



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**DESARROLLO DE HOJA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DE
MUROS DE CONTENCIÓN EN CONCRETO ARMADO TIPO
VOLADIZO EN MICROSOFT EXCEL**

**PRESENTADA POR
ROBERTO JORDI SUCLUPE CRUZALEGUI**

**ASESOR
ENOCH AURELIO MAGUIÑA RODRÍGUEZ**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ
2021**



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**DESARROLLO DE HOJA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DE
MUROS DE CONTENCIÓN EN CONCRETO ARMADO TIPO
VOLADIZO EN MICROSOFT EXCEL**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

SUCLUPE CRUZALEGUI, ROBERTO JORDI

LIMA-PERÚ

2021

A mis padres Celica y Cruz por su apoyo incondicional y a mis hermanos Cynthia y Yonel por acompañarme y aconsejarme en todo momento. Los amo.

RESUMEN

La presente investigación planteó el desarrollo de una aplicación para diseñar y calcular de muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel. Para ello se definió como investigación de tipo proyectiva, contando con estrategias para la recolección de datos y técnicas estadísticas con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos propuestos. De lo anterior se obtuvo que en los resultados presentados en este trabajo deban considerarse las propiedades del suelo de relleno en el diseño. Fue posible evidenciar el incremento no lineal de la cantidad de concreto por metro lineal en proporción a la altura del muro en voladizo, para alturas variables entre 2 y 8 m. Los avances en el desarrollo de la aplicación, disminuyeron el tiempo requerido para diseñar muros de concreto armado en voladizo, teniendo en cuenta más variables que dan cumplimiento la normativa E030 y E060.

Palabras claves: aplicación, Excel, diseño, muro en voladizo, norma E030, norma E060.

ABSTRACT

The present investigation proposed the development of an application under the Microsoft Excel environment for the design and calculation of retaining walls in cantilevered reinforced concrete, under Peruvian standards E060 "reinforced concrete" and E030 "resistant earthquake design". For this purpose, it was defined as projective research, with data collection techniques and statistics to meet the proposed objectives. From the above it was obtained that the results presented in this work consider the properties of the landfill in the design. It was possible to show the non-linear growth of the amount of concrete per linear meter in relation to the height of the cantilever wall, for varying heights between 2 and 8 *m*. Advances in the development of the application, reduced the time required for the design process of cantilevered reinforced concrete walls, taking into account more variables that comply with the E030 and E060 regulations.

Keywords: application, Excel, design, cantilever wall, standard E030, standard E060.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, identifica la necesidad de realizar el desarrollo de una aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas utilizando el ambiente Microsoft Excel, obteniendo diseños confiables; considerando que en la actualidad herramientas de esta naturaleza son de uso comercial dirigidas mayormente a ámbito laboral que requieren de conocimientos profundos y especializados en diseño de estructuras. En el documento se plantean establecer los parámetros de diseño para el cálculo, además de evaluar los diseños a partir de la comparación de ejercicios tomados de la bibliografía referenciada en este trabajo.

La investigación está estructurada inicialmente por el planteamiento del problema; que contempla la situación problemática, los objetivos y la viabilidad de la investigación entre otros incisos considerados. Por su parte el marco teórico comprende todos los referentes bibliográficos tomados en cuenta para el desarrollo del presente. Seguidamente se presenta el desarrollo metodológico donde se explica la propuesta y se definen las variables de estudio, para continuar con la metodología donde se contempla el diseño metodológico, las técnicas de recolección y análisis estadístico.

Finalmente se exponen los resultados alcanzados por medio del uso de una aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel, dando lugar a la discusión de los mismos, generando una serie de conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|--|---------------|
| RESUMEN | iii |
| ABSTRACT | iv |
| INTRODUCCIÓN | v |
| ÍNDICE GENERAL | vi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | viii |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | |
| 1.1 Descripción de la situación problemática | 1 |
| 1.2 Formulación del problema | 2 |
| 1.3 Objetivos de la investigación | 3 |
| 1.4 Justificación de la investigación | |
| 1.5 Limitaciones del estudio | 5 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO | |
| 2.1 Antecedentes | 6 |
| 2.2 Bases teóricas | 7 |
| 2.3 Definición de términos básicos | 15 |
| 2.4 Zonas sísmicas | 16 |
| CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES | |
| 3.1 Formulación de hipótesis principal | 18 |
| 3.1.1 Hipótesis específicas | |
| 3.2 Matriz de consistencia | 19 |
| 3.3 Contrastación de hipótesis | 21 |
| 3.3.1 Contrastación de hipótesis principal | |
| 3.3.2 Contrastación de hipótesis específicas | |
| CAPITULO IV DESARROLLO DE APLICACIÓN PARA | |

| | Página |
|---|---------------|
| DISEÑAR Y CALCULAR MUROS DE CONTENCIÓN EN CONCRETO ARMADO TIPO VOLADIZO, BAJO LAS NORMAS PERUANAS E060: CONCRETO ARMADO Y E030: DISEÑO SISMO RESISTENTE BAJO EL AMBIENTE MICROSOFT EXCEL | |
| 4.1 Propuesta de aplicación bajo ambiente Microsoft Excel | 22 |
| 4.2 Variables y definición operacional | |
| CAPITULO V METODOLOGÍA | |
| 5.1 Diseño metodológico | 24 |
| 5.2 Técnicas de recolección de datos | |
| 5.3 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información | 25 |
| 5.4 Diseño muestral | 26 |
| 5.5 Aspectos éticos | |
| CAPITULO VI RESULTADOS | 27 |
| CAPITULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 53 |
| CONCLUSIONES | 56 |
| RECOMENDACIONES | 58 |
| CRONOGRAMA | 59 |
| FUENTES DE INFORMACIÓN | 60 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | Página |
|--|---------------|
| FIGURAS | |
| Figura 1. Aproximaciones para pre dimensionamiento | 9 |
| Figura 2. Partes de un muro en voladizo | 9 |
| Figura 3. Presiones de contacto en zapata de muro tipo voladizo | 14 |
| Figura 4. Zonas sísmicas y factores de zona | 17 |
| TABLAS | |
| Tabla 1. Cuadro de resumen de validación | 45 |
| Tabla 2. Cuadro de resumen de validación | 52 |
| GRÁFICOS | |
| Gráfico 1. Introducción de datos | 27 |
| Gráfico 2. Hoja de predimensionamiento | 28 |
| Gráfico 3. Establecimiento de formulas | 28 |
| Gráfico 4. Hoja en programación | 28 |
| Gráfico 5. Repaso teórico dentro de la hoja programada | 29 |
| Gráfico 6. Inserción de variables a considerar en el diseño | 29 |
| Gráfico 7. Consideración de análisis, dentro de la hoja programada | 29 |
| Gráfico 8. Consideración de análisis pseudo-estático | 30 |
| Gráfico 9. Selección de casos en hoja programada | 30 |
| Gráfico 10. Algoritmos para diseño de pie | 30 |
| Gráfico 11. Algoritmos para diseño de talón | 31 |
| Gráfico 12. Algoritmo para cálculo de acero | 31 |
| Gráfico 13. Algoritmos para diseño de pantalla | 31 |
| Gráfico 14. Algoritmos de casos para pantalla | 32 |
| Gráfico 15. Algoritmos cálculo de momentos | 32 |
| Gráfico 16. Algoritmos de cortante en pantalla | 32 |
| Gráfico 17. Resultados de acero | 33 |
| Gráfico 18. Ingreso de datos | 34 |

| | Página |
|---|---------------|
| Gráfico 19. Parámetros de diseño | 34 |
| Gráfico 20. Resolución de cálculos | 34 |
| Gráfico 21. Resultados de empuje de tierra y sobrecarga | 35 |
| Gráfico 22. Factor de seguridad al volteo y deslizamiento | 35 |
| Gráfico 23. Factor de seguridad de capacidad portante | 35 |
| Gráfico 24. Análisis sísmico | 36 |
| Gráfico 25. Verificación por volteo y deslizamiento | 36 |
| Gráfico 26. Verificación de capacidad portante | 36 |
| Gráfico 27. Consideraciones de diseño | 37 |
| Gráfico 28. Resultados Pie | 37 |
| Gráfico 29. Resultados talón | 37 |
| Gráfico 30. Resultados de acero | 38 |
| Gráfico 31. Diseño de la pantalla del muro | 38 |
| Gráfico 32. Diseño de la pantalla del muro II | 38 |
| Gráfico 33. Casos diseño de la pantalla del muro | 39 |
| Gráfico 34. Resultados finales | 39 |
| Gráfico 35. Resultados finales II | 39 |
| Gráfico 36. Datos de diseño y pre diseño de la validación | 40 |
| Gráfico 37. Verificación de estabilidad del muro | 41 |
| Gráfico 38. Verificación de estabilidad del muro II | 41 |
| Gráfico 39. Diseño de pantalla | 42 |
| Gráfico 40. Diseño de talón | 42 |
| Gráfico 41. Diseño de punta | 42 |
| Gráfico 42. Validación de hoja - Datos | 43 |
| Gráfico 43. Validación de hoja - Predimensionamiento | 43 |
| Gráfico 44. Validación de hoja – Análisis de estabilidad | 44 |
| Gráfico 45. Validación de hoja – Diseño de talón y pie | 44 |
| Gráfico 46. Validación de hoja – Diseño de pantalla | 45 |
| Gráfico 47. Datos del ejercicio | 46 |
| Gráfico 48. Predimensionado | 46 |
| Gráfico 49. Deslizamiento estático | 46 |
| Gráfico 50. Volteo y capacidad portante estático | 47 |

| | Página |
|---|---------------|
| Gráfico 51. Deslizamiento pseudo-estático | 47 |
| Gráfico 52. Volteo y capacidad portante pseudo-estático | 48 |
| Gráfico 53. Diseño de Punta y Talón | 48 |
| Gráfico 54. Diseño de Pantalla | 49 |
| Gráfico 55. Datos | 49 |
| Gráfico 56. Predimensionamiento | 49 |
| Gráfico 57. Estabilidad estática | 50 |
| Gráfico 58. Estabilidad dinámica | 50 |
| Gráfico 59. Diseño de la base | 51 |
| Gráfico 60. Diseño de la pantalla | 51 |

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la situación problemática

En toda construcción civil tales como carreteras, puentes, embalses de aguas, terraplenes para construcción de plataformas de soporte a edificaciones residenciales, comerciales, institucionales, entre otras, se requiere como punto de partida de la ejecución, realizar movimiento de tierra para adecuar los niveles del terreno a los requeridos por el proyecto; en tal ámbito, al modificar las condiciones del terreno natural, surge la necesidad de garantizar su estabilidad, que estará ligada con las propiedades del suelo a ser modificado; en busca de economía, la primera opción es construir taludes estables, entendiendo como talud una área empinada con relación a la horizontal que tengan que acoger indeleblemente las disposiciones de tierra; solo en caso no poder garantizar la firmeza del talud, es necesaria la obra de muros de contención que soporten los esfuerzos laterales del suelo.

Se define muro de contención a aquellas estructuras utilizadas para contener aglomeraciones de tierra u otro material suelto cuando los escenarios no admiten que estas ocupen sus pendientes originarias. Los muros de contención son usados para soportar empujes laterales de materiales detrás de ellos y han sido empleados históricamente, considerando que desde el siglo XVI surgen las nacientes contribuciones que han dado lugar a teorías para su diseño geotécnico.

Los muros de contención auto portantes son de varios tipos y entre los más comunes están los muros de gravedad que contienen tierra trabajando únicamente con su propio peso, muro de concreto reforzado en voladizo que posee un cuerpo vertical con tierra y se conserva en su lugar por medio de una losa base, donde el peso de relleno por superpuesto al talón y el peso del muro ayudan a la firmeza de la estructura; y finalmente para comprimir los momentos flectores en muros verticales altos se hace uso de contrafuertes alejados entre sí a distancias iguales o levemente mayores a la mitad de la altura del muro denominando a estos últimos muros con contrafuertes.

Los muros tipo voladizo son económicos en alturas de hasta 6.5 m, cubriendo con ellos una amplia gama de requerimientos de contención cotidianos en el área de la construcción civil. El medio a alcanzar en los proyectos de muros de contención radica en escoger longitudes de prueba del mismo para luego examinar la estabilidad de este anverso a las fuerzas que lo requieren; de presentarse que la evaluación revele que la estabilidad no es apacible, se varían las longitudes y se desarrollan nuevos sondeos hasta alcanzar que la estructura resista los esfuerzos a las que se halla expuesto.

En el mercado existen diversos software privados, como SAP2000, cuyas licencias son costosas, siendo de difícil obtención para el inicio de la vida profesional de los ingenieros y para los estudiantes que requieran este tipo de cálculo con fines didácticos y educativos, lo cual hace necesario obtener una herramienta computacional que esté al alcance de la mayoría y permita realizar dichos cálculos. En base a las necesidades que requiere el tipo de diseño, se puede utilizar una hoja de cálculo de Microsoft Excel, el cual es un software que comúnmente viene con licencia en la compra de cualquier laptop o computadora de escritorio.

El desarrollo de este proyecto ayudará a realizar el cálculo de los muros de contención en concreto armado en voladizo, de una forma sencilla, en un software de uso cotidiano y permitirá reducir el tiempo que demanda el diseño de este tipo de estructura a fin de completar proyectos civiles de ingeniería que normalmente requieren del diseño de diversos muros de contención para ser viables constructivamente.

1.2 Formulación del problema

De lo anterior se desprenden las siguientes interrogantes:

¿Cómo queda desarrollada una aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas mediante el ambiente Microsoft Excel?

¿Cuáles son las bases teóricas, temas asociados y estudios realizados en el área que sirvan de apoyo para el fundamento de la aplicación, brindando información necesaria y relevante?

¿Qué algoritmos son necesarios que permitan realizar el cálculo de muros de contención en concreto tipo voladizo?

¿Cómo son los algoritmos computacionales para determinar los valores necesarios para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo?

¿Cuál es la validez de la aplicación diseñada contra los resultados de casos modelos desarrollados en el material bibliográfico?

1.3 Objetivos de la investigación

- Objetivo general

Desarrollar una aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas bajo el ambiente Microsoft Excel.

- Objetivos específicos

a) Investigar las bases teóricas, temas asociados y estudios realizados en el área que sirvan de apoyo para el fundamento de la aplicación, brindando información necesaria y relevante.

b) Desarrollar los algoritmos necesarios que permitan realizar el cálculo de muros de contención en concreto tipo voladizo.

c) Implementar los algoritmos computacionales para determinar los valores necesarios para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo.

d) Validar la aplicación diseñada contra los resultados de casos modelos desarrollados en el material bibliográfico.

1.4 Justificación de la investigación

- Importancia de la investigación

El cálculo de muros de contención es de uso cotidiano en el desenvolvimiento profesional de un Ingeniero Civil, puesto que es de uso común su implementación en terrenos donde se hace necesario modificar la topografía y quiere aprovecharse la mayor cantidad de área en construcción

del mismo. Dentro de estos muros en concreto armado, el tipo voladizo es de amplio uso por su versatilidad y robustez, sin embargo, las iteraciones requeridas para su diseño tienden a realizarse en software costosos que no siempre son accesibles para el Ingeniero Civil.

De igual forma, el estudiante que desea ahondar en este campo posee esa limitación, siendo entonces de gran importancia desarrollar esta herramienta que permita calcular el diseño adecuado de los muros mediante un software de uso cotidiano como lo es Microsoft Excel. De esta manera los conocimientos en el área de estructuras podrán ampliarse desde los estudios profesionales, proporcionando al estudiante una novedosa herramienta que pueda utilizar de forma sencilla y comprobar las erudiciones teóricas alcanzados.

- Viabilidad de la investigación

El desarrollo del proyecto ha considerado los aspectos necesarios para poder hacer viable su desarrollo y culminación de forma exitosa, puesto que se cumplen todas las consideraciones en las diferentes áreas a evaluar, entre ellas:

a) Viabilidad técnica: Se poseen los recursos tecnológicos necesarios tales como: laptop, software Microsoft Excel, material bibliográfico con ejercicios desarrollados.

b) Viabilidad económica: Los costos asociados para el desarrollo del proyecto son básicamente los asociados a las impresiones, papelería y otros gastos menores, los cuales serán asumidos por el investigador, y posteriormente la utilidad de la herramienta dejará un software sin costo en su licencia que podrá ser utilizado por los estudiantes y profesionales tras su culminación.

c) Viabilidad social: En general el proyecto sería de libre utilización para los estudiantes y profesionales, logrando de esta forma calcular y diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo de forma más sencilla y accesible para la sociedad general.

d) Viabilidad operativa: La aplicación a desarrollar culminará con la puesta en marcha tras ser validada con casos modelo, y será ejecutable en cualquier computador que posea Microsoft Excel, siendo totalmente novedosa y pudiéndose expandir a futuro con otras investigaciones que desarrollen tipos de muros de contención en concreto armado.

1.5 Limitaciones del estudio

La presente se basa en calcular muros de contención en concreto tipo voladizo, para contener suelos cohesivos y no cohesivos, tomando en cuenta el diseño de su estabilidad y esfuerzos admisibles resultantes de los empujes de la masa de suelo en condición activa considerando los efectos sísmicos cumpliendo las normas Peruanas E060: concreto armado y E030: diseño Sismo resistente.

En el presente trabajo se despreciará el empuje pasivo provocado por el relleno sobre el pie del muro en voladizo asumiendo que no podría estar durante toda la vida del muro de contención.

Además no se considerará para el desarrollo de los algoritmos la cohesión en el suelo de relleno debido que es un parámetro que puede modificarse por la cantidad de agua que tiene un relleno.

Se considerará para los algoritmos de la hoja de cálculo que el muro supone un espaldar recto y que el ángulo "i" que forma la cuña de terreno con la horizontal sea 0° .

Una manera de aumentar la seguridad al deslizamiento es realizando un diente para lograr el anclaje suficiente sin embargo, al utilizar la presente hoja de cálculo para aumentar la seguridad al deslizamiento será necesario optar por el cambio de dimensiones del muro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Dentro de la investigación fueron considerados una serie de trabajos previos relacionados con el tema a estudiar, que sirven de guía para el contexto de la investigación. Entre estos se destacan:

Inicialmente Bueno y Bernuy (2015) en su investigación “Estabilización de Ladera con Muros de Contención y Estudio de Impacto Ambiental para la Protección de Viviendas en el Barrio de San Isidro del Distrito De San Marcos – Huari, Ancash” Esta investigación parte de la necesidad de “mejorar zonas con alta vulnerabilidad y riesgo con el que vive la población del Barrio de San Isidro del Distrito de San Marcos, donde se encuentran debilitados los bloques de terrenos en una zona crítica de aproximadamente 490ml donde se encuentran localizadas las viviendas”

El trabajo especial de grado abarca la evaluación de las condiciones geotécnicas, ensayos para determinar las características del suelo que finalmente brindará la los datos mínimos para diseñar muros de cinco muros de contención tipo ménsula con alturas variables entre tres y ocho metros, para finalmente desarrollar un estudio de impacto ambiental con la finalidad de validar el proyecto sea ambientalmente sostenible. Esta investigación proporciona la metodología de cálculo para muros de contención tipo voladizo que será el inicio en el diseño de los algoritmos y procedimientos a desarrollar en la hoja de cálculo de muros tipo voladizo en Microsoft Excel.

Continuando con Gómez (2013) en “Metodología de diseño y cálculo estructural para muros de contención con contrafuertes en el trasdós, basados en un programa de cómputo” El mismo consistió en el desarrollo y análisis de métodos para diseñar muros de contención con contrafuertes en el trasdós, para ser aplicado en un software de desarrollo considerando el dimensionamiento y calculo estructural. Esta investigación enmarca el alcance del presente trabajo de grado, con la diferencia de tratarse de muros con contrafuertes en vez de muros en voladizo. Se tomarán en cuentas las bases

teóricas y análisis de las teorías de diseño para ser ajustadas y complementadas para el correcto diseño del muro en voladizo ajustándolo a normas Peruanas.

Seguido de Ballón y Echenique (2017) en “Análisis de estabilidad de muros de contención de acuerdo a las zonas sísmicas del Perú” la investigación tiene el propósito de determinar la respuesta sísmica de los muros en voladizo en las diversas zonas sísmicas indicadas en la norma E.030 Diseño sismorresistente comparando los métodos empíricos y de equilibrio límite; concluyendo en que el método de Mononobe – Okabe es un método más conservador, no aplicable para suelos complejos ni con altas aceleraciones sísmicas y taludes elevados.

Además se tiene la investigación de Palacios y Toalá (2015) “Diseño de dos muros de contención para el proyecto ciudad casa de la cultura de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí 2014- 2015” la investigación entrega una “propuesta estructural a la institución beneficiaria para realizar la construcción de los muros necesarios de manera segura, económica, sustentable y sostenible, entregando como producto planos estructurales y presupuesto de ejecución de obra” Esta investigación aporta un marco teórico referencial, señalando el procedimiento de cálculo pertinente para diseñar muros de contención y describiendo el diseño del acero de refuerzo del muro.

Finalmente se tiene la investigación de Torres R. (2008) “Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado” la investigación entrega una serie de fundamentos, definiciones, casos y procedimiento para llegar a evaluar y diseñar muros de concreto armado incluyendo un análisis dinámico orientado a la norma venezolana 2006.

2.2 Bases teóricas

- 2.2.1 Muros de Contención

Estructuras construidas para oponerse a los pesos o empujes de material que se encuentran detrás de ellas, cuando las condiciones características no permiten que el material se adapte a su inclinación constante. La estructura de los muros de contención deberá cumplir las condiciones siguientes:

- El muro debe ofrecer la solidaridad básica esencial para soportar las preocupaciones por los empujes forzados;
- El muro debe cumplir con los requisitos previos importantes para evitar que se vuelque y se deslice debido a las cargas planas o inclinadas que se le aplican;
- Las estimaciones aceptables de asentamiento bajo el peso del muro en el piso del establecimiento no deben ser superadas, existen 3 tipos de verificaciones que un muro debe cumplir para ser considerado seguro:
 - Seguridad al desplazamiento
 - Seguridad por asentamiento
 - Seguridad al volcamiento
- 2.2.2 Muro en voladizo

Es aquel opuesto al empuje de tierra por métodos para la actividad de voladizo de una mampara vertical implantada en una zapata, ambos suficientemente reforzados para oponerse a los empujes y poderes de corte a los que están oprimidos. Son comúnmente prudentes para las tallas inferiores a 8 metros, para las tallas más notables, los muros con contra fuertes serán en general cada vez más prácticos.

La estructura más regular se llama T, la cual logra su fuerza a través del ancho del zapata, logrando que la tierra colocada en la parte posterior de la zapata actúa como carga muerta sobre el talón posterior, de esta manera mejorando el bienestar del muro deslizando.

Estos muros están diseñados para resistir la presión de la tierra, el agua debe ser evacuada con diferentes marcos de desecho pudiendo ser defensas ubicadas a través de la malla vertical, o subcanales colocados detrás de la malla cerca de la base de los muros. En el caso de que el suelo no se agote apropiadamente, pueden ocurrir pesos hidrostáticos molestos.

Como inicio base para el diseño de un muro se tiene la siguiente recomendación para pre dimensionar el muro en voladizo basado en

muros construidos anteriormente que luego se deberá ir evaluando luego de cada iteración dentro del diseño:

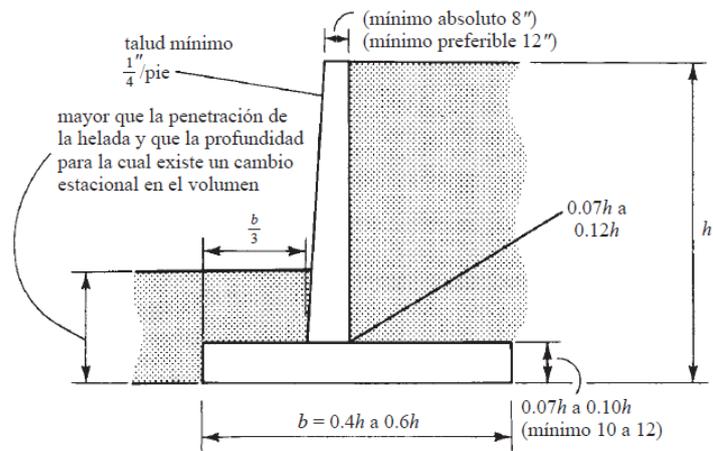


Figura 1: Aproximaciones para pre dimensionamiento

Fuente: McCormac J. & Brown R. (2011)

- 2.2.3 Diseño para muros de contención en voladizo

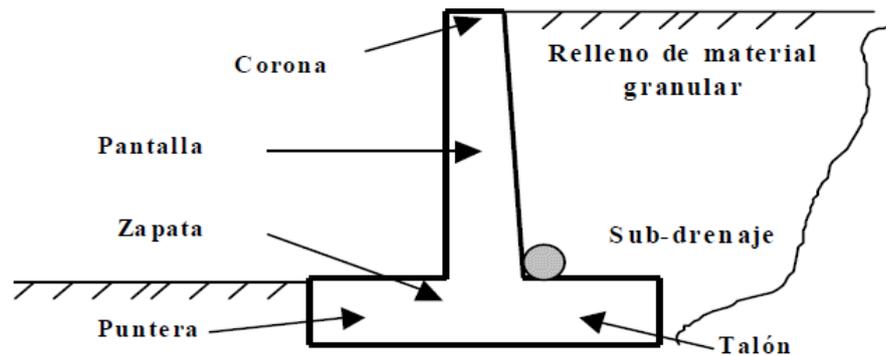


Figura 2: Partes de un muro en voladizo

Fuente: Torres R. (2008)

a) Diseño del vástago o pantalla

La potencia de corte y las calidades mínimas en la base, considerando presiones adyacentes del suelo, se determinan y se utilizan para decidir tanto el espesor necesario como la fortificación. Las mejores permutas de temperatura se producen en la cara delantera o descubierta de la pantalla. Como procedimiento constructivo el espesor de la pantalla debe ser por lo menos lo suficiente como para no tener problemas en la colocación del concreto.

b) Diseño del talón

La pesadez del piso lateral necesita hacer que el muro de contención dé vuelta alrededor de su extremidad. Este movimiento, en su mayor parte, levantará el talón contra el suelo. El relleno empuja hacia abajo el voladizo del talón, ejerciendo presión en la parte superior. La mejor potencia aplicada al propósito del efecto de un muro de contención es el montón descendente de relleno detrás de la pantalla.

c) Diseño de la punta o pie

Debe ser un pilar volado partiendo de la pantalla. Los montones que debe soportar incorporan la pesadez de la sección en voladizo y el peso ascendente del piso que se encuentra debajo de ella. Normalmente el relleno sobre la punta no se tiene en cuenta (como si se hubiera desintegrado) a menos que para un proyecto en específico se asegure que esa carga permanecerá durante toda la vida del muro, sin embargo el despreciar este relleno está de lado de la seguridad.

d) Resistencia requerida

Las estructuras y componentes básicos deben estar destinados a conseguir en la totalidad de sus áreas plan de obstrucción en cualquier caso equivalente a la oposición necesaria, la última determinada para los montones y potencias intensificadas en las mezclas estipuladas en la Norma E060, además se debe asegurar una conducta adecuada bajo cargas de ayuda. La obstrucción necesaria U debe ser, en cualquier caso, equivalente al impacto de las mayores cargas. La manera en que al menos una carga no actúa al mismo tiempo debe ser investigada.

$$U = 1.5 CM + 1.8 CV$$

$$U = 1.25 (CM + CV \pm CS)$$

$$U = 0.9 CM \pm 1.25 CS$$

Al incluir el efecto del empuje lateral del terreno la resistencia será como mínimo:

$$U = 1.5 CM + 1.8 CV + 1.8 CE$$

$$U = 1.5 CM + 1.8 CV$$

En caso la carga muerta o viva reduzcan el empuje lateral se usará:

$$U = 0.9 CM + 1.8 CE$$

Dónde:

CE: Carga empuje lateral.

CM: Carga muerta.

CS: Carga de sismo.

CV: Carga viva.

- 2.2.4 Diseño en concreto armado
- Los factores de carga a considerar se pueden tomar de una manera simplificada debido a que el empuje del relleno puede adoptar un enfoque de carga muerta o empuje lateral.
- De acuerdo a la normativa vigente se obtiene el factor de resistencia ϕ para corte igual a 0.85 y flexión igual a 0.90.
- El espesor mínimo recomendable de la pantalla para muros en voladizo se considera de 30cm.
- Recubrimiento de la pantalla de 3 cm y en la base de 7.5 cm.
- Recubrimiento de 7 cm con cemento vertido legítimamente sobre el terreno, pero de 5 cm si se utiliza encofrado.
- 2.2.5 Consideración de sismo

Al anticiparse a los muros de tierra en zonas sísmicas, es útil tener en cuenta el breve impacto que la vibración del suelo produce en la estimación de los empujes ejemplares de la tierra a causa del terremoto. A pesar de que durante un temblor el muro de tierra se mueve regularmente en relación con el suelo que se detiene, la aceleración de los componentes - muro y tierra - puede no ser sincrónica, en ese punto la estimación de los incrementos de empuje de tierra debido a la inactividad. Para alturas moderadas es estándar considerar, por el impacto del temblor, una expansión del 10% en la estimación del empuje tradicional, con el que se espera que el muro tenga buena capacidad, o considerar un empuje comparable a la

pesadez de la cuña del empuje dinámico incrementado en un 33% del coeficiente sísmico esencial.

Para el desarrollo de la presente hoja de cálculo se utilizó el método Mononobe – Okabe para determinar la respuesta sísmica de los muros en voladizo. Siendo este método más conservador que el método general de equilibrio límite (GLE).

a) Diseño de muro:

Estabilidad al volcamiento y deslizamiento:

FSv ser más mayor que 1,5.

$$FSv = \frac{Me}{Mv} > 1.5$$

FSd, debe ser mayor de 1,25. Para evitar el deslizamiento se debe cumplir:

$$FSd = \frac{Fr}{Eh} > 1.25$$

$$Fr = \mu(Rv + Ev) + c'B + Ep$$

$$\mu = \tan\delta$$

$$c' = (0.5 \text{ a } 0.7)c$$

Eh: componente horizontal del empuje

Fr: fuerza de roce

Ev: componente vertical del empuje

Rv: resultante de las fuerzas verticales

c': coeficiente de cohesión modificado

B: ancho de la base del muro

c: coeficiente de cohesión del suelo de fundación

μ: coeficiente de fricción suelo-muro

Ep: empuje pasivo

δ : ángulo de fricción suelo-muro, a falta de datos

precisos, puede tomarse:

$$\delta = \left(\frac{2}{3}\phi\right)$$

Presiones de contacto: σ_{adm}

$$\sigma_{adm} \geq \sigma_{max}$$

$$\sigma_{adm} \leq \frac{q_{ult}}{FS \text{ cap. portante}}$$

Cargas estáticas: **FScap. Portante ≥ 3**

Cargas dinámicas: **FScap. Portante ≥ 2.5 .**

Las presiones de contacto por metro de ancho de muro:

$$e_x = \frac{B}{2} - X_r$$

$$X_r = \frac{M_e - M_v}{R_v}$$

X_r : posición de la resultante medida desde el extremo inferior de la arista de la puntera del muro.

Si: $e_x \leq B/6$

$$\sigma_{max} = \frac{R_v}{B} \left(1 + \frac{6e_x}{B}\right)$$

$$\sigma_{min} = \frac{R_v}{B} \left(1 - \frac{6e_x}{B}\right)$$

Si: $B/6 \leq e_x \leq B/2$

$$\sigma_{max} = \frac{2R_v}{3 \left(\frac{B}{2} - |e_x| \right)}$$

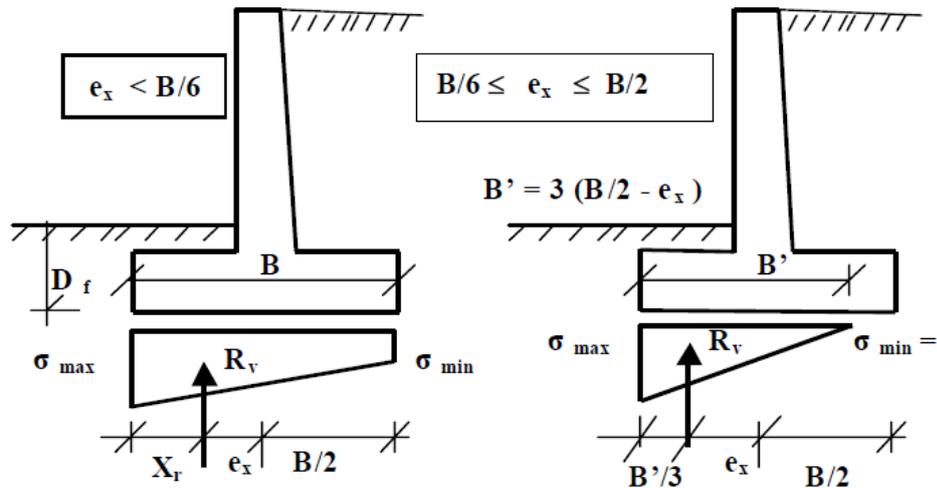


Figura 3: Presiones de contacto en zapata de muro tipo voladizo

Fuente: Torres R. (2008)

b) Teoría de empuje activo de Rankine:

La teoría de empuje activo de Rankine asume un terreno homogéneo y sin cohesión, y el valor del coeficiente de presión activa (K_a) viene dado por la siguiente ecuación:

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

Donde:

ϕ : Ángulo de fricción interna del suelo

c) Ecuación de Mononobe-Okabe:

Las fórmulas para determinar el empuje activo y el coeficiente de presión activa se obtienen de la siguiente manera:

$$E_{AE} = 0.5\gamma H^2(1 - k_v)K_{as}$$

Donde:

Eae: Empuje activo sísmico

kv: coeficiente sísmico vertical

Kas: coeficiente sísmico de presión activa

$$K_{as} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \varphi)}{\cos\theta \cos^2\varphi \cos(\varphi + \delta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - i - \theta)}{\cos(\varphi + \delta + \theta)\cos(i - \varphi)}} \right]^2}$$

Donde:

Φ : Ángulo de fricción interna del suelo

φ : inclinación del muro

i : inclinación de la superficie de terreno

δ : ángulo de fricción suelo-muro

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Csh}{1 - Csv}\right)$$

Donde:

Csh: Coeficiente sísmico horizontal

Csv: Coeficiente sísmico vertical

De acuerdo al manual AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges el coeficiente horizontal se define por la multiplicación de 0.5xFactorde zona x Factor de suelo de acuerdo a la norma E030 Diseño Sismorresistente. Mientras que el coeficiente vertical es un valor muy cercano a 0 que se puede definir como la multiplicación de 0.7x coeficiente horizontal.

2.3 Definición de términos básicos

Aplicación Excel: “programa hecho en Microsoft Excel”

Capacidad de carga última: “carga por área unitaria de la cimentación a la que ocurre la falla por corte en un suelo”

Carga: “fuerzas que actúan sobre un sistema estructural”

Coeficiente de seguridad: “relación entre el valor calculado de la capacidad máxima y el valor requerido esperado real”

Diseño: “dimensionamiento y detallado de los elementos de una estructura”

Muro de contención: “estructura rígida, consignada para sujetar cierto material, habitualmente tierras”

Muro en voladizo: “estructura de concreto reforzado, conformado por una pantalla delgada y una zapata de base”

Muro: “elemento empleado para encerrar o separar espacios”

Programación: “proceso de diseñar y codificar el código fuente de programas”

Relleno: “basto colocado detrás de un muro”

2.4 Zonas sísmicas

Dentro de la investigación es importante incluir un análisis pseudo – estático debido a la ubicación de nuestro país dentro del denominado “cinturón de fuego” convirtiendo nuestro país en una zona de riesgo sísmico.

La norma E030 Diseño sismorresistente (2016) divide el territorio peruano en 4 zonas presentadas a continuación:

ZONAS SÍSMICAS



Figura 4: Zonas sísmicas y factores de zona

Fuente: MVCS (2016)

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Formulación de hipótesis principal

La aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel, considera los criterios de diseño geotécnicos y estructurales; permitiendo disminuir el tiempo demandado en el diseño del muro en voladizo.

3.1.1 Hipótesis específicas

H1: Las bases teóricas, temas asociados y estudios realizados en el área ofrecen apoyo para el fundamento de la aplicación, brindando información necesaria y relevante.

H2: Los algoritmos necesarios que permitan realizar el cálculo de muros de contención en concreto tipo voladizo, responden a los valores establecidos en la normativa peruana.

H3: Al implementar los algoritmos computacionales para determinar los valores necesarios para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo, estos determinan la cantidad de acero a utilizar.

H4: La aplicación diseñada se valida teniendo en cuenta que coincide con los resultados de casos modelos desarrollados de forma práctica o teórica.

3.2 Matriz de consistencia

| Problema principal | Objetivos general | Hipótesis general | Independiente | dimensiones | Indicadores | Metodología |
|--|---|---|--|---|--|--|
| ¿Cómo queda desarrollada una aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel? | Desarrollar una aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel. | La aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel, considera los criterios de diseño geotécnicos y estructurales. | Diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo | Análisis sismo resistente Muros de contención | Carga axial Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura Excentricidad Accidental Fuerza Cortante en la Base Fuerzas Sísmicas Verticales Período Fundamental de Vibración Refuerzo horizontal Refuerzo mínimo Refuerzo vertical | investigación proyectiva: tomando en cuenta que este tipo de investigación expone soluciones a un contexto establecido partiendo de un proceso de investigación. |
| específicos | específicos | específicas | Dependiente | Dimensiones | Indicadores | Enfoque |
| ¿Cuáles son las bases teóricas, temas asociados y estudios realizados en el área que sirvan de apoyo para el fundamento de la aplicación, brindando | a) Investigar las bases teóricas, temas asociados y estudios realizados en el área que sirvan de apoyo para el fundamento de la aplicación, brindando | Las bases teóricas, temas asociados y estudios realizados en el área ofrecen apoyo para el fundamento de la aplicación, brindando | Norma peruana E060: concreto armado. Norma peruana E030: diseño sismo resistente. | Calculo Diseño Material Tipos | Ambiente Excel Cantidad de acero Cantidad de concreto Tipo voladizo | Cuantitativa porque la preponderancia del estudio (indicadores) se basan en la cuantificación y cálculo de los mismos. Diseño |

| | | | | | | |
|--|---|---|--|--|--|--|
| <p>información necesaria y relevante? ¿Qué algoritmos son necesarios que permitan realizar el cálculo de muros de contención en concreto tipo voladizo? ¿Cómo son los algoritmos computacionales para determinar los valores necesarios para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo? ¿Cuál es la validez de la aplicación diseñada contra los resultados de casos modelos desarrollados en el material bibliográfico?</p> | <p>información necesaria y relevante. b) Desarrollar los algoritmos necesarios que permitan realizar el cálculo de muros de contención en concreto tipo voladizo. c) Implementar los algoritmos computacionales para determinar los valores necesarios para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo. d) Validar la aplicación diseñada contra los resultados de casos modelos desarrollados en el material bibliográfico.</p> | <p>información necesaria y relevante. Los algoritmos necesarios que permitan realizar el cálculo de muros de contención en concreto tipo voladizo, responden a los valores establecidos en la norma E060. Al implementar los algoritmos computacionales para determinar los valores necesarios para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo, estos determinan la cantidad de concreto y acero a utilizar. La aplicación diseñada se valida teniendo en cuenta que coincide con los resultados de casos modelos desarrollados de forma práctica o teórica.</p> | | | | <p>Muestral El universo de la investigación equivale al tema de estudio, el cual será tratado no como un conjunto sino como una sola unidad. El muestreo es de tipo intencional ya que responde a los criterios del investigador en base a la necesidad directamente observada.</p> |
|--|---|---|--|--|--|--|

Elaboración propia (2019)

3.3 Contrastación de hipótesis

3.3.1 Contrastación de hipótesis principal

Después de formular la hipótesis, es indispensable corroborar su valor de verdad. Esta situación, implica aplicar un proceso de contrastación a través de procedimientos y técnicas de investigación que permitan confirmar o rechazar la hipótesis. Además, Oliver (1996) sostiene que “La contrastación es la confirmación de la hipótesis, para esto es necesario deducir ciertas consecuencias lógicas de esta hipótesis y luego formular el diseño o modelo experimental que le confiere el grado de validez y confiabilidad a los resultados”.

Por lo anterior para contrastar la hipótesis fue necesario validar la aplicación, haciendo uso de ella por parte de 3 ingenieros civiles vinculados al conocimiento estructural. Los cuales siguieron el procedimiento para calcular estas obras de contención por medio de una serie de chequeos y comprobaciones los cuales demandan que se ingresen nuevos datos y se revise la validez de los mismos.

3.3.2 Contrastación de hipótesis específicas

Contrastación de hipótesis 1: Los trabajos previos relacionados al tema aportan a la identificación de fórmulas y parámetros a seguir durante el diseño de un muro de contención de tipo voladizo.

Contrastación de hipótesis 2: Las verificaciones de estabilidad y factores de diseño fueron tomadas de la normativa actual.

Contrastación de hipótesis 3: Las fórmulas insertadas en la aplicación Microsoft Excel nos permitieron obtener el área de acero requerido y asumido.

Contrastación de hipótesis 4: Se validó los resultados obtenidos y se obtuvo valores que no diferían del material bibliográfico salvo por los parámetros y versión de la normativa utilizada.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE APLICACIÓN PARA DISEÑAR Y CALCULAR MUROS DE CONTENCIÓN EN CONCRETO ARMADO TIPO VOLADIZO, BAJO LAS NORMAS PERUANAS E060: CONCRETO ARMADO Y E030: DISEÑO SISMO RESISTENTE BAJO EL AMBIENTE MICROSOFT EXCEL.

4.1 Propuesta de aplicación bajo ambiente Microsoft Excel

La presente investigación desarrollo aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel, proveyendo una herramienta automatizada para el cálculo y diseño de los muros identificados anteriormente. Considerando muros tipo voladizo, sin apoyos en la parte superior, así como muros arriostrados del tipo articulado-articulado o empotrado-articulado. Para esto se consideraron como base los lineamientos establecidos en la norma E 060: concreto armado y E 030: diseño sismo resistente, con el desarrollo de este instrumento programado se provee una herramienta que asiste de forma eficaz y rápida diseñar muros de contención.

4.2 Variables y definición operacional

- 4.2.1 Variable dependiente

Diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo

- 4.2.1.1 Dimensiones:

Cálculo

Diseño

Material

Tipos

- 4.2.1.2 Indicadores

Ambiente Excel

Cantidad de acero

Cantidad de concreto

Tipo voladizo

- 4.2.2 Variable independiente

Norma peruana E060: concreto armado.

Norma peruana E030: diseño sismo resistente.

- 4.2.2.1 Dimensión

Análisis sismo resistente

Muros de contención

- 4.2.2.2 Indicadores

Carga axial

Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

Excentricidad Accidental

Fuerza Cortante en la Base

Fuerzas Sísmicas Verticales

Período Fundamental de Vibración

Refuerzo horizontal

Refuerzo mínimo

Refuerzo vertical

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA

5.1 Diseño metodológico

Considerando que la presente implica el diseño en base a un proceso investigativo, como es el caso del desarrollo de la aplicación en Microsoft Excel que permitirá realizar el cálculo de muros de contención tipo voladizo hasta de 8 m de altura, a partir de la recolección de los fundamentos teóricos necesarios para su elaboración; la misma se ajusta a la definición de investigación proyectiva, tomando en cuenta que este tipo de investigación expone soluciones a un contexto establecido partiendo de un proceso de investigación.

5.2 Técnicas de recolección de datos

Los datos utilizados en la realización del trabajo de investigación, se obtuvieron principalmente de la revisión de fuentes bibliográficas de textos pertenecientes a las siguientes áreas:

a) Bibliografía Especializada en el área de geotécnia, cimentaciones, muros de contención y diseño de concreto armado;

b) Bibliografía Especializada en el área de programación de Microsoft Excel

Fases de la investigación: este trabajo, se realizó dando cumplimiento a las etapas descritas a continuación:

Etapa 1: Planteamiento del problema: En esta fase, se inició el proceso de recolección de información, mediante entrevistas con el tutor, profesores e ingenieros con conocimientos en el área de cálculo de estructuras y diseño de cimentaciones los cuales suministraron la información necesaria para formular el planteamiento del problema.

Etapa 2: Compilación de la información: Durante esta fase, se realizará la recopilación y revisión de las fuentes bibliográficas relacionadas con geotécnia, diseño de concreto armado, cimentaciones y muros de contención; para así conocer ampliamente los fundamentos teóricos y

prácticos, relacionados con la investigación. Además, se realizó una compilación de investigaciones recientes relacionadas con diseñar muros de contención así como también en el área de herramientas Microsoft Excel.

Etapa 3: Delimitación del alcance y puesta en marcha del proyecto: En esta etapa, se diseñará la hoja de cálculo de muros de contención tipo voladizo en la herramienta Microsoft Excel para que reciba como entrada las características del material a contener, geometría propuesta del muro de contención y características de las fuerzas sísmicas probables según zona y tipo de suelo, para hacer las verificaciones de estabilidad del muro y chequeo de resistencia de los esfuerzos a los que está sometido arrojando como resultado el área de acero necesaria para garantizar esta condición.

Etapa 4: Realización e implementación del algoritmo de cálculo: El algoritmo de cálculo se realizará de acuerdo a lo establecido en los criterios de las normas E030 y E060

Etapa 5: Validación de los resultados: En esta etapa, se compararán los resultados obtenidos entre la aplicación desarrollada y los resultados mostrados por la bibliografía consultada.

Etapa 6: Realización del procedimiento de uso de la hoja de cálculo: En esta fase, se realizará un procedimiento, con instrucciones paso a paso y ejemplos con capturas en pantalla y resultados de modo que cualquier usuario pueda utilizar en forma sencilla esta herramienta de cálculo.

5.3 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

En primer lugar se lleva a cabo la organización de la misma, para ello se establecen unas nuevas variables en base a las etapas del diseño. Para el análisis de la información enmarcado dentro de las mismas variables en el inciso 4.2 comienza con la utilización del software Excel para hacer el modelado de análisis y análisis de una estructura donde se apliquen los aspectos correspondientes a las variables. Luego en una sección de muro particular se aplicarán los aspectos concernientes a las variables respectivas.

Los procesos aplicados al caso particular serán luego generalizados variable por variable para llegar a la conformación del Desarrollo de la aplicación bajo ambiente Microsoft Excel. A su vez los procedimientos

realizados permitirán emitir conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo realizado.

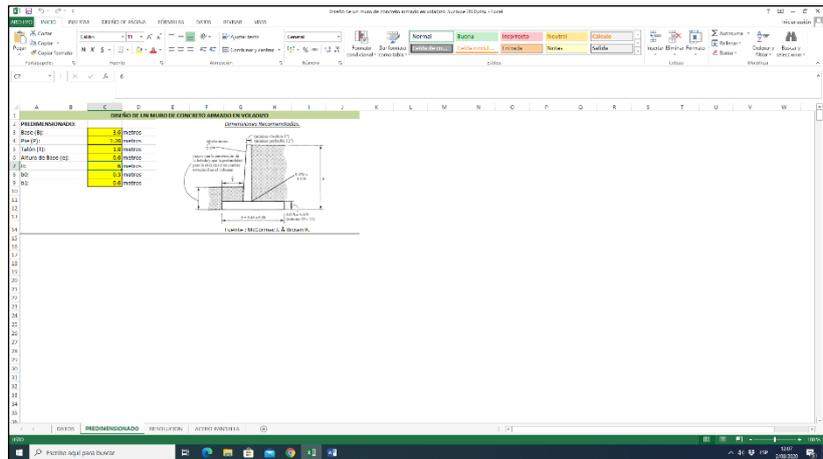
5.4 Diseño muestral

El universo de la investigación equivale al tema de estudio, el cual será tratado no como un conjunto sino como una sola unidad. El muestreo es de tipo intencional ya que responde a los criterios del investigador en base a la necesidad directamente observada.

5.5 Aspectos éticos

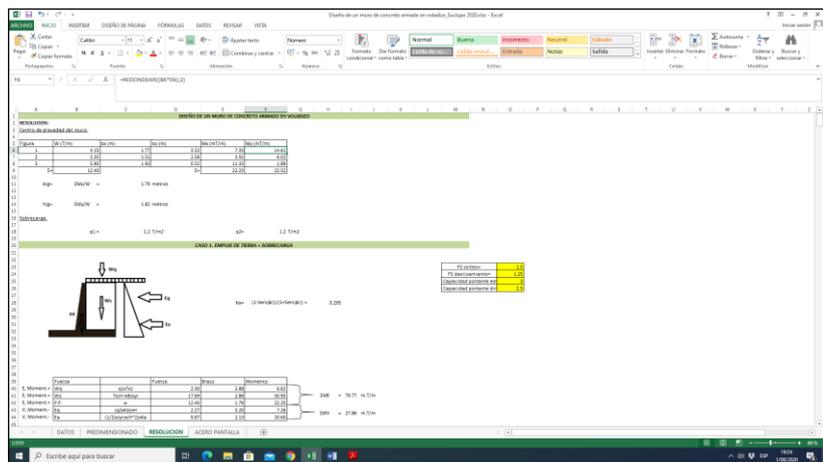
El autor se compromete en honestar la legitimidad del contenido y de los derivaciones exhibidas en el presente, es por ello que se indica se ha citado apropiadamente a los autores considerados para el desarrollo del marco teórico; son por tanto, verificables también los datos expuestos en relación al material estudiado, así como las personas involucradas en los ensayos ejecutados en esta investigación.

Gráfico 2. Hoja de predimensionamiento



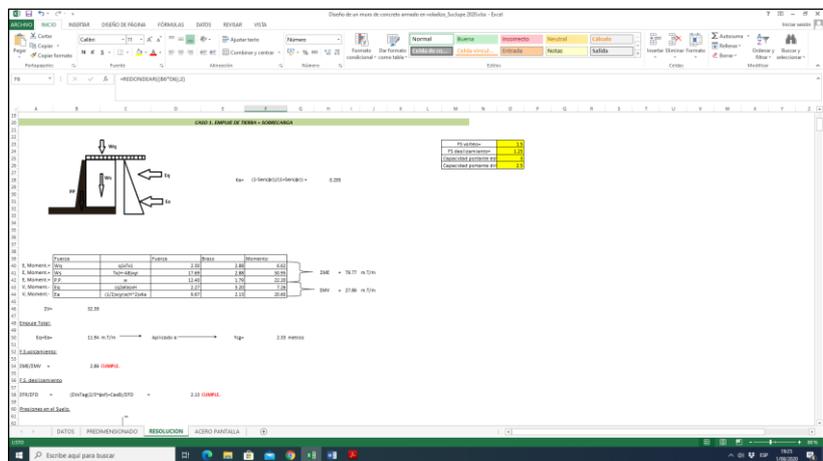
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 3. Establecimiento de formulas



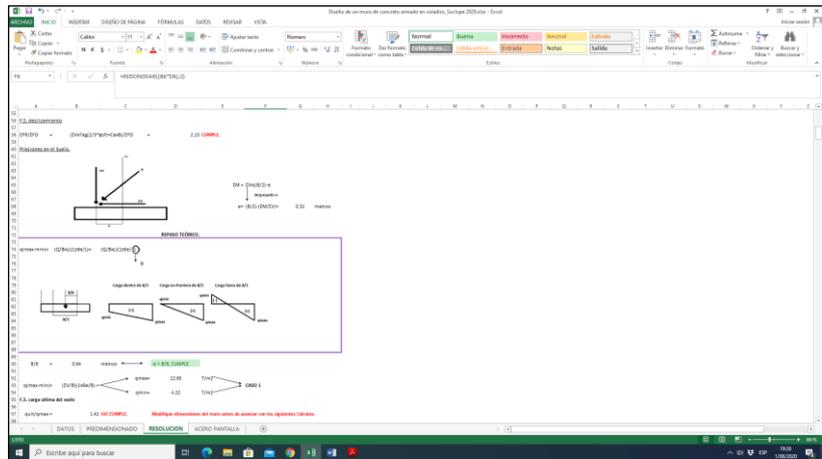
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 4. Hoja en programación



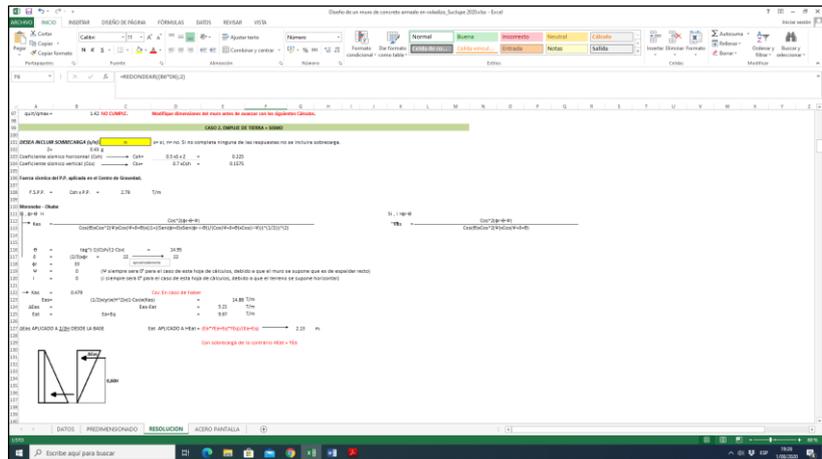
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 5. Repaso teórico dentro de la hoja programada



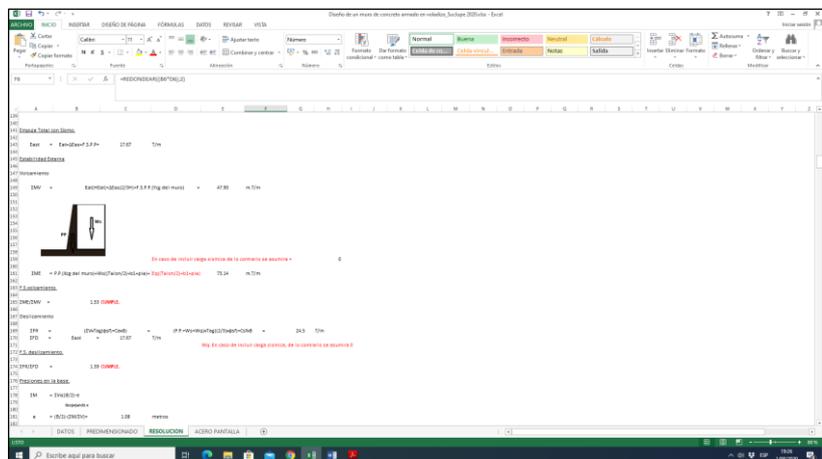
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 6. Inserción de variables a considerar en el diseño



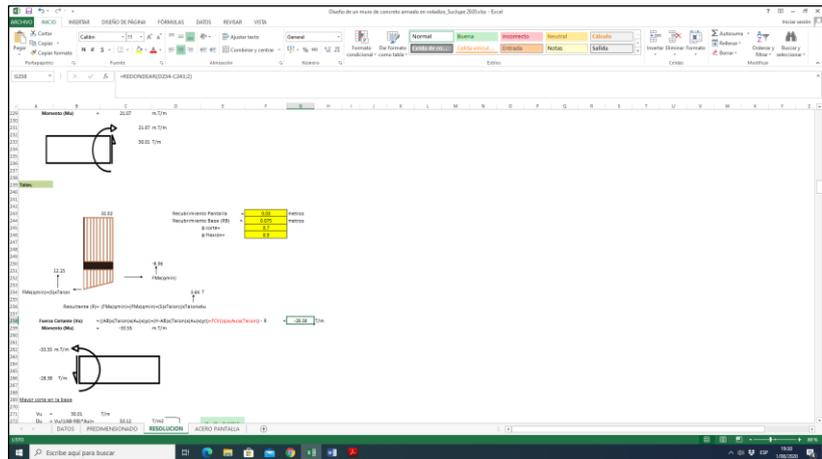
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 7. Consideración de análisis, dentro de la hoja programada



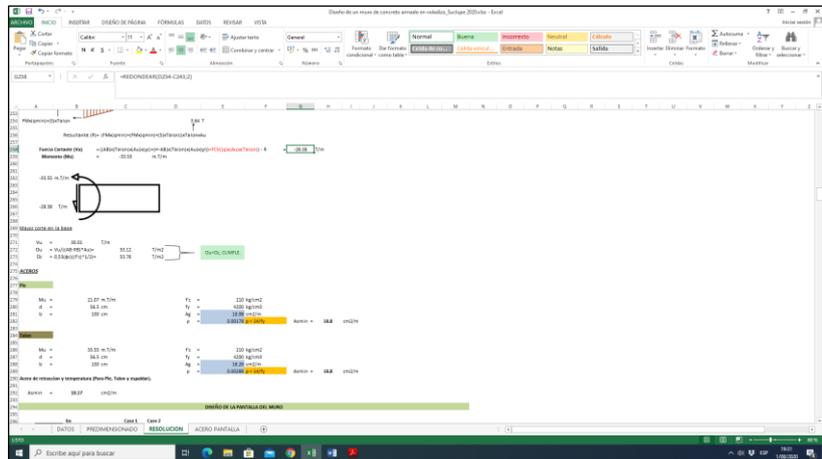
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 11. Algoritmos para diseño de talón



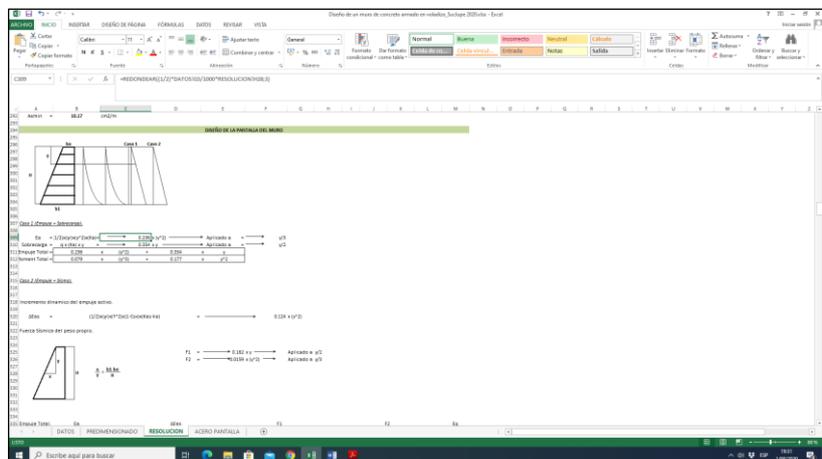
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 12. Algoritmo para cálculo de acero



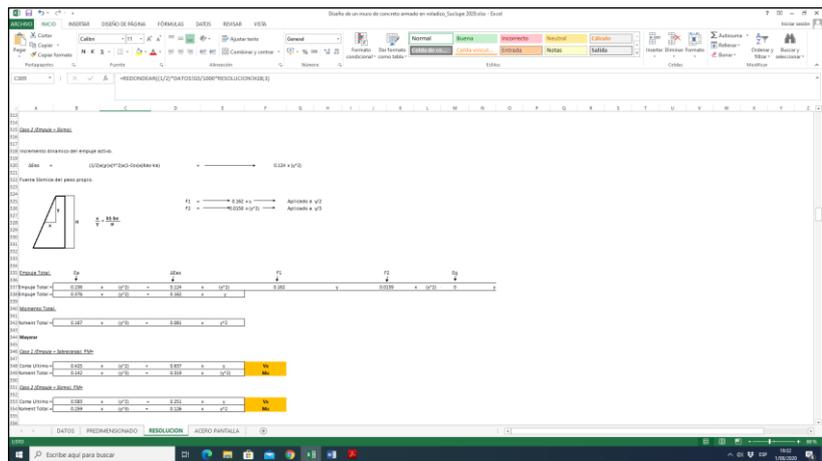
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 13. Algoritmos para diseño de pantalla



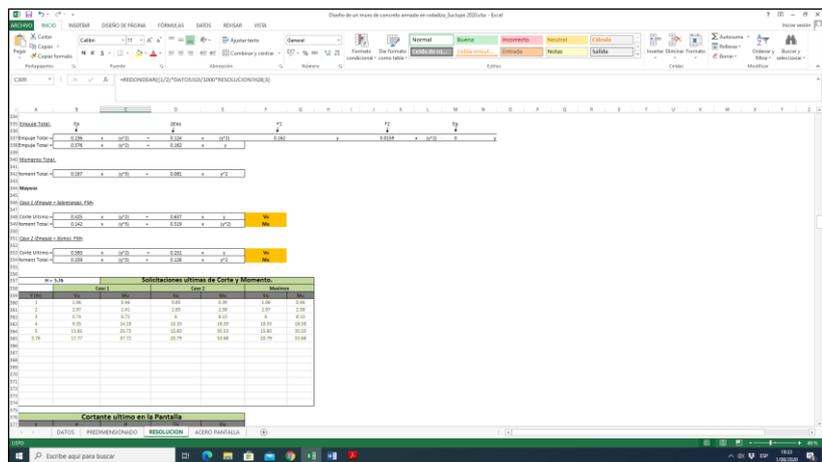
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 14. Algoritmos de casos para pantalla



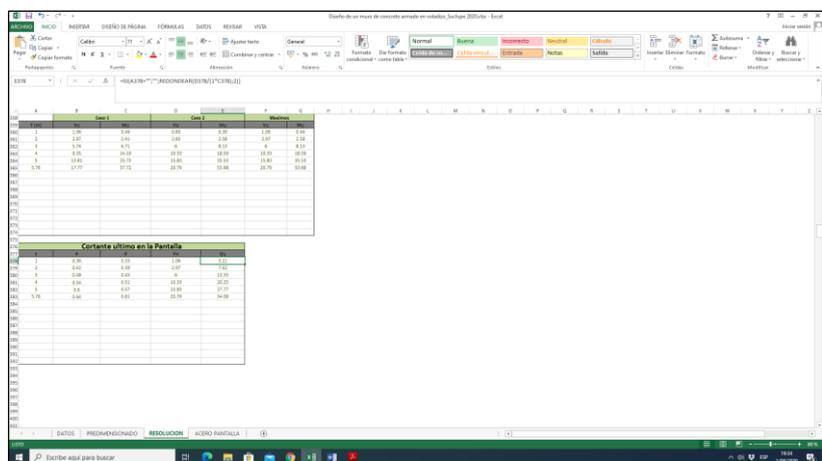
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 15. Algoritmos cálculo de momentos



Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 16. Algoritmos de cortante en pantalla



Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 17. Resultados de acero

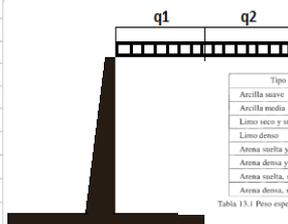
| Fila | h (m) | L (m) | h/L | L/h | h/L | L/h | h/L | L/h |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 8.00 | 1.00 | 8.00 | 0.125 | 8.00 | 0.125 | 8.00 | 0.125 |
| 2 | 2.00 | 1.00 | 2.00 | 0.50 | 2.00 | 0.50 | 2.00 | 0.50 |
| 3 | 4.00 | 1.00 | 4.00 | 0.25 | 4.00 | 0.25 | 4.00 | 0.25 |
| 4 | 6.00 | 1.00 | 6.00 | 0.167 | 6.00 | 0.167 | 6.00 | 0.167 |
| 5 | 8.00 | 1.00 | 8.00 | 0.125 | 8.00 | 0.125 | 8.00 | 0.125 |
| 6 | 10.00 | 1.00 | 10.00 | 0.1 | 10.00 | 0.1 | 10.00 | 0.1 |

Fuente: Elaboración propia (2020)

c) Implementar los algoritmos computacionales en la herramienta programada de Microsoft Excel para determinar los valores necesarios para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo: para el cumplimiento de este objetivo se hizo correr el programa con datos propuestos a fin de revisar el funcionamiento de los algoritmos. Se procedió de la siguiente manera:

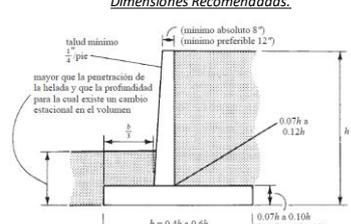
Se ingresaron los siguientes datos mostrados en el grafico 18 como altura de 8.00 m con profundidad de cimentación de 1.00 m y la capacidad admisible del suelo es de 4.50 kg/cm²; El suelo está constituido por una arena de peso específico 1.80 t/m³, como material de relleno se utilizará una arena de peso específico 1.60 t/m³ con un ángulo de fricción de 35°, se considerará una zona sísmica 2 y un tipo de suelo I. Obteniendo los siguientes resultados:

Gráfico 18. Ingreso de datos

| DISEÑO DE UN MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--|------------------------|-----------------|-----------------------|------------|---------------|-------------|----------|---------------|-------------|-----------|--------------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|----------------------|-------------|-----------|------------------------------------|-------------|-----------|-----------------------------------|-------------|-----------|
| DATOS: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suelo de fundación. | | Relleno. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Angulo de fricción(ϕ_{sf}): | 35° | Angulo de fricción(ϕ_r): | 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso específico (γ_{sf}): | 1800 kg/m ³ | Peso específico (γ_r): | 1600 kg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prof. de fundación (Df): | 1 metros | Cohesion (Cr): | 0 kg/cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| qult: | 4.5 kg/cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cohesion (Csf): | 0.6 kg/cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materiales de Construccion. | | Zona sísmica. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f'c: | 210 kg/cm ² | Z: | 0.25 g | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| fy: | 4200 kg/cm ² | S: | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso específico (γ_c): | 2400 kg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Fuente : E0.60 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sobrecarga | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| q1: | 1.2 T/m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| q2: | 1.2 T/m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de terreno</th> <th>w(kg/m³)</th> <th>ϕ(°)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arcilla suave</td> <td>1440 a 1920</td> <td>0° a 15°</td> </tr> <tr> <td>Arcilla media</td> <td>1400 a 1920</td> <td>15° a 30°</td> </tr> <tr> <td>Limo seco y suelto</td> <td>1600 a 1920</td> <td>27° a 30°</td> </tr> <tr> <td>Limo denso</td> <td>1760 a 1920</td> <td>30° a 35°</td> </tr> <tr> <td>Arena suelta y gruesa</td> <td>1600 a 2100</td> <td>30° a 40°</td> </tr> <tr> <td>Arena densa y gruesa</td> <td>1920 a 2100</td> <td>25° a 35°</td> </tr> <tr> <td>Arena suelta, seca y bien graduada</td> <td>1840 a 2100</td> <td>33° a 35°</td> </tr> <tr> <td>Arena densa, seca y bien graduada</td> <td>1920 a 2100</td> <td>42° a 46°</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tabla 13.1 Peso específico y ángulo de fricción interna de algunos tipos de suelo</p> | | Tipo de terreno | w(kg/m ³) | ϕ (°) | Arcilla suave | 1440 a 1920 | 0° a 15° | Arcilla media | 1400 a 1920 | 15° a 30° | Limo seco y suelto | 1600 a 1920 | 27° a 30° | Limo denso | 1760 a 1920 | 30° a 35° | Arena suelta y gruesa | 1600 a 2100 | 30° a 40° | Arena densa y gruesa | 1920 a 2100 | 25° a 35° | Arena suelta, seca y bien graduada | 1840 a 2100 | 33° a 35° | Arena densa, seca y bien graduada | 1920 a 2100 | 42° a 46° |
| Tipo de terreno | w(kg/m ³) | ϕ (°) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arcilla suave | 1440 a 1920 | 0° a 15° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arcilla media | 1400 a 1920 | 15° a 30° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limo seco y suelto | 1600 a 1920 | 27° a 30° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limo denso | 1760 a 1920 | 30° a 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena suelta y gruesa | 1600 a 2100 | 30° a 40° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena densa y gruesa | 1920 a 2100 | 25° a 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena suelta, seca y bien graduada | 1840 a 2100 | 33° a 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena densa, seca y bien graduada | 1920 a 2100 | 42° a 46° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fuente : Hamsen T. (2002) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 19. Parámetros de diseño

| DISEÑO DE UN MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO | |
|--|-------------|
| PREDIMENSIONADO: | |
| Base (B): | 4.8 metros |
| Pie (P): | 1.60 metros |
| Talón (T): | 2.4 metros |
| Altura de Base (e): | 0.8 metros |
| H: | 8 metros |
| b0: | 0.3 metros |
| b1: | 0.8 metros |
| Dimensiones Recomendadas. | |
|  | |
| Fuente : McCormac J. & Brown R. | |

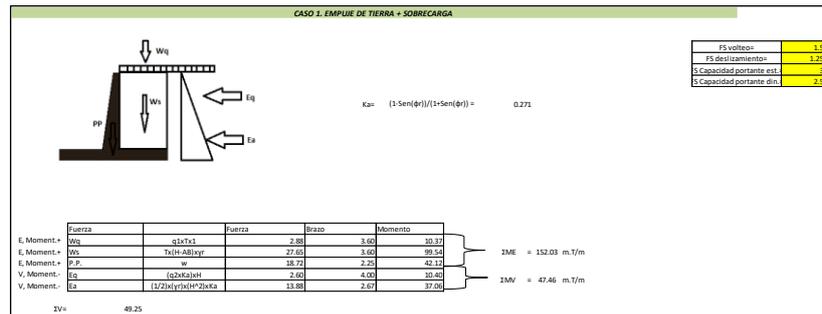
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 20. Resolución de cálculos

| DISEÑO DE UN MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO | | | | | |
|--|---------------|----------------------|-------------|-----------|----------------------|
| RESOLUCION: | | | | | |
| Centro de gravedad del muro: | | | | | |
| Figura | W (T/m) | bx (m) | by (m) | Mx (mT/m) | My (mT/m) |
| 1 | 5.18 | 2.25 | 4.40 | 11.66 | 22.79 |
| 2 | 4.32 | 1.93 | 3.20 | 8.34 | 13.82 |
| 3 | 9.22 | 2.40 | 0.40 | 22.13 | 3.69 |
| Σ = | 18.72 | | | 42.13 | 40.30 |
| Xcg= | $\Sigma Mx/W$ | = | 2.25 metros | | |
| Ycg= | $\Sigma My/W$ | = | 2.15 metros | | |
| Sobrecarga. | | | | | |
| | q1= | 1.2 T/m ² | | q2= | 1.2 T/m ² |

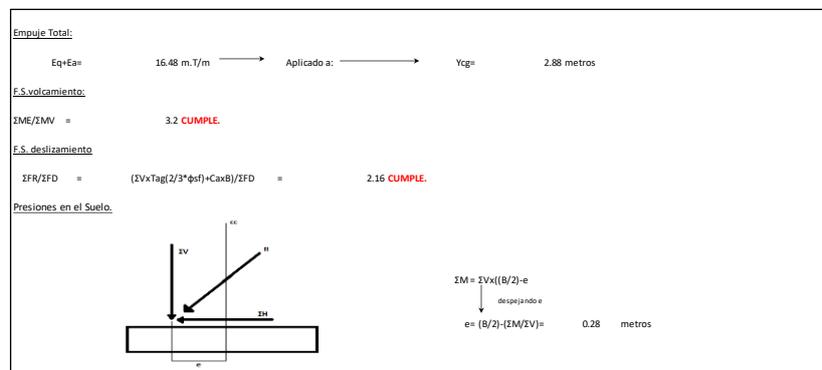
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 21. Resultados de empuje de tierra y sobrecarga



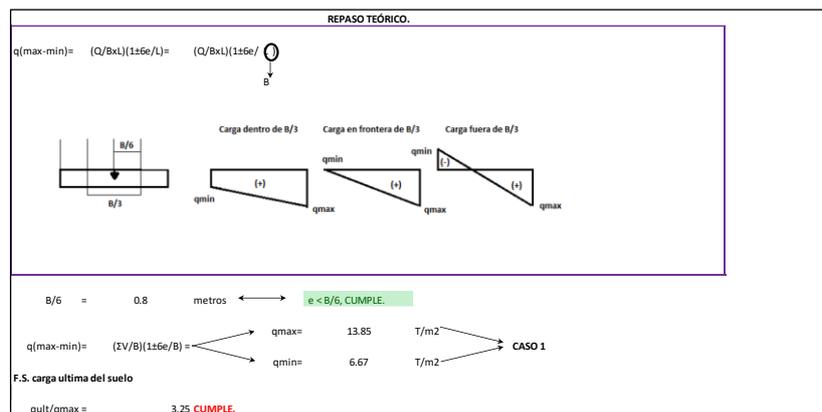
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 22. Factor de seguridad al volteo y deslizamiento



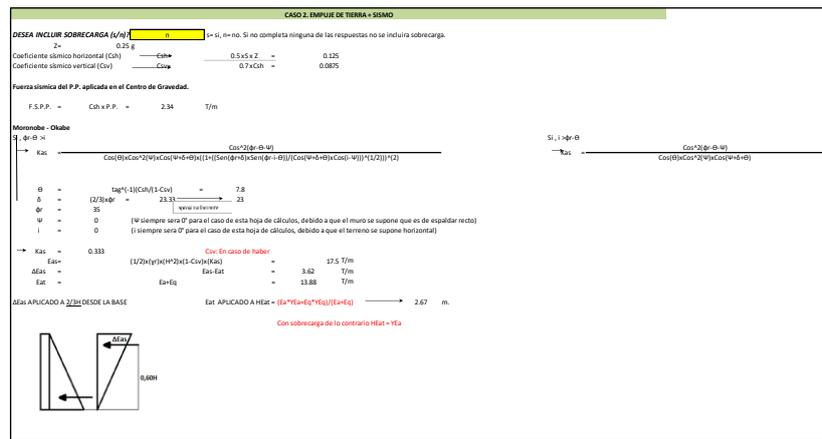
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 23. Factor de seguridad de capacidad portante



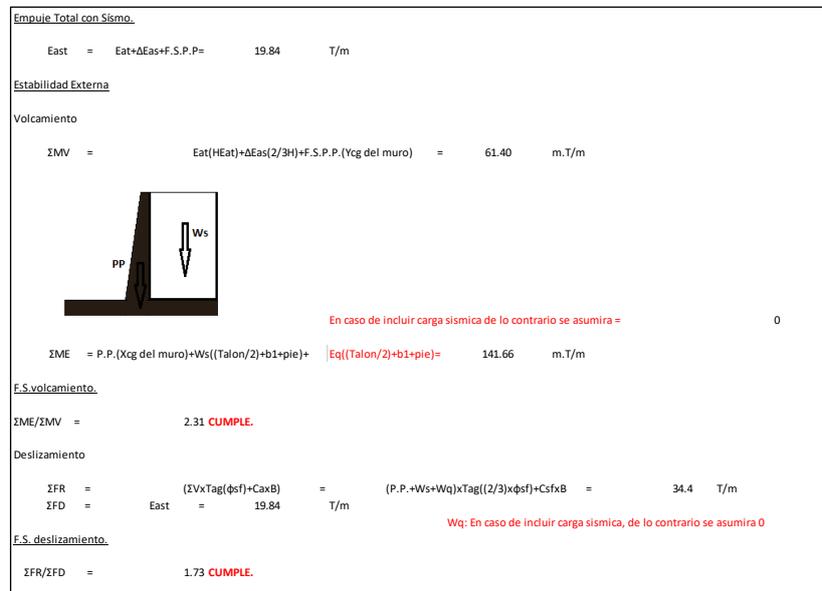
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 24. Análisis sísmico



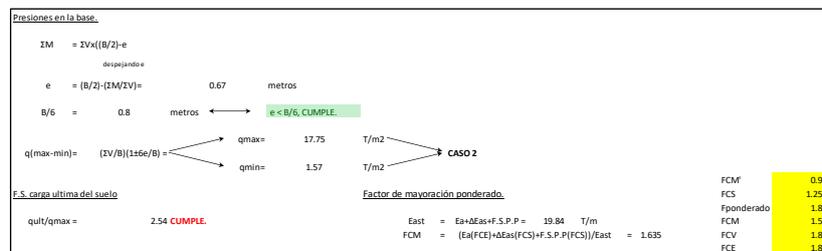
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 25. Verificación por volteo y deslizamiento



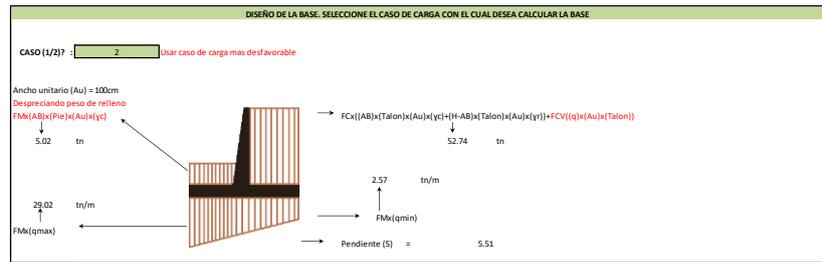
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 26. Verificación de capacidad portante



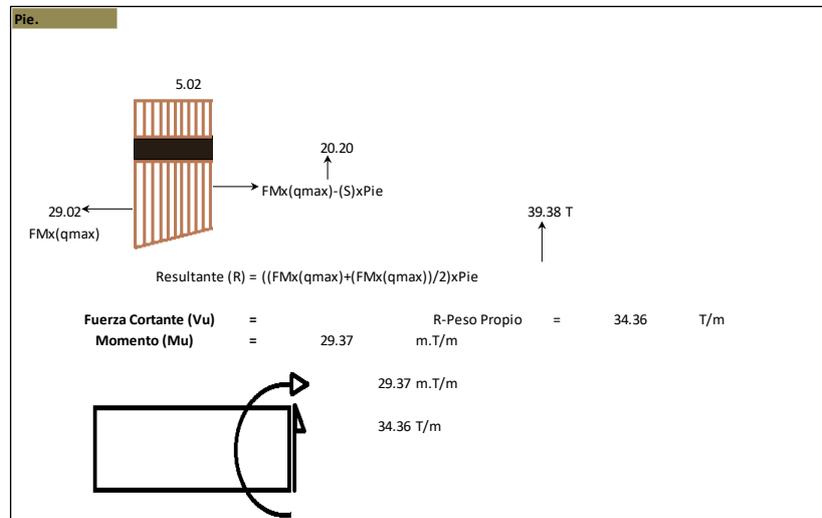
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 27. Consideraciones de diseño



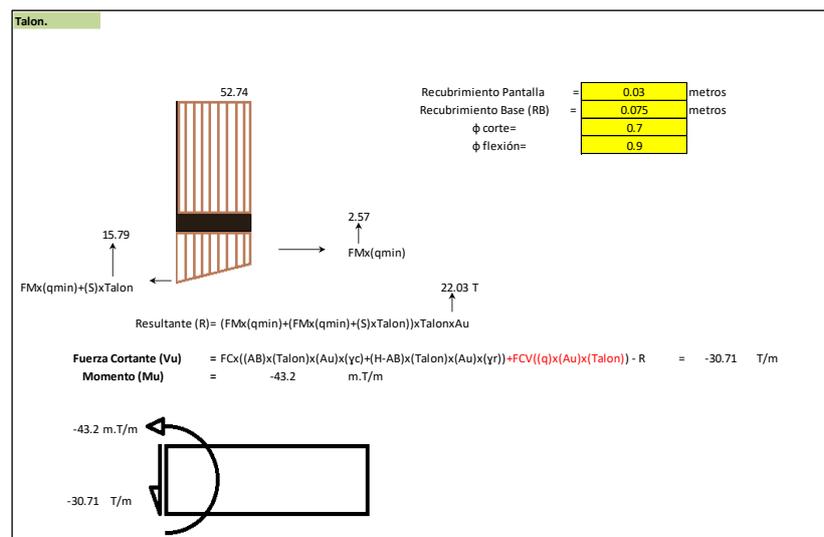
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 28. Resultados Pie



Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 29. Resultados talón



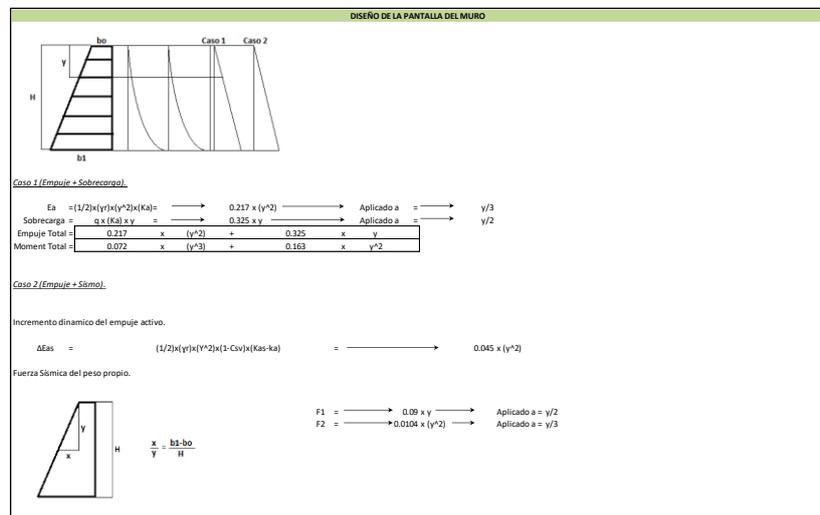
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 30. Resultados de acero

| | | | |
|---|-------------|--------------------|--------------------------|
| Mayor corte en la base | | | |
| $V_u =$ | 34.36 | T/m | |
| $Q_u = V_u / ((AB-RB) \cdot Au) =$ | 47.39 | T/m ² | } $Q_u < Q_c$, CUMPLE. |
| $Q_c = 0.53(\phi_c)((F_c)^{1/2}) =$ | 53.76 | T/m ² | |
| ACEROS | | | |
| Pie | | | |
| $M_u =$ | 29.37 m.T/m | $F_c =$ | 210 kg/cm ² |
| $d =$ | 72.5 cm | $f_y =$ | 4200 kg/cm ³ |
| $b =$ | 100 cm | $A_g =$ | 10.91 cm ² /m |
| | | $\rho =$ | 0.0015 $\rho < 14/f_y$ |
| | | $A_{smin} =$ | 24.2 cm ² /m |
| Talon | | | |
| $M_u =$ | 43.2 m.T/m | $F_c =$ | 210 kg/cm ² |
| $d =$ | 72.5 cm | $f_y =$ | 4200 kg/cm ³ |
| $b =$ | 100 cm | $A_g =$ | 16.19 cm ² /m |
| | | $\rho =$ | 0.00223 $\rho < 14/f_y$ |
| | | $A_{smin} =$ | 24.2 cm ² /m |
| Acero de retracción y temperatura (Para Pie, Talon y espaldar). | | | |
| $A_{smin} =$ | 13.05 | cm ² /m | |

Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 31. Diseño de la pantalla del muro



Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 32. Diseño de la pantalla del muro II

| | | | | | |
|--|--|-----------------|-------|-------|-------|
| Empuje Total | E_a | ΔE_{as} | F_1 | F_2 | E_g |
| Empuje Total = | $0.217 \times (y^2) + 0.045 \times (y^2) + 0.09 \times y + 0.0104 \times (y^2) + 0 \times y$ | | | | |
| Empuje Total = | $0.272 \times (y^2) + 0.09 \times y$ | | | | |
| Momento Total | | | | | |
| Momento Total = | $0.106 \times (y^3) + 0.045 \times y^2$ | | | | |
| Mayorar | | | | | |
| Caso 1 (Empuje + Sobrecarga) F.M: | | | | | |
| Corte Ultimo = | $0.391 \times (y^2) + 0.585 \times y$ | V_u | | | |
| Momento Total = | $0.13 \times (y^3) + 0.293 \times y^2$ | M_u | | | |
| Caso 2 (Empuje + Sísmico) F.M: | | | | | |
| Corte Ultimo = | $0.445 \times (y^2) + 0.147 \times y$ | V_u | | | |
| Momento Total = | $0.173 \times (y^3) + 0.074 \times y^2$ | M_u | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 33. Casos diseño de la pantalla del muro

| H = 7.2 | | Solicitaciones ultimas de Corte y Momento. | | | | |
|---------|--------|--|--------|-------|---------|-------|
| Y (m) | Caso 1 | | Caso 2 | | Maximos | |
| | Vu | Mu | Vu | Mu | Vu | Mu |
| 1 | 0.98 | 0.42 | 0.59 | 0.25 | 0.98 | 0.42 |
| 2 | 2.73 | 2.21 | 2.07 | 1.68 | 2.73 | 2.21 |
| 3 | 5.27 | 6.15 | 4.45 | 5.34 | 5.27 | 6.15 |
| 4 | 8.6 | 13.01 | 7.71 | 12.26 | 8.6 | 13.01 |
| 5 | 12.7 | 23.58 | 11.86 | 23.48 | 12.7 | 23.58 |
| 6 | 17.59 | 38.63 | 16.9 | 40.03 | 17.59 | 40.03 |
| 7 | 23.25 | 58.95 | 22.83 | 62.97 | 23.25 | 62.97 |
| 7.2 | 24.48 | 63.71 | 24.13 | 68.41 | 24.48 | 68.41 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 34. Resultados finales

| Cortante ultimo en la Pantalla | | | | |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|
| y | e | d | Vu | Ūu |
| 1 | 0.37 | 0.34 | 0.98 | 2.88 |
| 2 | 0.44 | 0.41 | 2.73 | 6.66 |
| 3 | 0.51 | 0.48 | 5.27 | 10.98 |
| 4 | 0.58 | 0.55 | 8.6 | 15.64 |
| 5 | 0.65 | 0.62 | 12.7 | 20.48 |
| 6 | 0.72 | 0.69 | 17.59 | 25.49 |
| 7 | 0.79 | 0.76 | 23.25 | 30.59 |
| 7.2 | 0.8 | 0.77 | 24.48 | 31.79 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 35. Resultados finales II

| Acero en la Pantalla | | | | | |
|----------------------|-----------|--------|------------|------------|------------|
| Ym | f'c= | kg/cm2 | fy= | | kg/cm2 |
| | 210 | | 4200 | | |
| | Mu(m.T/m) | d (cm) | Asreq(cm2) | Asmin(cm2) | Aasum(cm2) |
| 1 | 0.42 | 34 | 0.33 | 11.33 | 11.33 |
| 2 | 2.21 | 41 | 1.43 | 13.67 | 13.67 |
| 3 | 6.15 | 48 | 3.42 | 16 | 16 |
| 4 | 13.01 | 55 | 6.34 | 18.33 | 18.33 |
| 5 | 23.58 | 62 | 10.26 | 20.67 | 20.67 |
| 6 | 40.03 | 69 | 15.77 | 23 | 23 |
| 7 | 62.97 | 76 | 22.72 | 25.33 | 25.33 |
| 7.2 | 68.41 | 77 | 24.41 | 25.67 | 25.67 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020)

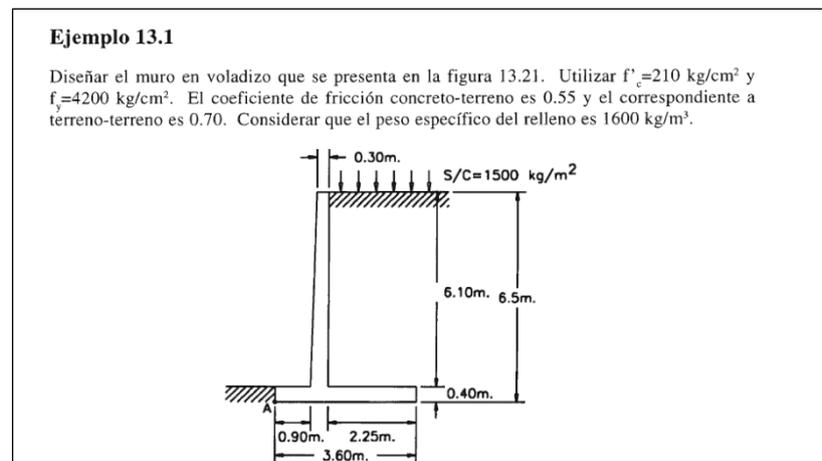
Se corrió el programa y el muro en voladizo propuesto mostró el cumplimiento a los factores de seguridad indicados por la normativa vigente por lo que se obtuvo como resultado final el dimensionamiento y la cuantía de acero del muro.

d) Validar la aplicación diseñada contra los resultados de casos modelos desarrollados en el material bibliográfico: finalmente para validar la hoja de cálculo, se introducen datos de materiales y dimensionamiento de dos casos de estudio resueltos existentes en dos materiales bibliográficos de trascendencia, del cual se obtuvo:

Ejercicio resuelto en material bibliográfico Harmsen T.(2002):

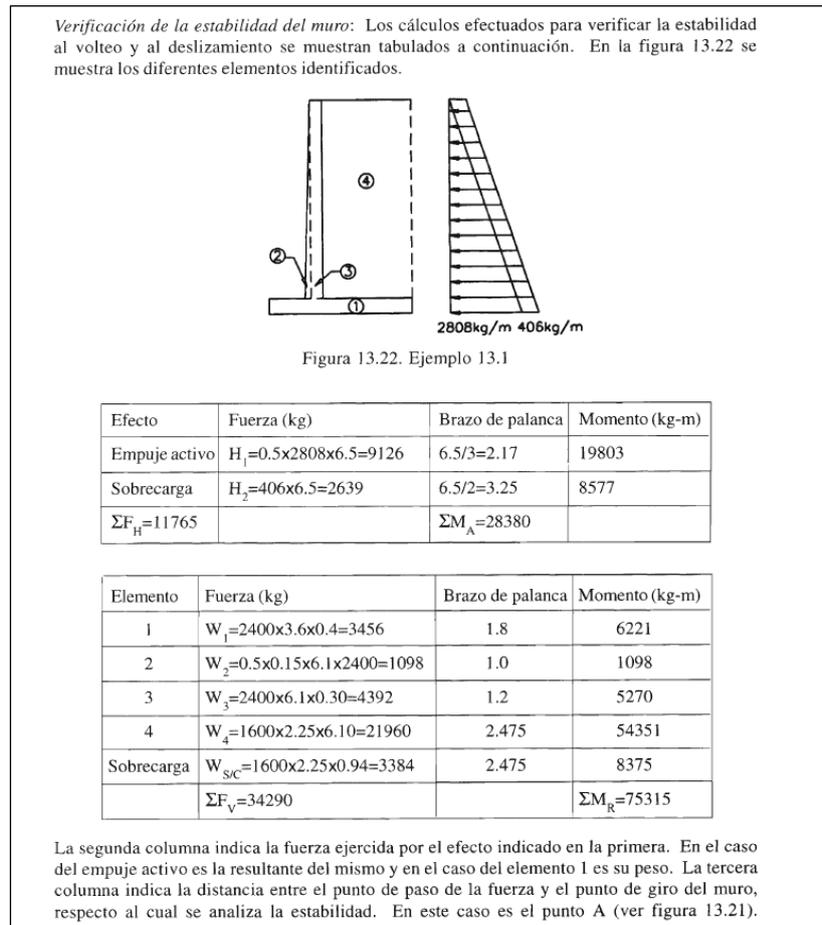
Diseñar un muro en voladizo para cubrir una altura total de 6.50 m, considerando una profundidad de cimentación es de 0.40 m, así como una capacidad admisible del suelo de soporte es de 2.00 kg/cm². Utilizando un $f'_c=210$ kg/cm² y $f_y=4200$ kg/cm². El coeficiente de fricción concreto – terreno es de 0.55 y el de terreno – terreno es de 0.70. El peso específico del terreno es de 1600 kg/m³.

Gráfico 36. Datos de diseño y pre diseño de la validación



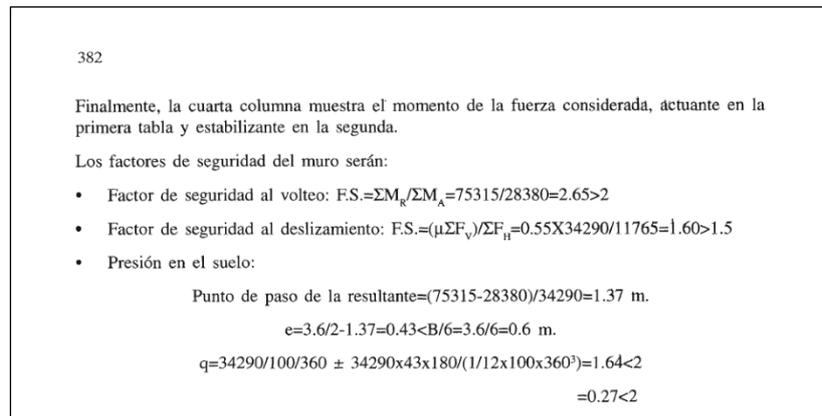
Fuente: Harmsen T. (2002)

Gráfico 37. Verificación de estabilidad del muro



Fuente: Harmsen T. (2002)

Gráfico 38. Verificación de estabilidad del muro II



Fuente: Harmsen T. (2002)

Gráfico 39. Diseño de pantalla

Diseño de la armadura de la pantalla vertical: La altura de la pantalla vertical es 6.10 m. y las cargas que actúan sobre ella son las debidas al empuje activo del suelo y a la sobrecarga sobre el terreno:

$$H_1=0.5 \times (1600 \times 0.27 \times 6.1) \times 6.1 = 8037 \text{ kg.}$$

$$H_2=406 \times 6.1 = 2477 \text{ kg.}$$

El momento en la base de la pantalla será:

$$M_u = 1.6 \times (8037 \times 6.1 / 3 + 2477 \times 6.1 / 2) = 38235 \text{ kg-m.}$$

El recubrimiento del refuerzo es 5 cm. pues se trata de concreto adyacente al terreno vaciado contra encofrado. El peralte efectivo de la pantalla será: $d = 45 - 6 = 39 \text{ cm.}$

$$R_u = 3823500 / 100 / 39^2 = 25.14$$

$$\rho = 0.73\%$$

383

$$A_s = 28.47 \text{ cm}^2$$

El refuerzo mínimo de muros es:

$$A_{s\text{mín}} \text{ (vertical)} = 0.0015 \times 100 \times 45 / 2 = 6.75 \text{ cm}^2 < 28.47 \text{ cm}^2.$$

$$A_{s\text{mín}} \text{ (horizontal abajo)} = 0.0025 \times 100 \times 45 = 11.25 \text{ cm}^2.$$

$$A_{s\text{mín}} \text{ (horizontal arriba)} = 0.0025 \times 100 \times 37 = 9.25 \text{ cm}^2.$$

El refuerzo vertical estará constituido por varillas #6 @ 0.10 cm.

Fuente: Harmsen T. (2002)

Gráfico 40. Diseño de talón

Diseño de la armadura del talón posterior: Sobre el talón posterior actúan, hacia abajo, su peso propio y el del terreno sobre él, y hacia arriba, la reacción del terreno. La carga hacia abajo es:

$$W_{ul} = 1.2 \times (1600 \times 6.1 + 0.4 \times 2400) + 1.6 \times 1500 = 15264 \text{ kg/m.}$$

En la cara de la pantalla, la reacción del suelo es 11300 kg/m^2 y en el borde, 2700 kg/m^2 . El momento en la cara del talón es:

$$M_u = 17558 \times 2.25^2 / 2 - 1.6 \times (11300 \times 2.25^2 / 6 + 2700 \times 2.25^2 / 3) = 21900 \text{ kg-m.}$$

$$R_u = 2190000 / 100 / 34^2 = 18.94$$

$$\rho = 0.53\%$$

$$A_s = 0.53 / 100 \times 100 \times 34 = 18.02 \text{ cm}^2 > A_{s\text{mín}} = 7.2 \text{ cm}^2.$$

Se colocarán varillas #6 @ 0.15 cm. En la otra dirección se colocará refuerzo mínimo provisto

Fuente: Harmsen T. (2020)

Gráfico 41. Diseño de punta

Diseño de la armadura del talón anterior: La presión en el borde del talón anterior es 16400 kg/m^2 y en la cara del apoyo, 13000 kg/m^2 . El momento flector último es:

$$M_u = 1.6 \times (16400 \times 0.90^2 / 3 + 13000 \times 0.90^2 / 6) = 9893 \text{ kg-m.}$$

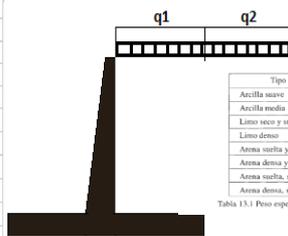
$$R_u = 989300 / 100 / 34^2 = 8.56$$

$$\rho = 0.23 \%$$

$$A_s = 0.23 / 100 \times 100 \times 34 = 7.82 \text{ cm}^2 > A_{s\text{mín}} = 7.2 \text{ cm}^2.$$

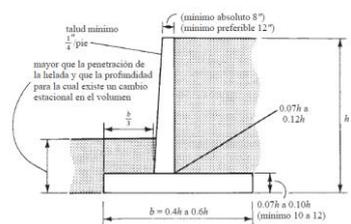
Fuente: Harmsen T. (2020)

Gráfico 42. Validación de hoja - Datos

| DISEÑO DE UN MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|------------|---|------------------------|--|-----------------|-----------------------|------------|---------------|-------------|----------|---------------|-------------|-----------|--------------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|----------------------|-------------|-----------|------------------------------------|-------------|-----------|-----------------------------------|-------------|-----------|
| DATOS: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suelo de fundación. | | | Relleno. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Angulo de fricción(ϕ_{sf}): | 43.2° | | Angulo de fricción(ϕ_r): | 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso específico (γ_{sf}): | 2400 kg/m ³ | | Peso específico (γ_r): | 1600 kg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prof. de fundación (Df): | 0.4 metros | | Cohesion (Cr): | 0 kg/cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| qult: | 6 kg/cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cohesion (Csf): | 0 kg/cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materiales de Construcción. | | | Zona sísmica. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f'c: | 210 kg/cm ² | | Z: | 0.1 g | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| fy: | 4200 kg/cm ² | | S: | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso específico (γ_c): | 2400 kg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Fuente : E0.60 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sobrecarga | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| q1: | 1.5 T/m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| q2: | 1.5 T/m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de terreno</th> <th>w(kg/m³)</th> <th>ϕ(°)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arcilla suave</td> <td>1440 a 1920</td> <td>0° a 15°</td> </tr> <tr> <td>Arcilla media</td> <td>1600 a 1920</td> <td>15° a 30°</td> </tr> <tr> <td>Limo seco y suelto</td> <td>1600 a 1920</td> <td>27° a 30°</td> </tr> <tr> <td>Limo denso</td> <td>1760 a 1920</td> <td>30° a 35°</td> </tr> <tr> <td>Arena suelta y gruesa</td> <td>1600 a 2100</td> <td>30° a 40°</td> </tr> <tr> <td>Arena densa y gruesa</td> <td>1920 a 2100</td> <td>25° a 35°</td> </tr> <tr> <td>Arena suelta, seca y bien graduada</td> <td>1840 a 2100</td> <td>33° a 35°</td> </tr> <tr> <td>Arena densa, seca y bien graduada</td> <td>1920 a 2100</td> <td>42° a 46°</td> </tr> </tbody> </table> | | | Tipo de terreno | w(kg/m ³) | ϕ (°) | Arcilla suave | 1440 a 1920 | 0° a 15° | Arcilla media | 1600 a 1920 | 15° a 30° | Limo seco y suelto | 1600 a 1920 | 27° a 30° | Limo denso | 1760 a 1920 | 30° a 35° | Arena suelta y gruesa | 1600 a 2100 | 30° a 40° | Arena densa y gruesa | 1920 a 2100 | 25° a 35° | Arena suelta, seca y bien graduada | 1840 a 2100 | 33° a 35° | Arena densa, seca y bien graduada | 1920 a 2100 | 42° a 46° |
| Tipo de terreno | w(kg/m ³) | ϕ (°) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arcilla suave | 1440 a 1920 | 0° a 15° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arcilla media | 1600 a 1920 | 15° a 30° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limo seco y suelto | 1600 a 1920 | 27° a 30° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limo denso | 1760 a 1920 | 30° a 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena suelta y gruesa | 1600 a 2100 | 30° a 40° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena densa y gruesa | 1920 a 2100 | 25° a 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena suelta, seca y bien graduada | 1840 a 2100 | 33° a 35° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arena densa, seca y bien graduada | 1920 a 2100 | 42° a 46° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fuente : Hamsen T. (2002) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

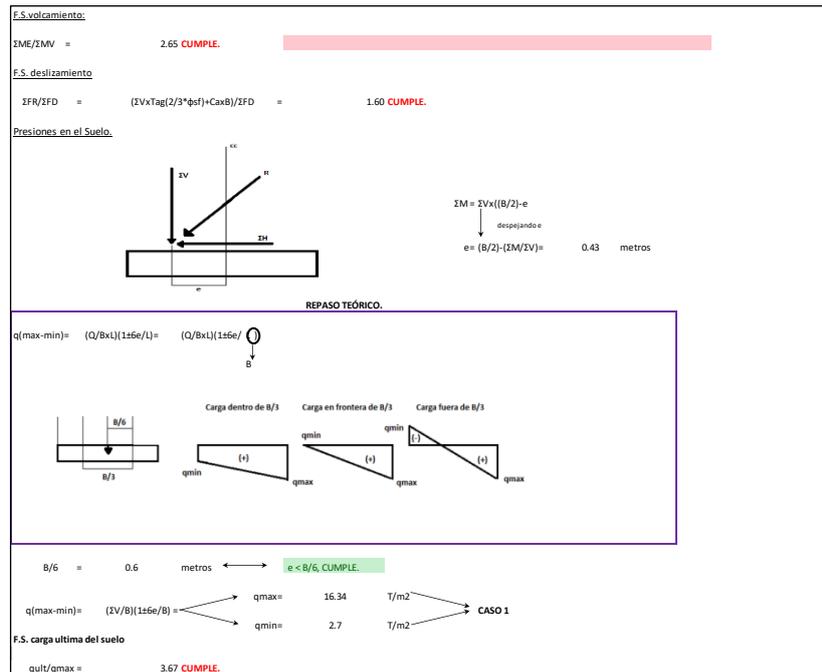
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 43. Validación de hoja - Predimensionamiento

| DISEÑO DE UN MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO | |
|--|-------------|
| PREDIMENSIONADO: | |
| Base (B): | 3.6 metros |
| Pie (P): | 0.90 metros |
| Talón (T): | 2.25 metros |
| Altura de Base (e): | 0.4 metros |
| H: | 6.5 metros |
| b0: | 0.3 metros |
| b1: | 0.45 metros |
| <p><i>Dimensiones Recomendadas.</i></p>  | |
| Fuente : McCormac J. & Brown R. | |

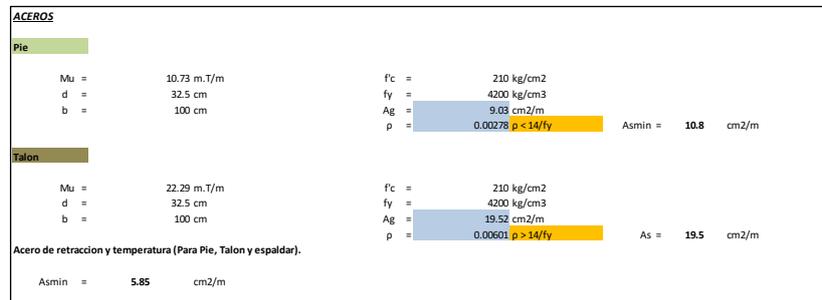
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 44. Validación de hoja – Análisis de estabilidad



Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 45. Validación de hoja – Diseño de talón y pie



Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 46. Validación de hoja – Diseño de pantalla

| Acero en la Pantalla | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| f'c= 210 kg/cm ² | | fy= 4200 kg/cm ² | | | |
| Ym | Mu(m.T/m) | d (cm) | Asreq(cm ²) | Asmin(cm ²) | Aasum(cm ²) |
| 1 | 0.5 | 29 | 0.46 | 9.67 | 9.67 |
| 2 | 2.51 | 32 | 2.09 | 10.67 | 10.67 |
| 3 | 6.81 | 34 | 5.4 | 11.33 | 11.33 |
| 4 | 14.19 | 37 | 10.5 | 12.33 | 12.33 |
| 5 | 25.43 | 39 | 18.26 | 13 | 18.26 |
| 6 | 41.29 | 42 | 28.24 | 14 | 28.24 |
| 6.1 | 43.16 | 42 | 29.65 | 14 | 29.65 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 1. Cuadro de resumen de validación

| Problema 13.1 Harmsen T. (2002) | Libro | Hoja de Cálculo |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Altura de muro | 6.50 m | 6.50m |
| F.S. Volteo | 2.65 | 2.65 |
| F.S. Deslizamiento | 1.6 | 1.6 |
| qmax | 1.64 kg/cm ² | 1.63 kg/cm ² |
| Momento en la base de pantalla | 38.24 tn/m | 43.16 tn/m |
| As asumido (Pantalla) | 28.47 cm ² | 29.65 cm ² |
| Momento en talón | 21.90 tn/m | 22.29 tn/m |
| As asumido (Talón) | 18.02 cm ² | 19.50 cm ² |
| Momento en pie | 9.89 tn/m | 10.73 tn/m |
| As asumido (Pie) | 7.82 cm ² | 10.8 cm ² |

Ejercicio resuelto en material bibliográfico Torres R.(2008):

Diseñar un muro en voladizo para cubrir una altura total de 6.00 m, considerando una sobrecarga correspondiente al paso de vehículos. La zona sísmica a considerar en la hoja de cálculo será Zona 3 y la capacidad portante del suelo de fundación es de 4.50 kg/cm².

Gráfico 47. Datos del ejercicio

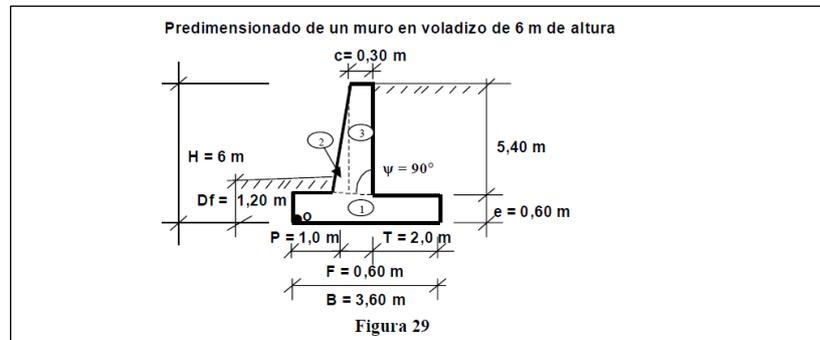
12. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Diseñar un muro de contención de concreto armado en voladizo de 6 m de altura, para contener un terraplén cuya superficie horizontal sirve para la circulación de vehículos, las características de los materiales, del suelo de fundación, del relleno y condiciones de sitio son las siguientes:

| | |
|---|--|
| Suelo de Fundación: $\left\{ \begin{array}{l} \gamma = 1850 \text{ Kg/m}^3 \\ D_f = 1,20 \text{ m} \\ \phi = 32^\circ \\ c = 0,25 \text{ Kg/cm}^2 \\ q_{ult} = 4,5 \text{ Kg/cm}^2 \end{array} \right.$ | Suelo de Relleno: $\left\{ \begin{array}{l} \gamma = 1900 \text{ Kg/m}^3 \\ \phi = 34^\circ \\ c = 0 \text{ Kg/cm}^2 \end{array} \right.$ |
| Materiales del Muro: $\left\{ \begin{array}{l} f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2 \\ F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2 \\ \gamma_c = 2500 \text{ Kg/m}^3 \end{array} \right.$ | Condición de sitio: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Zona Sismica 5} \\ \text{Sobrecarga Vehicular} \\ \text{Drenar aguas de lluvia} \end{array} \right.$ |

Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 48. Predimensionado



Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 49. Deslizamiento estático

Fuerza de roce F_r : los empujes actúan perpendicular a la cara interna del muro, ambos empujes son horizontales, la componente vertical del empuje es nula: $E_{av} = 0$, $E_h = E_{a+s}$. El empuje pasivo no se toma en cuenta porque no hay garantía de permanencia del relleno sobre la puntera: $E_p = 0$. La fuerza de fricción se determinó en función del ángulo de fricción interna y de la cohesión del suelo de fundación.

$\delta = \text{Angulo de fricción suelo-muro} = \frac{2}{3}\phi = \frac{2}{3}32^\circ = 21,33^\circ$.

$F_r = \mu (R_v + E_{av}) + c \cdot B + E_p = \mu \cdot R_v + c \cdot B$

$\mu = \text{Tan}(\delta) = \text{Tan}\left(\frac{2}{3}\phi\right) = \text{Tan}\left(\frac{2}{3} \cdot 32^\circ\right) = 0,39$

$c = 0,50 \text{ c} = 0,50 \cdot 0,25 \text{ Kg/cm}^2 = 0,125 \text{ Kg/cm}^2 = 1,250 \text{ Kg/m}^2$

$F_r = 0,39 \cdot 34,617 \text{ Kg/m} + 1,250 \text{ Kg/m}^2 \cdot 3,60 \text{ m} = 18,001 \text{ Kg/m}$

Factor de seguridad contra el deslizamiento FS_d :

$FS_d = \frac{F_r}{E_h} = \frac{18,001 \text{ Kg/m}}{11,614 \text{ Kg/m}} = 1,55 \geq 1,50 \quad \text{O.K.}$

Momento de volcamiento M_v : las fuerzas que intentan volcar el muro son el empuje activo y el empuje de la sobrecarga.

$M_v = 9,679 \text{ Kg/m} \cdot 2 \text{ m} + 1,935 \text{ Kg/m} \cdot 3 \text{ m} = 25,163 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{m}}$

Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 50. Volteo y capacidad portante estático

Factor de seguridad contra el volcamiento FS_v :

$$FS_v = \frac{M_e}{M_v} = \frac{77.792 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}}}{25.163 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}}} = 3.09 \geq 1.50 \quad \text{O.K.}$$

Esfuerzo admisible del suelo de fundación σ_{adm} : la capacidad admisible del suelo de fundación se determina con un factor de seguridad para cargas estáticas mayor o igual que tres ($FS_{cap. portante} \geq 3$).

$$\sigma_{adm} = \frac{q_{ult}}{FS_{cap. portante}} = \frac{4.5 \text{ Kg/cm}^2}{3} = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Punto de aplicación de la fuerza resultante X_r : medido desde el punto o.

$$X_r = \frac{M_e - M_v}{R_v} = \frac{77.792 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}} - 25.163 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}}}{34.617 \text{ Kg/m}} = 1.52 \text{ m}$$

Excentricidad de la fuerza resultante e_x : medida desde el centro de la base. Para que exista compresión en toda la base con diagrama de presión trapezoidal la excentricidad debe ser menor que el sexto de la base ($B/6 = 3.60 \text{ m} / 6 = 0.60 \text{ m}$).

$$e_x = \left(\frac{B}{2} - X_r \right) = \left(\frac{3.60 \text{ m}}{2} - 1.52 \text{ m} \right) = 0.28 \text{ m}$$

$$e_x = 0.28 \text{ m} \leq \frac{B}{6} = 0.60 \text{ m} \quad \text{O.K.}$$

Presión de contacto muro-suelo de fundación $\sigma_{max,min}$: para $e_x < B/6$. En la figura 31 se muestran las presiones de contacto correspondientes a este caso de carga.

$$\sigma_{max} = \frac{R_v}{B} \left(1 + \frac{6 \cdot e_x}{B} \right) = \frac{34.617 \text{ Kg/m}}{3.60 \text{ m}} \left(1 + \frac{6 \cdot 0.28 \text{ m}}{3.60 \text{ m}} \right) = 14.103 \text{ Kg/m}^2 = 1.41 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = 1.41 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma_{adm} = 1.50 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 51. Deslizamiento pseudo-estático

Fuerza de roce F_r : los empujes actúan perpendicular a la cara interna del muro, la componente vertical del empuje es nula: $E_{av} = 0$, $E_h = E_{a+\Delta}$.

El empuje pasivo no se toma en cuenta porque el relleno sobre la puntera puede ser removido y no hay garantía de permanencia: $E_p = 0$.

$$F_r = \mu (R_v + E_{av}) + c' \cdot B + E_p = \mu \cdot R_v + c' \cdot B$$

$$\mu = \tan\left(\frac{2}{3} * 32^\circ\right) = 0.39$$

$$c' = 0.50 c = 1250 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_r = 0.39 * 31.995 \text{ Kg/m} + 1250 \text{ Kg/m}^2 * 3.60 \text{ m} = 16.978 \text{ Kg/m}$$

Factor de seguridad contra el deslizamiento FS_d :

$$FS_d = \frac{F_r}{E_h} = \frac{16.978 \text{ Kg/m}}{14.032 \text{ Kg/m}} = 1.21 < 1.40 \quad \text{!!NO CUMPLE! !}$$

Falla el factor de seguridad al deslizamiento, esta situación generalmente ocurre cuando se incluye el sismo, las alternativas son:

1. Colocar dentellón de pie.
2. Aumentar la dimensión de la base y comenzar de nuevo el procedimiento.

Se decidió colocar el dentellón de pie para hacer uso del empuje pasivo que se desarrolla frente a él. El dentellón se predimensionó con altura y ancho igual al décimo de la altura total del muro ($H_d = 6 \text{ m} / 10 = 0.60 \text{ m}$, $B_d = 6 \text{ m} / 10 = 0.60 \text{ m}$) y fue ubicado bajo la pantalla del muro, ver figura 33.

Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 52. Volteo y capacidad portante pseudo-estático

Factor de seguridad contra el volcamiento FS_v:

$$FS_v = \frac{M_e}{M_v} = \frac{71.368 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}}}{32.863 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}}} = 2,17 \geq 1,40 \quad \text{O.K.}$$

Esfuerzo admisible del suelo de fundación σ_{adm}: la capacidad admisible del suelo de fundación se determina con un factor de seguridad para cargas dinámicas mayor o igual que dos (FS_{cap. portante} ≥ 2).

$$\sigma_{adm} = \frac{q_{ult}}{FS_{cap. portante}} = \frac{4,5 \text{ Kg/cm}^2}{2} = 2,25 \text{ Kg/cm}^2$$

Punto de aplicación de la fuerza resultante X_r: medido desde el punto o.

$$X_r = \frac{M_e - M_v}{R_v} = \frac{71.368 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}} - 32.863 \frac{\text{Kg-m}}{\text{m}}}{31.995 \text{ Kg/m}} = 1,20 \text{ m}$$

Excentricidad de la fuerza resultante e_x: medida desde el centro de la base. Para que exista compresión en toda la base con diagrama de presión trapezoidal la excentricidad debe ser menor que el sexto de la base (B/6 = 3,60 m / 6 = 0,60 m).

$$e_x = \left(\frac{B}{2} - X_r \right) = \left(\frac{3,60 \text{ m}}{2} - 1,20 \text{ m} \right) = 0,60 \text{ m}$$

$$e_x = 0,60 \text{ m} \leq \frac{B}{6} = 0,60 \text{ m} \quad \text{O.K.}$$

Presión de contacto muro-suelo de fundación σ_{max,min}: para e_x ≤ B/6. En la figura 34 se muestran las presiones de contacto correspondientes a este caso de carga.

$$\sigma_{max} = \frac{R_v}{B} \left(1 + \frac{6 \cdot e_x}{B} \right) = \frac{31.995 \text{ Kg/m}}{3,60 \text{ m}} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,60 \text{ m}}{3,60 \text{ m}} \right) = 17,775 \text{ Kg/m}^2 = 1,78 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = 1,78 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma_{adm} = 2,25 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 53. Diseño de Punta y Talón

Espesor de la zapata e requerido por flexión (tracción fibra superior):
e = d + recubrimiento = 25,86 cm + 5 cm = 30,86 cm < 60 cm

El espesor de la zapata de 60 cm es adecuado para resistir las sollicitaciones de flexión que resultan de los casos de carga considerados.

Acero mínimo: de refuerzo por metro lineal de muro
A_{s min} = 0,0018 · b · t = 0,0018 · 100 cm · 60 cm = 10,80 cm²/ml

Acero requerido en puntera: (cara inferior) por metro lineal de muro
A_s = 5,29 cm²/ml < 10,80 cm²/ml colocar : 10,80 cm²/ml ϕ $\frac{1}{2}$ c/11 cm

Acero requerido en talón: (cara superior) por metro lineal de muro
A_s = 11,79 cm²/ml > 10,8 cm²/ml colocar : 11,59 cm²/ml ϕ $\frac{1}{2}$ c/10 cm

Momentos flectores máximos y acero de refuerzo en secciones críticas

Figura 37

Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 54. Diseño de Pantalla

Tabla 12. Solicitaciones Máximas, Corte Resistente y Acero de Refuerzo

| y (m) | Vu (Kg) | Mu (Kg-m) | F(y) (cm) | d(y) (cm) | $\Phi \cdot Vc$ (Kg) | $A_s \text{ min}$ (cm ² /ml) | $A_s \text{ requerido}$ (cm ² /ml) |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|---|---|
| 1 | 946.35 | 401.49 | 35.6 | 30.6 | 17.603,48 o.k. | 6,41 | 0,35 |
| 2 | 2.753.02 | 2.179.52 | 41.1 | 36,1 | 20.794,68 o.k. | 7,40 | 1,61 |
| 3 | 5.420.01 | 6.194.43 | 46.7 | 41.7 | 24.020,45 o.k. | 8,41 | 3,97 |
| 4 | 8.947.32 | 14.108,48 | 52,2 | 47.2 | 27.188,62 o.k. | 9,40 | 8,07 |
| 5 | 13.334.95 | 27.058.50 | 57,8 | 52.8 | 30.414,38 o.k. | 10,40 | 13,99 |
| 5.40 | 15.388,88 | 33.900,37 | 60,0 | 55,0 | 31.681,65 o.k. | 10,80 | 16,92 |

Se puede observar en la tabla 12, que el corte resistente es superior al corte actuante en todas las secciones, de tal manera que el espesor de la pantalla propuesto es adecuado para resistir las fuerzas cortantes que resultan de los casos de carga considerados.

Fuente: Torres R. (2008)

Gráfico 55. Datos

DISEÑO DE UN MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO

DATOS:

Suelo de fundacion.
 Angulo de friccion(ϕ_{sf}): 32°
 Peso especifico (γ_{sf}): 1850 kg/m³
 Prof. de fundacion (DF): 1.2 metros
 Cohesion (Csf): 0.25 kg/cm²

Relleno.
 Angulo de friccion(ϕ_r): 34°
 Peso especifico (γ_r): 1900 kg/m³
 Cohesion (Cr): 0 kg/cm²

Materiales de Construccion.
 f'c: 210 kg/cm²
 fy: 4200 kg/cm²
 Peso especifico (γ_c): 2500 kg/m³

Zona sísmica.
 Z: 0.35 g
 S: 1

FACTORES DE ZONA "Z"

| ZONA | Z |
|------|------|
| 4 | 0.45 |
| 3 | 0.35 |
| 2 | 0.25 |
| 1 | 0.10 |

Fuente : E0.60 2016

Sobrecarga

q1: 1.44 T/m²
 q2: 1.44 T/m²

Tabla 13.1. Peso específico y ángulo de fricción interna de algunos tipos de suelo

| Tipo de terreno | w(kg/m ³) | ϕ (°) |
|------------------------------------|-----------------------|------------|
| Arcilla suave | 1440 a 1920 | 0° a 15° |
| Arcilla media | 1400 a 1920 | 15° a 30° |
| Limo seco y sacbo | 1400 a 1920 | 27° a 30° |
| Limo denso | 1700 a 1920 | 30° a 35° |
| Arena suelta y grava | 1600 a 2100 | 30° a 40° |
| Arena densa y grava | 1920 a 2100 | 25° a 35° |
| Arena suelta, seca y bien graduada | 1540 a 2100 | 33° a 35° |
| Arena densa, seca y bien graduada | 1920 a 2100 | 42° a 46° |

Fuente : Harsen T. (2002)

Fuente: Elaboración propia. (2020)

Gráfico 56. Predimensionamiento

DISEÑO DE UN MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO

PREDIMENSIONADO:

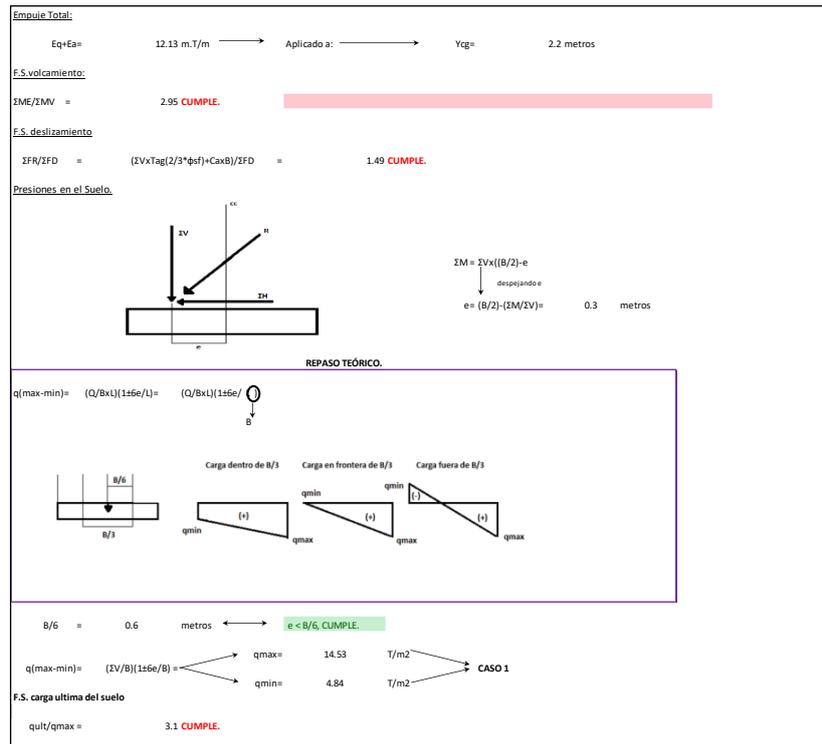
Dimensiones Recomendadas.

Base (B): 3.6 metros
 Pie (P): 1.00 metros
 Talón (T): 2 metros
 Altura de Base (e): 0.6 metros
 H: 6 metros
 b0: 0.3 metros
 b1: 0.6 metros

Fuente : McCormac J. & Brown R.

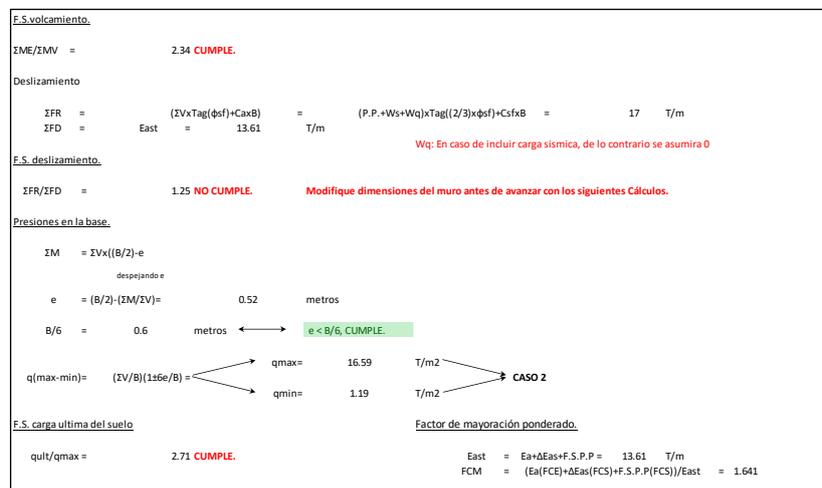
Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 57. Estabilidad estática



Fuente: Elaboración propia (2020)

Gráfico 58. Estabilidad dinámica



Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 2. Cuadro de resumen de validación

| 12.Ejemplo de aplicación Torres R. (2008) | Libro | Hoja de Cálculo |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Altura de muro | 6.00m | 6.00m |
| F.S. Volteo estático | 3.09 | 2.95 |
| F.S. Deslizamiento estático | 1.55 | 1.49 |
| qmax estático | 1.41 kg/cm ² | 1.45 kg/cm ² |
| F.S. Volteo pseudo-estático | 2.17 | 2.34 |
| F.S. Deslizamiento pseudo-estático | 1.21 | 1.25 |
| qmax pseudo-estático | 1.78 kg/cm ² | 1.66 kg/cm ² |
| Momento en la base de pantalla | 33.9 tn/m | 43.77 tn/m |
| As asumido (Pantalla) | 16.92 cm ² | 21.25 cm ² |
| Momento en talón | 23.89 tn/m | 25.34 tn/m |
| As asumido (Talón) | 11.79 cm ² | 17.50 cm ² |
| Momento en pie | 10.36 tn/m | 11.21 tn/m |
| As asumido (Pie) | 10.8 cm ² | 17.5 cm ² |

e) Realización del procedimiento de uso de la hoja de cálculo: Luego de verificar los resultados arrojados por la hoja de cálculo, el uso adecuado de la misma se puede resumir en:

1. Hoja Datos: Colocar los datos del suelo, propiedades de los materiales a utilizar y factores de zona en la que se ubicará el proyecto editando solo las celdas amarillas.

2. Hoja Pre dimensionado: Colocar las dimensiones tentativas del muro partiendo de la altura total del muro siguiendo las recomendaciones de estabilidad dadas, editando solo las celdas amarillas.

3. Hoja Resolución: en esta hoja se debe revisar las verificaciones de estabilidad, corte y momento generado en cada elemento, recibirá recomendaciones para modificar las dimensiones del muro antes de continuar. Además encontrará celdas amarillas para editar los factores de seguridad, cargas y de reducción que deben ser comparados de acuerdo a la normativa vigente. Para el diseño de talón y pie en esta hoja encontrará los valores de acero asumido.

4. Hoja Acero Pantalla: en esta hoja encontrará los aceros asumidos para la pantalla en función de Y_m .

CAPÍTULO VII

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos y manifestados en el capítulo VI pueden ser interpretados y en función a ellos, se despliega lo siguiente:

1. Para el desarrollo de algoritmos se consideró:
 - Propiedades del suelo de relleno como ángulo de fricción peso específico o cohesión. Considerando que “la estabilización de un suelo consiste en minimizar o evitar la libertad de movimiento de este, la cual resulta indeseable para el uso que queremos darle” (Gómez, 2013)
 - La aceleración horizontal y vertical del sismo. De acuerdo al manual AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges el coeficiente horizontal se define por la multiplicación de $0.5 \times \text{Factor de zona} \times \text{Factor de suelo}$ de acuerdo a la norma E030 Diseño Sismorresistente. Mientras que el coeficiente vertical es un valor que se puede definir como la multiplicación de $0.7 \times$ coeficiente horizontal.
 - La pendiente del relleno tiene un ángulo de 0° , un valor que no se puede modificar en la hoja de cálculo pero se puede estudiar, derivando hacia una investigación más profunda. Sabiendo que, “se debe proporcionar una capa de suelo con baja permeabilidad sobre la superficie del relleno y, en caso de una superficie horizontal, ésta se debe colocar con una ligera pendiente para conducir el agua lejos del muro” (Nilson, 2001).
 - Una altura razonable para muros de contención en voladizo está entre 2 y 8 m, cualquier altura mayor a 8 m no será tan económica como otros métodos de retención de tierra. Sin embargo aún así se puede utilizar esta hoja de cálculo para fines estadísticos o presupuestales como un pre-diseño de un proyecto de muros de alturas mayores a 8m.

- Después de varias iteraciones del proceso de diseño, se encontró que el cortante en el talón es un factor crítico a partir del cual se deciden las dimensiones del resto de los elementos del muro.
- Se optó por un espesor (t) de la base igual o mayor a 30 *cm* para tener suficiente espacio para los ganchos del refuerzo longitudinal. Teniendo en cuenta que “los muros con contrafuertes son óptimos para alturas iguales o mayores a 8 metros, ofreciendo ventajas que destacan manejar espesores en un rango de 30 *cm* a 50 *cm*; según la altura” (Gómez, 2013); de esta manera se garantiza además el no tener inconvenientes con la colocación del concreto.

En cuanto al funcionamiento de la aplicación en el libro de Excel, los valores de las celdas amarillas se pueden modificar, el resto no se deben modificar. No se recomienda realizar cálculos aparte en las celdas en blanco de este libro, ya que probablemente contienen valores necesarios para el funcionamiento de otras celdas o de los Macros. Tampoco se recomienda cambiar la ubicación de los datos (cortar y pegar) o eliminar celdas, ya que esto seguramente impedirá el funcionamiento de la hoja.

Se hizo correr la aplicación con datos extraídos de dos diseños ya resueltos, del cual se obtuvo valores de diseño, en relación a:

- Los datos de pre dimensionado se ajusta a los parámetros establecidos en las normas E030 y E060, sin embargo los valores de pre dimensionamiento recomendados en la presente investigación difiere de lo obtenido en la resolución bibliográfica, aún así para realizar la validación de la aplicación se usaron los datos mostrados en la bibliografía.
- Para ambos diseños resueltos el valor de K_a coincide con los valores obtenidos en el cálculo previo; lo que da lugar a un F_{sv} que al ser mayor con 1,5 cumple con parámetro de diseño establecido y coincide con la bibliografía; e igualmente F_{sd} cumple con la restricción de mayor a 1,25 y coincide con la bibliografía. Por su parte el valor de excentricidad cumple con ser menor a la relación

de $B/6$ y coincide con la bibliografía. Asimismo los valores de q_{max} y q_{min} coinciden con lo planteado en la bibliografía.

- El resto de los resultados no son comparables considerando que la aplicación calcula datos que los ejercicios de referencia no presentaba debido a la distancia de tiempo y versiones utilizadas de la norma, sin embargo los datos arrojados se encuentran dentro de los parámetros normados.
- Para el caso de empuje de tierra con sismo se asumió que el modelo presentado por Harmsen (2002) se encontraba en una zona sísmica 1 de manera que los resultados máximos mostrados en la pantalla sean del análisis estático y poder comparar los resultados obtenidos. Para el caso del modelo presentado por Torres (2008) la zona sísmica asumida fue 3, debido a que el modelo mostrado se encontraba en una zona sísmica elevada pero no mayor al factor sísmico de la zona 4 de acuerdo a la norma sismorresistente.
- Para la verificación del mayor corte en la base se debe cumplir que $\bar{U}_u < \bar{U}_c$, para ambos modelos el resultado coincidió con el de la hoja de cálculo, para el modelo planteado por Torres R. (2008) esa verificación cumple sin embargo en el modelo mostrado por Harmsen (2002) haciendo esta verificación con el cortante en el talón $\bar{U}_c < \bar{U}_u$ a lo que el autor indica "Puesto que la reacción de la pantalla actúa en sentido contrario a la carga aplicada sobre el talón, se puede efectuar la reducción de la fuerza cortante a d de la cara. Dado que V_u y ϕV_c son muy parecidos, al reducir el cortante, la carga última aplicada resultará menor que la resistencia del talón" (Harmsen, 2002).
- En cuanto a los aceros, la hoja de cálculo mostró en ambos casos valores ligeramente mayores a los encontrados en la bibliografía. Para obtener un valor de acero de retracción y temperatura (para pie, talón y espaldar) se obtuvo un A_s min que coincide con la bibliografía.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo consideran las propiedades del suelo de relleno en el diseño, por lo que considerando los objetivos de investigación, se puede inferir:

Del desarrollo de una aplicación para diseñar y calcular muros de contención en concreto armado tipo voladizo, bajo las normas peruanas E060: concreto armado y E030: diseño sismo resistente bajo el ambiente Microsoft Excel. Se consideraron los criterios de diseño geotécnicos y estructurales establecidos en la normativa mencionada. Los avances en el desarrollo de la aplicación, disminuyeron el tiempo demandado en el proceso de diseño de muros de concreto armado en voladizo, teniendo en cuenta más variables que dan cumplimiento la normativa E030 y E060.

Las bases teóricas, temas asociados y estudios realizados en el área que sirvieron de apoyo para el fundamento de la aplicación, brindando información necesaria y relevante fueron aquellas relacionadas con muros de contención, específicamente muro en voladizo. Para lo cual; se consideraron términos de diseño del talón, diseño del vástago, diseño de la punta y resistencia requerida. Igualmente se consideró para el fundamento de la presente investigación, los términos del diseño en concreto armado así como sismo en diseño de muros.

Los algoritmos necesarios que permitieron realizar el cálculo de muros de contención en concreto tipo voladizo, fueron programados considerando los datos de suelo de fundación (Ángulo de fricción ϕ_{sf} , peso específico γ_{sf} , profundidad de fundación D_f , q_{ult} , cohesión C_{sf}), datos de relleno (Ángulo de fricción ϕ_r , peso específico γ_r y cohesión C_r), materiales de construcción (f'_c , f_y , peso específico γ_c) y factores de zona sísmica. Igualmente, en base a los criterios de diseño se brinda en la misma hoja de cálculo parámetros para la determinación de dimensionamiento de base (B), pie (P), talón (T), altura de base (e), H, b_0 y b_1 . Estos algoritmos dieron lugar al cálculo automático de diseño de un muro de concreto armado en voladizo, teniendo en cuenta acero en pantalla, empuje de tierra y sobrecarga, d pantalla del muro, base y empuje de tierra y sismo.

Al implementar los algoritmos en Microsoft Excel para determinar los valores para diseñar muros de contención en concreto armado tipo voladizo; fue posible evidenciar que el volumen de concreto es directamente proporcional a la altura del muro. También, es mayor la cantidad de acero requerida en todos los casos. De esta manera, en muros mayores de 8 m de altura, una solución más eficiente es añadir contrafuertes haciendo un armado que trabaje a compresión y a tracción en un diseño más optimizado.

Para validar la aplicación diseñada contra los resultados de casos modelos desarrollados en el material bibliográfico, se procedió a correr la aplicación con datos extraídos de un diseño ya resuelto, disponible en bibliografía; los datos de pre dimensionado se ajusta a los parámetros recomendados, los resultados de acero en la hoja de cálculo resultaron siempre ligeramente mayores ya que se consideran parámetros de las normas en su versión más reciente que la bibliografía no considera y ajusta según sus requerimientos.

RECOMENDACIONES

1. Analizar la estabilidad del muro teniendo en cuenta los efectos del empuje del agua.
2. Realizar una verificación de la estabilidad del muro durante y después del proceso de compactación.
3. Analizar más detalladamente las condiciones del muro y del relleno la parte necesario para que se desarrolle empuje activo en la parte del talón y empuje pasivo en del puntal.
4. En la hoja de cálculo desarrollada no se tuvo en cuenta la cohesión del relleno, de comprobarse que la cohesión estará a largo plazo en un proyecto en específico se recomienda profundizar la investigación para realizar un dimensionado optimizado del muro.

CRONOGRAMA

Cronograma de investigación

| Mes | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | | 5 | | | | 6 | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Recolección de datos. Revisión bibliográfica especializada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obtención de información de soporte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obtención de datos de campo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Análisis de resultados y trabajo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Programación de la aplicación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacción del documento y elaboración de anexos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trámites respectivos para la sustentación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sustentación del trabajo de investigación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

FUENTES DE INFORMACIÓN

- American Association Of State Highway And Transportations Officials (AASHTO). (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 6th ed. Washington DC, Estados Unidos.
- American Association Of State Highway And Transportations Officials (AASHTO). (2002). AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges 17th ed. Washington DC, Estados Unidos.
- Ballón A., & Echenique J. (2017). Análisis de estabilidad de muros de contención de acuerdo a las zonas sísmicas del Perú(tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Lima, Perú.
- Bernuy R., & Bueno A. (2015). Estabilización de ladera con muros de contención y estudio de impacto ambiental para la protección de viviendas en el barrio de san isidro del distrito de San marcos – Huari, Ancash(tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Trujillo, Perú.
- Canadian Geotechnical Society (CGS)(2006). Canadian Foundation Engineering Manual 4th ed. Toronto, Canada: CGS
- Crespo, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones 5ta ed. Balderas, México: LIMUSA S.A.
- Das B. (2015). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta ed. Mexico: Cengage Learning
- Das B. (2001). Principios de Ingeniería de Cimentación 4ta ed. Mexico: Thomson
- Esparza, C. (2012). Geotecnia: diseño de muros. Universidad tecnica particular de Loja.
- Gómez, H. (2013). Metodología de diseño y cálculo estructural para muros de contención con contrafuertes en el trasdós, basados en un programa de cómputo(Trabajo de grado). Bogotá, Colombia .

- Harmsen, T. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado 3ra ed. Lima, Perú: PUCP.
- Hurtado, I., & Toro, J. (2007). Paradigmas y Métodos de Investigación en tiempos de cambio. Caracas, Venezuela: Editorial CEC, S.A.
- Jara G. (2008). Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos al diseño de estructuras de contención de tierras y su interacción con el terreno, para su empleo en obras de infraestructura viaria(tesis doctoral). Madrid, España.
- Lambe, W., & Whitman, R. (2004). Mecánica de los suelos. México: LIMUSA S.A.
- Lind D., Marchal W., & Wathen S. (2012). Estadística aplicada a los negocios y la economía 15va ed. Mexico: Mc Graw Hill
- McCormac, J., & Brown, R. (2011). Diseño de Concreto Reforzado 8va ed. México: Alfa omega Grupo Editor S.A.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). (2013). Manual de diseño de puentes 4ta ed. Lima,Perú.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (MVCS) (2006). Reglamento nacional de edificaciones. Lima,Perú: MVCS
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (MVCS) (2016). Norma técnica E030 Diseño Sismorresistente. Lima,Perú: MVCS
- Nilson, A. (2001). Diseño de estructuras de concreto 12va ed. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Oliver E. (1996). El proyecto de investigación y la tesis de maestría. Santander, España.
- Palacios, L., & Tóala, M. (2015). Diseño de dos muros de contención para el proyecto ciudad casa de la cultura de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí 2014- 2015(tesis para optar el título de ingeniero civil). Portoviejo, Ecuador.
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1994). Ingeniería de Cimentaciones. México: LIMUSA S.A.

Rojas, S. (2009). Diseño de muros de contención sector La Aguada Comuna de Corral(memoria para optar el título profesional de ingeniero civil en obras civiles). Valdivia,Chile.

Torres R. (2008). Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado 2da ed. Mérida,Venezuela.