

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE
CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO A PARTIR DE ELEMENTOS FINITOS**

**ÁNGELA PATRICIA ALDANA ARDILA
LAURA ANDREA SILVA GELVES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE
CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO A PARTIR DE ELEMENTOS FINITOS**

**ÁNGELA PATRICIA ALDANA ARDILA
LAURA ANDREA SILVA GELVES**

**Trabajo de grado modalidad investigación para optar el título de Ingeniero
Civil**

**Director
WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ
Ingeniero Civil, Msc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

Primero que todo quiero agradecer a Dios por guiarme en esta etapa de mi vida, a mis padres y mis hermanos por ser un apoyo incondicional.

ANGELA ALDANA

A DIOS por permitirme finalizar con éxito esta etapa de mi vida dándome la fortaleza en aquellos momentos que lo necesitaba, a mi madre que día a día estuvo pendiente de mi formación y creyó en mis logros.

LAURA SILVA

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 TEORÍA DE LA PRESIÓN ACTIVA DE TIERRAS DE COULOMB	19
2.2 MÉTODO DE MONONOBE - OKABE	20
2.3 NORMA NSR – 10	22
2.3.1 Factores de seguridad directos	22
2.3.2 Factores de seguridad indirectos	23
2.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	23
2.4.1 Deslizamiento	24
2.4.2 Volcamiento	24
2.4.3 Cimentación	24
3. DESARROLLO	25
3.1 FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	25
3.2 FASE 2: ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	25
3.3 FASE 3: PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL MODELAMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN	25
3.4 FASE 4: Modelamiento de las alternativas en el software PLAXIS 2D	26
3.4.1 Subfase 1	27
3.4.2 Subfase 2	29
3.4.3 Subfase 3	29
3.5 FASE 5: Modelamiento de las alternativas en el software PHASE 2	31
4. RESULTADOS	32

4.1 RESULTADOS DE PLAXIS 2D	32
4.1.1 Muro de altura de 4m	32
4.1.2 Muro de altura de 6m	35
4.1.3 Muro de altura de 8m	38
4.2 RESULTADOS DE PHASE 2	41
4.2.1 Muro de altura de 4m	41
4.2.2 Muro de altura de 6m	44
4.2.3 Muro de altura de 8m	46
4.3 RESULTADOS DE LA SOLUCIÓN TEÓRICA	48
4.3.1. Mononobe – Okabe	48
4.3.2 Teoría de empujes de Coulomb	50
4.3.3 Cálculo de desplazamiento de los muro	50
4.3.4 Análisis de Estabilidad	51
5. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFIA	54
ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fuerzas actuantes en el muro de contención	19
Figura 2. Factores de seguridad básicos mínimos directos.	23
Figura 3. Factores de seguridad básicos mínimos indirectos.	23
Figura 4. Modelo geométrico del muro de contención	27
Figura 5. Propiedades del material	29
Figura 6. Etapas constructivas del muro de contención en PLAXIS 2D.	30
Figura 7. Deformación de la malla en Plaxis 2D muro [4m]	33
Figura 8. Desplazamiento total en Plaxis 2D muro [4m]	34
Figura 9. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Plaxis 2D muro [4m]	35
Figura 10. Deformación de la malla en Plaxis 2D muro [6m]	36
Figura 11. Desplazamiento total en Plaxis 2D muro [6m]	37
Figura 12. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Plaxis 2D muro [6m]	38
Figura 13. Deformación de la malla en Plaxis 2D muro [8m]	39
Figura 14. Desplazamiento total en Plaxis 2D muro [8m]	40
Figura 15. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Plaxis 2D muro [8m]	41
Figura 16. Deformación de la malla en Phase 2 muro [4m]	42
Figura 17. Desplazamiento total en Phase 2 muro [4m]	42
Figura 18. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Phase 2 muro [4m]	43
Figura 19. Deformación de la malla en Phase 2 muro [6m]	44
Figura 20. Desplazamiento total muro en Phase 2 [6m]	44
Figura 21. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Phase 2 muro [6m]	45
Figura 22. Deformación de la malla en Phase 2 muro [8m]	46
Figura 23. Desplazamiento total en Phase 2 muro [8m]	46
Figura 24. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Phase 2 muro [8m]	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación entre los movimientos del muro y los empujes	22
Tabla 2. Parámetros geotécnicos del suelo	26
Tabla 3. Parámetros geomecánicos del suelo	26
Tabla 4. Propiedades del hormigón	26
Tabla 5. Dimensiones del muro de contención para una altura de 4m	28
Tabla 6. Dimensiones del muro de contención para una altura de 6m	28
Tabla 7. Dimensiones del muro de contención para una altura de 8m	28
Tabla 8. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [4m]	33
Tabla 9. Desplazamientos de los puntos evaluados, muro [6m]	36
Tabla 10. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [8m]	39
Tabla 11. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [4m]	43
Tabla 12. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [6m]	45
Tabla 13. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [8m]	47
Tabla 14. Resumen de las presiones de los muros	49
Tabla 15. Fuerzas actuantes en los muros	50
Tabla 16. Relación entre los movimientos del muro y los empujes	50
Tabla 17. Factores de seguridad	51

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Análisis de Estabilidad 4m (Medio magnético)

ANEXO B. Análisis de Estabilidad 6m (Medio magnético)

ANEXO C. Análisis de Estabilidad 8m (Medio magnético)

Nota: Los anexos pueden ser consultados en la Sala de Base de Datos: Biblioteca
Universidad Industrial de Santander

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO A PARTIR DE ELEMENTOS FINITOS*

AUTORES: ÁNGELA PATRICIA ALDANA ARDILA**
LAURA ANDREA SILVA GELVES

PALABRAS CLAVE: Muro de contención, elementos finitos, Mononobe – Okabe, Coulomb, desplazamiento, factor de seguridad.

DESCRIPCION

La presente investigación se centra en un análisis comparativo del comportamiento de los muros de contención tipo voladizo, mediante el modelamiento en programas computacionales PLAXIS 2D y PHASE 2; basados en el método de elementos finitos, técnica que consiste en subdividir la estructura a diseñar en un número reducido de elementos de geometría regular manejables que mantienen las propiedades de la estructura general y al trabajar de manera conjunta estos elementos, se predice el comportamiento de la estructura general. Utilizan una interfaz gráfica que permite a los usuarios generar rápidamente un modelo geométrico y una malla de elementos finitos basada en una sección transversal vertical representativa del problema que se trate.

Con los resultados obtenidos por medio de los softwares comerciales, se procedió a compararlos con la solución estática de empujes de tierras de Coulomb y a su vez una solución pseudo-estática utilizando el método simplificado de Mononobe – Okabe (1929), similar la teoría Coulomb, sin embargo, toma en cuenta dos acciones adicionales, que son las componentes verticales y horizontales producidas por un sismo; también se realizó un análisis de estabilidad con los parámetros geotécnicos y geomecánicos del suelo. El documento de la investigación ilustrará el comportamiento del sistema muro–suelo.

Los dos programas no cuentan con código libre, por esta razón fueron suministrados por el grupo de Investigación Geomática, perteneciente a la Escuela de Ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez, Ingeniero Civil, Msc

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF BEHAVIOR OF CANTILEVER RETAINING WALLS FROM TYPE FINITE ELEMENT*

AUTHORS: ÁNGELA PATRICIA ALDANA ARDILA**
LAURA ANDREA SILVA GELVES

KEYWORDS: Retaining wall, finite element, Mononobe - Okabe, Coulomb displacement factor of safety.

DESCRIPTION

This research focuses on a comparative analysis of the behavior of cantilever type retaining walls by modeling in PLAXIS 2D computer programs and PHASE 2; based on the finite element method, technique of subdividing the structure design in a small number of regular geometry manageable elements that maintain the properties of the overall structure and to work together these elements, the behavior predicted general structure. They use a graphical interface that allows users to quickly generate a geometric model and finite element mesh based on a representative vertical cross section of the problem in question.

The results obtained using commercial software, we proceeded to compare the static solution of earth pressure Coulomb and also a pseudo - static solution using the simplified method Mononobe - Okabe (1929), like the Coulomb theory however, takes into account two additional actions, which are the vertical and horizontal components produced by an earthquake; stability analysis of geotechnical parameters and geomechanical soil was also performed. The research paper will illustrate the behavior of the wall - soil system.

The two programs have no free code for this reason were supplied by Geomatics Research Group, part of the School of Civil Engineering, Industrial University of Santander

* Paper grade

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Civil Engineering. Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez, Ingeniero Civil, Msc

INTRODUCCIÓN

Como lo indica el nombre, los muros de contención son elementos estructurales diseñados para contener algo; ese algo es un material que, sin la existencia del muro, tomaría una forma diferente a la fijada por el contorno del muro para encontrar su equilibrio estable.¹

Los muros de contención tienen como finalidad resistir las presiones laterales o empuje producido por el material retenido detrás de ellos, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su fundación. Los muros de contención se comportan básicamente como voladizos empotrados en su base. Designamos con el nombre de empuje, las acciones producidas por las masas que se consideran desprovistas de cohesión, como arenas, gravas, cemento, etc. En general los empujes son producidos por terrenos naturales, rellenos artificiales o materiales almacenados.²

La finalidad de este proyecto de grado es el análisis comparativo de los resultados de los modelamientos de muros de contención tipo voladizo. Se empleará para ello el Método de los Elementos Finitos (MEF), la cual está dirigida al cálculo de los desplazamientos, deformaciones y estabilidad presentes en el muro a estudiar, teniendo en cuenta el comportamiento no lineal del suelo de relleno.

Se procederá a modelar una sección típica del muro de contención tipo voladizo, mediante los softwares comerciales de elementos finitos PLAXIS 2D y PHASE 2. Estos programas permiten una modelación ajustada del problema con distintas

¹ ORDOÑEZ Alberto. *Muros de contención*. Programa Académico de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria-La Molina, Lima Perú. pp1. Fecha se consulta 16 febrero 2014

² TORRES Rafael Ángel. *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*. Universidad de los Andes facultad de Ingeniería Mérida Venezuela. pp 5, 2008. Fecha de consulta: 19 febrero 2014

condiciones de carga, y brinda la posibilidad de obtener una amplia gama de parámetros como resultado.

Se estudiarán y modelarán distintas condiciones de dimensionamiento del muro, incluyendo incrementos de la presión hidrostática, sobrecargas en el coronamiento.³

El desarrollo del análisis de los muros de contención tipo voladizo se realizará de la siguiente manera:

- a-** Especificación de las dimensiones.
- b-** Análisis de la estabilidad del muro frente a las fuerzas que lo solicitan para lograr la estabilidad según las condiciones mínimas establecidas.
- c-** Modelamiento de los elementos o partes del muro.
- d-** Análisis de los resultados.⁴

Para esta investigación se utilizarán los resultados obtenidos en el estudio de suelo del sector de la vereda el Tope, hacia el costado norte de la ciudad de Yopal, Casanare. Una vez obtenidos los resultados de los modelamientos por cada uno de los programas se procederá a comparar con una solución teórica.

³ CIGANA Juan P. *Tesis de grado en Ingeniería civil Modelación Numérica de estructuras de Contención Portuarias: aplicación de muro de gravedad del Puerto de Buenos Aires*. Universidad UBA, pp3, Fecha consultada: 18 febrero 2014.

⁴ TORRES Rafael Ángel. *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*. Universidad de los Andes facultad de Ingeniería Mérida Venezuela. pp 5, 2008. Fecha de consulta: 19 febrero 2014

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento de muros de contención de tipo voladizo mediante la utilización de los softwares PLAXIS 2D y PHASE 2.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica sobre el comportamiento teórico de muros de contención tipo voladizo.
- Modelar un problema típico de los muros de contención, mediante los softwares de elementos finitos PLAXIS 2D y PHASE 2.
- Comparar los resultados obtenidos por medio de los modelamientos realizados en PLAXIS 2D Y PHASE 2 con una solución teórica.

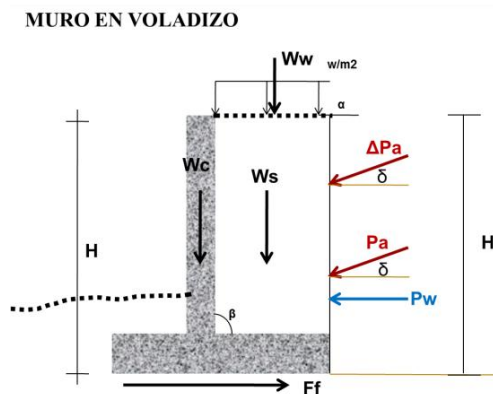
2. MARCO TEÓRICO

2.1 TEORÍA DE LA PRESIÓN ACTIVA DE TIERRAS DE COULOMB

Coulomb propuso una teoría para calcular la presión lateral de tierras sobre un muro de contención con relleno de suelo granular. Esta teoría toma en cuenta la fricción del muro.

Para aplicar la teoría de la presión activa de tierra de Coulomb, considérese un muro de contención con su paramento inclinado un ángulo β respecto a la horizontal, como se muestra en la Figura 1. El relleno es un suelo granular y δ es el ángulo de fricción entre el suelo y el muro (es decir, el ángulo de fricción del muro).⁵

Figura 1. Fuerzas actuantes en el muro de contención



⁵ DEL TORO Wilfredo. *Presiones Laterales de Tierra*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009. Fundaciones I. Diapositivas de Clase

Bajo presión activa, el muro se moverá alejándose de la masa de suelo. La fuerza activa de Coulomb PA (1) localizada en el centroide de la distribución triangular, a H/3 desde la base de la estructura siendo H la altura del muro.⁶

$$P_A = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_A \quad (1)$$

2.2 MÉTODO DE MONONOBE - OKABE

El método pseudo-estático está basado en el equilibrio de fuerzas estáticas y dinámicas, en la determinación de las fuerzas que actúan sobre el muro y sus puntos de aplicación con fines de determinar factores de seguridad al desplazamiento, vuelco y giro en la base, es decir contra la falla del muro. El método de Mononobe-Okabe (M-O) es una prolongación de la teoría estática de Coulomb para condiciones pseudo-estáticas, en el cual las aceleraciones pseudo-estáticas son aplicadas a la cuña activa (o pasiva) de Coulomb.⁷

Nótese que para una condición sin sismo $k_h = 0$ $k_v = 0$ y $\theta' = 0$ por consiguiente $K_{ae} = K_a$ (2).

$$K_a = \frac{\sin(\phi + \beta)^2}{\sin(\beta * \sin(\beta - \delta))^2 * 1 + \frac{\sin \delta + \phi * \sin \phi - \alpha}{\sin \beta - \delta * \sin \beta + \alpha}^{\frac{1}{2}}}$$

(Ecuación 2)

⁶ GARCIA, Nelson., Sanjuán, Yalitz. y Medina, David. *Diseño sísmico de muros de contención en gravedad y voladizo*. Ocaña: REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIA DE AVANZADA. [En línea]

2012.pág.2.http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_20/05112012/14.pdf

⁷ Ibid

Para una condición con sismo, la relación para la fuerza activa por unidad de longitud del muro (P_{ae}) se determina como en la ecuación (3)

$$P_{ae} = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * (1 - K_v) * K_{ae} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde K_{ae} se especifica en las ecuaciones (4) y (5)

$$K_{ae} = \text{Coeficiente de presión activa de la tierra}$$

$$= \frac{\sin(\phi + \beta - \theta')^2}{\cos \theta' * \sin(\beta * \sin(\beta - \theta' - \delta))^2 * \left(1 + \frac{\sin \varphi + \delta * \sin \varphi - \theta' - \alpha}{\sin \beta - \delta - \theta' * \sin \alpha + \beta} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

(Ecuación 4)

$$\theta' = \tan^{-1} \frac{k_h}{1 - k_v} \quad (\text{Ecuación 5})$$

El empuje activo total puede ser expresado como la suma del empuje estático (P_a) y el empuje pseudo-estático (ΔP_{ae}) (ecuación 6).⁸

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a \quad (\text{Ecuación 6})$$

En la Tabla 1 se muestran los movimientos horizontales en los muros de contención conducentes a los estados activos y pasivos.

⁸ DAS Braja M. *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. 4ta ed. Capítulo Seis. México D.F.:2001, pág.306. Muros de Retención

Tabla 1. Relación entre los movimientos del muro y los empujes

Condición del suelo	Desplazamiento requerido para E. Activo	Desplazamiento requerido para E. Pasivo
Suelo no cohesivo denso	0.001H a 0.002H	0.005H
No cohesivo suelto	0.002 a 0.004 H	0.01H
Cohesivo, firme	0.01H a 0.02 H	0.01H
Cohesivo, blando	0.02 H a 0.05 H	0.05H

Fuente: Norma NSR-10

2.3 NORMA NSR – 10

2.3.1 Factores de seguridad directos

Definición: En la Ingeniería Civil en general, el Factor de Seguridad F.S se define entre fuerzas resistentes FR y actuantes FA y también pueden usarse esfuerzos para evaluar el Estado Límite de Falla

La selección de los factores de seguridad, debe justificarse plenamente teniendo en cuenta:

- La magnitud de la obra.
- Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.
- La calidad de la información disponible en materia de suelos.
- En ningún caso el factor de seguridad debe ser inferior a 1.00.⁹

Los factores de seguridad directos se encuentran en la Tabla H.2.4-1 de la NSR – 10, ver Figura 2.

⁹ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). *Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10)*.pp -H6. Fecha de Consulta: 5 de Octubre de 2014

Figura 2. Factores de seguridad básicos mínimos directos.

Tabla H.2.4-1
Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos

Condición	F _{SBM}		F _{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Fuente: Norma NSR-10

2.3.2 Factores de seguridad indirectos. Son factores que se aplican a la estabilidad de taludes de corte vertical o inclinado. Los valores de los factores de seguridad indirectos se encuentran en la Tabla H.4.7-1 de la NSR – 10, ver Figura 3.

Figura 3. Factores de seguridad básicos mínimos indirectos.

Tabla H.4.7-1
Factores de Seguridad Indirectos F_{SICP} Mínimos

Condición	F _{SICP} Mínimo
	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.5

Fuente: Norma NSR-10

2.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para revisar la estabilidad de un muro de contención es necesario realizar los siguientes chequeos.¹⁰

¹⁰ DAS Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 4ta ed. Capítulo Seis. Análisis de Estabilidad. México D.F: Internacional Thomson Editores, 2001, pág.392

2.4.1 Deslizamiento. El factor de seguridad contra deslizamiento se expresa por las ecuaciones (7-10).

$$FS_D = \frac{F_f}{F_H} \geq \begin{matrix} 1,5 \rightarrow \text{Para Arenas} \\ 2,0 \rightarrow \text{Para Arcillas} \end{matrix} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde,

$$F_f = C_a + B \times F_V \tan \phi_a \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\frac{2}{3} \leq \phi_a \leq \phi \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$0,5C \leq C_a \leq 0,75C \quad (\text{Ecuación 10})$$

2.4.2 Volcamiento. El factor de seguridad contra volcamiento respecto a la punta, se expresa en la ecuación (11).

$$FS_V = \frac{M_R}{M_V} \geq \begin{matrix} 3,0 \rightarrow \text{Para Arenas} \\ 2,0 \rightarrow \text{Para Arcillas} \end{matrix} \quad (\text{Ecuación 11})$$

2.4.3 Cimentación. El factor de seguridad por cimentación se determina con las siguientes ecuaciones (12-14).

$$X = \frac{M_R - M_V}{F_V} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$e = \frac{B}{2} - X \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$q = \frac{F_V}{B} \times \left(1 \pm \frac{6 \times e}{B} \right) \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$q \leq q_{adm}$$

3. DESARROLLO

Para la elaboración del análisis de los muros de contención tipo voladizo; fue necesario utilizar una metodología que se encuentra dividida en 6 fases que son: revisión bibliográfica, análisis de la información encontrada, parámetros necesarios para el modelamiento del muro de contención, modelamiento de las alternativas en PLAXIS 2D y PHASE 2, análisis de los resultados de los software descritos anteriormente.

Cada una de estas fases se explica detalladamente a continuación:

3.1 FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Consiste en la revisión bibliográfica de todos aquellos temas que están relacionados con los muros de contención tipo voladizo.

3.2 FASE 2: ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Esta fase consiste en analizar la información encontrada, esto con el fin de seleccionar la bibliografía adecuada para el desarrollo del proyecto.

3.3 FASE 3: PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL MODELAMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN

Los parámetros utilizados para el avance del estudio de carácter geotécnicos (Tabla 2) y geomecánicos (Tabla 3) fueron suministrados por el director del proyecto. Estos datos hacen referencia a las propiedades del perfil del suelo y del hormigón (Tabla 4.) del cual estarán construidos los muros, además de las diferentes dimensiones de estos últimos.

Tabla 2. Parámetros geotécnicos del suelo

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS					
Tipo de Suelo	Aspecto Físico	γ_{sat} KN/m ³	γ_{nat} KN/m ³	E	v
Arena Media Limosa	Marrón amarillento	19,5	17,3	23000	0,3

Tabla 3. Parámetros geomecánicos del suelo

PARAMETROS GEOMECAÑICOS				
Tipo de Suelo	Aspecto Físico	Φ	C (KN/m ²)	
Arena Media Limosa	Marrón amarillento	32	10	
Arena Media Limosa	Marrón amarillento	35	10	

Tabla 4. Propiedades del hormigón

HORMIGÓN ARMADO	
γ (KN/m ³)	24
E_c (KN/m ²)	2,00E+07
N_c	0,15

3.4 FASE 4: Modelamiento de las alternativas en el software PLAXIS 2D

PLAXIS 2D es un programa de ordenador de elementos finitos bidimensionales diseñado específicamente para la realización de análisis de deformación y estabilidad de problemas geotécnicos. El programa utiliza una interfaz gráfica que permite a los usuarios generar rápidamente un modelo geométrico y una malla de elementos finitos basada en una sección transversal vertical representativa del problema que se trate.¹¹

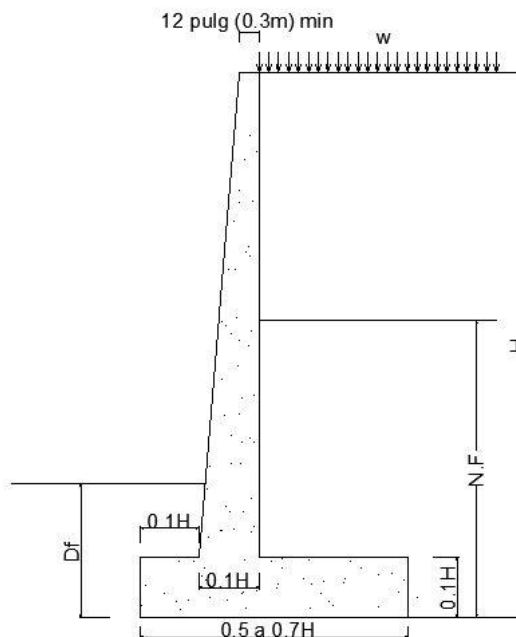
¹¹ Díaz Yamyle. y López Elizabeth. *Plaxis como herramienta de modelación para la solución de algunos problemas geotécnicos reales en la ciudad de Punta Arenas*. Universidad de Magallanes facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería en Construcción, pp 8, fecha de consulta: 3 de marzo de 2014

Para el modelamiento de los diferentes muros se realizarán por medio de Subfases:

3.4.1 Subfase 1. Lo primero que se efectuó para modelar los muros de contención fue tener en cuenta los parámetros suministrados por parte del director de proyecto en cuanto a las diferentes alturas a comparar, las cuales fueron de 4m, 6m y 8m, para luego proceder a realizar el dibujo esquematizado del muro de contención tipo voladizo de acuerdo a la dimensiones mínimas establecidas.

La figura 4 muestra las dimensiones aproximadas de los muros de retención para revisiones iniciales de estabilidad.¹²

Figura 4. Modelo geométrico del muro de contención



Fuente: Libro de Principios de Ingeniería de Cimentación Braja M. Das

¹² BOWLES, Joseph. *Foundation analysis and design*. Mcgraw-HILL INTERNATIONAL editions; 1988. Fecha de Consulta: 1 de Octubre de 2014

Las Tablas 5, 6 y 7 muestran las dimensiones de los muros dependiendo de su altura.

Tabla 5. Dimensiones del muro de contención para una altura de 4m

DIMENSIONES MÍNIMAS DEL MURO DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO		
Altura Total	4	m
Base	2,8	m
Ancho superior del vástago	0,3	m
Ancho inferior del vástago	0,4	m
Punta	0,4	m
Talón	2	m
Espesor de la Base	0,4	m
Df	1,5	m

Tabla 6. Dimensiones del muro de contención para una altura de 6m

DIMENSIONES MÍNIMAS DEL MURO DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO		
Altura Total	6	m
Base	4,2	m
Ancho superior del vástago	0,3	m
Ancho inferior del vástago	0,6	m
Punta	0,6	m
Talón	3	m
Espesor de la Base	0,6	m
Df	1,5	m

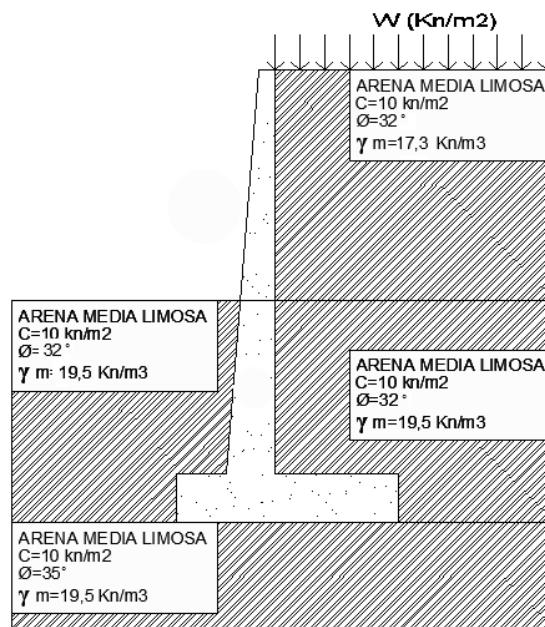
Tabla 7. Dimensiones del muro de contención para una altura de 8m

DIMENSIONES MÍNIMAS DEL MURO DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO		
Altura Total	8	m
Base	5,6	m
Ancho superior del vástago	0,4	m
Ancho inferior del vástago	0,8	m

DIMENSIONES MÍNIMAS DEL MURO DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO		
Punta	0,8	m
Talón	4	m
Espesor de la Base	0,8	m
Df	1,5	m

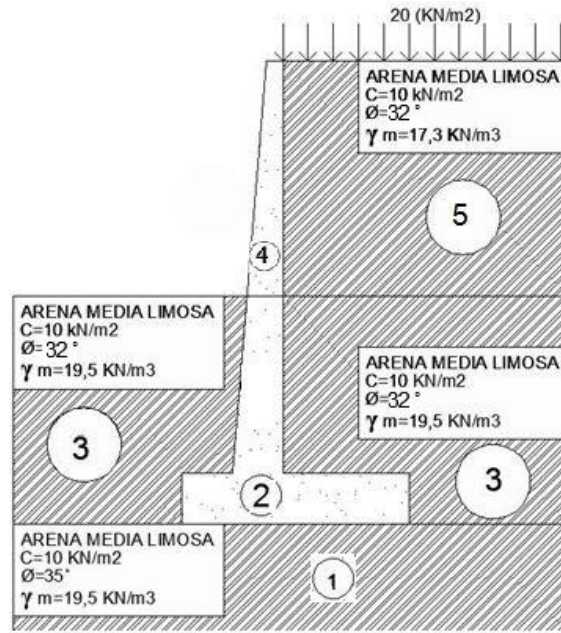
3.4.2 Subfase 2. Una vez creado el dibujo, se asignaron las propiedades de cada material utilizando las Tablas 2-4. Se construye un muro de hormigón armado sobre un estrato de Arena Media Limosa.

Figura 5. Propiedades del material



3.4.3 Subfase 3. Luego, se identificó la secuencia constructiva del muro y etapas de los rellenos granulares. En la Figura 6 se señala en orden numérico dicho secuencia.

Figura 6. Etapas constructivas del muro de contención en PLAXIS 2D.



- *Etapa 1:* En esta etapa se asigna el terreno natural, el cual ya se encuentra con sus propiedades.
- *Etapa 2:* Posteriormente se establece la base de la fundación, la cual está constituida de hormigón.
- *Etapa 3:* Una vez instalada la base, se asigna el primer relleno sobre esta, que posee las mismas propiedades del material de la etapa 1.
- *Etapa 4:* En esta etapa solo se realiza la el vástago del muro de contención y así dar por terminado la fundación.
- *Etapa 5:* Por último se fija el relleno final y una sobrecarga de 20 kN/m^2 , además se asigna el nivel freático a una altura de 3m.

Una vez terminado este proceso se corre el programa para obtener los resultados de los diferentes modelamientos. Cabe aclarar que este procedimiento fue repetitivo en los tres muros.

3.5 FASE 5: Modelamiento de las alternativas en el software PHASE 2

PHASE 2 es un programa de elementos finitos en 2D que puede ser utilizado para el análisis y diseño de muros de contención. Las opciones incluyen análisis de tensión y desplazamiento, análisis de estabilidad, filtración de aguas subterráneas y el diseño de apoyo.¹³

Para el modelamiento de los diferentes muros de contención, se realizarán por medio de las etapas anteriormente mencionadas en los numerales 3.4.1- 3.4.3 en su respectivo orden.

También se usarán las dimensiones mostradas en las Tablas 5, 6 y 7.

¹³ Rosciencie. <http://www.rosциencie.com/usage/uso/4/Retaining-Walls> [Consulta: 30-09-2014]

4. RESULTADOS

La fase 6 se subdivide en los resultados de PLAXIS 2D¹⁴, PHASE 2¹⁵ y la Solución Teórica.

El muro de contención tiende a sufrir un desplazamiento cuando es puesto en servicio, este desplazamiento es inevitable, ya que existen “empujes activos” del suelo que actúan sobre dicho muro.

4.1 RESULTADOS DE PLAXIS 2D

4.1.1 Muro de altura de 4m. En la Figura 7 se evidencia la deformación de la malla, además se muestran los puntos a evaluar en el muro de contención.

Según los resultados obtenidos por PLAXIS 2D el muro de contención presentó los siguientes desplazamientos expuestos en la Tabla 8 e ilustrados en la Figura 8.

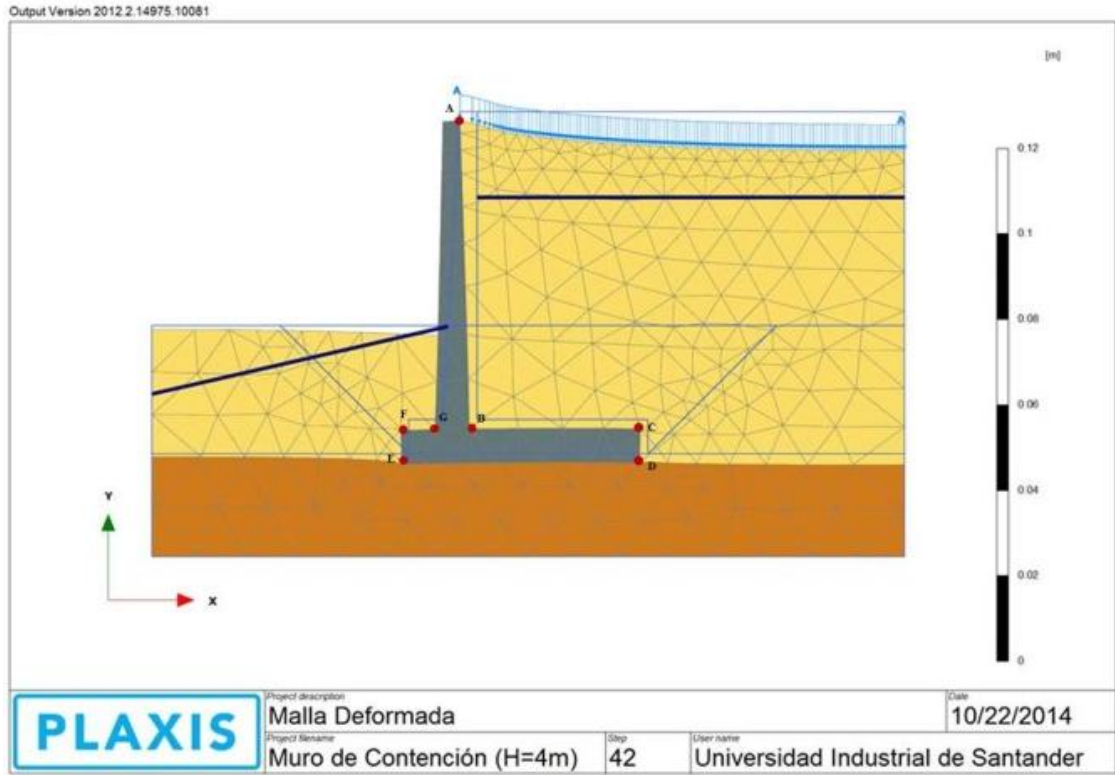
A partir del gráfico de la Figura 9 se obtiene el factor de seguridad, el cual corresponde a 2,21. Este es mayor al factor de seguridad mínimo requerido:

$$FS = 2,21 \geq 1.5$$

¹⁴ PLAXIS 2D. “Versión 8.5”.2004. General Information

¹⁵ PHASE 2. “Versión 8.2”.2004. Reference Manual

Figura 7. Deformación de la malla en Plaxis 2D muro [4m]



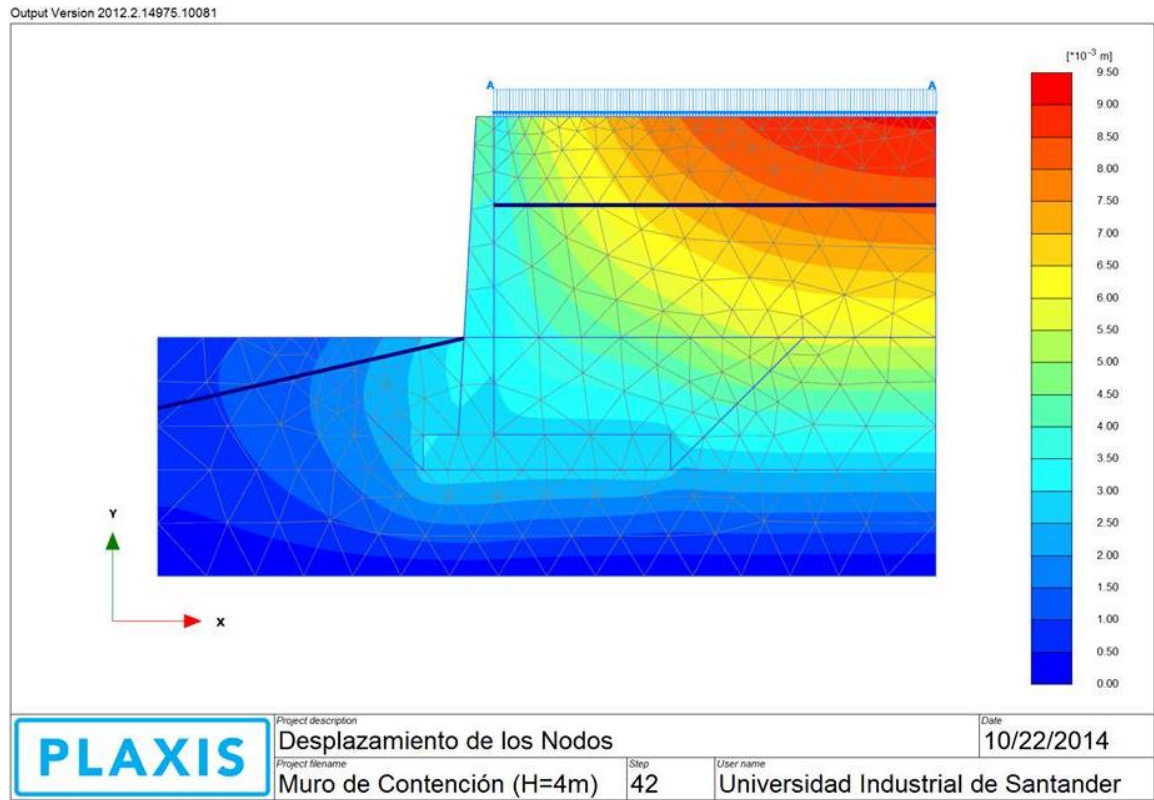
Fuente: Plaxis 2D

Tabla 8. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [4m]

MURO DE CONTENCIÓN H= 4[M]						
Punto	Nodo	X [m]	Y [m]	u_x [m]	u_y [m]	u [m]
A	1203	0,8	4	-3,96E-03	-2,11E-03	4,49E-03
B	1287	0,8	0,4	-1,80E-03	-2,15E-03	2,81E-03
C	1811	2,8	0,4	-1,81E-03	-2,14E-03	2,81E-03
D	1477	2,8	0,00	-1,98E-03	-2,17E-03	2,94E-03
E	755	0,00	0,00	-1,56E-03	-2,50E-03	2,95E-03
F	819	0,00	0,4	-1,82E-03	-2,47E-03	3,07E-03
G	156	0,4	0,4	-1,81E-03	-2,18E-03	2,98E-03

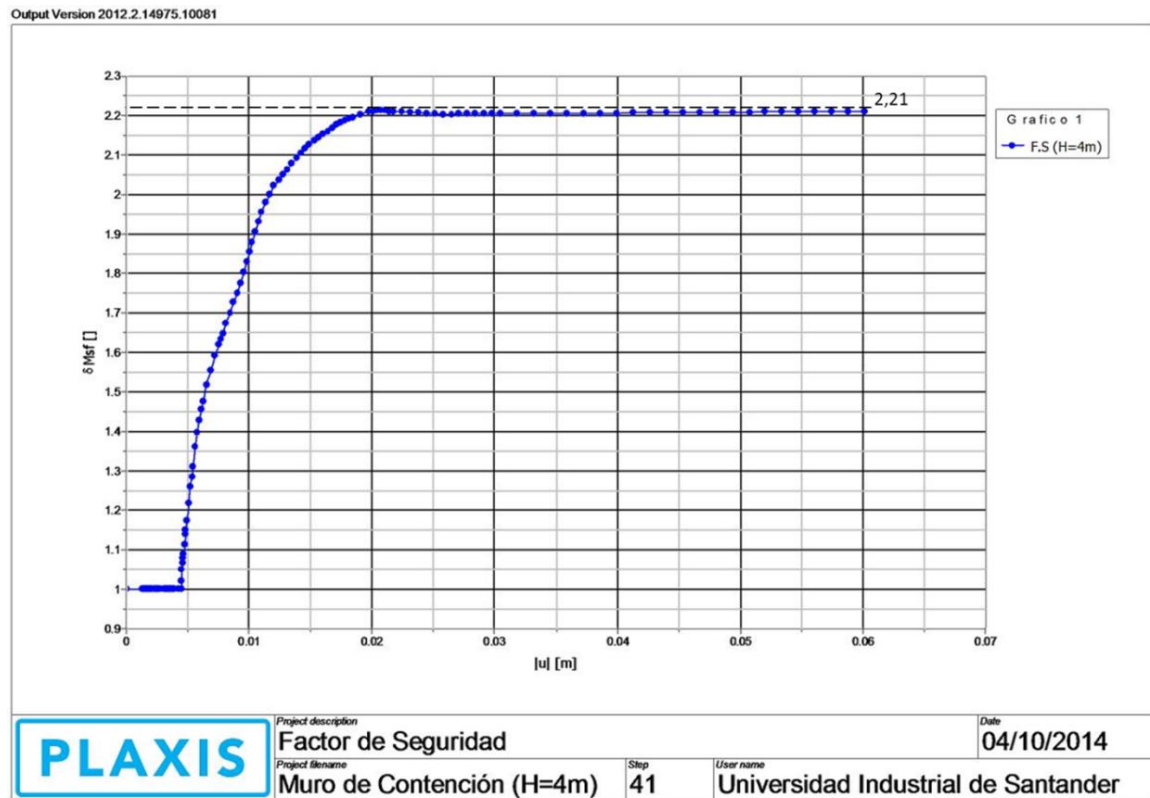
Fuente: Plaxis 2D

Figura 8. Desplazamiento total en Plaxis 2D muro [4m]



Fuente: Plaxis 2D

Figura 9. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Plaxis 2D muro [4m]



Fuente: Plaxis 2D

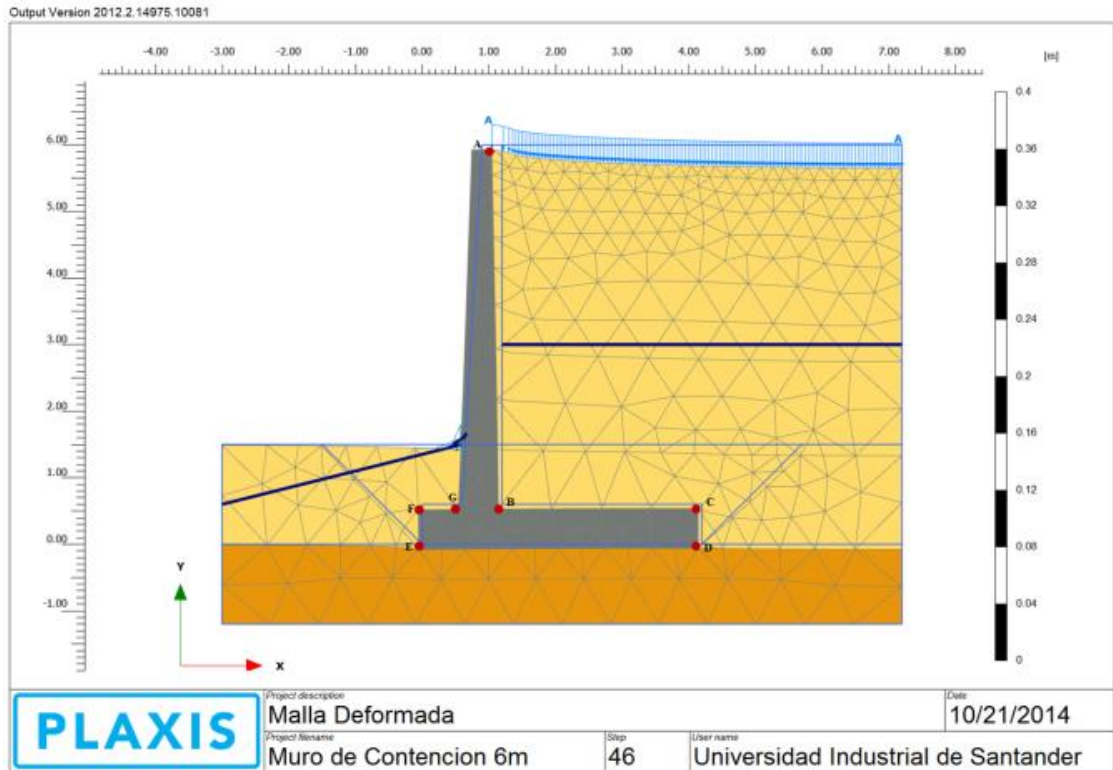
4.1.2 Muro de altura de 6m. En la Figura 10 se evidencia la deformación de la malla, además se exhiben los puntos a evaluar en el muro de contención.

Según los resultados hallados por PLAXIS 2D el muro de contención presentó los siguientes desplazamientos mostrados en la Tabla 9 e ilustrados en la Figura 11.

A partir del gráfico de la Figura 12 se obtiene el factor de seguridad, el cual corresponde a 1,94. Este es mayor al factor de seguridad mínimo requerido:

$$FS = 1,94 \geq 1.5$$

Figura 10. Deformación de la malla en Plaxis 2D muro [6m]



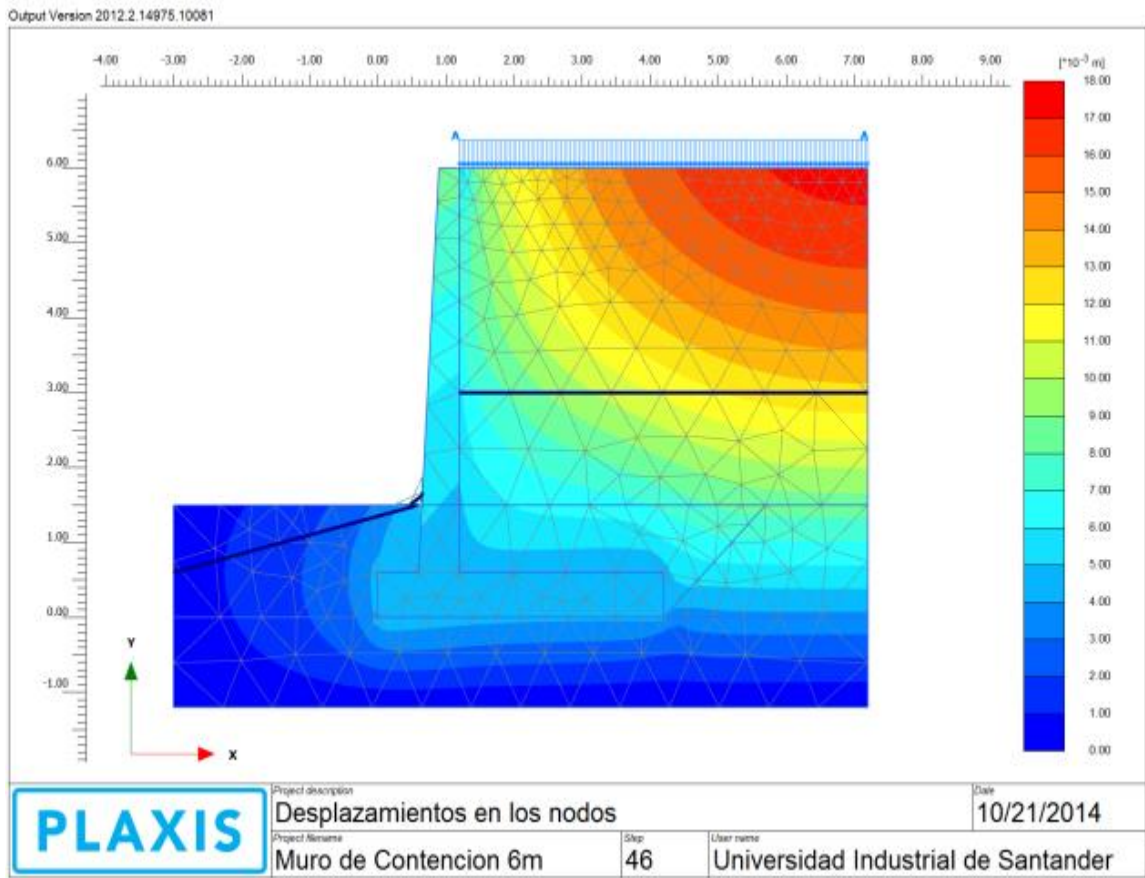
Fuente: Plaxis 2D

Tabla 9. Desplazamientos de los puntos evaluados, muro [6m]

MURO DE CONTENCIÓN H= 6[M]						
Punto	Nodo	X [m]	Y [m]	u_x [m]	u_y [m]	u [m]
A	1247	1,20	6,00	-7,63E-03	-3,47E-03	8,38E-03
B	959	1,20	0,60	-2,76E-03	-3,57E-03	4,51E-03
C	2007	4,20	0,60	-2,75E-03	-3,17E-03	4,19E-03
D	1667	4,20	0,00	-2,87E-03	-3,21E-03	4,30E-03
E	539	0,00	0,00	-2,37E-03	-4,23E-03	4,85E-03
F	555	0,00	0,60	-2,78E-03	-4,19E-03	5,03E-03
G	727	0,60	0,60	-2,77E-03	-3,87E-03	4,75E-03

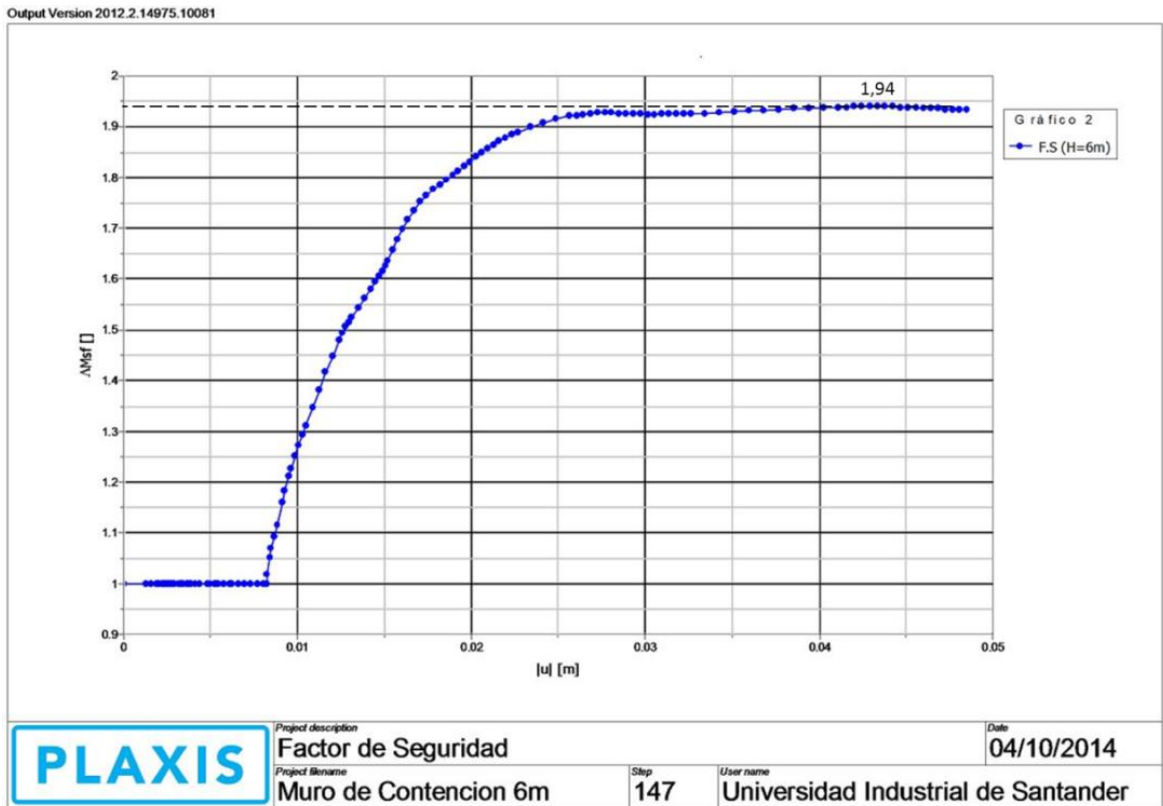
Fuente: Plaxis 2D

Figura 11. Desplazamiento total en Plaxis 2D muro [6m]



Fuente: Plaxis 2D

Figura 12. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Plaxis 2D muro [6m]



Fuente: Plaxis 2D

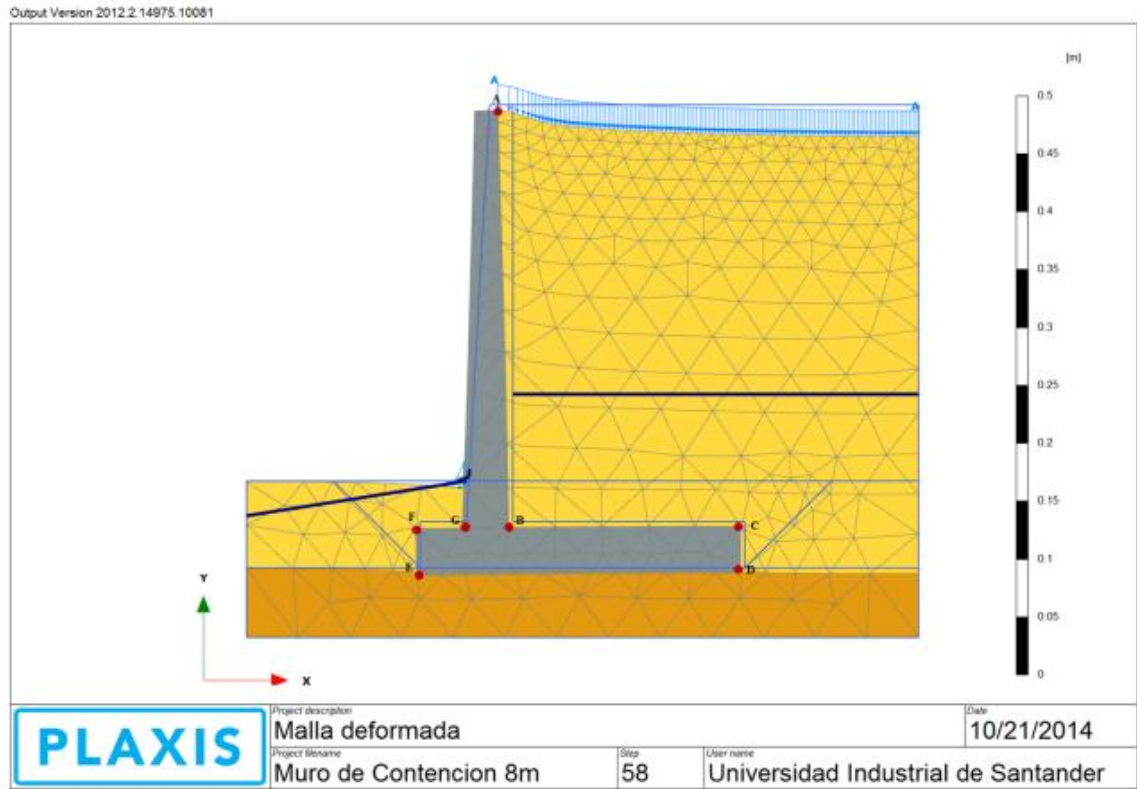
4.1.3 Muro de altura de 8m. En la Figura 13 se evidencia la deformación de la malla, además se muestran los puntos a evaluar en el muro de contención.

Según los resultados obtenidos por PLAXIS 2D el muro de contención presentó los siguientes desplazamientos mostrados en la Tabla 10 y la Figura 14.

A partir del gráfico de la Figura 15 se obtiene el factor de seguridad, el cual corresponde a 1,77. Este es mayor al factor de seguridad mínimo requerido:

$$FS = 1,77 \geq 1.5$$

Figura 13. Deformación de la malla en Plaxis 2D muro [8m]



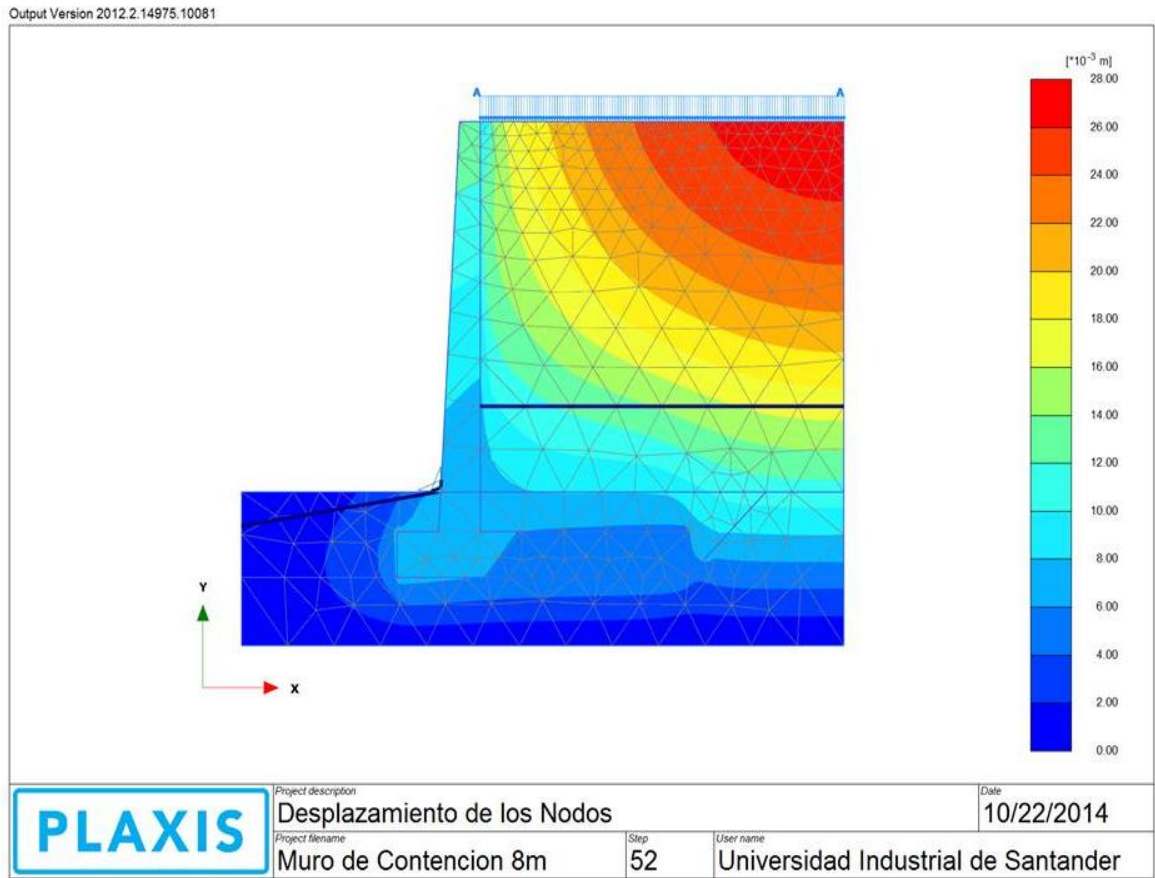
Fuente: Plaxis 2D

Tabla 10. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [8m]

MURO DE CONTENCIÓN H= 8[M]						
Punto	Nodo	X [m]	Y [m]	u_x [m]	u_y [m]	u [m]
A	1315	1,60	8,00	-1,29E-02	-4,85E-03	1,38E-02
B	749	1,60	0,80	-3,80E-03	-5,07E-03	6,33E-03
C	2397	5,60	0,80	-3,71E-03	-4,10E-03	5,53E-03
D	1931	5,60	0,00	-3,76E-03	-4,15E-03	5,60E-03
E	409	0,00	0,00	-3,19E-03	-6,19E-03	6,96E-03
F	471	0,00	0,80	-3,82E-03	-6,13E-03	7,22E-03
G	587	0,80	0,80	-3,81E-03	-5,60E-03	6,78E-03

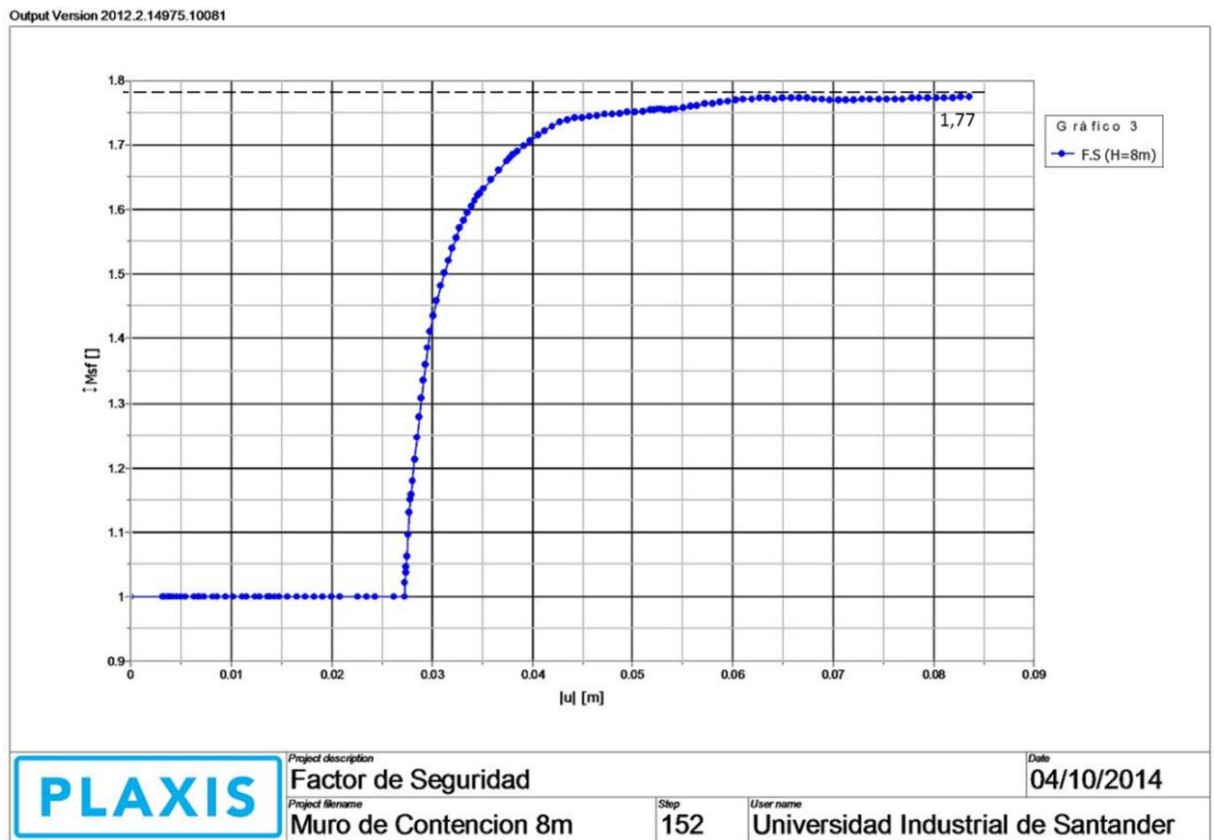
Fuente: Plaxis 2D

Figura 14. Desplazamiento total en Plaxis 2D muro [8m]



Fuente: Plaxis 2D

Figura 15. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Plaxis 2D muro [8m]



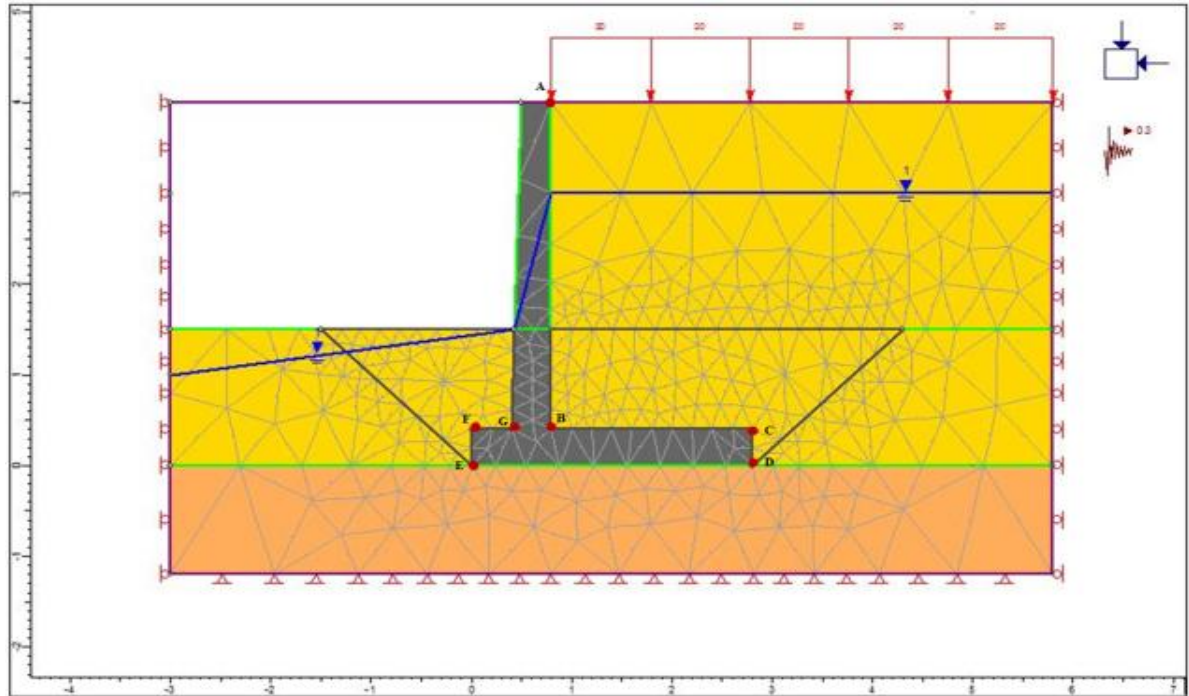
Fuente: Plaxis 2D

4.2 RESULTADOS DE PHASE 2

4.2.1 Muro de altura de 4m. En la Figura 16 se evidencia la deformación de la malla, además se exhiben los puntos a evaluar en el muro de contención.

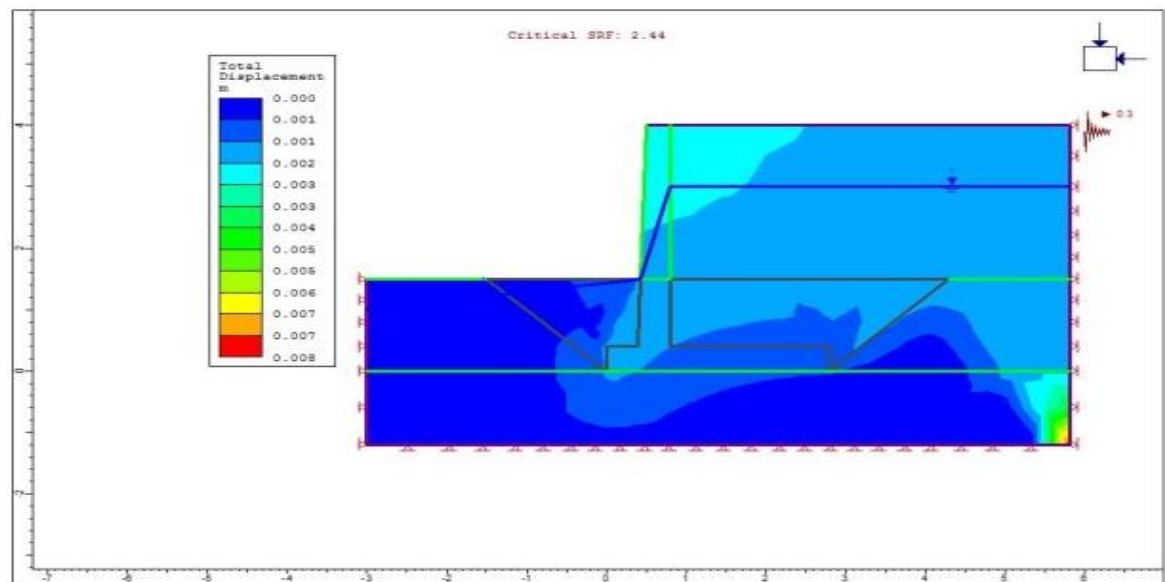
Según los resultados hallados por PLAXIS 2D el muro de contención presentó los siguientes desplazamientos mostrados en la Tabla 11 e ilustrados en la Figura 17.

Figura 16. Deformación de la malla en Phase 2 muro [4m]



Fuente: Phase 2

Figura 17. Desplazamiento total en Phase 2 muro [4m]



Fuente: Phase 2

Tabla 11. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [4m]

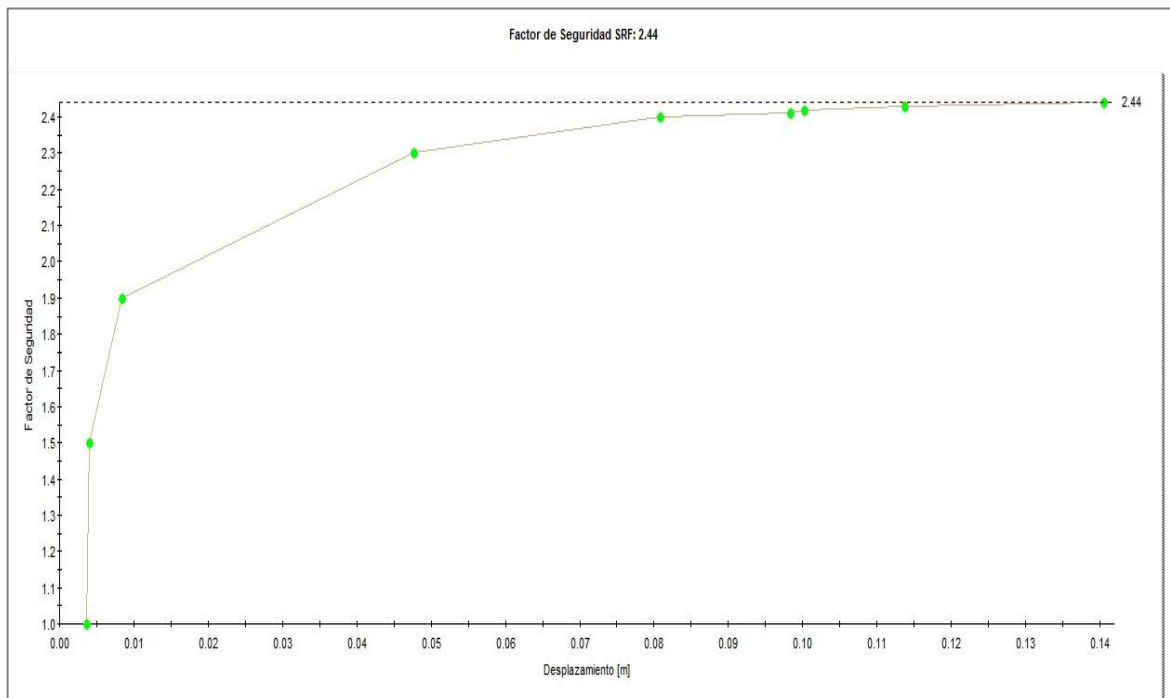
Punto	X [m]	Y [m]	u [m]
A	0,8	4	2,70E-03
B	0,8	0,4	1,30E-03
E	0,00	0,00	2,00E-03

Fuente: Phase 2

A partir del gráfico de la Figura 18 se obtiene el factor de seguridad, el cual corresponde a 2,44. Este es mayor al factor de seguridad mínimo requerido:

$$FS = 2,44 \geq 1.5$$

Figura 18. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Phase 2 muro [4m]

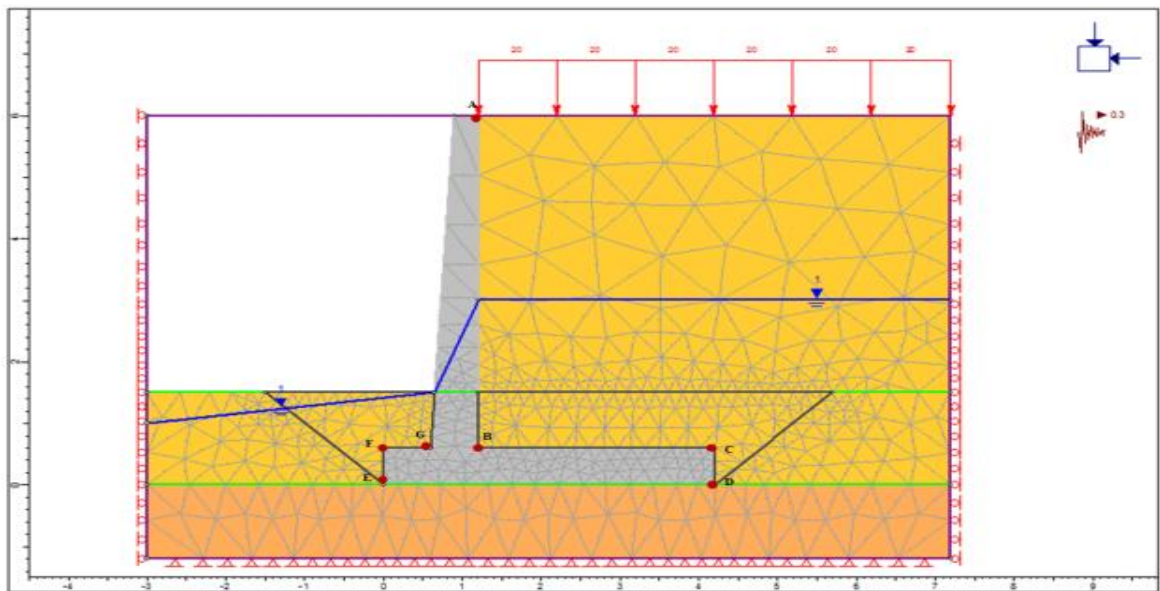


Fuente: Phase 2

4.2.2 Muro de altura de 6m. En la Figura 19 se evidencia la deformación de la malla, además se muestran los puntos a evaluar en el muro de contención.

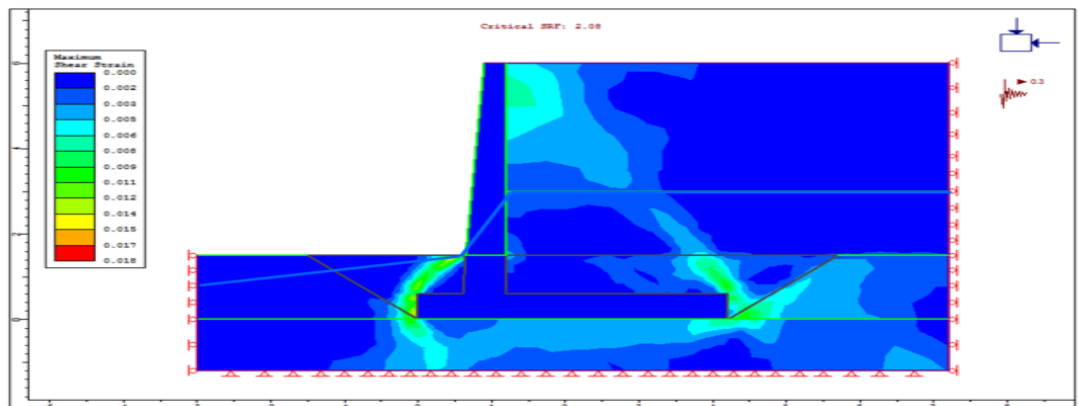
Según los resultados obtenidos por PLAXIS 2D el muro de contención presentó los siguientes desplazamientos mostrados en la Tabla 12 y la Figura 20.

Figura 19. Deformación de la malla en Phase 2 muro [6m]



Fuente: Phase 2

Figura 20. Desplazamiento total muro en Phase 2 [6m]



Fuente: Phase 2

Tabla 12. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [6m]

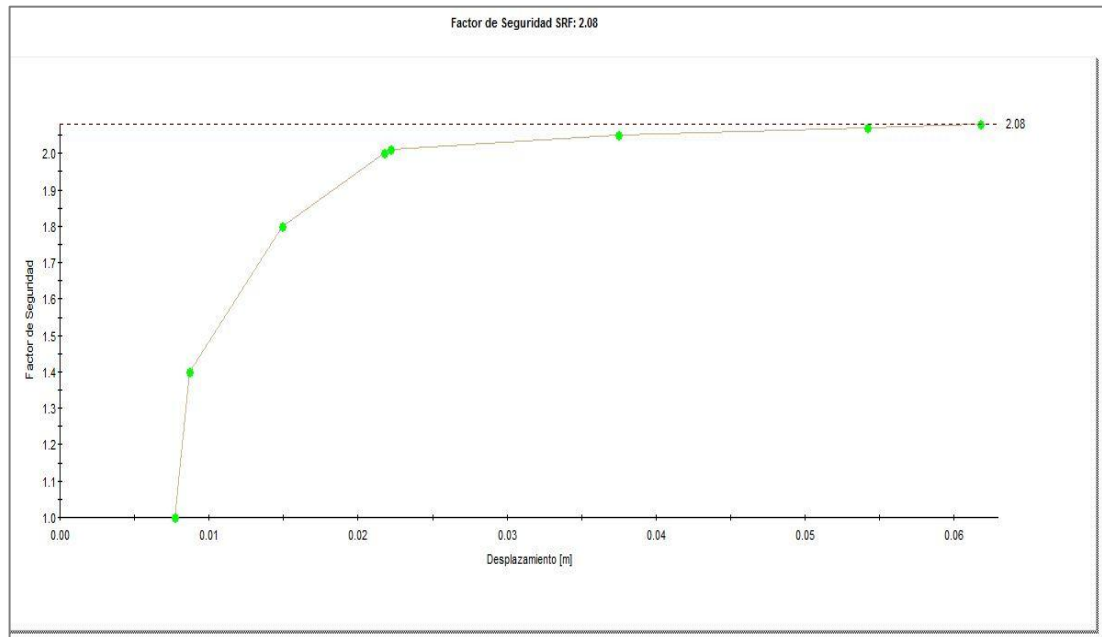
Punto	X [m]	Y [m]	u [m]
A	1,20	6,00	7,90E-03
B	1,20	0,60	3,20E-03
E	0,00	0,00	5,50E-03

Fuente: Phase 2

A partir del gráfico de la Figura 21 se obtiene el factor de seguridad, el cual corresponde a 2.08. Este es mayor al factor de seguridad mínimo requerido:

$$FS = 2,08 \geq 1.5$$

Figura 21. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Phase 2 muro [6m]



Fuente: Phase 2

Tabla 13. Desplazamientos de los puntos evaluados muro [8m]

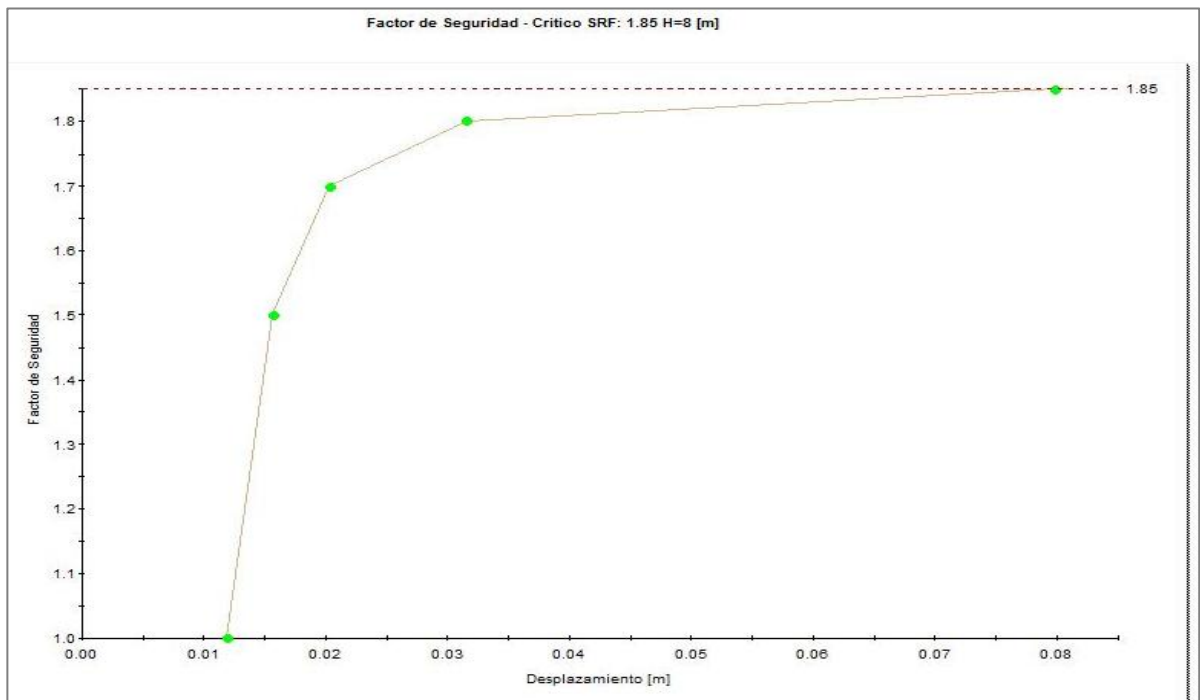
Punto	X [m]	Y [m]	u [m]
A	1,60	8,00	1,50E-02
B	1,60	0,80	1,00E-02
E	0,00	0,00	1,10E-02

Fuente: Phase 2

A partir del gráfico de la Figura 24 se obtiene el factor de seguridad, el cual corresponde a 1,85. Este es mayor al factor de seguridad mínimo requerido:

$$FS = 1,85 \geq 1.5$$

Figura 24. Gráfico de análisis de Factores de seguridad en Phase 2 muro [8m]

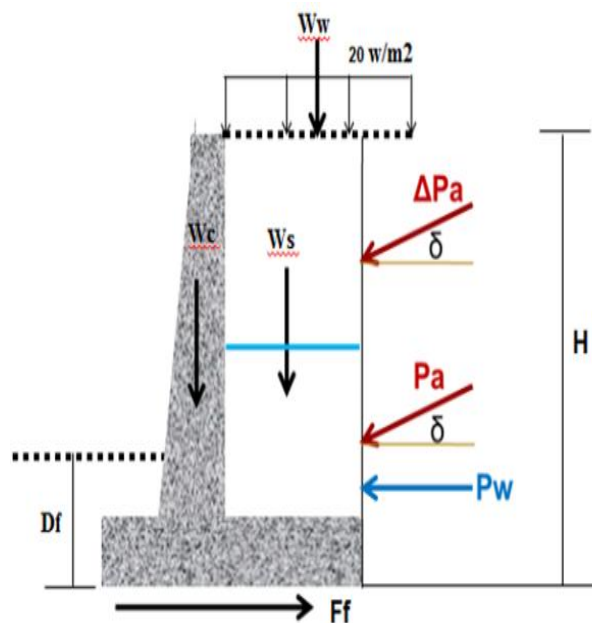


Fuente: Phase 2

4.3 RESULTADOS DE LA SOLUCIÓN TEÓRICA

A continuación se presentan los resultados obtenidos por el método de Mononobe – Okabe, además se evidencia la teoría de empuje de tierras de Coulomb, con la cual se hallan las fuerzas mostradas en la Figura 25 que actúan en el muro para así realizar el análisis de estabilidad.

Figura 25. Fuerzas que actúan en el muro



4.3.1. Mononobe – Okabe. Los muros se evaluaron por medio de dos alternativas, con sismo y sin sismo, utilizando los parámetros de la Tabla 14 en las ecuaciones (1-5)

El incremento de presión por sismo se halló con la ecuación (6) y será ubicado a una altura $0,6H$ desde la base del muro, con la misma dirección de P_a .

Tabla 14. Resumen de las presiones de los muros

MUROS DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO			
Método de Mononobe – Okabe			
Parámetros	H= 4m	H= 6m	H= 8m
ϕ_1	32	32	32
ϕ_2	35	35	35
B	0	0	0
A	90	90	90
Δ	17,5	17,5	17,5
θ'	16,70	16,70	16,70
Kv	0	0	0
Kh	0,3	0,3	0,3
Condición sin sismo			
Ka	0,265	0,265	0,265
Ka	0,236	0,236	0,236
Pa [KN/m ²]	9,41	45,47	100,05
Ya [m]	1	2,02	2,73
Condición con sismo			
Kae ϕ_1	0,469	0,469	0,469
Kae ϕ_2	0,423	0,423	0,423
Pae [KN/m ²]	33,95	111,66	222,18
Incremento de presión			
ΔPa [KN/m ²]	24,54	66,19	122,12
ΔY_{ae} [m]	2,4	3,6	4,8

4.3.2 Teoría de empujes de Coulomb. Para realizar el análisis de estabilidad utilizaremos la teoría de empuje de tierras de Coulomb, la cual está en función de la presión del suelo, la presión del agua, el peso del suelo y del muro.

En la Tabla 15 se observa los parámetros necesarios que se utilizaron para el cálculo de las fuerzas que actúan en el muro, estas se calcularon por medio de las presiones halladas anteriormente en la Tabla 14, teniendo en cuenta la dirección de cada una de ellas para su respectiva sumatoria.

Tabla 15. Fuerzas actuantes en los muros

MUROS DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO			
Teoría de Empuje De Rankine			
Parámetros	H= 4m	H= 6m	H= 8m
N.F	3	3	3
Pw	45	45	45
Yw	1	1	1
Fuerzas actuantes en el muro			
ΣFH	78,95	156,66	267,18
ΣFV	248,72	490,56	836,64

4.3.3 Cálculo de desplazamiento de los muro. El cálculo teórico del desplazamiento en el muro de contención se efectúa con base en la Tabla 1, la cual entrega para un suelo no cohesivo suelto de $0,004H$, y arrojó los resultados plasmados en la Tabla 16.

Tabla 16. Relación entre los movimientos del muro y los empujes

	Desplazamiento requerido para E. Activo	Desplazamiento requerido para E. Pasivo
Muro de H=4m	0,016 m	0,04 m
Muro de H=6m	0,024 m	0,06 m
Muro de H=8m	0,032 m	0,08 m

4.3.4 Análisis de Estabilidad. El análisis de estabilidad se basó en las ecuaciones (7-14), conservando los parámetros de la Tabla 17 y obteniendo los factores de seguridad para desplazamiento, volcamiento y cimentación.

Tabla 17. Factores de seguridad

MUROS DE CONTENCIÓN TIPO VOLADIZO			
Análisis de Estabilidad			
Parámetros	H= 4m	H= 6m	H= 8m
Deslizamiento			
φ_a	35	35	35
Ca	7,5	6	5
B [m]	2,8	4,2	5,6
Ff	195,16	368,69	613,82
F.S	2,47	2,35	2,30
Volcamiento			
ΣMR	401,39	1239,62	2810,70
ΣMV	113,31	375,37	905,03
F.S	3,54	3,30	3,11
Cimentación			
X	1.158	1,762	2,278
e	0,242	0,338	0,522
qadm	800	920	1030
q1 (+)	134,85	173,24	232,99
q2 (-)	42,81	60,36	65,81
Cumple	OK	OK	OK

5. CONCLUSIONES

1. Se realizó una comparación entre los desplazamientos y los factores de seguridad de presión del suelo activo, determinados por el método de Mononobe – Okabe y por método de elementos finitos (simulación pseudo-estática) por medio de los software comerciales PLAXIS 2D (versión 8.5) y PHASE 2 (versión 8.2), esto nos muestra lo cercano que se encuentran los valores arrojados por cada uno de los métodos.
2. Se pudo establecer que los softwares PLAXIS 2D y PHASE 2 ofrecen una buena interacción con el usuario, constituyendo una herramienta computacional muy útil, de fácil manejo y que proporciona resultados aproximados con la solución teórica.
3. Es de gran importancia para el campo de la ingeniería civil utilizar programas de elementos finitos, debido a que ellos en la desratización de sus elementos conservan las propiedades generales y con esto se puede hacer una predicción del comportamiento de la estructura.
4. Se interpretó que a medida que se aumenta la altura del muro de contención en voladizo, el empuje activo se eleva significativamente, por lo tanto los factores de seguridad disminuyen, en busca de satisfacer estos factores de deslizamiento y volcamiento, los muros fueron incrementando proporcionalmente sus dimensiones.
5. En los muros de contención tipo voladizo, los cuales reposan sobre un estrato de arena media limosa, se logró determinar los desplazamientos provocados por el empuje activo, los cuales no superan los 2[cm] en ninguno de los casos, y además, se calculó el factor de seguridad al deslizamiento y volcamiento, estos últimos fueron inversamente proporcionales a la altura de cada muro estudiado.

6. Se calculó el factor de seguridad a base de las tres situaciones con las cuales se realiza un análisis de estabilidad, para un nivel freático de 3[m]. Estas soluciones deben regirse según lo establecido en el numeral 2.4 del presente artículo, donde se informa que para las arenas el factor de seguridad debe ser mayor a 1,5 ante el deslizamiento, 3 ante la condición de volcamiento, estos señalamientos comparados con los resultados de la **Tabla 17**, se constató el cumplimiento de los requerimientos anteriormente mencionados.

7. En cuanto a los resultados de los factores de seguridad obtenidos mediante los softwares, se puede concluir que estos cumplen con los requerimientos de la NSR-10 en el título H, ilustradas en las **Figuras 2 y 3** de este artículo. Se observó que los resultados arrojados por los programas cumplen con los factores de seguridad directos e indirectos para condiciones pseudo-estática con agua subterránea normal y coeficiente sísmico horizontal de diseño, ya que todos los hallados por PLAXIS 2D y PHASE superan el valor mínimo de 1,5.

BIBLIOGRAFIA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS). *Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10)*. Bogotá D.C.: La Asociación, 2010. pp –H20
Fecha de Consulta: 5 de octubre de 2014.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS). *Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10)*. Bogotá D.C.: La Asociación, 2010. pp -H6.
Fecha de Consulta: 5 de octubre de 2014.

BADILLO, Juárez y Rodríguez, Rico. *Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos*. Tomo 2. 1990. Fecha de Consulta: 25 de septiembre de 2014.

BARROS, José. *Muros de Contención. Proyecto, cálculo y construcción*. Ediciones Ceac. Tomo 1. Lima Perú. 1980. Fecha de Consulta: 25 de septiembre de 2014.

BOWLES, Joseph. *Foundation analysis and design*. Mcgraw-HILL INTERNATIONAL editions; 1988. Fecha de Consulta: 1 de octubre de 2014.

CIGANA Juan P. *Tesis de grado en Ingeniería civil Modelación Numérica de estructuras de Contención Portuarias: Aplicación de muro de gravedad del Puerto de Buenos Aires*. Universidad UBA, Buenos Aires, pp3, Fecha consultada: 18 febrero 2014.

DAS Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 4ta ed. Capítulo Seis. Análisis de Estabilidad. México D.F: Internacional Thomson Editores, 2001, pág.392.

DEL TORO Wilfredo. *Presiones Laterales de Tierra*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009. Fundaciones I. Diapositivas de Clase.

DÍAZ, Yamyle. *Plaxis como herramienta de modelación para la solución de algunos problemas geotécnicos reales en la ciudad de Punta Arenas*. Universidad de Magallanes, Santiago de Chile, facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería en Construcción, pp 8, fecha de consulta: 3 de marzo de 2014.

GARCIA, Nelson. *Diseño sísmico de muros de contención en gravedad y voladizo*. Ocaña: REVISTA COLOMBIANA DE TÉCNOLOGÍA DE AVANZADA. [En línea] 2012.pág.2.http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_20/05112012/14.pdf.

ORDOÑEZ Alberto. *Muros de contención*. Programa Académico de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria-La Molina, Lima Perú. pp1. Fecha se consulta 16 febrero 2014.

PHASE 2. “Versión 8.2”.2004. Reference Manual.

PLAXIS 2D. “Versión 8.5”.2004. General Information

Rosciencie. <http://www.rosciencie.com/usage/uso/4/Retaining-Walls> [Consulta: 30-09-2014]

TORRES Rafael Ángel. *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*. Universidad de los Andes facultad de Ingeniería Mérida Venezuela. Caracas. pp 5, 2008. Fecha de consulta: 19 febrero 2014.

ANEXOS

ANEXO A. Análisis de Estabilidad 4m (Medio magnético)

ANEXO B. Análisis de Estabilidad 6m (Medio magnético)

ANEXO C. Análisis de Estabilidad 8m (Medio magnético)