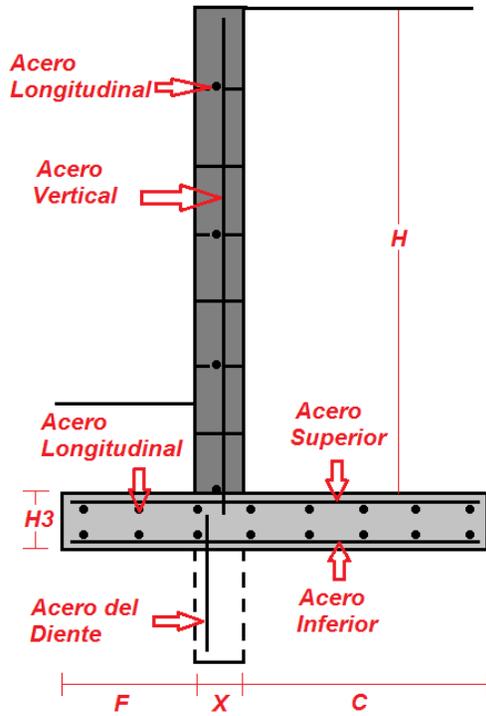


Figura 39. Colocación del acero para un muro de contención en mampostería tipo voladizo

# Resultados

## Presentación y guía de uso de la herramienta digital

La herramienta o programa para diseñar cimentaciones de muros de contención está constituida por una portada o menú principal, como se puede ver en la figura 30, en donde el usuario se encontrará con una serie de imágenes que representan cada una de las configuraciones de muros de contención que se pueden diseñar con el programa. Cada imagen tiene un doble propósito, el de informar al usuario cual es el tipo de muro que va a elegir, y a su vez es un conductor, ya que al darle un click a la imagen, esta lo llevara a una pantalla en donde podrá introducir los datos de entrada del cimiento del muro a diseñar.

Cada imagen tiene un significado en específico. La primera corresponde al diseño del cimiento de muros de contención en concreto reforzado tipo voladizo, la segunda al diseño del cimiento de muros de contención en mampostería reforzada tipo voladizo. La tercer y cuarta imagen corresponde al diseño de muros de contención arriostrados en su parte superior. Al darle click a una de estas imágenes el programa nos llevara a otra pantalla de menú secundario en donde el usuario podrá escoger el tipo de muro de contención arriostrado en la parte superior, ya sea articulado-empotrado en concreto o mampostería o articulado-articulado en concreto reforzado o mampostería reforzada como se puede ver en la figura 31.

# Herramienta digital para diseñar muros de contención en concreto y mampostería



**COMAC**  
Construcciones y Remodelaciones



**SOTELA ALFARO LTDA.**  
DISEÑO E INSPECCIÓN

Para iniciar presione el esquema del muro de contención que desee

<p>Diseño de un muro de contención en concreto reforzado tipo voladizo</p>	<p>Diseño de un muro de contención en mampostería reforzada tipo voladizo</p>	<p>Diseño de un muro de contención en concreto reforzado articulado en la parte superior y articulado o empotrado en su base</p>	<p>Diseño de un muro de contención en mampostería reforzada articulado en su parte superior y articulado o empotrado en su base</p>

Figura 40: Menú principal de la herramienta digital

# Muros de contención arriostrados

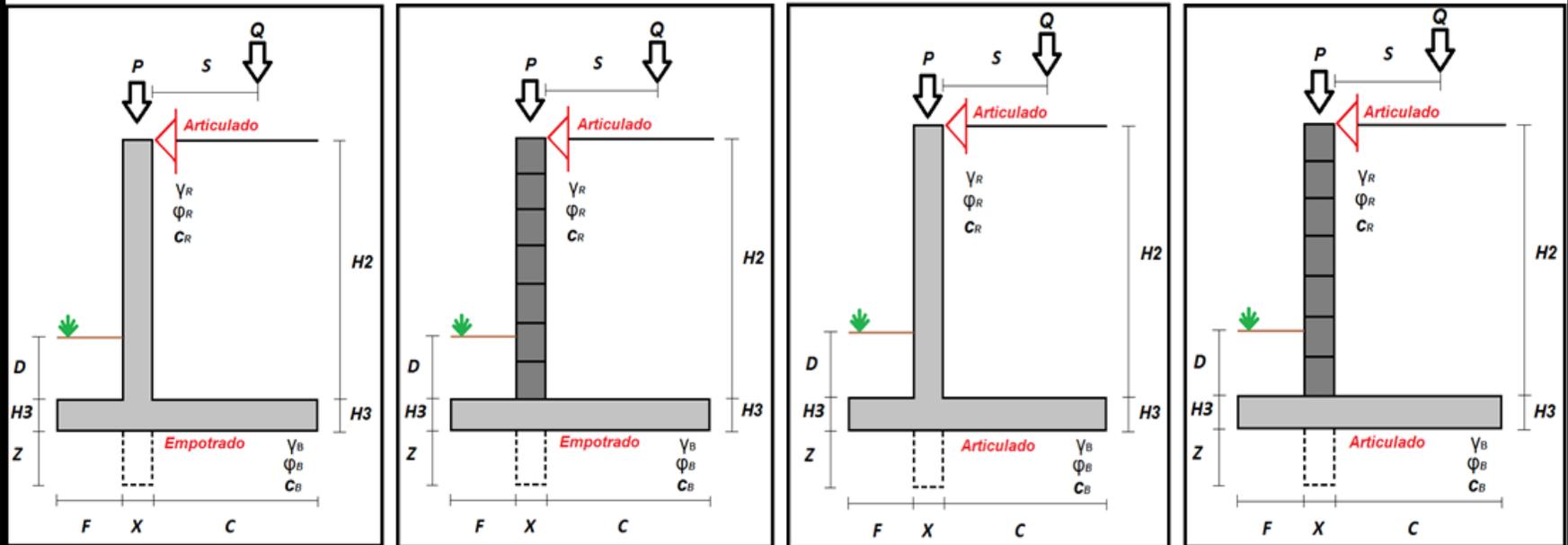


**COMAC**  
Construcciones y Remodelaciones



**SOTELA ALFARO LTDA**  
DISEÑO E INSPECCIÓN

Para iniciar presione el esquema del muro de contención que desee



INICIO

Figura 41: Menú de muros de contención arriostrados

Quando el usuario haya escogido la configuración de muro a diseñar, el programa lo llevará a una ventana en donde el usuario deberá introducir los datos de entrada en los espacios celestes como en la figura-32. Aquí se encontrará cuatro cuadros como las siguientes.

En el cuadro de DATOS OBLIGATORIOS el usuario deberá introducir los datos obligatorios para que se lleve a cabo el diseño del cimiento.

DATOS OBLIGATORIOS		
Propiedades generales del muro		
f'c ( resistencia del concreto )	0	Kg/cm <sup>2</sup>
fy (resistencia del acero )	0	Kg/cm <sup>2</sup>
yc (densidad del concreto)	0	kg/m <sup>3</sup>
Dimensiones del vástago de muro		
H2 (altura del vástago)	0	m
H3 (altura de cimiento)	0	m
D (altura suelo-cimiento)	0	m
Suelo de Relleno del muro		
Factor de presión activa (ka)	0	
γR (densidad húmeda del suelo)	0	kg/m <sup>3</sup>
Suelo de la base del muro		
Factor de presión pasiva (kp)	0	
γB (densidad del suelo)	0	kg/m <sup>3</sup>
CB (cohesión)	0	Kg/cm <sup>2</sup>
Fricción entre el cimiento y el suelo	0	

Tabla 4: Datos obligatorios

Seguido de este hay un cuadro de DATOS OPCIONALES, en donde el usuario tendrá la opción de ponerle condiciones la diseño del cimiento, como por ejemplo si el diseño está sujeto a la fuerza sísmica, o hay un sobrecarga presente en el relleno del muro, o simplemente si el relleno que está detrás del muro tiene algún ángulo de inclinación.

DATOS OPCIONLES		
α (ángulo del relleno)	0	grados
Qadm (capacidad admisible)	0	ton/m <sup>2</sup>
Q (sobrecarga)	0	kg/m
S (distancia de sobrecarga)	0	m
φB (ángulo de fricción del suelo)	0	grados
Parámetros sísmicos		
Ubicación	0	-
Zona Sísmica	0	Tabla 2.1
Perfil de Suelo		Sección 2.2
Aceleración Efectiva	0	Tabla 2.2
FED	0	Figura 5.7
SR	0	Capítulo 5
Recubrimientos		
recubrimiento del acero del muro	0	cm
recubrimiento del cimiento	0	cm

Tabla 5: Datos opcionales

Cabe destacar que si el usuario no solo quiere obtener el análisis y diseño del cimiento si la fuerza sísmica no deberá llenar las casillas que corresponden a parámetros sísmicos. De lo contrario obtendrá un análisis con la fuerza sísmica incluida. Seguido de este cuadro de datos opcionales el programa le va a sugerir al usuario unas medidas preliminares de la cimentación del cimiento, las cuales tiene que introducir en el CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO para empezar el diseño.

Dimensiones propuestas para diseñar la placa		
X (ancho de vástago)	0	m
F (punta)	0	m
C ( talón)	0	m
<b>NOTA:Debe introducir los valores de F, X y C en las casillas celestes del CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO</b>		

Tabla 6: Dimensiones preliminares del cimiento

CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO		
X (ancho de vástago)	0	m
F (punta)	0	m
C ( talón)	0	m
Z ( diente del cimiento)	0	m

Tabla 7: Cuadro de dimensionamiento

Una vez que el usuario introduzca los valores de las dimensiones preliminares el cuadro de resultados este empezará a trabajar, dándonos información sobre los resultados del factor de seguridad contra volcamiento, deslizamiento, capacidad soportante y resistencias de espesores de los elementos de la cimentación. En el cuadro 5 se puede observar todos los resultados que da el programa.

<b>Resultados en color verde, Nota: los factores de seguridad son tomados del Código de Cimentaciones de Costa Rica</b>		
	<b>Factor de seguridad sin sismo F.S. &gt; 1.5</b>	<b>Factor de seguridad con sismo F.S. &gt; 1.2</b>
<b>Análisis De Estabilidad</b>		
	<b>Volcamiento</b>	2.95
	CUMPLE	CUMPLE
<b>Deslizamiento</b>	1.73	1.03
	CUMPLE	NO CUMPLE necesita un diente
<b>Capacidad admisible</b>	<b>F.S. para soporte &gt; 3</b>	<b>F.S. para soporte &gt; 2</b>
	Qadm < Qmax, NO cumple	Qadm > Qmax, Cumple
<b>Capacidad soportante</b>	1.89	4.00
	NO CUMPLE	CUMPLE
<b>Presiones en el cimiento</b>	Presiones trapezoidales	Presiones triangulares
	<b>Distancia L' (metros)</b>	0.00
	0	CUMPLE
<b>Análisis Estructural</b>		
<b>Ancho del Vástago del muro</b>	CUMPLE	CUMPLE
<b>Ancho del cimiento</b>	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 8: Cuadro de resultados

Con los resultados de este cuadro el usuario se puede dar cuenta si su diseño de cimiento este sobre diseñado o sus dimensiones no cumplen con los factores de seguridad impuestos por el Código de Cimentaciones. Si alguna de esas dos situaciones se presenta el usuario deberá modificar las dimensiones en el cuadro de dimensionamiento disminuyéndolas o aumentándolas para así obtener el diseño más optimo.



Cuando las dimensiones impuestas en el cuadro de dimensionamiento cumplan con todos los lineamientos impuestos por el programa, el usuario podrá acceder mediante los botones en la parte inferior derecha al resumen de los resultados, ir al resumen de los resultados si quiere algo corto y rápido de analizar, o pasar a

la memoria de cálculo oficial del diseño del cimiento, en donde podrá obtener toda la información y parámetros que se tomaron a la hora del diseño. En la figura 43 se puede observar la primera página de la memoria de cálculo del diseño del cimiento.

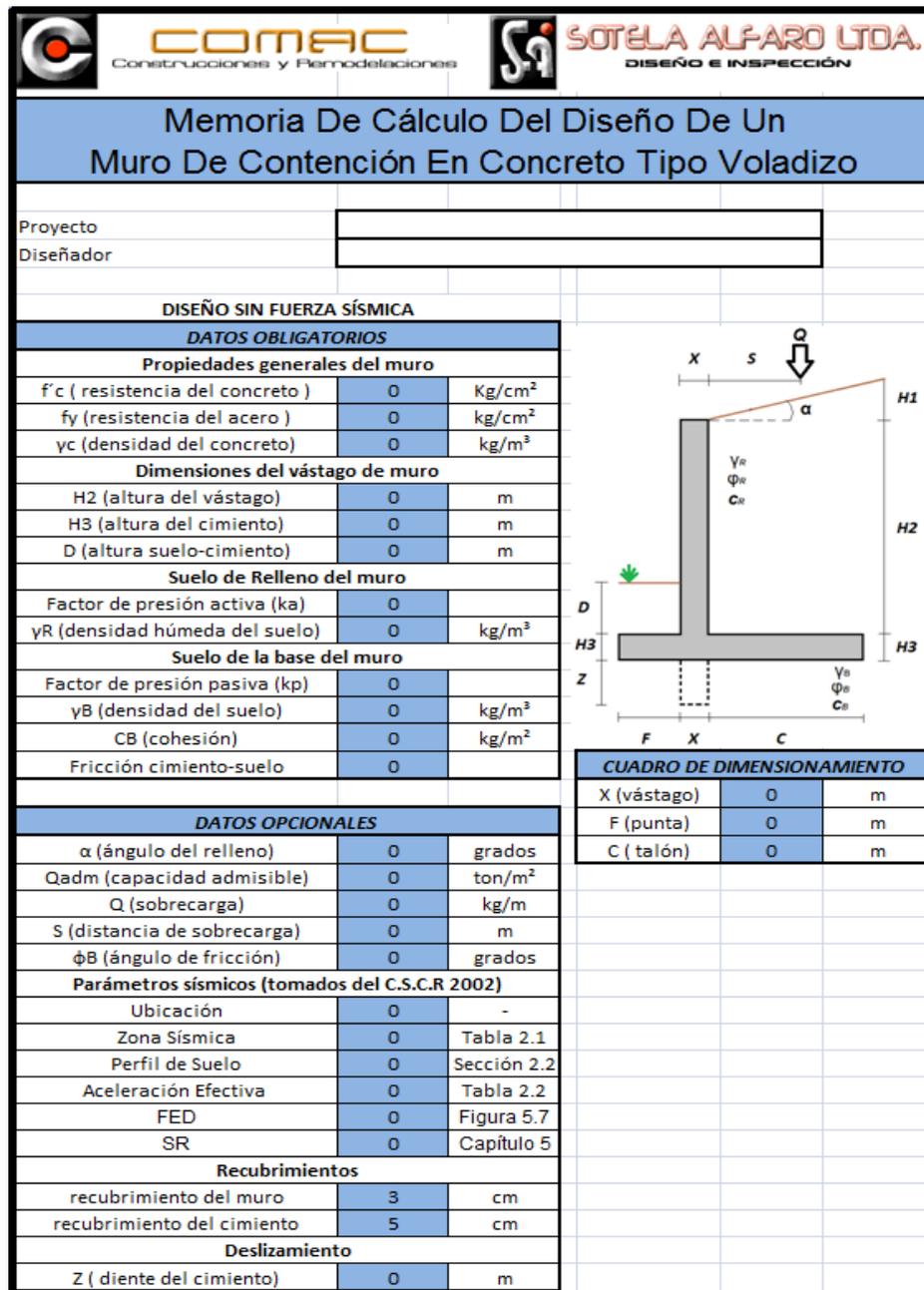


Figura 43: Memoria de cálculo

# Diseño de la pantalla y la cimentación para un muro tipo voladizo en concreto

Se requiere diseñar un muro de contención ubicado en San José de 3.5 metros de altura de tipo de suelo S1 ubicado en una zona sísmica III: EL factor de presión activa ( $k_a$ ) es 0.35, el de presión pasiva ( $k_p$ ) es 2, su factor de fricción suelo-concreto es de 0.5, el suelo del sitio tiene una capacidad admisible de 10 toneladas y presenta una densidad húmeda de  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Se utilizara una resistencia del concreto de  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  y una resistencia del acero de  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ . Como no se tiene información sobre los recubrimientos de las barras del acero en el muro y en el cimientto y programa toma automáticamente 3 cm de recubrimiento para la cara del muro y 5 cm para la cimentación.

Se necesita que el diseño de la cimentación resista la fuerza sísmica del suelo y del suelo y del mismo peso del muro.

## Muro De Contención En Concreto Reforzado Tipo VOLADIZO

Proyecto:

Diseñador:

PARÁMETROS INICIALES ( llene con valores las casillas de color celeste )

DATOS OBLIGATORIOS		
Propiedades generales del muro		
$f'c$ ( resistencia del concreto )	280	Kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ (resistencia del acero )	4200	Kg/cm <sup>2</sup>
$\gamma_c$ (densidad del concreto)	2400	kg/m <sup>3</sup>
Dimensiones del vástago de muro		
H2 (altura del vástago)	3.5	m
H3 (altura de cimiento)	0.3	m
D (altura suelo-cimiento)	0.4	m
Suelo de Relleno del muro		
Factor de presión activa ( $k_a$ )	0.35	
$\gamma_R$ (densidad húmeda del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
Suelo de la base del muro		
Factor de presión pasiva ( $k_p$ )	2	
$\gamma_B$ (densidad del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
CB (cohesión)	0	Kg/cm <sup>2</sup>
Fricción entre el cimiento y el suelo	0.5	

DATOS OPCIONALES		
$\alpha$ (ángulo del relleno)	10	grados
Qadm (capacidad admisible)	10	ton/m <sup>2</sup>
Q (sobrecarga)	0	kg/m
S (distancia de sobrecarga)	0	m
$\phi_B$ (ángulo de fricción del suelo)	0	grados
Parámetros sísmicos		
Ubicación	San José	-
Zona Sísmica	III	Tabla 2.1
Perfil de Suelo	S1	Sección 2.2
Aceleración Efectiva	0.33	Tabla 2.2
FED	1.2	Figura 5.7
SR	1.2	Capítulo 5
Recubrimientos		
recubrimiento del acero del muro	3	cm
recubrimiento del cimiento	5	cm

CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO		
X (ancho de vástago)	0.25	m
F (punta)	0.684	m
C ( talón )	1.368	m
Z ( diente del cimiento )	0.5	m

**Nota importante:** Si los resultados de los factores de seguridad son muy altos o no cumplen con el valor mínimo, se deben modificar las dimensiones de la placa del muro en el cuadro de dimensionamiento

	Resultados en color verde, Nota: los factores de seguridad son tomados del Código de Cimentaciones de Costa Rica	Factor de seguridad sin sismo F.S. > 1.5	Factor de seguridad con sismo F.S. > 1.2
Análisis De Estabilidad	Volcamiento	3.63	1.50
	Deslizamiento	2.19	1.20
Capacidad admisible	Capacidad soportante	2.31	5.02
	Presiones en el cimiento	Presiones trapezoidales	Presiones triangulares
Distancia L' (metros)		0.00	1.47
		0	CUMPLE
Análisis Estructural	Ancho del Vástago del muro	CUMPLE	CUMPLE
	Ancho del cimiento	CUMPLE	CUMPLE

Ir a memoria de cálculo

Ir a resumen de los cálculos

INICIO

Figura 44: Ejemplo de un muro en concreto tipo voladizo

En la figura 44 se pueden observar los resultados de los factores de seguridad calculados contra volcamiento, deslizamiento y capacidad soportante los cuales son 1.50, 1.20 y 5.02, también informa que la capacidad admisible del suelo es mayor que la presión máxima del suelo del triángulo de presiones que para este caso son triangulares. Cuando las presiones son triangulares se debe calcular una distancia  $L'$  en el cimiento y esta debe ser mayor a la mitad del ancho del cimiento, a su vez informa que el ancho del vástago del muro resiste los esfuerzos en su base y el ancho del cimiento soporta los esfuerzos los esfuerzos transmitidos de todas las fuerzas aplicadas.

Seguidamente se muestra la memoria de cálculo oficial del diseño del cimiento.



**COMAC**  
Construcciones y Remodelaciones



**SOTELA ALFARO LTDA.**  
DISEÑO E INSPECCIÓN

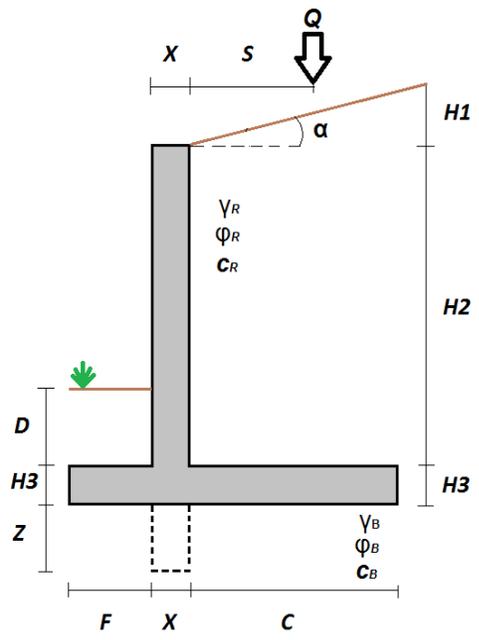
## Memoria De Cálculo Del Diseño De Un Muro De Contención En Concreto Tipo Voladizo

Proyecto

Diseñador

**DISEÑO CON FUERZA SÍSMICA**

<b>DATOS OBLIGATORIOS</b>		
Propiedades generales del muro		
f'c ( resistencia del concreto )	280	Kg/cm <sup>2</sup>
fy (resistencia del acero )	4200	kg/cm <sup>2</sup>
γc (densidad del concreto)	2400	kg/m <sup>3</sup>
Dimensiones del vástago de muro		
H2 (altura del vástago)	3.5	m
H3 (altura del cimiento)	0.3	m
D (altura suelo-cimiento)	0.4	m
Suelo de Relleno del muro		
Factor de presión activa (ka)	0.35	
γR (densidad húmeda del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
Suelo de la base del muro		
Factor de presión pasiva (kp)	2	
γB (densidad del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
CB (cohesión)	0	kg/m <sup>2</sup>
Fricción cimiento-suelo	0.5	



<b>CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO</b>		
X (vástago)	0.2	m
F (punta)	0.4	m
C ( talón)	2.0	m

<b>DATOS OPCIONALES</b>		
α (ángulo del relleno)	10	grados
Qadm (capacidad admisible)	10	ton/m <sup>2</sup>
Q (sobrecarga)	0	kg/m
S (distancia de sobrecarga)	0	m
φB (ángulo de fricción)	0	grados
Parámetros sísmicos (tomados del C.S.C.R 2002)		

Ubicación	San José	-
Zona Sísmica	III	Tabla 2.1
Perfil de Suelo	S1	Sección 2.2
Aceleración Efectiva	0.33	Tabla 2.2
FED	1.2	Figura 5.7
SR	1.2	Capítulo 5
<b>Recubrimientos</b>		
recubrimiento del muro	3	cm
recubrimiento del cimientto	5	cm
<b>Deslizamiento</b>		
Z ( diente del cimientto)	0.5	m

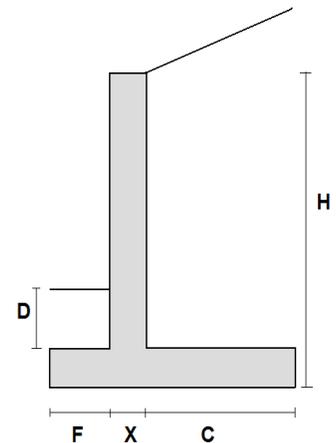
**1) CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE AFECTAN AL MURO DE CONTENCIÓN**

**Dimensionamiento del vástago y cimientto del muro**

Para obtener las dimensiones de la placa de cimentación se tomaron las sugeridas por el libro **Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das** en donde proponen las dimensiones en función de la altura (H) del muro. Estas dimensiones no incluyen la fuerza sísmica del muro y del suelo, por lo que las dimensiones finales se aumentaron para cubrir las necesidades del sismo. Las dimensiones preliminares son: (sección 7.2).

H	3.80	m
F = 0.18H	0.40	m
C = 2*F	2.00	m
X = 0.15 metros como mínimo	0.20	m

Donde  
H: es la altura total del muro.



**Presión Activa**

La presión activa se puede tomar de dos manera, cuando el relleno de suelo es plano o cuando el relleno tiene cierto grado de inclinación. La fórmulas para calcular esta presión son tomadas de la sección 6.2.2.2. del **Código de Cimentaciones de Costa Rica** última edición.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma (H')^2 k_a$$

5,432.03	kg
----------	----

$$P_v = P_a \sin \alpha$$

943.26	kg
--------	----

$$P_h = P_a \cos \alpha$$

5,349.50	kg
----------	----

Cuando el suelo de relleno es plano se utiliza la presión activa normal, pero cuando hay un relleno inclinado se debe usar la componente en x de la presión activa, y su respectiva resultante se debe ubicar a una altura H maximizada igual a **H'/3 m**.

**Fuerza sísmica de la masa de suelo**

La resultante de la fuerza sísmica se calculó con las fórmulas de la sección 13.8 del **Código Sísmico del De Costa Rica 2002**, la cual se ubica a 0.6H metros.

$$R_{sismo} = \frac{1}{2} \gamma_r (H')^2 \left( \frac{3}{4} a_{ef} \right)$$

3,841.22	kg
----------	----

**Fuerza sísmica de la masa del muro de contención**

La resultante de la fuerza sísmica del muro de contención se calculó con las especificaciones del **Código Sísmico De Costa Rica 2002** en donde se tomaron los siguientes parámetros:

Peso del muro	1680	kg
Ubicación	San José	-
Zona Sísmica	III	Tabla 2.1
Perfil de Suelo	S1	Apartado 2.2
Aceleración Efectiva	0.33	Tabla 2.2
Uso Estructural	1	Tabla 4.1
Tipo de Estructura	voladizo	Apartado 4.2
Ductilidad Global ( $\mu$ )	1	Tabla 4.3
Periodo	0.05	Apartado 7.4
FED	1.2	Figura 5.7
SR	1.2	Capítulo 5
Coeficiente Sísmico	0.33	
Cortante en la base	554.4	kg

$$C = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR}$$

0.33	
------	--

$$V = C * W$$

554.4	kg
-------	----

**Fuerza resultante de la sobrecarga en el muro de contención**

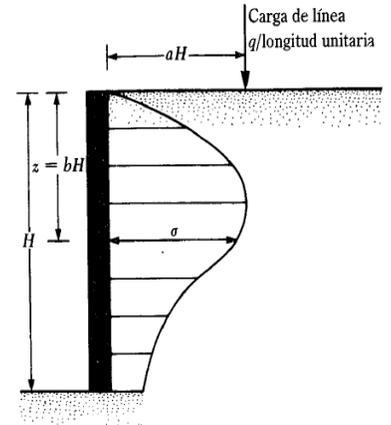
La resultante se calculó con el procedimiento mostrado en la sección 6.7 del libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das* en donde hay dos casos:

Caso 1: cuando la sobrecarga es una carga lineal se utilizan las siguientes fórmulas.

$$\sigma = \frac{4q}{\pi H} \frac{a^2 b}{(a^2 + b^2)^2} \text{ para } a > 0.4H$$

$$\sigma = \frac{q}{H} \frac{0.203b}{(0.16 + b^2)^2} \text{ para } a \leq 0.4H$$

Resultante	0.00	kg
------------	------	----



Caso 2: cuando la carga está distribuida en un área determinada se utilizan las siguientes fórmulas.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{b'}{H} \right)$$

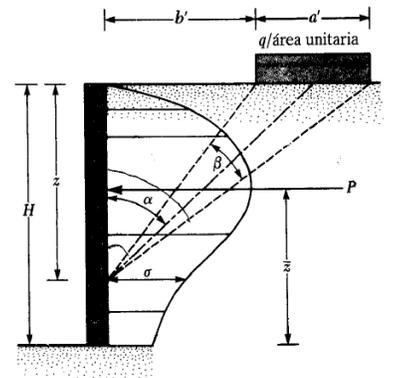
0	grados
---	--------

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{a' + b'}{H} \right)$$

0	grados
---	--------

$$P = \frac{q}{90} [H(\theta_2 - \theta_1)]$$

0	kg
---	----



**2) REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL MURO**

**Revisión contra volcamiento en el muro**

Para revisar el efecto del volcamiento se siguieron los pasos de la sección 7.4 del libro **Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das** y el valor del factor de seguridad se tomó de la sección 3.4.1.2 del **Código de Cimentaciones de Costa Rica última edición** en donde el FS con sismo tiene que ser mayor a 1.2 y sin fuerza sísmica mayor a 1.5.

Momento resistente al vuelco (Mr).

Fuerzas	Peso(kg)	Brazo(m)	Mr(kg-m)
Vástago del muro	1,680.00	0.50	840.00
Suelo de desplante	288.00	0.20	57.60
Cimentación	1,872.00	1.30	2,433.60
Suelo de relleno	12,600.00	1.60	20,160.00
Suelo inclinado	634.78	1.33	846.37
Componente en y de presión activa	943.26	2.60	2,452.48
sobrecarga	0.00	0.00	0.00
diente	240.00	0.50	120.00

Peso total	18,258.04	Kg
------------	-----------	----

Mr total	26,910.05	Kg-m
----------	-----------	------

Momentos que producen el vuelco (Mo).

Fuerzas	kg	Brazo(m)	Mo(kg-m)
<b>Pa (presión activa)</b>	5,349.50	1.38	7,404.88
<b>Paw( agua)</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Pa sobrecarga</b>	0.00	1.75	0.00
<b>Sismo del suelo R1s</b>	2,304.73	2.77	6,380.50
<b>Sismo del suelo R2s</b>	1,536.49	2.08	3,190.25
<b>Sismo del muro</b>	554.40	1.75	970.20
<b>Sismo del agua</b>	0.00	2.10	0.00

Mo total	17,945.83	Kg-m
----------	-----------	------

$$FS_{volc} = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} = 1.50$$

Cuando el análisis del muro no tiene fuerza sísmica el factor de seguridad tiene que ser mayor a 3 y cuando hay sismo el factor tiene que ser mayor a 1.2.

**Revisión contra deslizamiento en el muro**

Para revisar el efecto del deslizamiento se siguieron los pasos de la sección 7.4 del libro **Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das** y el valor del factor de seguridad se tomó de la sección 3.4.1.2 del **Código de Cimentaciones de Costa Rica** última edición en donde el FS con sismo tiene que ser mayor a 1.2 y sin fuerza sísmica mayor a 1.5.

Presión pasiva:

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_2 D^2 + 2c_2 D \sqrt{K_p}$$

2,592.00	kg
----------	----

Fuerzas resistentes al vuelco:

$$\sum F_{R'} = (\sum V) F + Bc_a + P_p$$

11,721.02	kg
-----------	----

Fuerzas que provocan el deslizamiento.

<b>Pa (presión activa)</b>	5,349.50	kg
<b>Paw( agua)</b>	0.00	kg
<b>Pa sobrecarga</b>	0.00	kg
<b>Sismo del suelo R1s</b>	2,304.73	kg
<b>Sismo del suelo R2s</b>	1,536.49	kg
<b>Sismo del muro</b>	554.40	kg
<b>Sismo del agua</b>	0.00	kg

$\Sigma F_d$	9,745.12	kg
--------------	----------	----

$$FS_{desl} = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d}$$

1.20
------

Cuando el análisis del muro no tiene fuerza sísmica el factor de seguridad tiene que ser mayor a 3 y cuando hay sismo el factor tiene que ser mayor a 1.2.

**Revisión contra capacidad de soporte**

Para revisar el efecto del soporte se siguieron los pasos de la sección 7.4 del libro **Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das** y el valor del factor de seguridad se tomó de la sección 3.4.1.2 del **Código de Cimentaciones de Costa Rica** última edición en donde el FS con sismo tiene que ser mayor a 2 y sin fuerza sísmica mayor a 3.

Momento neto:

$$M_{neto} = \sum M_r - \sum M_o$$

8,964.22	kg-m
----------	------

$$CE = X = \frac{M_{neto}}{\sum V}$$

0.49	m
------	---

La excentricidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$e = \frac{B}{2} - CE$$

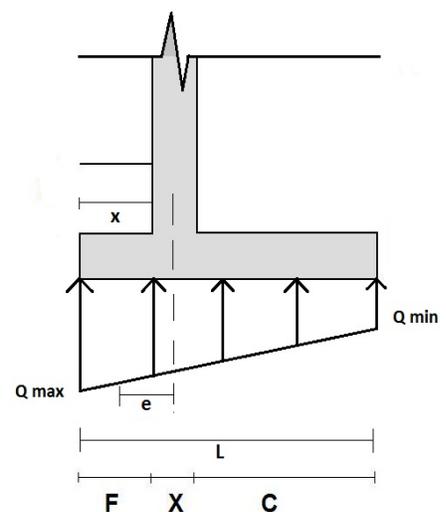
**Caso 1:** sección 4.2.3 del **Código de Cimentaciones de Costa Rica**.

$$e < \frac{L}{6}$$

Cuando la excentricidad es menor que L (ancho del cimiento) las presiones en el suelo son de forma trapezoidal y se calculan con las siguientes fórmulas.

$$Q_{max} = \frac{\sum V}{A} \left( 1 + \frac{6e}{L} \right)$$

$$Q_{min} = \frac{\sum V}{A} \left( 1 - \frac{6e}{L} \right)$$



**Caso 2:** sección 4.2.3 del *Código de Cimentaciones de Costa Rica*.

$$\frac{L}{6} < e < \frac{L}{2}$$

Cuando la excentricidad es mayor que L (ancho del cimiento) las presiones en el suelo son de forma triangular en donde solo hay presión máxima y la presión mínima es cero, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$q = \frac{2V}{3B \left( \frac{L}{2} - e \right)}$$

También se debe calcular una distancia L' que se calcula con la siguiente fórmula:

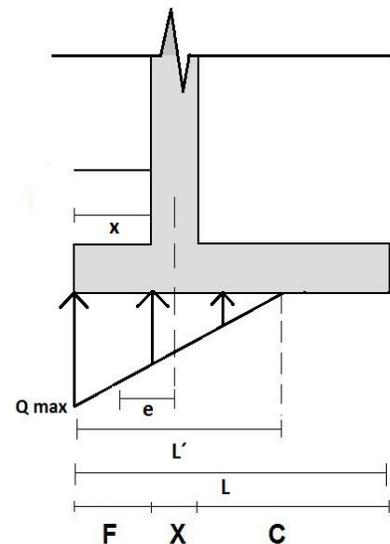
$$L' = 3 \left( \frac{L}{2} - e \right)$$

La distancia L' que es la distancia en donde las presiones calculadas actúan sobre el cimiento, y que según el *Código De Cimentaciones Costa Rica* tiene que ser mayor a L/2.

$$e = \frac{B}{2} - CE$$

0.81	m
------	---

L	2.60	m
L/6	0.43	m
Comparación de distancias	e > L/6	



Para obtener las presiones en el cimiento se deben utilizar las combinaciones de carga de la sección 6.2 del *Código Sísmico de Costa Rica 2002* y utilizar la más crítica.

$CU = 1.4 CP$
$CU = (1.2 CP + 1.6 CT) + 1.6 CE$
$CU = 1.05 CP + f_1 CT \pm CS + CE$
$CU = 0.95 CP \pm CS + CE$

Tipo de presiones	Presiones triangulares	
Q máxima (Presión en el cimiento)	5,976.14	kg/m <sup>2</sup>
Q mínima (Presión en el cimiento)	0.00	kg/m <sup>2</sup>

$$L' = 3 \left( \frac{L}{2} - e \right)$$

1.47	m
Cumple distancia L'	

**Caso 1: cuando no se cuenta con la Qadm del suelo.**

Para obtener la capacidad última del suelo se deben utilizar las siguientes fórmulas tomadas de la sección 7.4 del libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das.*

$$q = \gamma_2 D$$

0.00	kg/m <sup>2</sup>
------	-------------------

$$B' = B - 2e$$

0.00	m
------	---

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{D}{B'}$$

0.00
------

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi_2 (1 + \sin \phi_2)^2 \frac{D}{B'}$$

0.00
------

$$F_{\gamma d} = 1$$

0.00
------

$$\psi^o = \tan^{-1} \left( \frac{P_a \cos \alpha}{\sum V} \right)$$

0.00
------

$$F_{ci} = F_{qi} = \left( 1 - \frac{\psi^o}{90^o} \right)^2$$

0.00
------

$$F_{\gamma i} = \left( 1 - \frac{\psi^o}{\phi} \right)^2$$

0.00
------

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi}$$

0.00
------

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

0.00
------

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

0.00
------

Cohesión

0.00
------

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

0.00	kg
------	----

**Caso 2: cuando se cuenta con la capacidad admisible del suelo.**

Las comparaciones de la Qadm se tomaron de la sección 3.4.1.2 del **Código de Cimentaciones de Costa Rica** última edición.

Capacidad admisible del suelo	10,000.00	kg/m <sup>2</sup>
Qmax del suelo	5,976.14	kg/m <sup>2</sup>
<b>Qadm &gt; Qmax<sub>suelo</sub></b>		
Cumple		
Qu	30,000.00	kg/m <sup>2</sup>

$$FS_{capac} = \frac{q_u}{q_{max}}$$

5.02
------

**3) DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN**

**Diseño por flexión del vástago del muro**

Se debe calcular el momento último en el vástago del muro mediante las combinaciones de carga del **Código Sísmico De Costa Rica 2002**.

Momento Último	13,368.14	Kg-m
----------------	-----------	------

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{0.85 f'_c b_w}}$$

4.19	cm
------	----

$$A_s = \frac{0.85 f'_c b_w a}{f_y}$$

23.72	cm <sup>2</sup>
-------	-----------------

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

0.01	
------	--

$$\rho_{min} = \begin{cases} \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y}, f'_c > 310 \\ \frac{14}{f_y}, f'_c < 310 \end{cases}$$

0.0033	
--------	--

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 \text{ si } f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - \frac{f'_c - 280}{70} \text{ si } 280 < f'_c \leq 560 \\ 0.65 \text{ si } f'_c > 560 \end{cases}$$

0.85	
------	--

$$\frac{c}{d} < 0.375$$

0.2897367	
-----------	--

Área de acero vertical del vástago del muro para 1 metro de ancho.

23.72	cm <sup>2</sup>
-------	-----------------

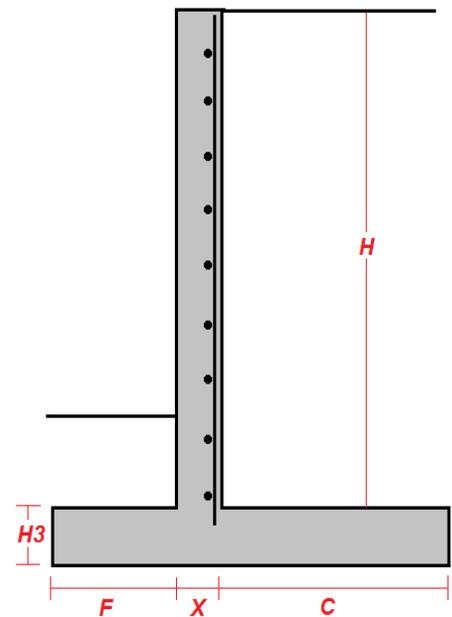
**Acero por temperatura**

$$acero = 0.002 * bw * t$$

4	cm <sup>2</sup>
---	-----------------

**Número de mallas en el muro**

2	
---	--



**Revisión del ancho del muro en la base**

El ancho del muro en la base se revisa contra el cortante último que afecta a esa sección. Las fórmulas de cortante son tomadas del libro **Diseño de Estructuras de Concreto Nilson** y las

combinaciones de carga del **Código Sísmico De Costa Rica 2002**

Cortante total	8,162.52	kg
----------------	----------	----

Se calculan las combinaciones para obtener el cortante último en la base del vástago del muro.

$$CU = 1.4 CP$$

$$CU = (1.2 CP + 1.6 CT) + 1.6 CE$$

$$CU = 1.05 CP + f_1 CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95 CP \pm CS + CE$$

Vu	8,162.52	kg
----	----------	----

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d$$

15,076.61	kg
0.75	kg
11,307.46	kg

Ø para cortante

ØVc max

Para que cumpla por cortante se debe dar la siguiente igualdad **ØVc max > Vu**

**Cálculo del acero en la punta de la cimentación**

Se deben calcular los momentos últimos en el punto más crítico de la punta que en este caso sería el punto P.

$$\sum M_P = M_1 + M_2 - M_3$$

319.61	kg-m
--------	------

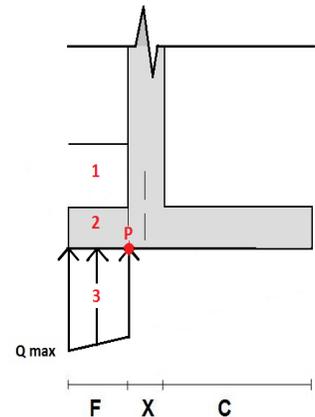
Momento Último	447.46	Kg-m
----------------	--------	------

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0.85 f'_c b_w}}$$

0.08	cm
------	----

$$A_s = \frac{0.85 f'_c b_w a}{f_y}$$

0.47	cm <sup>2</sup>
------	-----------------



$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

0.0002	
--------	--

$$\rho_{min} = \begin{cases} \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y}, & f'_c > 310 \\ \frac{14}{f_y}, & f'_c < 310 \end{cases}$$

0.03	
------	--

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - \frac{f'_c - 280}{70} & \text{si } 280 < f'_c \leq 560 \\ 0.65 & \text{si } f'_c > 560 \end{cases}$$

0.85	
------	--

$$\frac{c}{d} < 0.375$$

0.0039388	
-----------	--

Área de acero inferior de la cimentación para 1 metro de ancho.

6.00	cm <sup>2</sup>
------	-----------------

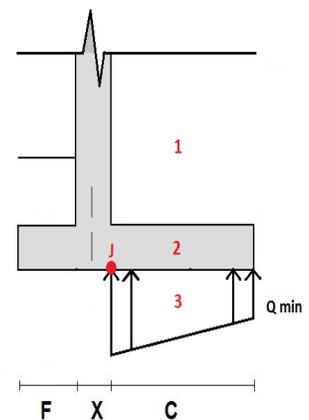
**Cálculo del acero en el tacón de la cimentación**

Se deben calcular los momentos últimos en el punto más crítico del tacón que en este caso sería el punto J.

$$\sum M_J = M_1 + M_2 - M_3$$

11,556.57	kg-m
-----------	------

Momento Último	16,179.20	Kg-m
----------------	-----------	------



$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{0.85f'_c b_w}}$$

3.23	cm
------	----

$$A_s = \frac{0.85f'_c b_w a}{f_y}$$

18.30	cm <sup>2</sup>
-------	-----------------

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

0.01	
------	--

$$\rho_{min} = \begin{cases} \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y}, & f'_c > 310 \\ \frac{14}{f_y}, & f'_c < 310 \end{cases}$$

0.0033	
--------	--

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - \frac{f'_c - 280}{70} & \text{si } 280 < f'_c \leq 560 \\ 0.65 & \text{si } f'_c > 560 \end{cases}$$

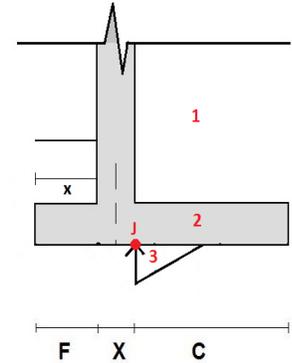
0.85
------

$$\frac{c}{d} < 0.375$$

0.1519992
-----------

Área de acero superior de la cimentación para 1 metro de ancho.

18.30	cm <sup>2</sup>
-------	-----------------



**Revisión del ancho del cimiento por esfuerzo cortante**

El ancho del cimiento se revisa contra el esfuerzo cortante último calculado a una distancia D/2 del vástago del muro. Las fórmulas de cortante son tomadas del libro **Diseño de Estructuras de Concreto Nilson y las combinaciones de carga del Código Sísmico De Costa Rica 2002.**

Para obtener el Vu se deben obtener los pesos del suelo y del cimiento a una distancia de D/2 y restarle la presión del suelo causada a una distancia de D/2; el Vu se puede obtener con la siguiente fórmula.

$$V_u = \text{Peso}_1 + \text{Peso}_2 - \text{Peso}_3$$

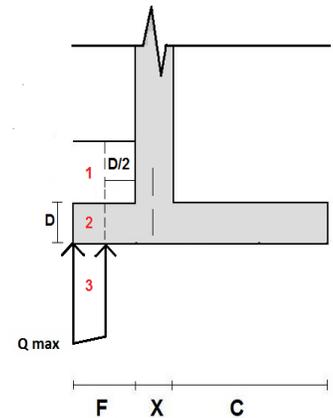
699.06	
--------	--

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d$$

Ø para cortante

ØVc max

22,171.49	kg
0.75	kg
16,628.62	kg



Para que cumpla por cortante se debe dar la siguiente igualdad  $\text{ØVc max} > V_u$

**Cálculo del acero longitudinal de la cimentación**

Generalmente el acero longitudinal del cimiento se coloca por temperatura ya que los esfuerzos presentes en esa zona son muy pequeños. Este se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{acero} = 0.002 * b_w * t$$

6	cm <sup>2</sup>
---	-----------------

**Revisión del ancho del diente del cimiento por flexión y esfuerzo cortante**

**Diseño por flexión del diente**

Se deben calcular los momentos últimos en el punto más crítico de la punta que en este caso sería el punto P.

$$\sum M_P = M_1 + M_2 - M_3$$

279.00	kg-m
--------	------

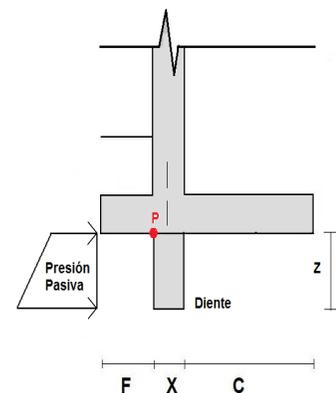
Momento Último	446.40	kg-m
----------------	--------	------

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{0.85f'_c b_w}}$$

0.08	cm
------	----

$$A_s = \frac{0.85f'_c b_w a}{f_y}$$

0.47	cm <sup>2</sup>
------	-----------------



$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad \boxed{0.0001893} \quad \boxed{\phantom{000000}}$$

$$\rho_{min} = \begin{cases} \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y}, f'_c > 310 \\ \frac{14}{f_y}, f'_c < 310 \end{cases} \quad \boxed{0.0033333} \quad \boxed{\phantom{000000}}$$

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 \text{ si } f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - \frac{f'_c - 280}{70} \text{ si } 280 < f'_c \leq 560 \\ 0.65 \text{ si } f'_c > 560 \end{cases} \quad \boxed{0.85}$$

$$\frac{c}{d} < 0.375 \quad \boxed{0.0039294}$$

Área de acero en tensión del diente para 1 metro de ancho.  $\boxed{0.47} \quad \boxed{\text{cm}^2}$

**Diseño por cortante del diente:**

Cortante total	<b>1,296.00</b>	kg
----------------	-----------------	----

Se calculan las combinaciones para obtener el cortante último en la base del vástago del muro.

$$CU = 1.4 CP$$

$$CU = (1.2 CP + 1.6 CT) + 1.6 CE$$

$$CU = 1.05 CP + f_1 CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95 CP \pm CS + CE$$

Vu	<b>3,628.80</b>	kg
----	-----------------	----

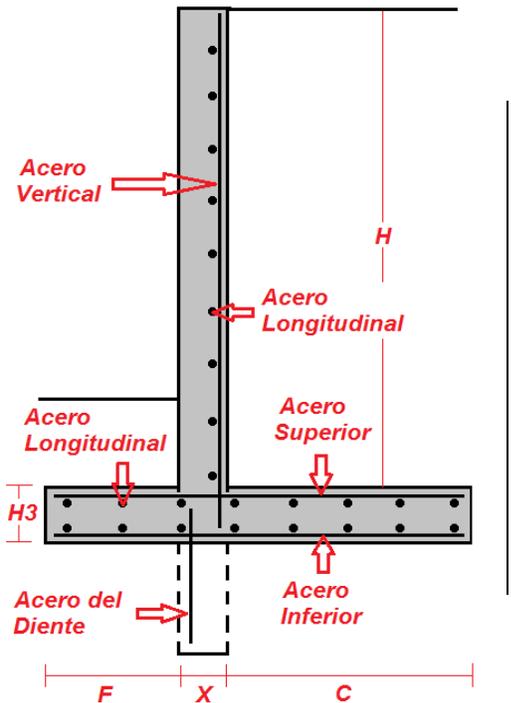
$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d \quad \boxed{13,302.89} \quad \boxed{\text{kg}}$$

$\phi$ para cortante	0.75	kg
$\phi V_c max$	9,977.17	kg

Para que cumpla por cortante se debe dar la siguiente igualdad:  $\phi V_c max > V_u$

**Resumen de dimensiones y aceros del cimient**

X (ancho de vástago)	0.20	m
F (punta)	0.40	m
C ( talón)	2.00	m
Z ( diente del cimient)	0.50	m
H3(ancho del cimient)	0.30	m
Acero vertical del vástago	23.72	cm <sup>2</sup>
Acero horizontal de vástago	4.00	cm <sup>2</sup>
Número de mallas en el muro	2.00	
Acero inferior	6.00	cm <sup>2</sup>
Acero superior	18.30	cm <sup>2</sup>
Acero longitudinal	6.00	cm <sup>2</sup>
Acero del diente	0.47	cm <sup>2</sup>



Separación mínima	15	cm
Separación máxima	20	cm
Separación por temperatura	25	cm

Varilla #	Diámetro cm	Área cm <sup>2</sup>
3	0.95	0.71
4	1.27	1.27
5	1.59	1.98
6	1.91	2.85
7	2.22	3.88
8	2.54	5.07
9	2.86	6.41

Separación de acero para 1 m de largo

Cada 15 cm	Cada 20 cm	Cada 25 cm
4.75	3.56	2.85
8.44	6.33	5.07
13.18	9.90	7.92
18.98	14.25	11.40
25.84	19.40	15.52
33.75	25.34	20.27
42.71	32.07	25.65

## SIMBOLOGÍA

### **1) CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE AFECTAN AL MURO DE CONTENCIÓN**

H: Altura total de muro de contención

F: Punta de la cimentación del muro

C: Tacón de la cimentación del muro

X: Ancho del vástago del muro

Pa: es la presión activa

$\gamma$ : es la densidad húmeda del suelo

H': es la altura total del muro

Ka: es el factor de presión activa

Pv: es la componente vertical de la presión activa

$\alpha$ : es el ángulo de inclinación del suelo de relleno

Ph: es la componente horizontal de la presión activa

R: es la resultante del sismo ubicada a 0.6H

$\gamma_r$ : es la densidad húmeda del suelo de relleno

H': es la altura total del muro

aef: es la aceleración efectiva del suelo tomada de la sección 2.4 del Código Sísmico De Costa Rica

I: Factor de Importancia

F.E.D: Factor Espectral Dinámico

S.R: Factor de Sobre resistencia

V: Cortante en la base

C: Coeficiente Sísmico

W: Peso Total del edificio

a: es la distancia de la carga lineal hasta el muro

b: son los tramos en donde se obtiene el esfuerzo

H: es la altura del muro

q: es la magnitud de la carga lineal

b: son los tramos en donde se obtiene el esfuerzo

H: es la altura del muro

q: es la magnitud de la carga aplicada

H: es la altura del muro

$\theta_1$ : ángulo para obtener resultado

$\theta_2$ : ángulo para obtener resultado

b': es la distancia del área de carga al muro

H: es la altura del muro

b': es la distancia del área de carga al muro

H: es la altura del muro

a': es el largo del área de carga aplicada

**2) REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL MURO**

$\sum M_r$ : sumatoria de momentos resistentes al vuelco  
 $\sum M_o$ : sumatoria de momentos que producen el vuelco.  
 $K_p$ : es el coeficiente de presión pasiva  
 $\gamma_2$ : es la densidad húmeda del suelo de base  
 $D$ : es el desplante del muro hasta donde termina el cimiento  
 $C_2$ : es la cohesión del suelo de base  
 $P_p$ : es la resultante de la fuerza pasiva  
 $\sum V$ : es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo  
 $B$ : es el ancho de la cimentación  
 $C_a$ : es la cohesión del suelo  
 $F$ : factor de fricción entre el suelo y el cimiento  
 $R_s$ : es la resultante del sismo en el suelo  
 $R_{sm}$ : es la resultante del sismo en el muro  
 $R_{sobre}$ : es la resultante de la sobrecarga  
 $\sum FR'$ : son las fuerzas resistentes al deslizamiento  
 $\sum F_d$ : son las fuerzas que provocan el deslizamiento  
 $\sum M_r$ : sumatoria de momentos resistentes al vuelco  
 $\sum M_o$ : sumatoria de momentos que producen el vuelco  
 $M_{neto}$ : es el momento obtenido de la fórmula anterior  
 $\sum V$ : es la sumatoria de los pesos totales del muro y el suelo  
 $e$ : es la excentricidad de la carga  
 $B$ : es el ancho del cimiento  
 $CE$ : es la distancia  $X$   
 $L$ : es el ancho del cimiento  
 $A$ : es el área del cimiento  $B \cdot \text{ancho unitario (1 m)}$   
 $\gamma_2$ : es la densidad húmeda del suelo de base  
 $B$ : ancho de la cimentación  
 $\Phi$ : es el ángulo de fricción del suelo  
 $\alpha$ : es el ángulo de inclinación del suelo de relleno  
 $\Psi$ : ángulo  
 $C$ : es la cohesión del suelo

**3) DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN**

$f'_c$ : es la resistencia del concreto

bw: es el ancho del vástago del muro  
d: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al centroide del acero en tensión  
M: es el momento último en la base del muro  
V: es el cortante último en la base del muro  
D: es la distancia de la fibra más alejada en compresión al acero en tensión  
Vm max: cortante que resiste la mampostería  
Cd. Es el coeficiente obtenido de la formula anterior  
Ae: es el área bruta del muro, para un metro de ancho  
M1: es el momento causado por la masa de suelo encima de la punta del cimiento  
M2: es el momento causado por la punta de concreto del cimiento  
M3: es el momento causado por el triángulo de presiones debajo de la punta del cimiento  
bw: es el ancho del cimiento  
 $\phi$ : factor de reducción para flexión 0.9  
Mu: es el momento último en el punto P o J  
bw: es el ancho del cimiento  
a: es la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos  
fy: es la resistencia del acero  
As: son los centímetros de acero calculado

# Diseño de la pantalla y la cimentación para un muro tipo voladizo en Mampostería

Se pretende diseñar un muro de contención de 2.6 metros de alto ubicado en San José de tipo de suelo S1 ubicado en una zona sísmica III: EL factor de presión activa ( $k_a$ ) es 0.35, el de presión pasiva ( $k_p$ ) es 2, su factor de fricción suelo-concreto es de 0.5, el suelo del sitio tiene una capacidad admisible de 10 toneladas, presenta una densidad húmeda de  $1800 \text{ kg/m}^3$  y tiene una sobrecarga en su parte superior de 1 tonelada ubicada a 3 metros del vástago del muro.

Se requiere que el muro de contención sea hecho en mampostería con una resistencia de la mampostería  $f'_m = 100 \text{ Kg/cm}^2$  y una densidad de bloques de  $\gamma_m = 1650 \text{ kg/m}^3$  Se utilizara una resistencia del concreto de  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  y una resistencia del acero de  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ . El recubrimiento de las barras del acero en el muro es de 3 cm y en el cimiento de 5 cm de espesor.

Se necesita que el diseño de la cimentación resista la fuerza sísmica del suelo y del suelo y del mismo peso del muro

### Cimiento De Muro En Mampostería Reforzada Tipo VOLADIZO

Proyecto: \_\_\_\_\_  
Diseñador: \_\_\_\_\_

PARÁMETROS INICIALES (llene con valores las casillas de color celeste)		
<b>DATOS OBLIGATORIOS</b>		
Propiedades generales del muro		
f'c (resistencia del concreto)	280	Kg/cm <sup>2</sup>
f'm (resistencia de la mampostería)	100	Kg/cm <sup>2</sup>
fy (resistencia del acero)	4200	Kg/cm <sup>2</sup>
γc (densidad del concreto)	2400	kg/m <sup>3</sup>
γm (densidad de la mampostería)	1650	kg/m <sup>3</sup>
Dimensiones del vástago de muro		
H2 (altura del vástago)	2.6	m
H3 (altura de cimiento)	0.3	m
D (altura suelo-cimiento)	0.4	m
Suelo de Relleno del muro		
Factor de presión activa (ka)	0.35	
γR (densidad húmeda del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
Suelo de la base del muro		
Factor de presión pasiva (kp)	5	
γB (densidad del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
CB (cohesión)	400	kg/m <sup>2</sup>
Fricción entre el cimiento y el suelo	0.5	
<b>CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO</b>		
X (ancho de vástago)	0.2	m
F (punta)	0.5	m
C (talón)	1.1	m
Z (diente del cimiento)		m

DATOS OPCIONALES		
α (ángulo del relleno)	10	grados
Qadm (capacidad admisible)	10	ton/m <sup>2</sup>
Q (sobrecarga)	0	kg/m
S (distancia de sobrecarga)	0	m
φB (ángulo de fricción del suelo)	0	grados
Parámetros sísmicos		
Ubicación	San José	-
Zona Sísmica	III	Tabla 2.1
Perfil de Suelo	S1	Sección 2.2
Aceleración Efectiva	0.33	Tabla 2.2
FED	1.2	Figura 5.7
SR	1.2	Capítulo 5
Recubrimientos		
recubrimiento del muro	3	cm
recubrimiento del cimiento	5	cm

Dimensiones propuestas para diseñar la placa		
X (ancho de vástago)	0.2	m
F (punta)	0.522	m
C (talón)	1.044	m

**NOTA: Debe introducir los valores de F, X y C en las casillas celestes del CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO**

**Nota importante:** Resultados en color verde. Nota: los factores de seguridad son tomados del Código de Cimentaciones de Costa Rica

	Factor de seguridad sin sismo F.S. > 1.5	Factor de seguridad con sismo F.S. > 1.2
Análisis De Estabilidad		
Volcamiento	3.03	1.37
Deslizamiento	2.57	1.42
Capacidad admisible	7.23	17.77
Capacidad soportante	CUMPLE	CUMPLE
Presiones en el cimiento	Presiones trapezoidales	Presiones triangulares
Distancia L' (metros)	0.00	0.91
Análisis Estructural		
Ancho del Vástago del muro	CUMPLE	CUMPLE
Ancho del cimiento	CUMPLE	CUMPLE

Ir a memoria de cálculo

Ir a resumen de los cálculos

INICIO

Figura 45: Ejemplo de un muro en mampostería tipo voladizo



**COMAC**  
Construcciones y Remodelaciones



**SOTELA ALFARO LTDA.**  
DISEÑO E INSPECCIÓN

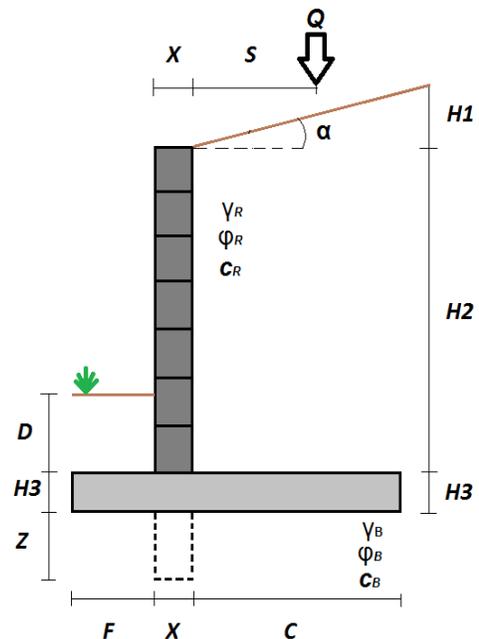
## Resumen De Los Cálculos Del Diseño De Un Muro De Contención En Mampostería Tipo Voladizo

Proyecto

Diseñador

**DISEÑO CON FUERZA SÍSMICA**

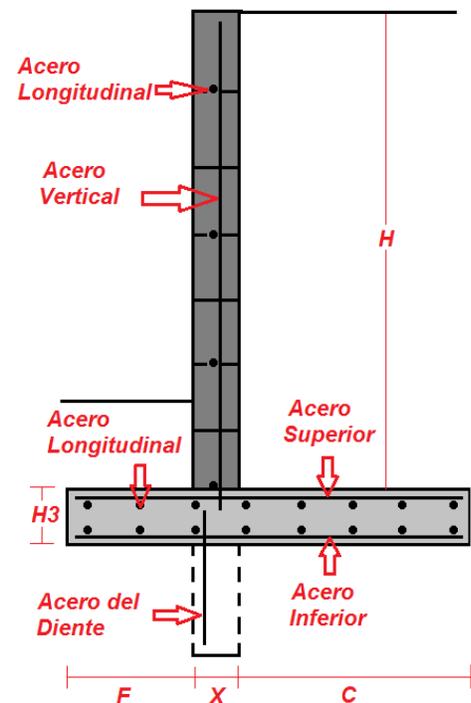
DATOS OBLIGATORIOS		
<b>Propiedades generales del muro</b>		
f'c ( resistencia del concreto )	280	Kg/cm <sup>2</sup>
f'm ( resistencia de la mampostería )	100	Kg/cm <sup>2</sup>
fy (resistencia del acero )	4200	Kg/cm <sup>2</sup>
yc (densidad del concreto)	2400	kg/m <sup>3</sup>
ym (densidad de la mampostería)	1650	kg/m <sup>3</sup>
<b>Dimensiones del vástago de muro</b>		
H2 (altura del vástago)	2.6	m
H3 (ancho de cimiento)	0.3	m
D (altura suelo-cimiento)	0.4	m
<b>Suelo de Relleno del muro</b>		
Factor de presión activa (ka)	0.35	
γR (densidad húmeda del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
<b>Suelo de la base del muro</b>		
Factor de presión pasiva (kp)	5	
γB (densidad del suelo)	1800	kg/m <sup>3</sup>
CB (cohesión)	400	kg/m <sup>2</sup>
Fricción cimiento-suelo	0.5	



CUADRO DE DIMENSIONAMIENTO		
X (ancho de vástago)	0.2	m
F (punta)	0.5	m
C ( talón)	1.1	m

DATOS OPCIONALES		
α (ángulo del relleno)	10	grados
Qadm (Resistencia admisible del suelo)	10	ton/m <sup>2</sup>

Q (sobrecarga)	0	kg/m
S (distancia de sobrecarga)	0	m
$\phi B$ (ángulo de fricción)	0	grados
<b>Parámetros sísmicos</b>		
Ubicación	San José	-
Zona Sísmica	III	Tabla 2.1
Perfil de Suelo	S1	Sección 2.2
Aceleración Efectiva	0.33	Tabla 2.2
FED	1.2	Figura 5.7
SR	1.2	Capítulo 5
<b>Recubrimientos</b>		
recubrimiento del muro	3	cm
recubrimiento del cimiento	5	cm
<b>Deslizamiento</b>		
Z ( diente del cimiento)	0	m
<b>FUERZAS ACTUANTES EN EL MURO</b>		
Presión Activa	2,969.55	kg
Presión Pasiva	3,457.20	kg
Fuerza sísmica del suelo	2,132.29	kg
Fuerza sísmica del muro	283.14	kg
Fuerza por sobrecarga	0.00	kg
Fuerza cortante total en la base	4,322.86	kg
Momento total en la base	6,757.02	kg-m
<b>PRESIONES ACTUANTES EN LA CIMENTACIÓN</b>		
Tipo de presiones	Presiones triangulares	
Q máxima	1.69	ton/m <sup>2</sup>
Q mínima	0.00	ton/m <sup>2</sup>
Distancia L'	0.91	m
<b>DISEÑO DEL MURO DE CONTENCIÓN</b>		
Momento último en el vástago	2405.43	Kg-m
Acero vertical	6.90	cm <sup>2</sup> /m
Acero longitudinal del vástago	0.71	cm <sup>2</sup> /m
Momento último en la punta	10.84	kg-m
Acero inferior	6.00	cm <sup>2</sup> /m
Momento último en el tacón	3,547.41	kg-m
Acero superior	6.00	cm <sup>2</sup> /m
Acero longitudinal por temperatura	6.00	cm <sup>2</sup> /m
Acero para el diente	0.47	cm <sup>2</sup> /m



# Análisis de los resultados

Para diseñar un muro de contención se deben tomar en cuenta diversos factores que afectan su cálculo, tales como: el tipo de suelo, la zona sísmica, las sobrecargas en su tope, la resistencia del acero y el concreto que se va a utilizar, entre otros.

Cuando empieza el proceso de diseño de un muro de retención, ya sea tipo voladizo o arriostrado en su parte superior, el primer paso por seguir es suponer las dimensiones iniciales de acuerdo a la altura total del muro, que va desde la base del cimiento hasta la parte más alta de la pantalla del muro. El libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das* propone las siguientes dimensiones:

- $F = 0.15H$
- $C = 2 \cdot F$
- $X = 0.3$  metros como mínimo

En donde  $F$  es la punta del cimiento,  $C$  es el tación del cimiento,  $X$  es el ancho del vástago del muro y  $H$  es la altura total del muro desde la base del cimiento hasta el tope del vástago. Cuando se realizaba el diseño de algunos muros de contención con esas dimensiones que proponía la literatura de llamó la atención que cuando se hacía el análisis de estabilidad del muro, que incluye revisión por volcamiento, por deslizamiento y capacidad soportante, se presentaba el caso que los factores de seguridad, para su estabilidad, no cumplían con los impuestos por el *Código de Cimentaciones De Costa Rica segunda edición*. Cada vez que se diseñaba un muro de retención, las dimensiones del cimiento no cumplían con las expectativas del diseño, eso debido a que el análisis contaba con dos fuerzas más, que son las que produce el sismo en el suelo de relleno del muro de retención y el mismo peso del muro de retención que causa un efecto sísmico sobre él. Cuando el diseño de los muros de contención se hacía en concreto reforzado, en ocasiones el ancho del

vástago del muro, con una dimensión mínima de 30 centímetros como lo plantea el libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das*, estaba sobre diseñado de acuerdo con la fuerza cortante que lo afectaba en su base, por lo que en conjunto con el problema de las dimensiones del cimiento, se tomó la decisión de aumentar las dimensiones propuestas por el libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das* para la punta y el tación en un 20%, y disminuir la dimensión del vástago del muro en un 50%. Las nuevas dimensiones planteadas para realizar el análisis de estabilidad de un muro de retención son las siguientes:

- $F = 0.18H$
- $C = 2 \cdot F$
- $X = 0.15$  metros como mínimo

Cuando se hace el análisis de estabilidad en el muro por volcamiento se obtiene el momento total en la base. Entre los diferentes tipos de muros de contención que se analizaron en este proyecto, los de tipo voladizo, ya sean en concreto o en mampostería, son los que tienen un mayor momento de vuelco en su base, ya que como es particular de su tipo, tienen el extremo de su parte superior libre, haciendo que toda la fuerza del sismo, empuje activo y sobrecargas recaigan en su base.

Para muros de contención arriostrados en la parte superior por una articulación y empotrado en su base, el momento de volcamiento se debe obtener con las fórmulas correspondientes para el caso articulado-empotrado. El cálculo del momento del vuelco para este caso en particular se disminuye en un 40% aproximadamente con respecto a los muros de contención tipo voladizo.

Para los muros de contención arriostrados en la parte superior por una articulación y articulado en su base, ya sean en concreto o en mampostería, tienen la característica de que no presentan momento de

vuelco en su base, por lo que su análisis de estabilidad se concentra en el deslizamiento y capacidad de soporte.

Con esas tres comparaciones se puede afirmar que las dimensiones de la placa de cimentación van a ser más grandes para muros de contención en voladizo, para muros arriostrados en su parte superior con una condición de apoyos articulado-empotrado y más todavía cuando se trata de un muro de contención articulado-articulado en donde el momento de vuelco es prácticamente nulo.

Para el diseño por flexión de la pantalla del muro de contención se obtuvieron diferentes resultados de acero vertical por flexión para los distintos tipos de muros de contención analizados. Para comprar el acero se tomaron en cuenta tres tipos de muro de contención en concreto con una altura de 3.5 metros y con condiciones de suelo, resistencia del acero y análisis sísmico iguales. En la siguiente tabla se muestra el tipo de muro de retención y la cantidad de acero por flexión que necesita:

<b>Acero vertical de la pantalla del muro</b>		
<b>Tipo de muro</b>	<b>As</b>	<b>Unidades</b>
voladizo	23.49	cm <sup>2</sup>
articulado-empotrado	8.67	cm <sup>2</sup>
articulado-articulado	14.46	cm <sup>2</sup>

Tabla 9: Acero por flexión para diferentes tipos de muros de contención

Como se observa en la tabla 9, el muro que requiere más acero por flexión es el de tipo voladizo y el que menos requiere es el arriostrado articulado empotrado, eso se repite para diferentes tipos de altura. Esta situación también se presenta para los muros en mampostería en donde el tipo de muro que requiere menos acero por flexión es el articulado-empotrado y el que más necesita es el muro tipo voladizo.

Para revisar el ancho del muro de contención en su base, o sea la junta vástago-cimiento, se deben tomar todos los efectos de las fuerzas de empuje debidamente factorizadas. La resistencia de la junta vástago-cimiento depende de la altura total del muro de contención, ya que entra más altura tenga el muro más fuerza cortante le va a llegar a la junta, por lo que hay que probar espesores del vástago para que resista la fuerza cortante proporcionada. En el

caso de muros de contención en concreto reforzado, estos tienen la ventaja de que su vástago se puede diseñar de diferentes espesores empezando con un mínimo de 15 centímetros en adelante y posee una resistencia al cortante alta comparado al otro material que se utiliza para diseñar el vástago del muro que es la mampostería, por lo que en concreto se pueden diseñar muros de contención hasta de seis metros de altura, solamente hay que ajustar su espesor a la resistencia del cortante en la base.

Por otro lado, se encuentra el otro material para el diseño de muros de contención que es la mampostería. Esta presenta propiedades similares a las del concreto, a lo que a fuerza cortante se refiere. La mampostería tiene una menor resistencia que el concreto, eso por la naturaleza del material y a la hora de calcular la resistencia máxima al cortante, esta hay que dividirla entre un factor de reducción igual a 0.6, que en el caso para el concreto es 0.75, lo que hace que su resistencia se disminuya aún más. Para el caso de diseño de muros de contención en mampostería ya sean tipo voladizo o arriostrados en su parte superior se hicieron varios ejercicios de diseño en donde la altura promedio máxima que puede soportar el vástago de muro son 2.8 metros, usando un espesor de bloque de 20 centímetros, por lo que eso limita o aconseja que para diseñar muros de contención de más de 2.8 metros en adelante es mejor diseñarlos en concreto reforzado. Para el caso de muros de contención de más de 2.8 metros de alto se pueden diseñar en mampostería pero habría que utilizar doble paño de bloques, lo que resulta poco factible económicamente y más complicado desde el punto de vista constructivo.

La fuerza de deslizamiento que provoca la masa de suelo sobre el muro de retención, en ocasiones, es el problema más grave para poder diseñar el cimiento, ya que como se vio anteriormente para algunos tipos de muros el análisis por vuelco se disminuye considerablemente de acuerdo a la configuración de sus apoyos. Para muros tipo voladizo, la fuerza que produce el deslizamiento es prácticamente la sumatoria de las fuerzas que producen el empuje, como la presión activa, el sismo del suelo, el sismo del muro y las sobrecargas. Cuando se trata de muros de contención arriostrados en la parte superior con un apoyo articulado y un empotramiento en su base, la fuerza de deslizamiento se debe calcular

con las fórmulas adecuadas para el caso articulado-empotrado. Después de varios diseños realizados para esta configuración de muro se verificó que para una altura de muro menor a 3.2 metros la fuerza de deslizamiento disminuía en comparación con los muros tipo voladizo, pero después de una altura de muro de 3.3 metros en adelante la fuerza de deslizamiento aumentaba considerablemente y se hacía de mayor magnitud que la que afecta a los muros tipo voladizo. Cuando se tiene un caso de un muro de contención articulado-articulado, la fuerza de deslizamiento se mantiene, prácticamente, en igual magnitud a la fuerza de deslizamiento de muros de contención tipo voladizo por lo que su tamaño de placa se mantendrá similar para ambos casos.

Contrario a la fuerza de deslizamiento están las fuerzas resistentes al deslizamiento del muro de contención. Aquí influye el peso total del sistema, como el suelo encima del cimiento y el peso mismo del muro, la fuerza pasiva y la cohesión del suelo. Las propiedades del suelo son un factor importante a la hora de hacer el cálculo de las fuerzas resistentes, ya que si el suelo de la base del muro es cohesivo, esta aumenta, lo que provocará que el muro sea más resistente al deslizamiento. En la práctica profesional, a la hora de construir un muro de contención, se acostumbra a colocar un sello de concreto pobre en la zanja del suelo antes de realizar la chorrea de la cimentación. En este caso, la fricción existente entre el suelo y la placa de cimentación se interrumpe por el sello colocado, por lo que no sería real si tomáramos en cuenta la cohesión en las fuerzas que se oponen al deslizamiento. Gracias a ello y a las consultas hechas al Ingeniero Juan Carlos Sotela y al Ingeniero Gastón Laporte se tomó la decisión de eliminar la cohesión de dicho análisis de deslizamiento del suelo, ya que si no se hace eso, el cimiento podría tener un diente mucho más pequeño de lo que se necesitaría para contrarrestar el deslizamiento. Esta exclusión de la cohesión solo se dio en el deslizamiento de la placa y no para hacer el cálculo de la capacidad última del suelo, ya que en este caso es de vital importancia para obtenerla.

Finalizado el análisis del vuelco, deslizamiento y cortante en la base, se procedió a llevar a cabo el cálculo de las excentricidades del cimiento. En el **Código De Cimentaciones de Costa Rica** dice que cuando la excentricidad

es menor que  $L/6$ , donde  $L$  es el ancho del cimiento, las presiones sobre el cimiento son de forma trapezoidal, eso significa que toda la superficie del cimiento está en contacto con el suelo y no se levanta a causa del volcamiento. Cuando la excentricidad es mayor que  $L/6$  y menor que  $L/2$  las presiones bajo la superficie del cimiento son de forma triangular, lo que significa que no toda la superficie del cimiento está en contacto con el suelo y el cimiento tiende a levantarse a causa del vuelco en la parte del tación, lo que genera un momento importante en ese lugar.

Literatura reconocida como el libro **Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das** en su capítulo 7, sección 7.4 dice: *“Si el análisis de un diseño muestra que  $e > B/6$ , el diseño debe rehacerse y determinar nuevas dimensiones”*. Con los ejercicios hechos a mano antes de realizar la herramienta digital, y los diseñados con el programa, del 70% de los diseños se obtuvieron presiones en la cimentación con forma triangular, esto debido a la fuerza sísmica que transmite el suelo de relleno a la cimentación. Cuando se trata que las presiones calculadas en el suelo sean de forma trapezoidal, las dimensiones de la placa de cimiento se aumentan de forma significativa, se vuelve más grande y pesada, lo que conlleva a un aumento económico importante si se traduce a costo del cimiento. En el otro caso, en donde hay presiones triangulares en el cimiento, la placa sería un poco más pequeña, comparada a una placa con presiones trapezoidales, pero se debe tener en cuenta lo que dice el **Código De Cimentaciones** que la distancia  $L'$  debe ser mayor a  $L/2$ , en donde  $L$  es el ancho de la cimentación porque, de lo contrario habría peligro de vuelco del muro de contención.

La revisión por capacidad soportante es otro factor importante a la hora del diseño de la placa de cimentación, ya que si esta no cumple con los parámetros impuestos por el **Código de Cimentaciones** el diseño no puede realizarse. Para diseñar una cimentación y revisarla por capacidad soportante es de carácter obligatorio contar con un estudio de suelo que proporcione toda la información necesaria. Cuando se cuenta esta información se debe tomar la capacidad admisible del suelo y compararla con la presiones máximas debajo de la cimentación, esto debido a que si no se cuenta con un estudio de suelos es muy aventurado tomar una decisión acerca de

cuál es la capacidad última del suelo, debido a que los métodos que existen para calcular esa capacidad son muy aproximados. A la hora del dimensionamiento de la placa hay que estar verificando la capacidad soportante, ya que en ocasiones se pueden cumplir los factores de seguridad por volcamiento y deslizamiento pero no por capacidad soportante, por lo que hay que llegar a tales dimensiones que satisfagan todos los requerimientos de análisis de estabilidad del muro de retención.

Para calcular el acero de la cimentación se deben obtener los momentos tanto en la punta como en el tacón del cimientto, para ello hay que tener en cuenta las configuraciones de las presiones del cimientto que influyen tanto en el cálculo como es la colocación del acero. Cuando son presiones trapezoidales, en la parte inferior de la placa es donde va a ir colocado la mayor cantidad de centímetros de acero por metro lineal, ya que la placa de cimentación va a estar expuesta a las presiones que transmite el suelo. Cuando las presiones se presentan de forma triangular, la mayor cantidad de centímetros cuadrados de acero va a estar concentrada en la parte superior de la cimentación, esto debido a que toda la superficie de la cimentación no está en contacto con el suelo y eso produce un momento grande en la zona del tacón. También, cuando se presenta esta configuración de presiones, los centímetros cuadrados de acero inferior tienden a ser casi igual o menor en cantidad al acero mínimo calculado para la placa, lo que indica que cuando el acero es menor que el permitido se usa el mínimo.

Una vez calculado el acero de la parte superior y el acero de la parte inferior se debe revisar el acero longitudinal del cimientto. Para el caso de cimentaciones de muros de contención se da el caso que en la dirección longitudinal no presenta esfuerzos importantes, por lo que se le suele colocar el acero por temperatura que indica el **Código Sísmico De Costa Rica 2002**.

Para el diseño del diente del cimientto su acero por flexión se calcula con la presión pasiva que se ejerce sobre él. En la mayoría de los casos el acero por flexión del diente es inferior al cero mínimo establecido por el **Código Sísmico De Costa Rica 2002**, por lo que se coloca el mínimo que es una varilla #3.

La herramienta digital está diseñada para que trabaje con condiciones de suelo drenadas, por lo que cualquier índice de agua en el suelo de

relleno se debe eliminar. Se recomienda que todos los diseños que se realicen con el programa vayan acompañados con un drenaje para evacuar el agua del suelo, ya que en condiciones de suelo no drenadas el análisis geotécnico es diferente que cuando se trabaja en condiciones drenadas de suelo y los resultados del diseño no van a ser los correctos.

Al finalizar el desarrollo de la herramienta digital se le realizaron una serie de pruebas para comprobar que los resultados que se obtenían con ella eran correctos. Primero se tomaron ejemplos de diseños de muros de contención de libros reconocidos como el **Foundation Analysis And Desing Bowles 1996** y el **Principios de Ingeniería en Cimentaciones Braja M. Das 1999** y se diseñaron en la herramienta digital para comparar los resultados de los libros con el del programa, los cuales dieron diseños iguales. Después se comparó con la memoria de cálculo y dimensiones de muros de retención que la empresa había construido dando como resultado diseños sumamente iguales, lo que comprueba que la herramienta digital está capacitada para realizar su tarea que es el diseño de muros de retención

Finalmente para el diseño de muros de contención se debe analizar los diversos factores que lleven a tomar la mejor decisión de diseño. Muchas veces los muros en voladizo no son la mejor opción ya que sus dimensiones de placa son muy grandes y nos lleven a escoger un muro con un sistema de apoyo en su parte superior que presenta dimensiones de placa más pequeñas, o que el muro no sea tan alto y nos sirva mejor un muro en mampostería que es más barato que el muro en concreto. También se puede presentar el caso que las opciones de un muro en voladizo o arriostrados en su parte superior no sirva para el problema ingenieril que se tiene en frente y haya que tomar la decisión de diseñar un muro diferente que contenga contrafuertes o un muro en gaviones.

# Conclusiones y Recomendaciones

Al finalizar el trabajo, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Se cumplieron los objetivos planteados al inicio del proyecto.
2. El diseño de cimentaciones de muros de contención en voladizo con una altura de más de 7 metros de altura podrían ser poco factibles económicamente, ya que sus dimensiones de placa, se empiezan a tornar muy grandes, lo que eleva su costo de construcción, por lo que se debería analizar otras soluciones ingenieriles para esos casos.
3. La construcción de muros de contención en voladizo o articulados en su parte superior en mampostería se limita a una altura de diseño de 2.8 metros, ya que para más de esta, la mampostería no aguanta el esfuerzo cortante en su base. Ese problema se puede solucionar colocando un doble paño de mampostería lo que elevaría su costo económico. Para este caso se debería analizar el muro con concreto reforzado para ver cuál caso se acopla más a la solución del problema.
4. Cuando en el análisis de estabilidad del muro de contención está presente la fuerza sísmica del suelo son más comunes los casos de presiones triangulares debajo del cimientto. En caso contrario cuando no hay fuerza sísmica, las presiones debajo del cimientto son de forma trapezoidal. Estas presiones dependen siempre del dimensionamiento que se le dé a la placa.
5. Cuando se va a diseñar un muro de contención articulado en su parte superior y empotrado en su base, el momento de volcamiento disminuye y el deslizamiento aumenta o disminuye de acuerdo con la altura del muro, por lo que el volcamiento no va a influir mucho en la estabilidad del muro, sino más bien el deslizamiento va a ser el análisis más problemático para su estabilidad.
6. Cuando se va a diseñar un muro de contención articulado en su parte superior y articulado en su base, el momento de volcamiento es prácticamente nulo y el deslizamiento aumenta o disminuye de acuerdo a la altura del muro, por lo que el volcamiento no va a influir en la estabilidad del muro, sino más bien el deslizamiento va a ser el análisis más problemático para su estabilidad.
7. Cuando se trata del diseño de muros de contención de más de seis de altura se recomienda buscar una solución que le ayude al muro con su estabilidad como lo son los contrafuertes o algún tipo de anclaje.
8. Para diseñar un muro de contención en su totalidad se recomienda siempre contar con el estudio de suelos respectivo de la zona, que indique todas las propiedades del terreno, como los factores de presión activa y pasiva, la densidad del suelo, la capacidad admisible entre otros. Ya que si no se cuenta con él, a la hora de calcular la capacidad última del terreno se utilizan métodos aproximados que en algunos

casos no dan con la realidad de la capacidad del terreno.

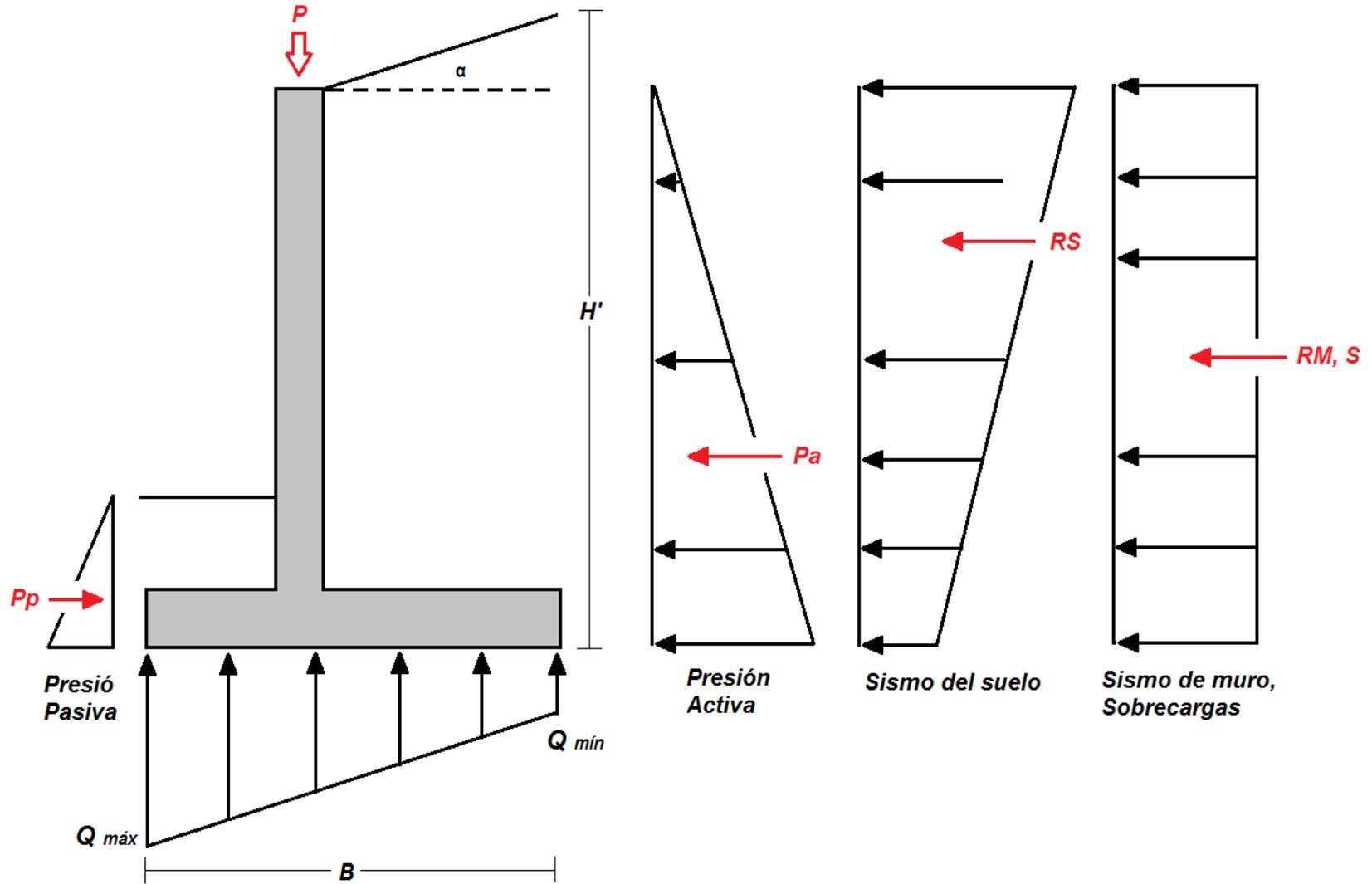
9. Las herramientas digitales para cualquier diseño de algún elemento estructural son muy útiles ya que le permiten al usuario a obtener resultados en muy poco tiempo, visualizar con mayor facilidad los problemas ingenieriles por resolver.

Al finalizar el trabajo, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Para muros de contención de más de 2.8 metros de altura se recomienda diseñarlos en concreto, ya que el diseño en mampostería del vástago del muro no resistiría la fuerza cortante en su base.
2. Para el diseño del cimiento se recomienda utilizar concreto de alta resistencia como por ejemplo  $280 \text{ kg/cm}^2$  para que sus elementos sean más pequeños y resistentes. También utilizar acero grado 60 para poner barras con números menores que facilitan el espaciamiento.
3. Cuando son muros de más de 6 metros de altura se recomienda el uso de contrafuertes en el muro para evitar el vuelco del muro y su deslizamiento.

# Apéndices

1. Diagrama de las fuerzas que afectan un muro de contención.

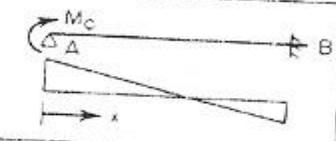
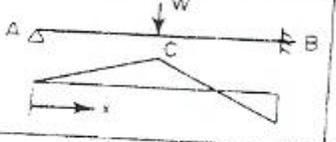
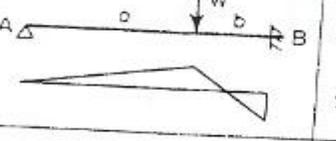
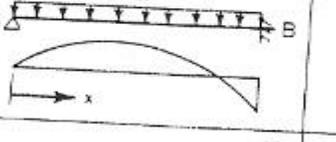
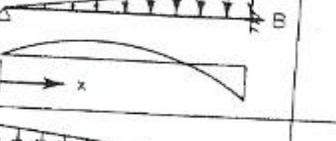
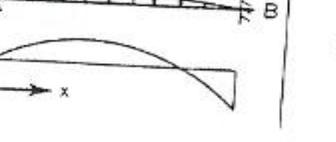


Apéndice 1: Diagrama de las fuerzas que afectan un muro de retención

# Anexos

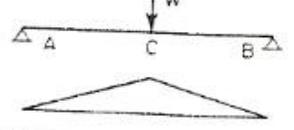
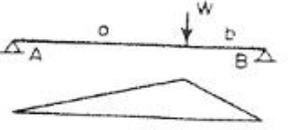
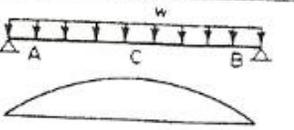
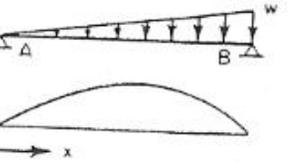
1. Hoja de fórmulas para elementos constructivos que tienen un apoyo articulado y otro empotrado.
2. Hoja de fórmulas para elementos constructivos que tienen un apoyo articulado y otro articulado.
3. Anexo 3,4 y 5 son diferentes vistas de las fuerza que afectan a un muro de retención, tomadas del libro ***Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das***

TABLE 4 Formulas for Beams (Continued)

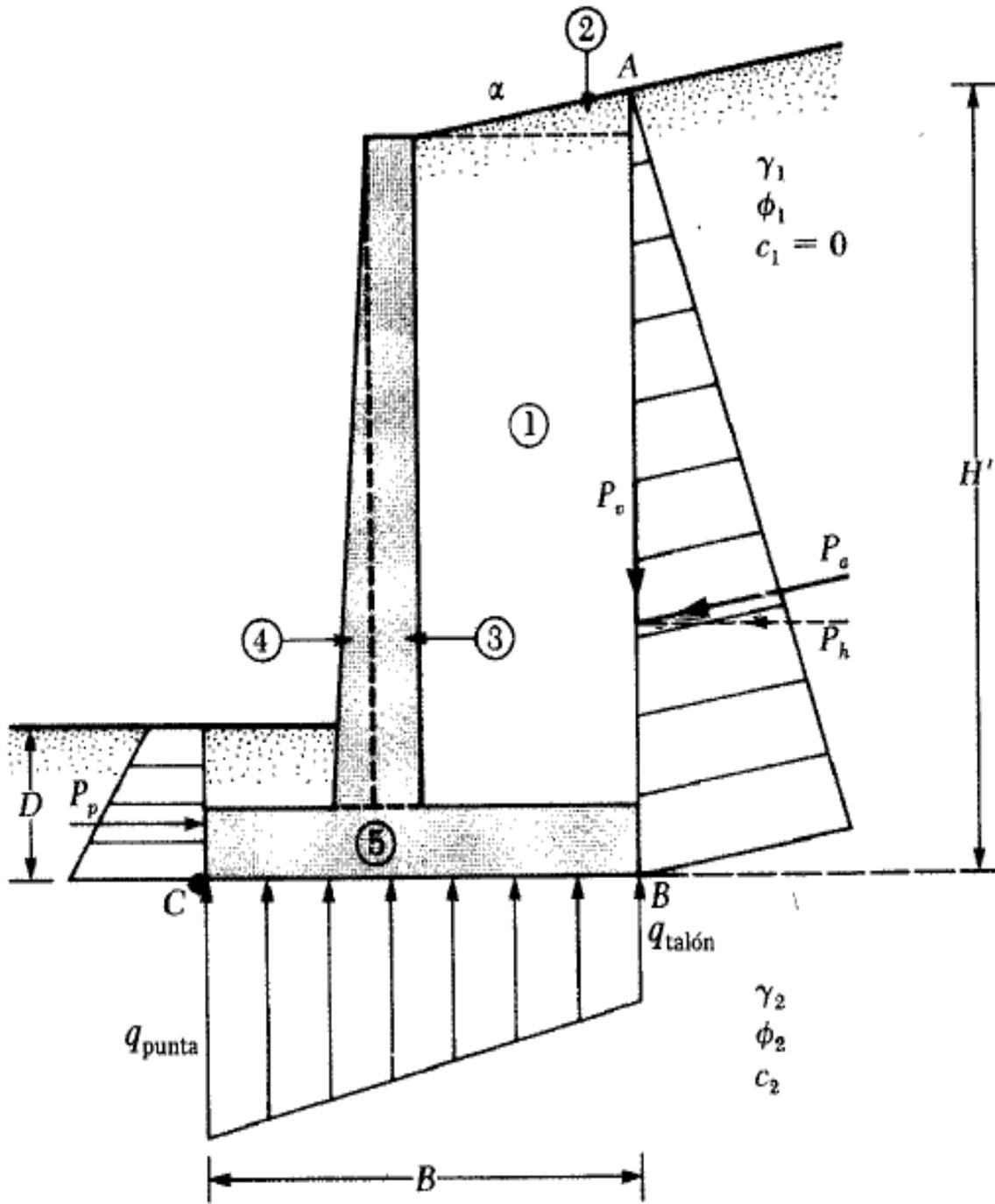
Propped cantilever				
	$S_A = -\frac{3M_0}{2L}$	$M_B = -\frac{M_0}{2}$	$\theta_A = \frac{M_0L}{4EI}$	$y_{max} = \frac{M_0L^2}{27EI}$ at $x = \frac{L}{3}$
	$S_A = \frac{5W}{16}$	$M_C = -\frac{3WL}{16}$ $M_B = \frac{5W}{32}$	$\theta_A = \frac{WL^2}{32EI}$	$y_{max} = 0.00932 \frac{WL^3}{EI}$ at $x = 0.447L$
	$S_A = \frac{Wb^2}{2L^3} (a+2L)$ $S_B = -\frac{Wa}{2L^3} (3L^2 - a^2)$	$M_B = -\frac{wab}{L^2} (a + \frac{b}{2})$	$\theta_A = \frac{wab^2}{4EIL}$	$y_a = \frac{wa^2b^3}{12EIL^3} (3L + a)$
	$S_A = \frac{3wL}{8}$	$M_B = -\frac{wL^2}{8}$	$\theta_A = \frac{wL^3}{48EI}$	$y_{max} = 0.0054 \frac{wL^4}{EI}$ at $x = 0.422L$
	$S_A = \frac{wL}{10}$	$M_{max} = 0.03wL^2$ at $x = 0.447L$ $M_B = -\frac{wL^2}{15}$	$\theta_A = \frac{wL^3}{120EI}$	$y_{max} = 0.00239 \frac{wL^4}{EI}$ at $x = 0.447L$
	$S_A = \frac{11wL}{40}$	$M_{max} = 0.0423wL^2$ at $x = 0.329L$ $M_B = -\frac{7wL^2}{120}$	$\theta_A = \frac{wL^3}{80EI}$	$y_{max} = 0.00305 \frac{wL^4}{EI}$ at $x = 0.402L$

Anexo 1: Fórmulas para calcular fuerzas cuando se tiene el caso articulado-empotrado, tomadas del libro Handbook of Concrete Engineering

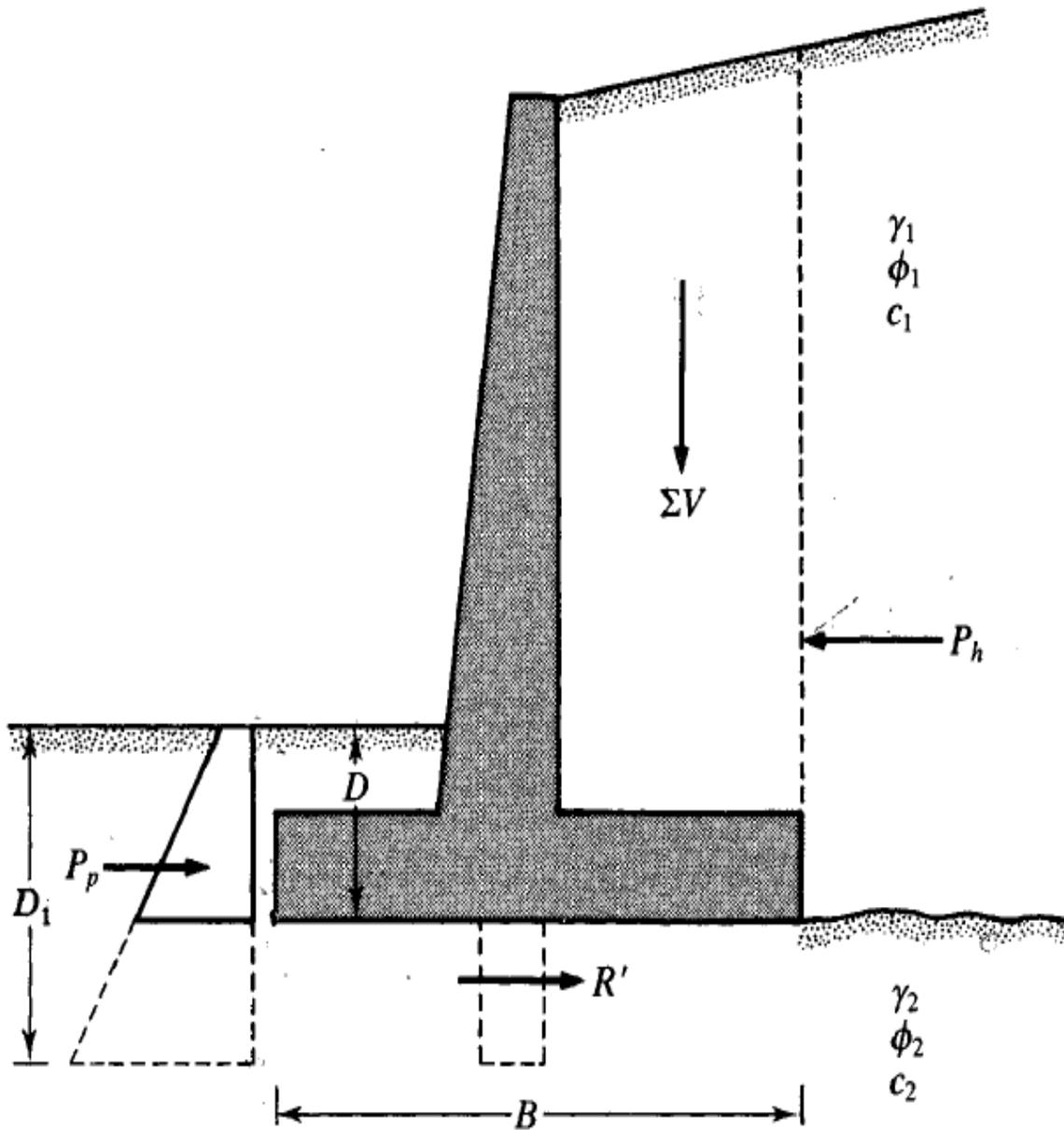
TABLE 4 Formulas for Beams

Structure	Shear 	Moment 	Slope 	Deflection 
Simply supported beam				
	$S_A = -\frac{M_o}{L}$	$M_c$	$\theta_A = \frac{M_o L}{3EI}$ $\theta_B = -\frac{M_o L}{6EI}$	$y_{max} = 0.062 \frac{M_o L^2}{EI}$ at $x = 0.422L$
	$S_A = \frac{W}{2}$	$M_c = \frac{WL}{4}$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{WL^2}{16EI}$	$y_c = \frac{WL^3}{48EI}$
	$S_A = \frac{Wb}{L}$ $S_B = -\frac{Wa}{L}$	$M_a = \frac{Wab}{L}$	$\theta_A = \frac{Wob}{6EI(L+b)}$ $\theta_B = -\frac{Woa}{6EI(L+a)}$	$y_a = \frac{Wa^2 b^2}{3EI(L+b)}$
	$S_A = \frac{wL}{2}$	$M_c = \frac{wL^2}{8}$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{wL^3}{24EI}$	$y_c = \frac{5wL^4}{384EI}$
	$S_A = \frac{wL}{6}$ $S_B = -\frac{wL}{3}$	$M_{max} = 0.064 wL^2$ at $x = 0.577L$	$\theta_A = \frac{7wL^3}{360EI}$ $\theta_B = -\frac{8wL^3}{360EI}$	$y_{max} = 0.00652 \frac{wL^4}{EI}$ at $x = 0.519L$

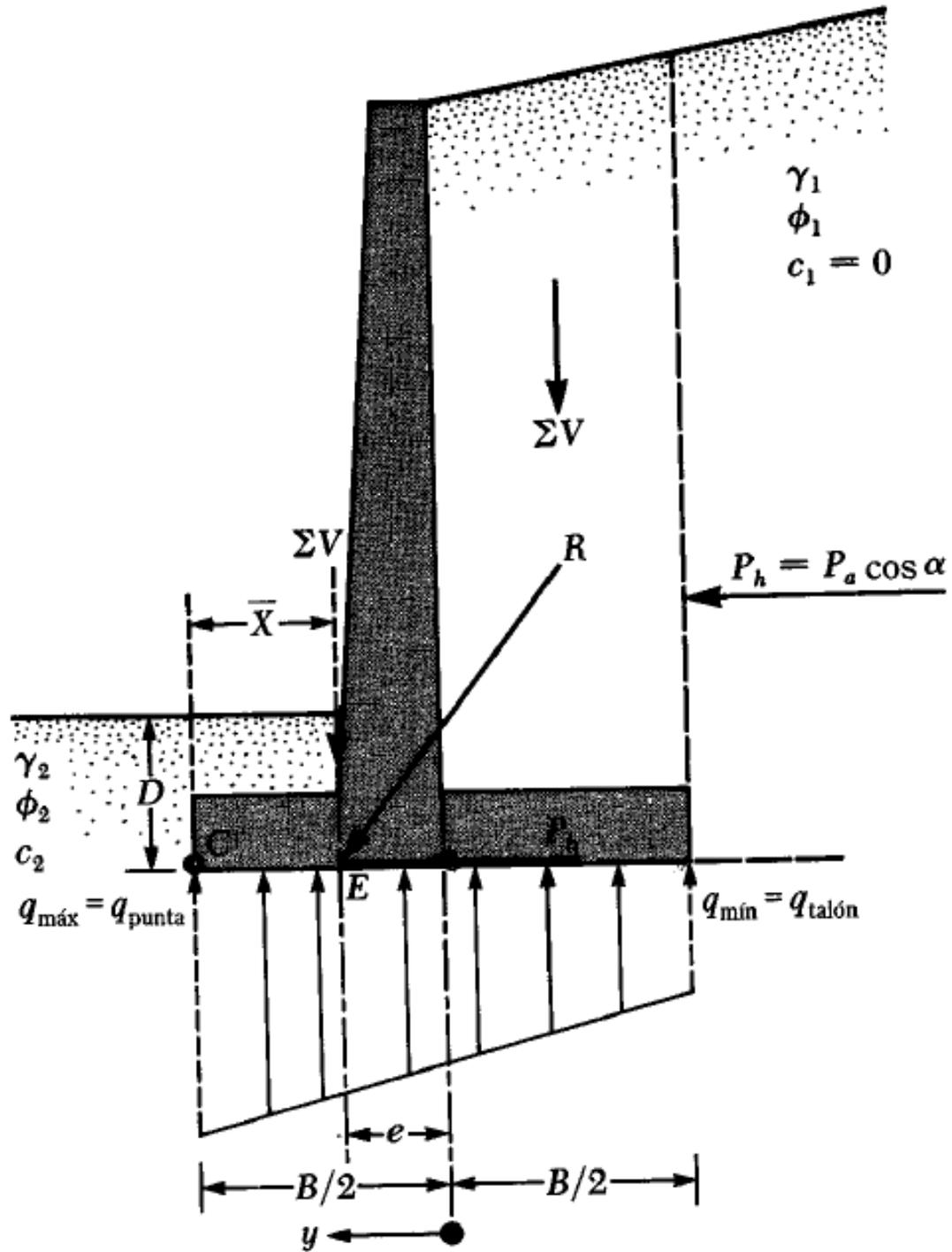
Anexo 2: Fórmulas para calcular fuerzas cuando se tiene el caso articulado-articulado, tomadas del libro Handbook of Concrete Engineering



Anexo 3: Estabilidad contra volteo en la punta, figura tomada del libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* Braja M. Das



Anexo 4: Verificación de estabilidad contra deslizamiento en la base, figura tomada del libro **Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja M. Das**



Anexo 5: Análisis de capacidad de soporte, figura tomada del libro *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* Braja M. Das

# Referencias

## Bibliografía.

American Concrete Institute. 2005. **REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL Y COMENTARIO (AC I 318S-05)**. 490pp.

Asociación Costarricense de Geotecnia. 2009. **CÓDIGO DE CIMENTACIONE DE COSTA RICA SEGUNDA EDICIÓN**  
Editorial Tecnológica de  
Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 200pp.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. 2002. **CÓDIGO SISMICO DE COSTA RICA**. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 3ra edición. Cartago, Costa Rica.

Bowles, J. 1996. **FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN**. Editorial McGraw-Hill, 5ta edición. USA. 1174pp.

Das, B. 2001. **PRINCIPIOS DE INGENIERÍA EN CIMENTACIONES**. Internacional Thomson Editores S.A. de C.V. México DF, México. 594p.

Nilson, A. 1999. **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO**. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana S.A. 12ª edición. Bogotá, Colombia.

Sowers, G. 1972. **INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES**. Editorial Limusa Wiley S.A. México. 677pp.

Tapia, M. 2005. **DISEÑO GEOTÉCNICO: APUNTES DEL CURSO DE MECANICA DE SUELOS II**. Cartago, Costa Rica. 209pp.