

Análisis de la Interacción Suelo Estructura en Muros de Contención de Concreto Reforzado en Voladizo Sobre Suelos Arcillosos Colombianos

Barbosa Méndez Cristiam Alexis, Barbosa Méndez Jim Andersson, y, Terreros Arias Juan Camilo.

Universidad La Gran Colombia, Colombia, cristiamalexis.barbosa@ulagrancolombia.edu.co,
jimandersson.barbosa@ulagrancolombia.edu.co, juancamilo.terrerros@ulagrancolombia.edu.co

Mentor: Ing. Mateo Gutierrez Gonzalez, MSc Ingeniería - Estructuras
Universidad Nacional, Colombia, mateo.gutierrez@ugc.edu.co

Resumen– La interacción suelo-estructura es un proceso en el que la respuesta del suelo ante una carga dinámica influencia el movimiento de la estructura y esta a su vez influencia el movimiento del suelo. Este fenómeno solo se presenta en suelos blandos ya que en suelos rocosos pierde relevancia. El parámetro para determinar la interacción suelo estructura y conocer la rigidez del suelo comparada con la rigidez del muro en concreto en voladizo, se obtiene mediante el modulo Young en condiciones no drenadas a partir de correlaciones graficas obtenidas de relacionar el Índice de Plasticidad (IP), la Prueba de Consolidación (OCR) y la resistencia al corte no drenado. Para el diseño de muros de concreto reforzados en voladizo se debe tener en cuenta que para diseñar sobre suelos cohesivos los empujes aumentan cuando el suelo se encuentra saturado. En el diseño sísmico de las estructuras de contención se emplea el método pseudo-estático de gran aceptación a nivel mundial, sin embargo se ha encontrado que este método no brinda información sobre el comportamiento de la interacción suelo-estructura, razón por la cual se han desarrollado tecnologías y softwares que permiten el cálculo y la modelación de los comportamientos a los que se ve sometida esta interacción a través del uso de elementos finitos sólidos

Palabras Clave: Muros de Contención, suelo-estructura, cohesivo, elementos finitos, diseño sísmico, empujes dinámicos.

Abstract- Soil-structure interaction is a process in which the soil response to a dynamic load influence the movement of the structure and this in turn influences the motion of the ground. This phenomenon only occurs in soils and rocky soils that lose relevance. The interaction parameter for determining soil structure and soil stiffness know compared to the stiffness of cantilever concrete wall is given by the Young's modulus undrained conditions from correlations graphs relating the Plasticity Index (PI) , Consolidation Test (OCR) and undrained shear strength. For the design of reinforced concrete walls cantilever should be noted that for designing on cohesive soils thrusts increase when the soil is saturated. In the seismic design of retaining structures the pseudo-static method large aceptacióna worldwide is used, however it has been found that this method does not provide information on the behavior of the interaction soil-structure, why have developed and software technologies that enable the calculation and modeling of behaviors that is subjected this interaction through the use of finite element solid.

Keywords: Retaining Walls, soil -structure, cohesive, finite elements, seismic design, dynamic thrusts.

I. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que geográficamente presenta características particulares con respecto a otros países, gran parte del territorio está atravesada por la cordillera de los Andes, la cual se ramifica en la cordillera oriental, central y occidental, este sistema montañoso es uno de los más jóvenes que existe en el continente Americano y se caracteriza por presentar diferentes tipos de suelos y pocos sistemas rocosos consolidados [1]. Adicional a esto, el país se encuentra dentro de una zona de subducción conocida como el cinturón de fuego del pacifico donde colindan las placas tectónicas Sudamericana, Nazca, Cocos y Caribe, caracterizadas por una alta actividad sísmica [1]. En términos climáticos, presenta altos índices de precipitación lo que genera una zona geotécnicamente inestable [2].

Realizar proyectos de infraestructura bajo las condiciones ya mencionadas genera la necesidad de diseñar estructuras de contención que permitan contrarrestar los fenómenos de remoción en masa y los empujes que genera el suelo a la estructura minimizando así el riesgo de accidentes y daños a la población civil. Sin embargo, para la realización de las estructuras de contención es indispensable conocer los empujes reales que son superiores a los empujes activos o de reposo calculados por los sistemas tradicionales de Rankine o de Coulomb [3], pues dependen de muchos factores que deberían ser analizados en conjunto por el ingeniero estructural y el ingeniero geotecnista, como son: el mínimo desplazamiento o rotación que puede tener el muro, el tipo y grado de compactación que debe tener el material de relleno , el efecto de la sobrecarga, el efecto de saturación del relleno, la fuerza de fricción en el muro y especialmente el efecto de las fuerzas sísmicas, situación que debe manejarse cuidadosamente al momento de realizar un análisis de interacción suelo-estructura.

La interacción suelo-estructura es un proceso en el que la respuesta del suelo ante una carga dinámica influencia el

movimiento de la estructura y la respuesta de esta influencia el movimiento del suelo. Este fenómeno solo se presenta en suelos, ya que en sistemas rocosos la interacción suelo-estructura pierde relevancia, pues en estos casos, ante la presencia de cargas dinámicas, el efecto es similar al producido en ausencia de la estructura de contención lo que se denomina como campo libre [4].

El presente artículo se realiza con el fin de hacer una revisión del estado del arte sobre el fenómeno de la interacción suelo estructuras en muros de contención en voladizo, con el propósito de conocer los parámetros y métodos existentes para llevar a cabo este análisis.

II. PARAMETROS A OBTENER DEL SUELO COHESIVO PARA EL ESTUDIO INTERACCION SUELO ESTRUCTURA

El suelo en general es el sustrato físico al que se le deben realizar muestreos, pruebas, ensayos y laboratorios para obtener una caracterización adecuada según el tipo de proyecto a ejecutar. Existen condiciones generales para todos los proyectos como por ejemplo el uso de perfiles estratigráficos y propiedades índice (humedad, límites, granulometría entre otras). [1]

En Colombia existe gran variedad de suelos, como lo son: Andisoles, Arisoles, Entisoles, Molisoles, Oxisoles, Utilisoles [5]. Pese a esta diversificación existente, estos suelos comparten varias características, la primera es que son suelos jóvenes, la segunda es que están parcial o totalmente saturados y la tercera es que independiente de la variedad de clima a la que están expuestos son suelos inestables donde una estructura de tamaño medio no podría estar construida sin una adecuada cimentación. Para el caso de los muros de contención la interacción entre los diferentes tipos de suelo y la estructura se convierte en un punto crítico, pues son suelos blandos que al entrar en contacto con carga dinámica y tener una rigidez mucho menor que el de la estructura de contención genera el fenómeno de interacción suelo estructura [4].

Lo suelos arcillosos son formados por silicato de aluminio hidratado generalmente de color amarillo, son suaves, pegajosos y son depósitos excelentes de agua pero de baja permeabilidad. Las partículas de arcilla tienen diámetros menores de 0,002 mm y forman una masa viscosa cuando se mojan. En el país se encuentran generalmente en los estratos superficiales. [6]

El módulo de Young es el parámetro clave para la modelación de la interacción suelo estructura. En depósitos arcillosos los métodos para calcular el módulo de Young determinado en condiciones no drenadas (Eu) tiene diferentes métodos, siendo uno de los más utilizados el ensayo triaxial ejecutado sobre muestras saturadas con drenaje impedido [8].

Puede observarse en la Figura 1 que el comportamiento del suelo no es completamente lineal y por lo tanto, el módulo de Young (Eu) será diferente en función nivel de esfuerzos considerado. Así por ejemplo, puede definirse un módulo (Eu) para un tercio del esfuerzo de falla, el cual resulta compatible con el uso de un coeficiente de seguridad igual a tres, valor comúnmente utilizado para el cálculo de esfuerzos admisibles. Son numerosos los factores que deben considerarse cuando se pretende determinar el módulo de Young no drenado (Eu), tal vez el de mayor importancia es el grado de alteración que pudo sufrir el suelo durante el proceso de muestreo y manipulación. Sin embargo, se ha observado que para muestras poco alteradas, la relación ensayo triaxial en condiciones no drenadas/ ensayo de corte directo en condiciones no drenadas (Eu/Su) permanece aproximadamente constante comparada con la de muestras inalteradas. Por otro lado, para evitar el efecto de la perturbación de las muestras el valor de (Su) puede ser determinado a través de diferentes ensayos de campo (paleta, penetración cónica, presiómetro, entre otros.) [10].

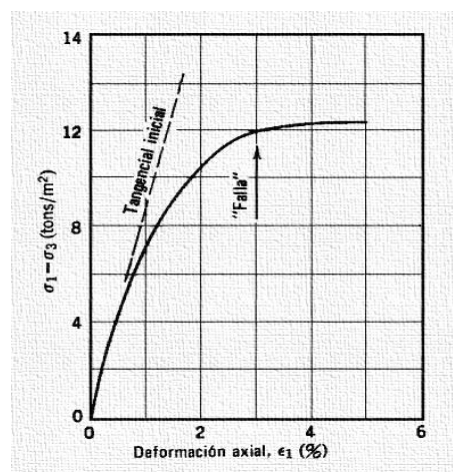


Figura 1. Curva de tensión- deformación típica de un ensayo de triaxial UU. LAMBE y WHITMAN (1993)

Considerando lo anterior, numerosos autores han sugerido establecer un valor para la relación (Eu/Su) del suelo en cuestión y mediante ensayos de campo determinar la resistencia al corte no drenada (Su). Finalmente, a partir de ambos valores (Eu/Su y Su) puede estimarse el módulo no drenado (Eu) correspondiente al suelo inalterado. Las correlaciones (Eu/Su) sugeridas por la literatura internacional, están en función del Índice de Plasticidad (IP) y de la historia de esfuerzos del suelo a través de la razón de pre consolidación (OCR). Esta última es la relación entre la máxima presión efectiva (p'_c) a que alguna vez estuvo sometido el suelo y la presión efectiva actual (s'_{vo}). El procedimiento más usual para determinar OCR es mediante el ensayo de consolidación, aunque también existen correlaciones que permiten estimarlo a partir de la resistencia al corte no drenada (Su), la presión efectiva actual (s'_{vo}) y el índice de plasticidad (IP) como se indica en la Figura 2.

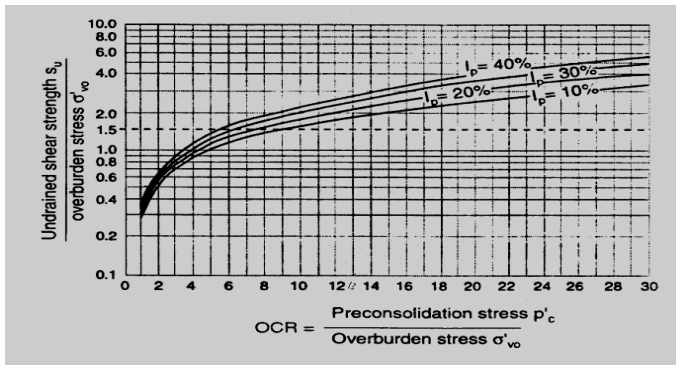


Fig. 2 Correlación entre OCR, S_u/s'_{vo} e IP
Andressen Et.Al (1979) Y Broker Et.Al (1965).

Una vez determinados IP y OCR, existen numerosas correlaciones para estimar el valor de (E_u/S_u) , aunque probablemente la más aceptada sea la indicada en la Figura 3, donde (E_u) es el módulo de elasticidad secante correspondiente a un 25 % de la tensión de ruptura del suelo.

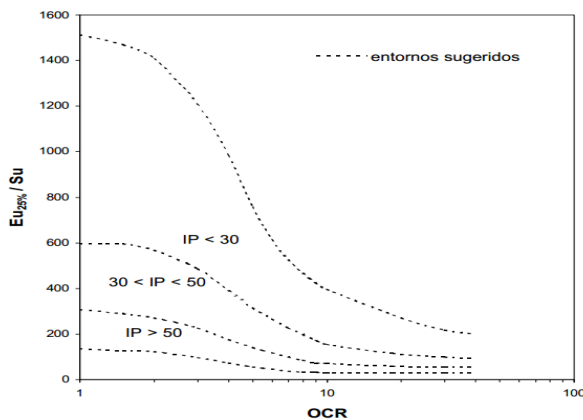


Fig. 3 Relacion (E_u/S_u) en funcion de OCR e IP
Duncan y Bunchignani (1976)

III. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

Son elementos estructurales diseñados con el propósito de soportar fuerzas laterales ejercidas por un terreno natural o de relleno. Estos pueden ser complementados con otros sistemas como anclajes, puntales o placas de piso con el fin de aumentar su rigidez y resistencia a los empujes actuantes del suelo que también generan fuerzas resistentes, generando un mecanismo de transferencia en donde hay una relación entre suelo estructura [16].

Los muros en voladizo o empotrados son estructuras rígidas contención que funcionan por la acción de su peso y actúan como un masa concentrada que sirve para la contención de una masa inestable, estos soportan cargas laterales generadas por la tendencia que tienen los suelos a moverse y generar deslizamientos. Estos elementos de contención son eficientes en el momento de estabilizar deslizamientos pequeños donde

el movimiento del terreno no genere sobre cargas que lleven a la estructura a su falla esto es debido a que el suelo al momento del deslizamiento solo posee su resistencia residual [16].

Existen diferentes tipos de muros de contención en concreto reforzados, el empleo de cada uno depende de las características morfológicas del terreno y calidad del suelo de cimentación en el que se encuentre además de criterio del ingeniero a cargo de la obra [17].

En base a los criterios del ingeniero Jaime Suarez Díaz [3], dichos elementos estructurales tiene unos factores de diseño generales con el fin de garantizar su óptimo funcionamiento, estos son:

- Garantizar la estabilidad intrínseca del muro para evitar volcamiento o deslizamiento sobre el suelo de cimentación.
- Evaluar la estabilidad general del talud, incluyendo las posibles fallas que se generen por debajo de la cimentación del muro.
- Diseñar las secciones y refuerzos utilizando criterios estructurales, con el fin que soporten esfuerzos de flexión y de cortante tanto en la cimentación como a lo largo de la estructura del muro.
- El peso de la masa de suelo sobre el cimiento se debe considerar como parte integral del muro para el cálculo de las fuerzas.
- La fricción entre el suelo- estructura en la parte posterior de este no se debe tener en cuenta en deslizamientos debido a que no existe desplazamientos en este plano. Se considera que el suelo se desliza con el muro.
- Un muro en concreto reforzado es viable para alturas de hasta 8 metros, pero en caso de presentarse un terreno con suelos arcillosos no es recomendable alturas tan pronunciadas.
- La pendiente de la pared de se le debe asignar una inclinación ligera, se recomienda una pendiente de 1 en 50 con el fin de evitar la sensación visual de inclinación en el muro.
- La elaboración de un sistema de drenaje en la parte vertical posterior del muro, así la masa de suelo que esta soportada sea de características permeables.
- La elaboración de juntas estructurales para evitar fisuras debido a los cambios de temperatura, la distancia de diseño recomendada no debe ser mayor a los 10 metros a lo largo del muro en la estabilización de deslizamientos, en suelos con características más estables puede ser hasta de 20 metros de distancia.

En la interacción suelo-estructura, se pueden generar deformaciones prácticamente nulas, hasta desplazamientos que

permiten que el suelo falle por corte. Si el muro de contención llega a ceder, el suelo que contiene produce una expansión horizontal originando esfuerzos cortantes en este, lo que genera una disminución en la presión lateral, esto conllevaría a una aproximación al valor límite inferior, o también conocido como empuje activo del suelo, por lo contrario si el muro empuja en la misma dirección horizontal pero esta vez contra el suelo o material de relleno, las tierras comprimidas originan un aumento de su resistencia hasta alcanzar su valor límite superior, conocido también como empuje pasivo del suelo, pero en el momento en que el muro de contención tiene una rigidez muy alta que no permita el desplazamiento de ninguno de los dos elementos ya sea suelo-estructura o estructura-suelo, generara un estado intermedio llamado empuje de reposo. [15] Para el diseño de muros en concreto reforzado en suelos arcillosos, se tiene que tener en cuenta que estos suelos poseen una apreciable cohesión, además que dichos suelos en estado seco son capaces de mantener taludes casi verticales y no generan presión sobre las paredes que lo contienen, pero en caso de que estos suelos presenten un estado de saturación, pierden la mayor parte de su cohesión, actuando como un fluido originando un empuje que requiera construir un muro que resista la presión de un líquido pesado, obligándolo a resistir mayores cargas que las que puede llegar a ejercerle un relleno no cohesivo. [15]

IV. INTERACCIÓN – SUELO ESTRUCTURA

La interacción suelo-estructura puede definirse como un proceso en que la respuesta del suelo influencia el movimiento de la estructura y su respuesta influencia el movimiento del suelo. Para que exista este tipo de interacción es necesario someter a carga dinámica el conjunto de suelo-estructura. Una de las cargas dinámicas más importantes a considerar es la de los sismos, esta genera ondas sísmicas que pueden provocar diferentes daños según el tipo de estructuras, por ejemplo en los muros de contención generan empujes y volcamiento. Para el caso de suelos blandos los sismos pueden producir licuación despegues y deslizamientos, y en caso de suelos rocosos o roca los efectos son mínimos salvo algunas excepciones. [4]

Las estructuras de contención como los muros independientemente de su tipo se usan generalmente en zonas sísmicamente activas, y como es de suponerse un sismo produce deformaciones permanentes e irreversibles, y en el peor de los casos puede llegar a dejar víctimas mortales al dañar, deteriorar, o destruir alguna de estas estructuras pues estas se encuentran en medio de las vías de transporte terrestre, en presas u obras hidráulicas. [6].

Para el caso de estructuras de contención cimentadas sobre roca los fenómenos de interacción suelo-estructura pierden relevancia pues el movimiento inducido por el sismo es similar al producido por el sismo en ausencia de la estructura, lo que se denomina movimiento en campo libre; en suelo blando las condiciones son totalmente diferentes, ya que ocurren tres

efectos importantes: La frecuencia natural del sistema es más baja que en la estructura empotradas en rocas, el amortiguamiento del sistema es mayor que el de la estructura sola y por último los movimientos son mayores que en el caso de la estructura empotrada en roca [4].

La manera más sencilla de explicar la diferencia entre la interacción suelo estructura en roca y suelo es a través de la propagación de las ondas, pues la estructura del suelo rocoso es similar a la de la estructura de contención que podría reposar en este, respecto a su rigidez y la manera en la que las ondas de corte y volumen viajan a través de estas con frecuencia y longitudes de onda similares con lo que se puede llegar a pensar que a pesar de ser estructuras de diferente conformación trabajan como un solo sistema sin que se genere en la mayoría de los casos ninguna de las tres condiciones ya mencionadas, para el caso contrario el efecto aumenta de manera proporcional ante suelos flexibles y estructuras rígidas, lo que genera que frecuencia y longitud de onda al pasar de suelo a estructura generen volcamientos, empujes, deslizamientos, deformaciones permanentes o daños menores presentándose las condiciones ya mencionadas para la interacción.

El estudio del comportamiento sísmico también es esencial para el diseño seguro de muros de contención en zonas sísmicas, ya que son ampliamente utilizados como sistemas de retención del suelo de soporte para laderas adyacentes a las carreteras y zonas residenciales [18]. Las cargas laterales dinámicas que se generan detrás del muro producto de los sismos incrementan las presiones horizontales en éste, induciendo excesivos desplazamientos y sobre carga en sus refuerzos, generándose daños y/o el colapso de la estructura [19].

La figura 4, muestra los daños a los que pueden verse sometidos las estructuras de contención por la acción de cargas dinámicas.



Fig. 4 Daños en Muros de Contención
Álvarez (2000)

Los métodos disponibles para las aplicaciones de diseño sísmico en muros de contención pueden ser clasificados en tres categorías: (1) análisis de equilibrio límite; (2) los métodos de desplazamiento; y (3) métodos de interacción suelo- estructura [20]. En el análisis de equilibrio límite los movimientos relativos del muro y el material de relleno son suficientemente grande como para inducir una falla en forma de cuña detrás del muro bajo una carga Pseudo – Estática, de gran aceptación en los códigos por ejemplo, el ATC, EC-8. En los métodos de desplazamiento, el muro es esencialmente rígido y el movimiento de la tierra es de baja intensidad, por lo que se presumen bloques de desplazamiento y con ellos se estiman los desplazamientos máximos por la carga sísmica que responden dentro del rango elástico [21], [18]. Por definición, las soluciones elásticas no consideran el verdadero comportamiento de histéresis no lineal del suelo, y no son aplicables a los muros que se pueden deslizar [18]. El suelo se comporta como un elemento no lineal, material de histéresis, donde es aplicable el método de elementos finitos o el método analítico que se emplean para el análisis del sistema suelo- estructura [18]. Los métodos basados en equilibrio límite y desplazamientos permitidos son de gran utilidad en el diseño sísmico de estructuras de retención de tierras, pero no son capaces de predecir el mecanismo de falla por rotación y desplazamiento laterales con un grado aceptable de precisión [21].

A. Métodos de Análisis de la Interacción Suelo Estructura

Antes de conocer cada uno de los métodos de análisis de la interacción suelo- estructura es indispensable conocer los parámetros básicos a tener en cuenta para este análisis, entre los que se destacan: la altura de la pared, ancho del relleno, la rigidez de refuerzo, la longitud de refuerzo, ángulo de fricción interno del materia de relleno, el estado de sujeción de la base del muro y la intensidad del movimiento del suelo, caracterizadas por la aceleración máxima del terreno, la aceleración se incluye en los estudio como un parámetro adicional [19]. Los parámetros geotécnicos que se requieren para este tipo de modelación son: cohesión efectiva (c), ángulo efectivo de fricción en la fuerza pico, ángulo de dilatación para suelo granulares, la relación de Poisson para la descarga-recarga (el valor por defecto es 0.2), el coeficiente de empuje en reposo (para arenas consolidadas, $1 - \sin \phi$), La relación de falla (el valor por defecto es 0.9), modulo secante para la presión de confinamiento de referencia, módulo de Young para la condiciones descarga-recarga, en la presión de confinamiento de referencia, Modulo de corte dinámico, valor de deformación del cortante al 70% , Tangente edométricas del módulo a la presión de referencia [21]

B. Método de los elementos finitos (FEM):

En este método el fenómeno de interacción se simula para analizar el comportamiento dinámico del muro de contención sometido a diferentes movimientos de tierra. Para simplificar

el análisis de la estructura, los problemas tridimensionales son a menudo modelados teniendo en cuenta una porción bidimensional con las mismas propiedades de los materiales como se observa en la figura 5.

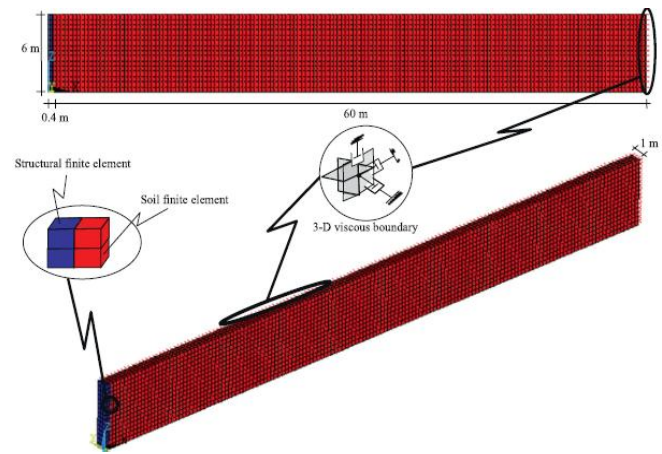


Fig. 5 Modelación por FEM Sistema muro en voladizo. Cakir (2012)

Este supuesto, aunque es conveniente, es peligroso por las siguientes razones. En primer lugar, la emisión específica de amortiguación por área de contacto de la unidad calculada para el caso bidimensional sobreestima el caso tridimensional real de frecuencias finitas. En segundo lugar, el área de contacto de un modelo de dos dimensiones razonablemente seleccionado será más grande que la del caso tridimensional que aumentará aún más la emisión de amortiguación y por tal razón no se tendría una rigidez dinámica y amortiguación en un rango de frecuencia razonable. Por lo tanto, el modelado tridimensional del sistema de interacción se recomienda para una longitud de muro de un metro de ancho [18].

En el modelado de elementos finitos, el muro estructural es modelado con elementos sólidos definidos por ocho nodos que tienen tres grados de libertad en cada nodo. El estrato de suelo también se modela con elementos sólidos con ocho nodos que tiene tres grados de libertad en cada nodo: movimiento en los nodos x , y , z . En cuanto a la interfaz muros-relleno, se establece una suposición de unión completa contemplada en el estudio de Veletsos y Younan. La principal ventaja del método de FEM en el análisis de un problema de interacción suelo-estructura es que puede acomodar fácilmente de heterogeneidad en el medio del suelo o de la estructura y de la no linealidad en los materiales, así como en la geometría. [18].

C. Método Analítico:

Esta método consiste en modelos físicos simples (amortiguador de masas, cono truncado y onda patrón) que proporcionan algunas ventajas atractivas como la visión física, la claridad conceptual, la relativa facilidad de construcción y el bajo esfuerzo computacional que pueden conducir a modelaciones suficientemente exactas en ingeniería, pues

simplifica múltiples grados de libertad a un número reducido de grados (ver figura 6).

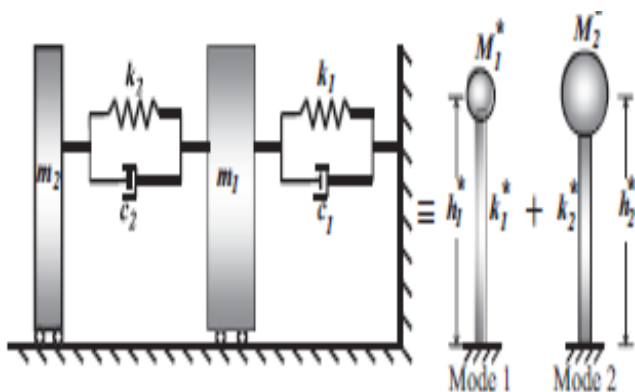


Fig. 6 Modelo Analítico de Muros de Contención
Cakir (2012)

Estos métodos son usados para evaluar el grado de precisión del FEM y en otras como herramienta para el análisis dinámico de las estructuras por costo y simplicidad del diseño [18].

V. CONCLUSIONES

- Colombia es una zona geotécnicamente inestable, por lo tanto los estudios de interacción suelo-estructura deberían tener una gran relevancia para el diseño y construcción de obras de contención que se desarrollan en las zonas más vulnerables ante amenaza sísmica y con formaciones de suelo arcilloso.
- El parámetro más importante de los suelos cohesivos para el estudio de la interacción suelo-estructura es el módulo de Young en condiciones no drenadas el cual se puede obtener a partir de ensayos de consolidación (OCR), cálculo de índice de plasticidad (IP), y la resistencia al corte no drenado trabajándolo en correlaciones establecidas y aceptadas por la normativa internacional.
- Debido a su diseño estructural, los muros de contención en concreto reforzado por su forma de construcción y material, son elementos que funcionan por gravedad, además de esto por el empotramiento que presenta en su base con el suelo de cimentación, el cual le otorga una rigidez mayor que le permite

soportar las fuerzas que interactúan con el contacto de suelo-estructura sin sufrir mayores deformaciones.

- Aunque los muros de contención en concreto reforzado poseen una alta rigidez que le permite soportar los empujes de una masa de suelo, a veces se presentan casos en los cuales estos empujes son muy elevados lo que conlleva a que se le instalen elementos estructurales (ya mencionados en el numeral III: muros de contención), que le permitan aumentar su rigidez y así las posibles deformaciones que pueda sufrir el cuerpo de la estructura sean casi nulas.
- Los análisis por el método de los elementos finitos han empezado a tomar fuerza, gracias a las nuevas tecnologías de computación, que permiten realizar complejos cálculos matemáticos y modelaciones, facilitando de esta manera el estudio en detalle de la interacción suelo – estructura en los diseños sísmicos evaluando con antelación los desplazamientos y futuras fallas que puede presentar un muro sujeto a movimientos sísmicos dependiendo de las zonas de estudio y colocación de este tipo de estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo de revisión es el resultado de la dedicación y trabajo en equipo.

Agradecemos a Dios por la vida y por permitirnos llegar a la cima de nuestros sueños. A la Universidad la Gran Colombia nuestra Alma Mater, a la oficina de relaciones internacionales (ORI) y al Tecnológico de Monterrey Campus Chihuahua por permitirnos vivir una experiencia académica tan enriquecedora como la vivida en el seminario internacional de Geotecnia Aplicada a Obras de infraestructura, a nuestros asesores y en especial al Ingeniero Mateo Gutiérrez por la paciencia y sus aportes para el buen término de este artículo. A nuestros padres y todas las personas que confiaron en nosotros y nos apoyaron de una u otra manera.

REFERENCIAS

- [1] Malagon Castro, Dimas. Los suelos de Colombia (2005, 17 de marzo). Bogotá: sociedad de geografía colombiana. Disponible en: <http://www.sogeocol.edu.co/documentos/05loss.pdf>. 2015, 04 de enero.

[2] IDEAM. Generación de Información sobre clima y precipitación (2011, 9 de mayo). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible en: http://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/7/43997/IDEAM_generacion_clima-precipitacion.pdf. 2015, 20 de enero.

[3] Suárez Díaz, J. (09 de MARZO de 2012). Estructuras de Contención. *178-2estructurasdecontencion*. BOGOTA, COLOMBIA.

[4] Jurado, C. (2012, ABRIL) problemas de la interacción suelo-estructura en cimentaciones y muros de contención influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento. Tesis Doctoral en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

[5] Castilla, C., Gutierrez, A., Ramirez L. (2010, Septiembre) Taller Latinoamericano Global Soil Map.Net. Atlas De Suelos Lac, Corpoica, Rio De Janeiro.

[6] GARZA V.L., Aplicación de Interacción Suelo Estructura Estática, II Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, 1993.

[7] Sánchez, D. (2012, Abril). Patologías Comunes Sobre Muros De Contención. Revista Noticreto, 1 (111) 40-45.

[8] Sotelo, R. Bosch, D.(2010) Determinación del módulo de elasticidad no drenado en arcillas saturadas de la región oriental del chaco, Centro de geociencias aplicadas Facultad de ingenierías UNNE

[9] LAMBE, T; WHITMAN, R. (1993). Mecánica de Suelos. Editorial Limusa.

[10] Simons, N; Menzies, B. (1977). Introdução a Engenharia de Fundações. Editorial Interciência.

[11] Duncan, J; Buchignani. (1976). An Engineering Manual for Settlement Studies. Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.

[12] Andresen, A; Berre, T; Kleven, A; Lunne, T.(1979). Procedures used to obtain soil parameters for foundation engineering in the North Sea. Marine Geotechnology 3.

[13] Torres, Belandria, R. (2008) Analisis Y Diseño De Muros De Contencion En Concreto Armado, Merida, Venezuela: Fondonorma-Milco

[14] Muros de Contención (2002, 07 de Mayo). Base de Datos. Castilla: Universidad de Castilla - la Mancha. Disponible En: Http://Www.Uclm.Es/Area/Ing_Rural/Hormigon/Temas/Muros2011.Pdf

[15] Belandria, R. A. (2008). *Análisis y Diseñode Muros de Contencion de Concreto Armado*. Disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rafaeltorres/publicaciones//texto%201Muros%20Contenci%F3n-2008-RT.pdf>

[16] Cruz, E. R. (2005). Consideraciones geotecnicas sobre análisis de excavaciones soportadas. *Primer taller de Geotecnia*. Bogota.

[17] Diaz, J. S. (2012). Deslizamientos: tecnicas de remedicion.

[18] Cakir, T. (2012). Evaluation of the effect of earthquake frequency content on seismic behavior of cantilever retaining wall including soil-

structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*; base de datos ScienceDirect., 96-111.

[19] Hatami, K., & Bathurst, R. (2000). Effect of structural design on fundamental frequency of reinforced-soil retaining walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 19. Base de Datos Science Direct, 137-157

[20] Huebei, L., Guangqing, Y., & Hoe, I. L. (2014). Seismic response of multi-tiered reinforced soil retaining walls. *Soil DynamicsandEarthquakeEngineering*, 1-12.

[21] Qijian, L., Yuxiang, T., & Fangjun, D. (2014). Dynamic analysis of flexible cantilever wall retaining elastic soil by a modified Vlasov–Leontiev model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* Base de datos Science Direct, 217-225.

[22] Tiznado, J., & Rodriguez Roa, F. (2010). Seismic lateral movement prediction for gravity retaining walls on granular soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* Base de Datos ScienceDirect, 391 -400.

[23] Alvarez, J. M. (2000). Limitaciones Conceptuales en la evaluacion de esfuerzos laterales para el Dimensionamiento de estructuras de contencion. Escuela de Ingenieros. [En línea]. Disponible http://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/estructuras_contencion/02_jose_manuel_alvarez.pdf.