



Contenido

Contenido de figuras.....	3
Contenido de tablas	5
1. Resumen.....	6
2. Introducción	8
3. Marco de referencia.....	11
3.1 Estado del arte y antecedentes	11
3.2 Marco teórico	15
3.2.1. Generalidades	15
3.2.2. Clasificación descriptiva de los suelos:	15
3.2.3. Sistema clasificado unificado de los suelos.....	16
3.2.4. Cimentación.....	18
3.2.5. Cimentación con pilotes	18
3.2.6. Cálculo del coeficiente de balasto	21
3.2.7. Consistencia de las arcillas	24
3.2.8. Compacidad de las arenas.....	25
3.2.9. Asentamientos	25
3.3. Formulación del método de elemento finito (Torres A.I.C, 2006) método de los desplazamientos virtuales	28
3.4.1. Criterios de convergencia.	31
3.4. Softwares	32
3.5.1. Software etabs (ETABS, 2003).	32
3.5.2. Software CSI SAFE (Safe, 2004).	32
3. Objetivo.....	34
3.2 Objetivo general.....	34
3.3 Objetivos específicos	34
3.4 Alcance	35
4. Metodología	36
4.2 Formulación de hipótesis	36
4.3 Procedimiento	36
I. Recopilación secundaria (bibliográfica).	37
II. Recopilación del proyecto.	37



III.	Caracterización geotécnica del subsuelo.....	37
IV.	Aprendizaje del software:.....	42
V.	Análisis.....	42
5.	Resultados y discusión	51
5.2	Caracterización geotécnica del suelo	51
5.3	Descripción de la estructura.....	54
8.1	Análisis y comparación de resultados obtenidos de acuerdo a las modelaciones realizadas	58
8.2	Análisis y comparación de resultados obtenidos con resultados de estudios anteriores	67
6.	Conclusión.....	68
7.	Recomendación	70
8.	Anexos.....	71
9.	Referencias bibliográficas	118



Contenido de figuras

Figura 1. Gradación de suelos. (AICO LTDA, 2013).....	16
Figura 2. Proporciones relativa de suelos. (AICO LTDA, 2013).	16
Figura 3. Cuadro de plasticidad de Casagrande (Covo T.A.I, 2008).	18
Figura 4. Coeficiente de variación del balasto lateral, (Naval Facilities Engineering Command, 1986).	23
Figura 5. Criterios utilizados para calcular el asentamiento de un grupo de Pilotes (Covo T.A.I, 2008).	26
Figura 6. Imagen del lugar donde se ubicara el edificio.....	35
Figura 7: Recomendación cimentación superficial (AICO LTDA, 2013).	38
Figura 8: Recomendación cimentación profunda (AICO LTDA, 2013). ilustrada por autor.	39
Figura 9: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°1, (AICO LTDA, 2013).	39
Figura 10: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°2, (AICO LTDA, 2013).....	40
Figura 11: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°3, (AICO LTDA, 2013).....	40
Figura 12: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°4, (AICO LTDA, 2013).....	41
Figura 13: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n° 5, (AICO LTDA, 2013)	41
Figura 14; Imagen de modelación de la cimentación del edificio a estudiar (etabs) ...	43
Figura 15 ; Imagen de modelación de la Cimentación del edificio a estudiar (Safe). ..	44
Figura 16 ; División de la cimentación en elementos finitos, utilizando la opción show mesh (Safe 2014).	44
Figura 17; Asignación de las propiedades de los materiales (Safe 2014)	45
Figura 18; Asignación de las características de la losa (Safe 2014).	45
Figura 19; Asignación de cargas de diseño sísmico para la cimentación sobre pilotes (SAFE 2014).	46
Figura 20; Asignación de combinación 1, en la aplicación de sismo del diseño (safe2014).....	47
Figura 21; ilustración sobre los coeficientes del resorte del suelo en la cimentación sobre pilotes (SAFE2014).....	48
Figura 22; ilustración sobre los cambios en los valores de los resortes lineales para pilotes con diferentes longitudes y un diámetro de 60 cm, (SAFE2014).....	49
Figura 23; ilustración sobre los coeficientes de balasto para un esfuerzo admisible de 1,10 ton/cm ² del suelo en la cimentación sobre pilotes (SAFE2014),.....	50
Figura 24. Sondeos 1, 2, 3,5 en el lugar de estudio (AICO LTDA, 2013).....	51
Figura 25. Perfil estratigráfico típico del subsuelo del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013),	54



Figura 26. <i>Ilustración de Modelo con propiedades del suelo modificadas.</i>	55
Figura 27. <i>Ilustracion de modelo con modificación en longitud de pilotes</i>	56
Figura 28. <i>Ilustracion de modelo de cimentación final.</i>	57
Figura 29. <i>Comparación de las presiones máximas del suelo de los modelos generados bajo las condiciones de carga impuestas</i>	58
Figura 30. <i>Comparación de las presiones minimas del suelo de los modelos generados bajo las condiciones de carga impuestas.</i>	58
Figura 31. <i>Comparación de las presiones superficiales del suelo en los paneles bajo las condiciones de cargas impuestas.</i>	59
Figura 32. <i>Comparación de las presiones superficiales del suelo en los paneles bajo las condiciones de cargas impuestas</i>	59
Figura 33. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Deflex).</i>	60
Figura 34. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon1).</i>	60
Figura 35. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon2).</i>	61
Figura 36. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 3).</i>	61
Figura 37. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 4).</i>	62
Figura 38. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon5).</i>	62
Figura 39. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon10).</i>	63
Figura 40. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon11).</i>	63
Figura 41. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon12).</i>	64
Figura 42. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 13).</i>	64
Figura 43. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 14).</i>	65
Figura 44. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (carcimx).</i>	65
Figura 45. <i>Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (carcimy).</i>	66
Figura 46. <i>Comparación de los asentamientos en las modelaciones realizadas, ilustrando las diferentes combinaciones de cargas respectivas.</i>	66



Contenido de tablas

Tabla 1. Clasificación de suelos (ASTM 2487-90).....	17
Tabla 2. Factores de capacidad de carga de terzaghi, (Terzaghi 1943).....	22
Tabla 3. Coeficiente de balasto lateral (The overseas coastal Areadevelopment institute of japon, 2002).....	23
Tabla 4. Coeficiente de balasto lateral (The overseas coastal Areadevelopment institute of japon, 2002).....	24
Tabla 5. N. y consistencia de las arcillas (seed 1985).....	24
Tabla 6. N. y compacidad de la arenas (seed 1985).....	25
Tabla 7. Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas l . (NSR-10).....	28
Tabla 8. Características sísmicas del edificio a analizar.....	42
Tabla 9: Modulo del semi-espacio de winkler para darle valores a la superficie de apoyo, (Morrison, 1993).....	48
Tabla 10: calculo del modulo de balasto y constante de resorte para la modelación del estudio realizado.	53
Tabla 11. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 1 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).	72
Tabla 12. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 2 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).	74
Tabla 13. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 3 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).	76
Tabla 14. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 4 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).	78
Tabla 15. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 5 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).	80
Tabla 16. Presiones maximas y minimas del suelo con sus respectivas cordenadas, (safe2014).	84
Tabla 17. Desplazamiento verticales parte 1 de 2, (safe2014).	89
Tabla 18. Desplazamientos verticales parte 2 de 3, (safe2014).	94
Tabla 19. Desplazamientos verticales nodal- resumen envolvente, (safe2014).....	94
Tabla 20. Presión en suelo-resumen de envolvente, (safe2014).	95
Tabla 21. Presión maximo y minimo del suelo con sus respectivas coordenadas, (safe2014).	106
Tabla 22. Desplazamiento vertical parte 1 de 2, (safe2014).	111
Tabla 23. Desplazamiento vertical parte 2 de 2, (safe2014).	116
Tabla 24. Desplazamiento vertical- resumen de envolvente, (safe2014).	116
Tabla 25. Presión del suelo-resumen envolvente, (safe 2014).....	117



1. Resumen

Los edificios de gran altura y todo proyecto que presente diferencias de cargas de más del 80%, presentan asentamientos diferenciales, por lo tanto es necesaria la implementación de cimentaciones sobre pilotes. En Cartagena, el barrio Castillogrande es conocido por ser un sector residencial de condominios, con playas hacia el sur y la bahía al norte, el cual la hace llamativa para inversiones de infraestructura. Gracias a este atractivo, se presenta un significativo incremento en edificaciones de gran altura, pero las características de cualquier proyecto de tal envergadura en el sector, ligado a las condiciones de subsuelo las hacen vulnerables a asentamientos diferenciales, la investigación dará como resultado final un método para el diseño óptimo de una edificaciones, evaluando la interacción suelo-estructura, con la determinación y análisis de las cargas desbalanceadas de una edificación de 1 a 16 pisos para la norma NSR-10 (NSR-10), para comprender y resolver los problemas o dificultades que se manejan en el momento de diseñar con base en una situación real.

Primero se llevó a cabo una descripción de la estructura, condiciones del suelo donde se encuentra ubicado, al determinar los aspectos que definen el espectro de diseño de la estructura, jugando con todas las consideraciones pertinentes a obtener un fin último que consiste en el diseño la cimentación de una edificación, minimizando asentamientos diferenciales presentes en cimentaciones sobre pilotes, después se halló la distribución de cargas en el edificio en comparación con los asentamientos producidos. Con base a los diferentes coeficientes de resortes del suelo y a las sollicitaciones que se determinaron, se crearon tres modelo a través de softwares estructurales, en el cual se obtuvieron resultados y conclusiones que indican satisfactorias con el objetivo principal, obteniendo asentamientos balanceados en un orden de 1.98 cm, menor al asentamiento permisible de 2 cm, muy superior al asentamiento generado en el estudio de suelo que fue del orden de los 3 cm, cabe resaltar que estamos hablando del asentamiento máximo generado en una de las modelaciones, por lo expresado anteriormente podemos afirmar que en el diseño de cimentación para edificaciones con características similares no se presentaran asentamientos diferenciales, y para optimizar el método de diseño de el estudio tenemos la modelación N° 3 donde implementamos la modificación del suelo y la longitud de los pilotes.



1.1 Abstract

The high-rise buildings and all projects present differences loads of more than 80%, have differential settlements, therefore the implementation of pile foundations is required. In Cartagena, the Bocagrande neighborhood is known for being a residential condominium sector, with beaches south and North Bay, which makes it appealing for infrastructure investments. Thanks to this attraction, a significant increase in high-rise buildings, but the features of any project of this magnitude in the sector, linked to subsurface conditions make them vulnerable to differential settlement occurs, the investigation will ultimately result in a method for the optimal design of a building, evaluating the interaction soil-structure, with the determination and analysis of unbalanced loads in a building 1-16 homes for NSR-10 standard (NSR-10), to understand and solve problems or difficulties that are handled at the time of design based on a real situation.

Was first carried out a description of the structure, soil conditions where it is located, to identify areas that define the spectrum of structure design, playing with all relevant considerations to obtain ultimate goal is to design the foundation of a building, minimizing differential settlements present in pile foundations, then the distribution of loads in the building was found compared with those produced settlements. Based on the different coefficients of soil springs and solicitations were determined three model through structural softwares were created, in which results and conclusions that indicate satisfactory with the main objective was obtained, obtaining balanced by an order of settlement 1.98 cm, less than the allowable slump of 2 cm, well above the settlement generated in the soil survey which was around 3 cm, note that they are talking about the maximum slump generated in one of the modeling, for the reasons explained above, we can say that in the design of foundations for buildings with similar characteristics not present differential settlements, and to optimize the design method of the study have the No. 3 where we implement the modeling soil modification and the length of the piles.



2. Introducción

Un proyecto de obras civiles puede presentar diferentes problemas de tipo estructural. Uno de los problemas más importantes o influyentes son los asentamientos diferenciales en edificaciones con cimentaciones sobre pilotes, estos presentes a medida que las cargas de las columnas se sitúan sobre las cimentaciones.

Los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes ocurren por los diferentes niveles de carga en los grupos de pilotes; aquellos asentamientos transfieren al proyecto repercusiones en la calidad de la estructura, por tanto en el diseño estructural de la cimentación es necesario determinar la distribución de carga en los pilotes. Si los cimientos se apoyan sobre roca o suelos muy duros, los asentamientos pueden ser muy pequeños; sin embargo, si se trata de suelos ordinarios (cohesivos), el asentamiento puede ser de una fracción de pulgada o de varias pulgadas. Gran parte del asentamiento puede producirse durante la construcción, en otros casos, los asentamientos se producen muy lentamente y prosiguen durante varios años, después de concluida la construcción.

Esta investigación está orientada a analizar el balance de los asentamientos diferenciales en cimentación soportada sobre pilotes, presentes en un edificio ubicado en la Avenida Piñango (calle 5ª) entre las carreras 10 y 11, del barrio Castillo grande de la ciudad de Cartagena diseñado de acuerdo con la norma vigente la NSR-10 (NSR-10) y evaluado a través de modelaciones de la interacción suelo-estructura utilizando el sistema de elementos finitos mediante softwares estructurales como ETABS y CSI SAFE obteniendo como resultado el procedimiento adecuado para el diseño de cimentaciones sobre pilotes con el fin de minimizar los asentamientos diferenciales en la edificación, optimizando el proyecto en base a modelaciones más realistas.

A nivel local, es una metodología de estudio innovadora, ya que hay investigaciones de alumnos de la Universidad de Cartagena que estudiaron el cálculo de los asentamientos, mas no de asentamientos diferenciales, asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes, por lo expuesto anteriormente la investigación es considerada de gran interés para el cuerpo de la universidad de Cartagena e incluso a nivel nacional e internacional.



A nivel nacional tenemos investigaciones sobre asentamientos diferenciales en edificaciones tales como el ingeniero Luis Fernando Orozco (Orozco, 2008), quien realizó un estudio de asentamientos totales y diferenciales en la ciudad de Bogotá causados por peso excesivo, cimentaciones deficientes o por desecación diferencial en zonas de arcilla blanda, este estudio de asentamientos fue asignado para zonas de suelos blandos como es el caso del centro 93, lago centro (Banco de América Latina), construcciones vulnerables a asentamientos diferenciales.

A nivel internacional algunos investigadores han realizado estudios de cimentaciones sobre pilotes tales como Gabrielaitis Lina (Gabrielaitis, 2013) quien hizo una estimación de los asentamientos en los pilotes de fundación de la Central Elektrenai Lituania. Esta investigación se adoptó por las siguientes razones; la insuficiente capacidad de los suelos para soportar grandes tensiones sobre él, los altos requerimientos del subsuelo y de los asentamientos, la capacidad de apoyo con respeto al equipo principal en la central eléctrica.

En la investigación realizada por Nam Kim Kyung (Nam, 2001) presenta un esquema de optimización para minimizar los asentamientos diferenciales de la cimentación en pilotes. (KN Kim, 2001) Propone tres métodos para la colocación óptima de las pilas de acuerdo a tres tipos de carga: cargas uniformes, de columna y de línea. Mediante la colocación de los pilotes de acuerdo con estos métodos, el asentamiento diferencial de una cimentación apilada puede ser minimizado, (YF Leung, 2010) sugiere que en el diseño en la configuración de longitud correspondiente del pilote optimizado puede aumentar la rigidez general de la cimentación y reducir los asentamientos totales y diferenciales. El análisis del suelo y las cimentaciones se realizaron en base a la modelación de las respectivas flexiones presentes en placas planas de acuerdo a la teoría de Mindlin-Reisner (Mindlin, 1936), Como también en la utilización de los métodos de resortes Winkler y resortes acoplados respectivamente. La rigidez de los pilotes se evaluó por el método analítico aproximado propuesto por Randolph y Wroth (M.F. Randolph & Wroth, 1983), consideraron las interacciones entre el suelo y la estructura.

Como consecuencia de los resultados de estas investigaciones y el avance en el conocimiento de su comportamiento, las cimentaciones sobre pilotes han sido usadas en muchos países en las últimas décadas, generalmente en la construcción de edificios de



gran altura. Los señores O'Neill, M.W. Caputo, V De cock, Hartikaine (O'Neill, 1996), presentaron al Comité Técnico (TC-18) del ISSMFE (International Society on Soil Mechanics and Foundations Engineering) una relación de los principales casos históricos de obras encontradas en la literatura cuyas cimentaciones están conformadas por una cimentación sobre pilotes.

Por lo expuesto anteriormente la investigación pretende determinar el método de diseño más eficiente para minimizar los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes mediante el diagnóstico de las cargas desbalanceadas en una edificación. Cambiando la manera de diseñar las cimentaciones en edificaciones de gran envergadura, sin tomar hipótesis erróneas a la realidad, Los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes ocurren por los diferentes niveles de carga en los grupos de pilotes, la capacidad de soporte de un grupo de pilotes no tiene equivalencia a un pilote individual como tampoco a la carga total de la estructura, por lo tanto no se puede considerar una cimentación rígida, esta presenta deformación.

La investigación forma parte del grupo OPTICOS y de la línea de optimización estructural, la cual permitirá ampliar los conocimientos teóricos adquiridos y el desarrollo de técnicas de análisis para su previo tratamiento. La investigación tiene la aspiración de evaluar asentamientos diferenciales en edificaciones con cimentaciones sobre pilotes, para obtener la optimización de un proyecto haciendo un balance de asentamientos diferenciales, teniendo como base en el diseño una cimentación deformable, por medio de softwares estructurales y convertir los resultados del estudio en la base para futuras investigaciones más profundas, que vayan encaminadas a solucionar o mitigar este problema que en la actualidad sufren las estructuras

Es una investigación de diseño y es la base para futuras investigaciones de optimización de costos, rendimiento o riesgos en la fase experimental, entre muchas otras que surgen en relación a este proyecto.



3. Marco de referencia

3.1 Estado del arte y antecedentes

Conocer cuáles son las investigaciones que se han realizado sobre el comportamiento que tiene el suelo ante las nuevas cargas que supone la construcción a realizar, específicamente ligadas a los estudios de asentamientos diferenciales en cimentación sobre pilotes, este tipo de cimentación es usado normalmente cuando se construyen edificios de gran altura.

A nivel nacional tenemos investigaciones sobre asentamientos diferenciales en edificaciones tales como la realizada por el ingeniero Luis Fernando Orozco (Orozco, 2008) quien realizó un estudio de asentamientos totales y diferenciales en la ciudad de Bogotá, tales asentamientos fueron causados por el peso excesivo, cimentaciones deficientes o por desecación diferencial en zonas de arcilla blanda, es probable culpar las características del suelo, pero estos se deben no solo a la presencia de dichos suelos sino al uso de cimentaciones deficientes para apoyar las edificaciones, en la investigación no consideran tener soluciones estables para cimentaciones con las siguientes casos:

Edificios altos muy pesados (de más de 20 pisos o con condiciones estructurales especiales).

En el caso de edificios pesados soportados con pilotes de fricción, ¿se podría presentar una disminución en la resistencia por fricción de la arcilla durante un sismo fuerte? (licuación de las arcillas o strength softening)

- ❖ En el caso del manejo de aguas subterráneas, al construir sótanos, ¿cómo y a qué rata se causan asentamientos de los vecinos y a hasta qué distancia?
- ❖ ¿Cómo manejar el problema en zonas de desecación excesiva, donde el fenómeno se manifiesta de manera diferencial en la superficie (sin arbolitos!)?
- ❖ ¿Cuándo se presentará un asentamiento excesivo por desecación?

El sistema cimentaciones sobre pilotes se viene usándose en nuestro medio con cierta frecuencia, en la mayoría de los casos de la antigüedad los proyectos se apoyaban en la intuición y experiencia del ingeniero más que en un análisis debidamente



fundamentado, aunque varios autores internacionales dedicaron su tiempo en el análisis del comportamiento de las cimentaciones tanto superficiales como profundas.

El concepto de cimentación no es nuevo ya ha sido descrito por varios autores, los ingenieros Leonardo Zeevaert (Leonardo Zeevaert, 1957), Jorge Abraham Díaz y Hopper J.A (Hooper, 1973), quienes recomendaron la utilización de pilotes para reducir la ocurrencia de asentamientos en las cimentaciones superficiales en arcilla de México, indicando el proceso de diseño de la cimentación de los cuarenta y tres pisos del edificio Torre Latinoamericana en Ciudad de México, con interesantes problemas en ingeniería de la fundación debido a condiciones del subsuelo y las propiedades mecánicas de los depósitos lacustres que se encuentran en el sitio, las dificultades en la cimentación de la edificación trajeron como resultado el estudio de asentamientos y factores que afecten la edificación, resultando un edificio que ha soportado sismos y el pasar del tiempo, sin mostrar daños en los elementos estructurales.

Pará el análisis comparativo del comportamiento de carga vs asentamiento en una cimentación sobre pilotes, se encontró una investigación atribuida a Poulos, H.G (Poulos, 1968). Quien realizó estudios sobre la influencia de la cimentación en la disminución de asentamientos de un grupo de cimentaciones profundas, en el trabajo se intentó seguir el desarrollo de métodos racionales para estimar asentamientos en un grupo de pilotes, y se centrará en un enfoque que considera la interacción pilote-suelo de una manera adecuada, concentrando la relación entre el asentamiento de un grupo de pilotes y el de un pilote individual, considerando también el posible asentamiento diferencial de la cimentación con pilotes, haciendo hincapié en la importancia de la estimación apropiada de parámetros geotécnicos y finalmente, se demostró que los resultados engañosos pueden surgir de imprudentes aplicaciones al análisis de solución de un grupo de pilotes. Llegando a la conclusión que según dichos criterios de diseño, los pilotes individuales no tienen igual carga y que la distribución de cargas dentro de un grupo de pilotes no es uniforme, diferencia importante entre la investigación y la realidad se mantienen.

Además, el trabajo realizado por R.W.Cooke (Cooke, 1986), basado en la realización de ensayos en muestras de suelos arcillosos de Londres, determina la necesidad de saber cómo se transmiten las cargas estructurales en el suelo que soporta los componentes de



la cimentación y entender los factores que afectan los asentamientos totales y diferenciales, en condiciones responsables de la estructura. En cimentaciones con pilotes desde el punto de vista de la estabilidad es importante conocer la distribución de las cargas de los pilotes, sin embargo una cimentación por si sola puede proporcionar la capacidad de carga adecuada, existe el caso donde el diseñador se exceda e incluya mas pilotes de los necesarios para controlar asentamientos, teniendo como conclusión considerar la variación del diámetro y el espaciamiento de los pilotes constata que una pequeña cantidad de pilotes es suficiente para reducir los asentamientos de la cimentación

Para la realización de esta investigación es necesaria la consulta del trabajo de Ottoviani M (Ottoviani, 1975), ya que fue uno de los primeros en emplear el método de elementos finitos en el análisis de las cimentaciones en pilotes, este método estudia el comportamiento de los pilotes individuales cargados verticalmente y los grupos de pilotes en un medio elástico lineal homogéneo. Es decir, para estudiar el comportamiento de los pilotes, ya sea aislado o en grupos, se aplicó el método de los elementos finitos, curvas de compactación dependiendo λ (relación de módulos de elasticidad de los pilotes y el suelo), se hizo tridimensional utilizando elementos finitos y cargas axialmente,

El ingeniero John c. Small y Hana Liu (John C. Small, 2008) en un estudio de análisis de consolidación de elementos finitos tridimensional, usando elementos finitos con el análisis de consolidación, introduce un medio de reducir el uso de memoria del ordenador y de reducir los tiempos de diseño de la cimentación. Sólo se examina el aspecto consolidación de grupos de pilotes, aunque se reconoce que los asentamientos de fluencia para las arcillas más suaves también serán significativos, y éstos tendrían que ser estimado de forma adicional en otras investigaciones, el método puede reducir las presiones del exceso de poro por debajo de la cimentación superficial a partir de una solución analítica.

Seguido de otros investigadores como S.J Hain & I.K.Lee, Álvaro Covo T (Hain, 1978), (Torres A.I.C, 2006) , por su parte, son los primeros en hacer el análisis de la con pilotes combinando más de un método. El método de elementos finitos y el método de elementos de contorno, y como resultado se logró una investigación más exacta para el



comportamiento de las cimentaciones sobre pilotes, cabe resaltar que los estudios realizados por el ingeniero Álvaro Covo pertenecen al nivel local de la investigación, resultado de años de experiencia y dedicación en estudios de suelo.

Un método de análisis de cimentaciones en contacto con la superficie del suelo hecha por J. C. Small, H.H. Zhang (J. C. Small, 2002), El suelo se divide en múltiples capas horizontales en función de la precisión requerida y cada capa puede tener diferentes propiedades del material. La cimentación con pilotes se modela como una placa delgada y los pilotes como vigas elásticas. Teoría capa finitos se emplea para analizar el suelo en capas mientras que la teoría de los elementos finitos se utiliza para analizar la balsa y pilas. La balsa apilada se puede someter a ambas cargas y momentos en cualquier dirección. Las comparaciones muestran que los resultados del presente método están de acuerdo estrechamente con los del método de elementos finitos. También se presenta un estudio paramétrico para las cimentaciones sobre pilotes sometidas a cualquier carga vertical u horizontal.

Cabe mencionar las contribuciones de Randolph y Wroth (M.F. Randolph & Wroth, 1983), que propusieron un procedimiento analítico simplificado para determinar la relación carga-asentamiento de pilotes individuales, en grupo de cimentaciones sobre pilotes, presenta un método analítico para calcular, dentro de los límites razonables, el asentamiento de un grupo de pilotes bajo carga vertical, sin necesidad de utilizar un análisis riguroso. El método se basa en la superposición de los asentamientos de los pilotes individuales y considera por separado el comportamiento medio de fricción bajo la cimentación de los pilotes.

Otros autores presentaron soluciones elásticas entre los más populares se puede encontrar el Método Poulos-Davis-Randolph (PDR), este método es muy conveniente para estimar el comportamiento carga-asentamiento, involucra dos pasos principales:

- ❖ Cálculo de la capacidad de carga final de la cimentación.
- ❖ El cálculo del comportamiento la carga - asentamiento.

Para estimar el comportamiento de la curva carga-deformación en la cimentación balsa combinada con pilotes, se aplican las expresiones propuestas por M.F. Randolph (Randolph, 1994) y se determina la rigidez de la cimentación sobre pilotes.



En antecedente tenemos los estudios realizados con anterioridad por los ingenieros; Arnoldo Berrocal Olave quien realizo el diseño del edificio para su posterior construcción y Álvaro Covo Torres, quien realizó el estudio de suelo en el lugar del proyecto, obteniendo como resultado un perfil de suelo tipo c, en el que se recomendó el uso de pilotes a una profundidad de 21 metros, con diámetros de 0.60 metros, la carga de diseño del pilote descrito es de 150 toneladas con un factor de seguridad de 2.5 esto basados en los resultados obtenidos en el laboratorio y en experiencia, en la metodología y resultados se encuentran los perfiles de suelo realizados.

3.2 Marco teórico

3.2.1. Generalidades

Toda edificación debe soportarse sobre el terreno en forma adecuada para sus fines de diseño, construcción y funcionamiento. La cimentación se debe colocar sobre materiales que presenten propiedades mecánicas adecuadas en términos de resistencia y rigidez, o sobre rellenos artificiales, que no incluyan materiales degradables, debidamente compactados. Para determinar los asentamientos diferenciales dados por la capacidad de carga de un grupo de pilotes, se da a conocer los modelos de la interacción suelo-estructura en pilotes basados en modelos de coeficiente de balasto (valores representativo basados en el método) y elemento finitos.

Para el primer modelo del edificio se entrega con las características dadas por el estudio de suelo realizado por la empresa AICO LTDA, en el segunda modelación se modifican la resistencia del suelo según el sistema de clasificación unificado de los suelos y los coeficientes de resorte las características dadas por el estudio de suelo anterior, en la tercera modelación se implementa la modificación de las características de los pilotes, dando por la metodología de elementos finitos en los softwares escogidos.

3.2.2. Clasificación descriptiva de los suelos:

La Clasificación de los Suelos esta basada en la Clasificación Unificada de los Suelos y la Designación ASTM D-2487 y D-2488. Los Suelos de Gradación Gruesa tienen más del 50% de su Peso Seco Retenido en el Tamiz # 200; y se describen generalmente como Gravas y Arenas. Los Suelos de Gradación fina tienen menos del 50% de su Peso Seco retenido en el Tamiz # 200 y son descritos como Arcillas si son Plásticos y Limos si son de baja plasticidad o no Plásticos. Los constituyentes principales pueden ser



añadidos como Modificadores y los Constituyentes Menores pueden ser añadidos de acuerdo a las Proporciones Relativas. Además de la Gradación, los Suelos de Grano Grueso Son Identificados basándose en la Densidad Relativa Sin Perturbar. Por Ejemplo: Arena Fina Con Vestigios de Limo, Densa.

<u>CONSISTENCIA DE LOS SUELOS DE GRADACION FINA.</u>		<u>DENSIDAD RELATIVA DE LOS SUELOS DE GRADACION GRUESA.</u>	
<u>Compresión</u>		<u>N-Golpes/Pie</u>	<u>Densidad Relativa</u>
<u>Inconfinada</u>		0-3	Muy Suelta
<u>TON/M2</u>	<u>CONSISTENCIA</u>	4-9	Suelta
< 2.5	Muy Blando	0-29	Media Densa
2.5 - 5.0	Blando	30-49	Densa
5.0 - 10.0	Medio	50-80	Muy Densa
10.0 - 20.0	Resistente		
20.0 - 40.0	Muy Resistente		
40.0 - 80.0	Duro		
> 80.0	Muy Duro		

Figura 1. Gradación de suelos. (AICO LTDA, 2013)

<u>PROPORCIONES RELATIVAS DE ARENA Y GRAVA</u>			<u>CLASIFICACION POR TAMAÑO</u>
<u>% de Peso Seco</u>	<u>Descripción</u>	<u>Mayor Porción</u>	<u>Tamaño</u>
<15	Vestigio	Grava	3" a Tamiz No4
15-29	Con	Arena	Tamiz No 4 al 200
>30	Modificador	Limo y Arcilla	Pasa Tamiz No 200

<u>PROPORCIONES RELATIVAS DE FINOS</u>	
<u>% de Peso Seco</u>	<u>Descripción</u>
<5	Vestigio
5-12	Con
>12	Modificador.

Figura 2. Proporciones relativa de suelos. (AICO LTDA, 2013).

3.2.3. Sistema clasificado unificado de los suelos

El sistema de clasificación Unificado de los Suelos. Este sistema fue desarrollado por A. Casagrande y fue adoptado tentativamente por el Corp of Engineers como clasificación para pistas de aeropuertos en 1942. Los suelos se clasifican según este sistema de acuerdo con las indicaciones mostradas en el cuadro que se presenta en la siguiente.

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



Cuadro para Clasificación de Suelos - Norma ASTM 2487-90 (A)				Clasificación del Suelo		
Criterios utilizados para asignar Nombre de Grupo y Símbolos utilizando Pruebas de Laboratorio				Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo	
Suelos de Grano Grueso, Mas del 50% Retiene Tamiz 200	Gravas	Gravas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ (E)	GW	Grava Bien Gradada (F)	
	Mas del 50% de la Fracción Gruesa Retiene en Tamiz 4	Menos del 5% de Finos (C)	$Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$ (E)	GP	Grava Pobremente Gradada (F)	
		Grasvas con Mas de 12% de Finos (C)	Finos Clasifican como ML o MH	GM	Grava Limosa (F,G,H)	
			Finos Clasifican como CL o CH	GC	Grava Arcillosa (F,G,H)	
		Arenas	Arenas Limpias	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ (E)	SW	Arena Bien Gradada
		Mas del 50% de la Fracción Gruesa Pasa en Tamiz 4	Menos del 5% de Finos (C)	$Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$ (E)	SP	Arena Pobremente Gradada (i)
Suelos de Grano Fino, Mas del 50% Pasa Tamiz 200		Arenas con Mas de 12% de Finos (C)	Finos Clasifican como ML o MH	SM	Arena Limosa (G,H,I)	
			Finos Clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa (G,H,I)	
	Limos y Arcillas Magras		$IP > 7$ y Encima o En la Línea "A" (J)	CL	Arcilla Magra (K,L,M)	
	Limite Liquido <50	Inorganico	$IP < 4$ o Debajo de la Línea "A" (J)	ML	Limo (K,L,M)	
		Organico	<u>Limite Liquido Secado al Horn</u>	<0,75	OL	Arcilla Orgánica (K,L,M,N)
			<u>Limite Liquido no Secado</u>			Limo Orgánico (K,L,M,O)
	Limos Elasticos y Arcillas Gordas	Inorganico	IP Sobre o En la Línea "A"	CH	Arcilla Gorda (K,L,M)	
			IP Debajo de la Línea "A"	MH	Limo Elástico (K,L,M)	
	Limite Liquido ≥ 50	Organico	<u>Limite Liquido Secado al Horn</u>	<0,75	OH	Arcilla Orgánica (K,L,M,P)
			<u>Limite Liquido no Secado</u>			Limo Orgánico (K,L,M,Q)
Suelos Altamente Orgánicos	Constituidos en su Mayor Parte por Materia Orgánica, Color Oscuro			PT Turba		
(A) Basado en el Material que Pasa el Tamiz de 3" (75 mm)	(E) $Cu = D_{60}/D_{10}$ - $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$			(M) Si la fraccion Retenida en el Tamiz 200 Contiene mas de un 30% de Grava		
(B) Si la Muestra de Campo Contiene Tamaños Mayores que 3" se Anade con Piedra	(F) Si el Suelo Contiene Mas de un 15% de Arena Añada "Con Arena" al Nombre de Grupo			Añada Gravoso al Nombre del Grupo		
(C) Gravass con 5 a 12% de Finos Requieren Doble Símbolo	(G) Si los Finos Clasifican como CL-ML utilice Doble Símbolo GC-GM o SC-SM			(N) El IP es Mayor o igual que 4 y Grafica en o por encima la Línea "A"		
GW-GM Grava Bien Gradada con Limo	(H) Si los Finos Son Orgánicos añada "Con Finos Orgánicos" al Nombre de Grupo			(O) EL IP es Menor que 4 o Grafica Debajo de la Línea "A"		
GW-GC Grava Bien Gradada Con Arcilla	(I) Si el Suelo Contiene Mas de un 15% de Grava Añada "Con Grava" al Nombre de Grupo			(P) El IP Grafica en o encima de La Línea "A"		
GP-GM Grava Pobremente Gradada con Limo	(J) Si los Limites de Atterberg caen en la Zona Sombreada El Suelo clasifica CL-ML, Arcilla Limosa			(Q) EL IP Grafica Debajo de La Línea "A"		
GP-GC Grava Pobremente Gradada con Arcilla	(K) Si la Fraccion retenida en el Tamiz 200 Contiene entre 15 y 29% de Arena o Grava Añada "Con Arena" o "Con Grava" el que mas Predomine					
(D) Arenas con 5 a 12% de Finos Requieren Doble Símbolo	(L) Si la fraccion Retenida en el Tamiz 200 Contiene mas de un 30% de Arena añada "Arenoso" al Nombre de Grupo					
SW-SM Arena Bien Gradada con Limo						
SW-SC Arena Bien Gradada Con Arcilla						
SP-SM Arena Pobremente Gradada con Limo						
SP-SC Arena Pobremente Gradada con Arcilla						

Tabla 1. Clasificación de suelos (ASTM 2487-90)

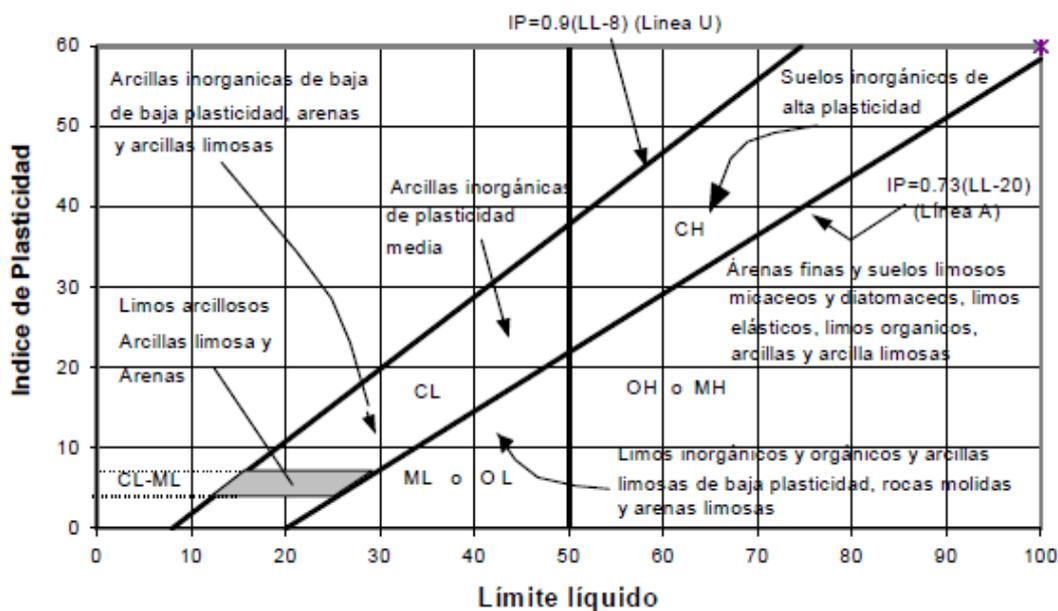


Figura 3, Cuadro de plasticidad de Casagrande (Covo T.A.I, 2008).

3.2.4. Cimentacion

Las cimentaciones profundas pueden ser de dos tipos; Pilotes o pilas. Los pilotes, que tienen máximo un diámetro del orden de 0.80 m, son comparativamente más flexibles que las pilas cuyo diámetro es superior a los 0.80 m. La respuesta frente a solicitaciones tipo sismo o carga vertical es diferente en cada una de estas dos estructuras (Vazques L.G, 2000).

3.2.5. Cimentación con pilotes

3.2.3.1. Pilotes.

Un pilote es un elemento de cimentación de gran longitud comparada con su sección transversal, que enterrado consigue una cierta capacidad de carga, suma de su resistencia por rozamiento con el terreno y su apoyo en punta. Su utilización será requerida cuando:

- ❖ Las cargas no pueden transmitirse al terreno con una cimentación superficial
- ❖ Asientos imprevisibles pero existiendo terreno profundo resistente
- ❖ Cuando el terreno de cimentación puede sufrir grandes variaciones (retracción...)
- ❖ Estructuras sobre agua
- ❖ Cargas inclinadas
- ❖ Recalce de cimentaciones existentes



3.2.3.2. Capacidad de soporte de pilotes

La capacidad de pilotes debe evaluarse según las características del terreno y geometría. Las formulas expuestas son las que corresponden al Método clásico.

La capacidad de carga admisible de los pilotes, Q_{adm} , se puede tomar como:

$$Q_{adm} = \frac{Q_{ult}}{FS} = \frac{Q_{P,ult}}{FS_P} + \frac{Q_{S,ult}}{FS_S}$$

Donde:

FS : Factor de seguridad para la capacidad de carga de un pilote individual.

Q_{ult} : Capacidad de carga ultima de un pilote individual.

$Q_{P,ult}$: Resistencia de punta del pilote

$Q_{S,ult}$: Resistencia por fuste del pilote

FS_P, FS_S : Factores de seguridad para la resistencia de punta y fuste, respectivamente.

3.2.3.3. Resistencia por punta.

La resistencia de punta según Vesic (1977) se define como:

$$Q_{P,ult} = A_p (c * n_c^* + \eta * \sigma'_v N_q^*)$$

$$\eta = \frac{1 + 2K_0}{3}$$

Donde:

$A_p = 0.25\pi D$: Area de la punta del pilote, donde D es el diámetro del mismo.

σ'_v : Presión vertical efectiva del suelo.

c: Cohesión del suelo.



K_0 : Coeficiente de empuje en reposo, se tomará $0.95 - \sin \phi$ para arcillas, $1 - \sin \phi$ para arenas.

n_c^*, N_q^* : Factores de capacidad de soporte de vesic parapilotes, según las expresiones siguientes:

$$N_q^* = \frac{3}{3 - \sin \phi} * e^{(90^\circ - \phi) \tan \phi} * \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) * I_{rr}^{\frac{4 \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)}}$$

$$n_c^* = (N_q^* - 1) * \cot \phi$$

Donde I_{rr} representa el índice de reducción de la rigidez del suelo, donde en condiciones sin cambios de volumen (condiciones no drenadas) o pequeños cambios volumetricos (estrato denso) puede ser tomado igual al índice de rigidez I_r dado por :

$$I_r = \frac{E}{1(1 + \mu)(C + \eta * \sigma'_v \tan \phi)}$$

Donde:

E : Modulo de elasticidad del suelo

ϕ :Ángulo de fricción interna del suelo

μ : Módulo de poisson del suelo

3.2.3.4. *Fricción superficial*

La fricción superficial de los pilotes se puede tomar como:

$$Q_{s,ult} = \int_0^l p * q_s dz$$

Donde:

$p = \pi D$:Perimetro de la sección del pilote

z :Coordenada axial en dirección de la profundidad

q_s : Fricción superficial unitaria evaluada en la profundidad z

L : longitud del pilote



Considerando que el suelo se puede dividir en cantidades finita de capas n , la ecuación se reescribe de la forma:

$$Q_{s,ult} = \sum_1^n p * h * q_s$$

$$q_s = K_0 * \sigma_v'' \tan \delta$$

Con:

h : Espesor de la capa en que subdivide el suelo

σ_v'' :Corresponde al valor promedio de presión vertical efectiva en tramo de evaluación.

δ : Ángulo rozamiento entre el suelo y el pilote, usualmente asumido en 2/3 del angulo de fricción interna del suelo.

3.2.6. Calculo del coeficiente de balasto

La interacción suelo-pilote a travez de resortes de rigidez lineal asociados a las constantes del balasto. Para determinra este parámetro la incidencia de la profundidad a la cual se desea determinar el coeficiente y el diámetro del pilote.

Bowles establece que el coeficiente de balasto lo determina, en gran medida, el angulo de fricción interna, cohesión y la densidad natural del suelo. Para Terzaghi y la naval facilities engineering command (1986), NAVFAC en adelante, es relevante ala consistencia de la arcilla

3.2.4.1. Bowles

La constante de balasto horizontal, k_h , viene dada por la expresión:

$$k_h = A_h + B_h * Z^n$$

Con:

$$A_h = F_{W1} * C_m * C * (C * N_c * 0.5 * \gamma * D * N_\gamma)$$

$$B_h = F_{W2} * C_m * C * \gamma * N_q$$

Donde:

Z : Profunadidad de la capa que se mide a partir del inicio del suelo colaborante.

$C \cong 40$ (kN/m^3): Cohesión del suelo

γ : Densidad natural del suelo

D : Diametro del pilote



$C_m:1.5-2$

$n:0.4-0.6$

$F_{W1}:1.3-1.7$

$F_{W2}:2.0-4.4$

N_c, N_q, N_γ :son factores de capacidad de carga de pilotes que dependen del angulo de fricción interna en la tabla siguiente se entregan los valores propuestos por terzaghi.

ϕ (°)	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.0
45	172.0	173.0	298.0

Tabla 2. Factores de capacidad de carga de terzaghi, (Terzaghi 1943)

3.2.4.2. NAVAF

Naval Facilities Engineering Command (1986) presenta una estimación para determinar el valor del coeficiente de balasto, para el caso de suelo granular y, normalmente, suelos cohesivos levemente sobreconsolidados, la deformación del pilote puede ser estimado asumiendo que el coeficiente de balasto lateral, k_h , aumenta linealmente con la profundidad de acuerdo con:

$$k_h = f \frac{z}{D}$$

Donde:

D :Ancho o diámetro del area cargada.

z : Profundidad

f : Coeficiente de variación del balasto lateral, para suelos de grano fino y grueso se puede obtener de la Figura siguiente. En este gráfico se tiene en el eje horizontal inferior la densidad relativa, en porcentaje, de las arenas, mientras que en el eje horizontal superior se muestra la resistencia a la compresión simple, en Kg/cm², de las arcillas. En el eje vertical se entregan los valores del coeficiente de variación del balasto lateral en ton/ft³.

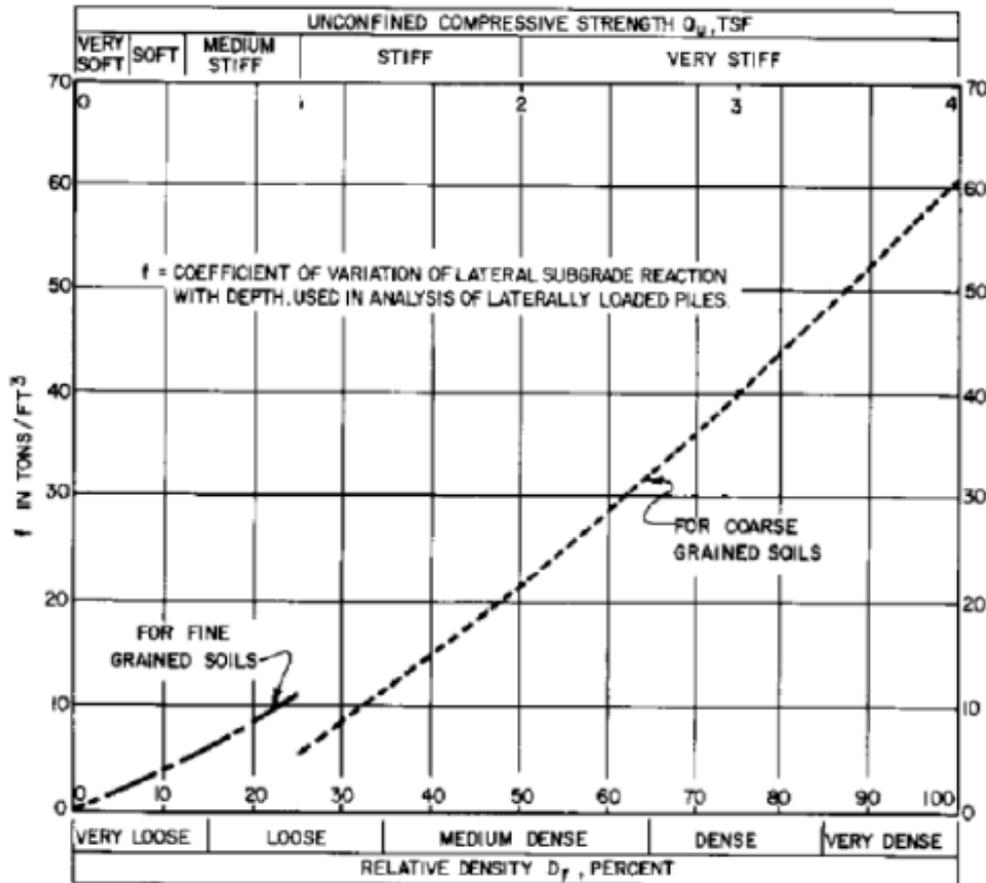


Figura 4. Coeficiente de variación del balasto lateral, (Naval Facilities Engineering Command, 1986).

3.2.4.3. Terzaghi

El coeficiente de balasto lateral k_h , en kN/m^3 , para suelos arcillosos

$$k_h = \frac{0.2}{D} \overline{K_{h1}}$$

Donde:

D : Diámetro del pilote en (m)

$\overline{K_{h1}}$: Valor según la tabla 2

Consistencia de arcilla	Compacta	Muy compacta	Dura
Rango de $\overline{k_{h1}}$ (kN/m ³)	16000~32000	32000~64000	64000 o mayor
Valor propuesto de $\overline{k_{h1}}$ (kN/m ³)	24000	48000	96000

Tabla 3. Coeficiente de balasto lateral (The overseas coastal Areadevelopment institute of japon, 2002).



El coeficiente de balasto lateral k_h , en kN/m^3 , para suelos arenoso

$$k_h = \frac{Z}{D} n_h$$

Donde:

Z : Profundidad(m)

D: Diametro del pilote (m)

n_h Valor según la grafica o tabla.

Densidad relativa de arena	Suelta	Media	Densa
n_h para arena seca o húmeda (kN/m^3)	2200	6600	17600
n_h para arena sumergida (kN/m^3)	1300	4400	10800

Tabla 4. Coeficiente de balasto lateral (The overseas coastal Areadevelopment institute of japon, 2002).

3.2.7. Consistencia de las arcillas

La consistencia es la propiedad índice más importante de los materiales finos, es la que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto. Se refiere a las fuerzas que permiten que las partículas se mantengan unidas; se puede definir como la resistencia que ofrece la masa de suelo a ser deformada o amasada. Dichas fuerzas dependen del contenido de humedad, por esta razón es que la consistencia se debe expresar en términos de suelo seco, húmedo o mojado

La consistencia de un suelo inalterado puede determinarse mediante la prueba de compresión simple, también puede estimarse por medio de la prueba de penetración estándar, como se muestra en la Tabla 5

N	Consistencia		q_u (tsf) (Kg/cm ²)
<2	Muy blanda	Very soft	0 – 0.25
2 – 4	Blanda	Soft	0.25 – 0.5
4 – 8	Medianamente compacta	Medium stiff	0.5 – 1.0
8 – 15	Compacta	Stiff	1.0 – 2.0
15 – 30	Muy compacta	Very stiff	2.0 – 4.0
>30	Dura	Hard	>4.0

Tabla 5. N. y consistencia de las arcillas (seed 1985)



3.2.8. Compacidad de las arenas

La compacidad relativa es una manera de indicar la relación de la densidad en terreno con la de la densidad máxima a alcanzar, aplicable a suelos arenosos. La compacidad relativa es una propiedad índice de los suelos y se emplea normalmente en gravas y arenas, es decir, en suelos que contienen casi exclusivamente partículas mayores que 0.074 (mm).

N	Compacidad		D_r (%)
0 – 4	Muy suelta	Very loose	0 – 15
4 – 10	Suelta	Loose	15 – 35
10 – 30	Media	Medium Dense	35 – 65
30 – 50	Densa	Dense	65 – 85
>50	Muy densa	Very dense	85 – 100

Tabla 6. N . y compacidad de la arenas (seed 1985)

3.2.9. Asentamientos

La seguridad para el estado límite de servicio resulta del cálculo de asentamientos inmediatos, por consolidación, los asentamientos secundarios y los asentamientos por sismo. La evaluación de los asentamientos debe realizarse mediante modelos de aceptación generalizada empleando parámetros de deformación obtenidos a partir de ensayos de laboratorio o correlaciones de campo suficientemente apoyadas en la experiencia. En cada caso debe verificarse la ocurrencia y la pertinencia de los casos de asentamientos; asentamientos inmediatos, asentamientos por consolidación, asentamientos secundarios, asentamientos totales, asentamientos en macizos rocosos

3.2.2.2. Asentamiento y carga admisible de pilotes en grupo.

El asentamiento de los pilotes en grupo es mayor que el de un pilote individual. El asentamiento de un grupo de pilotes se evalúa como la suma del asentamiento de un pilote individual más el asentamiento del grupo, donde la zona que se considera donde se produce el asentamiento es por debajo de la punta de los pilotes.

El caso a mostrado en la Figura 6a) representa aquellos pilotes en grupo que están trabajando por punta. y el 6 b) aquellos que trabajan por fricción o por fricción y punta. El esfuerzo que se considera en el



caso b) es $\Delta q'$, el cual se calcula utilizando la distribución 1-2, lo cual se puede escribir como:

$$\Delta q = \frac{P}{B * L}$$

$$\Delta q' = \frac{p}{\left(B + \frac{h}{3}\right) * \left(L + \frac{h}{3}\right)}$$

El asentamiento por disminución en la relación de vacíos debido a la acción de grupo ρ_g , Si llamamos al asentamiento obtenido en la prueba de carga ρ_{pc} , al asentamiento elástico ρ_E , el asentamiento total se puede calcular mediante la ecuación

$$\rho_T = \rho_g + \rho_{pc} + \rho_E$$

Con referencia a la Figura 6, la capacidad del grupo de pilotes se puede evaluar como la capacidad última de un gran pilote que tiene un área de la base de (BL) para los pilotes que trabajan por punta. Los pilotes que trabajan por fricción o por fricción y punta tendrán un área en la punta de $(B+h/3)(L+h/3)$. El perímetro del grupo de pilotes se tomará como igual a $4(B+L)$ para los tres casos mencionados. La capacidad última del grupo de pilotes será la menor entre la capacidad calculada en este párrafo y la del número de pilotes multiplicada por la capacidad última de cada pilote individual. La capacidad admisible del pilote se calcula entonces como la capacidad última dividida por el factor de seguridad, el cual se recomienda que sea de 1.8 como mínimo

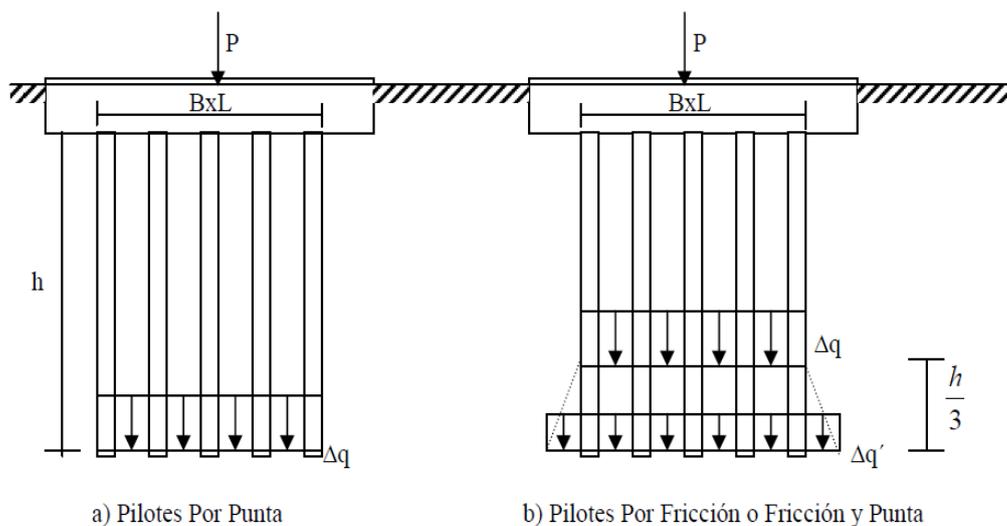


Figura 5. Criterios utilizados para calcular el asentamiento de un grupo de Pilotes (Covo T.A.I, 2008).



El asentamiento Elástico en grupo de pilotes es generalmente despreciable debido al alto confinamiento del suelo a esas profundidades. Nótese que el asentamiento del pilote individual representa el asentamiento que se produce a lo largo de la longitud o fuste del pilote y el asentamiento del grupo más elástico es consecuencia de la disminución de la relación de vacíos y distorsión elástica que sufre el suelo por debajo de la punta de los pilotes.

3.2.2.3. El fenómeno de la Fricción Negativa.

La fricción negativa se produce en aquellos pilotes que trabajan por punta atravesando un estrato blando, siendo este último comprimido después de colocados los pilotes. El procedimiento utilizado para calcular el efecto de la presión negativa consiste en a) multiplicar el área lateral del pilote que atraviesa el estrato blando comprimido por la resistencia al cortante, la cohesión, de dicho estrato o b) Dividir el peso del relleno colocado encima del grupo de pilotes dividido por el número de pilotes. La carga por fricción negativa será la menor de los procedimientos descritos en a) y b).

3.2.2.4. Efectos de los asentamientos.

I. Clasificación.

Se deben calcular los distintos tipos de asentamientos que se especifican a continuación:

- i. Asentamiento máximo:* Definido como el asentamiento total de mayor valor entre todos los producidos en la cimentación
- ii. Asentamiento diferencial:* Definido como la diferencia entre los valores de asentamiento correspondientes a dos partes diferentes de la estructura
- iii. Giro:* Definida como la rotación de la edificación, sobre el plano horizontal, producida por asentamientos diferenciales de la misma

3.2.2.5. Límite asentamiento diferencial.

Los asentamientos diferenciales calculados se deben limitar a los valores fijados en la tabla 3, expresados en función de l , distancia entre apoyos o columnas de acuerdo con el tipo de construcción.



Tipo de construcción	Δ_{\max}
(a) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{l}{1000}$
(b) Edificaciones con muros con muros de carga en concreto o en manposteria	$\frac{l}{500}$
(c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores.	$\frac{l}{300}$
(d) Edificaciones en estructuras metalicas, sin acabados subseptibles de dañarse con asentamientos menores.	$\frac{l}{160}$

Tabla 7. Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas l . (NSR-10)¹

3.3. Formulación del método de elemento finito (Torres A.I.C, 2006) método de los desplazamientos virtuales

Designando:

X_i Sistema coordenado global

X_i' Sistema Coordinado local.

g_i Fuerzas actuantes en el cuerpo por unidad de volumen

p_i Fuerzas actuando sobre la superficie del cuerpo por unidad de área.

u_i Componentes de los desplazamientos en las direcciones i .

$u(u_i)$ Función de desplazamiento.

Asumamos que el cuerpo se encuentra en equilibrio bajo los efectos de las fuerzas de superficie y las debidas a la influencia de la gravedad sobre el propio cuerpo.

Asumamos que el vector $\tilde{\sigma}^t$ y $\tilde{\varepsilon}_t$ dados por los vectores que representan el esfuerzo y la deformación unitaria del cuerpo en reposo. Supongamos que el cuerpo es sometido a un desplazamiento virtual $\Delta\tilde{u}$ (incremento en el desplazamiento debido a efectos distintos a las fuerzas aplicadas al cuerpo). Lo anterior nos permite escribir el cambio en el estado de deformación del cuerpo como

$$\tilde{\varepsilon}_t = [\delta\varepsilon_{x'x'}, \delta\varepsilon_{y'y'}, \delta\varepsilon_{z'z'}, \delta\gamma_{x'y'}, \delta\varepsilon_{x'z'}, \delta\varepsilon_{y'z'}]$$

El trabajo interno hecho por los esfuerzos aplicados al cuerpo durante los desplazamientos virtuales se puede representar como:

¹ Fuente: Norma sismo resistente 2010 (NSR-10)



$$\delta w_1 = \int_{vol}^0 \tilde{\sigma}^t \delta \tilde{\varepsilon}^* dv$$

El trabajo externo correspondiente se puede representar como:

$$\delta W_E = \int_{vol}^0 g^t \Delta \tilde{u}^* dv + \int_{Area}^0 \tilde{p}^t \Delta \tilde{u}^* dA$$

Donde T representa la traspuesta de las fuerzas debida a la gravedad representada por los arreglos:

$$g^t = [g^x g^y g^z]$$

$$p^t = [p^x p^y p^z]$$

Por el principio de conservación de la energía podemos escribir $\delta W_1 = \delta W_E$ Lo anterior nos permite escribir

$$\int_{vol}^0 \tilde{\sigma}^t \delta \tilde{\varepsilon} dv = \int_{vol}^0 \tilde{g}^t \Delta \tilde{u}^* dv + \int_{Area}^0 \tilde{p}^t \Delta \tilde{u}^* dA$$

El principio de la conservación de la energía para desplazamientos virtuales es independiente de las propiedades del material. Para materiales elásticos se cumple que

$$\tilde{\sigma} = \tilde{D}(\tilde{\varepsilon} - \tilde{\varepsilon}_0)$$

Donde ε_0 representa la deformación inicial no asociada con los esfuerzos aplicados al cuerpo. Trasponiendo

$$\int_{vol}^0 \delta \tilde{\varepsilon}^T \tilde{D} \delta \tilde{\varepsilon} dv = \int_{vol}^0 \delta \tilde{\varepsilon}^T \tilde{D} \delta \tilde{\varepsilon}_0 dv + \int_{vol}^0 \Delta \tilde{u} \tilde{g} dv + \int_{Area}^0 \Delta \tilde{u} \tilde{p} dA$$

Asumiendo que \tilde{U} representa el vector asociado con los desplazamientos del cuerpo en determinados puntos, ie los nodos del cuerpo

$$U^T = [U^1 U^2 \dots \dots U^n]$$

Considerando una función $\tilde{u}(x, y, z)$ continua, de valor único, la cual representa los desplazamientos del cuerpo, entonces existirá una relación entre la función: \tilde{u} y \tilde{U}

$$\tilde{u} = \tilde{a} \tilde{U}$$

La relación entre deformación unitaria y desplazamiento nos permite escribir:



$$\varepsilon_y = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u^i}{\partial x^j} + \frac{\partial u^j}{\partial x^i} \right]$$

La ecuación $\tilde{u} = \tilde{\alpha}\tilde{U}$ nos indica que debe existir una relación entre los desplazamientos de los nodos del cuerpo y el patrón de deformación unitaria del cuerpo. Dicha relación se puede escribir como: $\tilde{u} = \tilde{B}\tilde{U}$

$$\tilde{B} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x^j} + \frac{\partial}{\partial x^i} \right] \tilde{N} = \tilde{L}\tilde{N}$$

Tomando el diferencial de la ecuación con lo indicado por la Ecuación de ε_y , y substituyendo en la ecuación

$$\int_{vol}^0 \Delta\tilde{U}^T \tilde{B}^T \tilde{D} \tilde{B} \tilde{U} dv = \int_{vol}^0 \Delta\tilde{U}^T \tilde{B}^T \tilde{D} \tilde{\varepsilon}_0 dv + \int_{vol}^0 \Delta\tilde{U}^T \tilde{N}^T \tilde{g} dv + \int_{Area}^0 \Delta\tilde{U}^T \tilde{N}^T \tilde{p} dA$$

Teniendo en cuenta que $\Delta\tilde{U}^T$ es un desplazamiento virtual arbitrario nos resulta:

$$\int_{vol}^0 \tilde{B}^T \tilde{D} \tilde{B} \tilde{U} dv = \int_{vol}^0 \tilde{B}^T \tilde{D} \tilde{\varepsilon}_0 dv + \int_{vol}^0 \tilde{N}^T \tilde{g} dv + \int_{Area}^0 \tilde{N}^T \tilde{p} dA$$

De donde resulta: $\tilde{K}^e \tilde{U}^e = \tilde{P} \varepsilon_0 + \tilde{P} \sigma_0 + \tilde{P} P + \tilde{P}$, O de forma reducida $\tilde{K}^e \tilde{U}^e = \tilde{P}^e$

Donde:

$$\tilde{K}^e = \int_{vol}^0 \tilde{B}^T \tilde{D} \tilde{B} dv, \text{ Matriz rigidez del cuerpo}$$

$$\tilde{P} \varepsilon_0 = \int_{vol}^0 \tilde{B}^T \tilde{D} \tilde{\varepsilon}_0 dv, \text{ Fuerzas en los nodos debida a deformación inicial}$$

$$\tilde{P} \sigma_0 = \int_{vol}^0 \tilde{B}^T \tilde{\sigma}_0 dv \text{ Fuerzas en los nodos debidos a deformación inicial}$$

$$\tilde{P} g = \int_{vol}^0 \tilde{N}^T \tilde{g} dv \text{ Fuerzas en los nodos debida a fuerzas del cuerpo}$$

$$\tilde{P} P = \int_{Area}^0 \tilde{N}^T \tilde{p} dA, \text{ Fuerzas en los nodos debido a fuerzas en la superficie}$$

$$\tilde{P} c = \sum \tilde{N}^T F_P, \text{ Fuerzas en los nodos}$$

La fuerza equivalente en los nodos se calcula entonces como la suma de las ecuaciones:



$$\tilde{P}^e = \tilde{P}\varepsilon_0 + \tilde{P}\sigma_0 + \tilde{P}g + \tilde{P}P + \tilde{P}c$$

La ecuación que relaciona los desplazamientos en los nodos del cuerpo con las fuerzas aplicadas en los nodos es la ecuación fundamental en el método de los elementos finitos. Esta ecuación se aplica a cuerpos de geometría sencilla, como es el caso de triángulos, rectángulos, paralelepípedos rectangulares. La descripción del cuerpo en estudio requiere de la colocación ordenada de estas figuras elementales con el objeto de describir la geometría del cuerpo en estudio. El ensamblaje de dichos elementos requiere de establecer criterios de compatibilidad en las deformaciones en los diferentes nodos, constituye lo que se conoce como el ensamble de la matriz de la estructura bajo estudio. La ecuación aplicada a un elemento unidimensional se puede escribir como:

$$u = \left[\left(1 - \frac{x}{l}\right) \frac{x}{l} \right] \begin{bmatrix} U^I \\ U^J \end{bmatrix} \text{ Dónde:}$$

$$\tilde{N} = \left[\left(1 - \frac{x}{l}\right) \frac{x}{l} \right] \text{ De donde:}$$

$$\tilde{B} = \tilde{L}\tilde{N} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x^j} + \frac{\partial}{\partial x^i} \right] \tilde{N} = \left[\left(-\frac{1}{L}\right) \frac{1}{L} \right]$$

Dado que la matriz $\tilde{D} = E$, la matriz rigidez para este elemento se puede escribir Como:

$$\tilde{K} = \int_{vol}^0 \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{L} \end{bmatrix} E \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} dv = E \int_{vol}^0 \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \\ -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} dA dX = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} 2$$

3.4.1. Criterios de convergencia.

Después de conocer los principios básicos del método de los elementos finitos se podría pensar que la solución por el método de los elementos finitos podría converger ya sea aumentando los grados de libertad del elemento o disminuyendo su tamaño. El primero no es práctico ya que requeriría del uso de funciones de orden superior lo que requeriría de la solución de ecuaciones simultáneas de orden superior.

La convergencia de la solución es garantizada siempre y cuando la función asumida converja a medida que el tamaño del elemento se aproxima a cero. Por lo tanto:

² Esta ecuación involucra las fuerzas y desplazamientos en la dirección x local (x'). La ecuación representa la matriz rigidez completa



- ❖ La función local debe ser construida de forma tal que sus discontinuidades (en términos de su derivada) no haga que la función sea indefinida para todo el rango. O sea, que tanto la función asumida como sus derivadas debe ser continua.
- ❖ La integral de la función debe tener un valor único el cual deberá ser constante en la medida en que el tamaño del elemento se aproxima a cero

3.4. Softwares

3.5.1. Software etabs (ETABS, 2003).

Es un programa de análisis y diseño estructural basado en el método de los elementos finitos especiales características para el análisis y diseño estructural de edificaciones. Los métodos numéricos usados en el programa, los procedimientos de diseño y los códigos internacionales de diseño le permitirán ser versátil y productivo, tanto si se está diseñando un pórtico bidimensional o realizando un análisis dinámico de un edificio de gran altura con aisladores en la base.

Trabaja dentro de un sistema de datos integrados. El concepto básico es que usted crea un modelo consistente del sistema de piso y sistemas de pórtico vertical y lateral para analizar y diseñar toda la edificación. Todo lo que se necesita es integrar el modelo dentro de un sistema versátil de análisis y diseño con una interface. No existen módulos externos para mantenimiento y no se preocupe de la transferencia de datos entre módulos. Los efectos sobre una parte de la estructura debido a cambios efectuados en otra parte son instantáneos y automáticos.

Una gran variedad de opciones de exportación permiten transferir información desde la base de datos del ETABS para uso con otros paquetes de programas. Algunos usos de estas opciones de exportación, entre otros, son estructuraciones en planta y elevación usando AutoCAD, cimentación y análisis de losas usando SAFE, así con información detallada de paquetes que usan los archivos CIS/2 Step.

3.5.2. Software CSI SAFE (Safe, 2004).

Es un programa específico con el objetivo de automatizar el análisis y diseño estructuras básicas o complejas de concretos y objetos de alta cargas que emplea sistemas de cimentación basados en modeladores. El programa puede analizar y puede diseñar



tablas o alfombrillas de formas arbitrarias y de espesores diversos, puede dejar caer paneles, aberturas, vigas de borde y discontinuidades. Pueden fundamentarse combinaciones de Alfombrillas, Asideros de la Tira o Asideros Esparcidos Aislados.

El análisis se basa en el Método de Elementos Finitos en una moda teóricamente coherente. El armado es automático basado en especificaciones de parámetros del Usuario.

El Software produce trazados reforzar y evalúa los efectos de darle golpes de esfuerzo al corte alrededor de soportes de una columna. Las opciones están disponibles para incluir propiedades agrietadas en el modelo del elemento finito basado en la tabla reforzamiento? provistos.

También una opción integral de exportación de ETABS está disponible que automáticamente creará modelos seguros completos de cualquier piso ETABS o cualquier creación para diseño inmediato por SAFE.



3. Objetivo

3.2 Objetivo general

Determinar el método de diseño más eficiente para minimizar los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes mediante un diagnóstico de las cargas desbalanceadas en una edificación ubicada en la avenida Piñango (calle 5ª) entre las carreras 10 y 11, del barrio Castillogrande de la ciudad de Cartagena, con el fin de establecer y lograr una optimización de la interacción suelo-estructura.

3.3 Objetivos específicos

- Identificar las características propias del proyecto
- Realizar una modelación de la interacción suelo-estructura utilizando el sistema de elementos finitos en un edificio en concreto estructural, dentro de un rango de aproximadamente 1 a 16 pisos, con NSR-10.
- Estudiar el comportamiento de la carga de cada pilote, mediante la modelación de los diferentes coeficientes de resortes, en representación de la resistencia del suelo.
- Determinar la diferencia de carga de cada uno de los pilotes, como también las deformaciones producidas por los asentamientos diferenciales en la cimentación sobre pilotes para las edificaciones menores de 16 pisos en la ciudad de Cartagena.
- Analizar la incidencia que tiene la diferencia de la distribución de carga en los asentamientos diferenciales.
- Establecer pautas para el análisis ingenieril, diseño y construcción de la edificación, con cimentación sobre pilotes.



3.4 Alcance

Esta investigación está orientada en el balance de los asentamientos diferenciales en cimentaciones soportadas sobre pilotes, presentes en un edificio ubicado en la avenida Piñango (calle 5ª) entre las carreras 10 y 11, del barrio Castillogrande de la ciudad de Cartagena.



Figura 6. Imagen del lugar donde se ubicara el edificio³

Con base a la información obtenida a través de investigaciones realizadas por el ingeniero Civil Álvaro Covo Torres, las respectivas exploraciones in situ, se hacen modelos de la estructura basándose en la utilización del software estructural ETABS Y CSI SAFE, mediante el modelo matemático de elementos finitos, a partir de los resultados obtenidos se hará un análisis ingenieril, diseño y construcción de la edificación, y conocer la alternativa más eficiente de minimizar los asentamientos en cimentaciones sobre pilotes, y utilizar el resultado de la investigación para obtener un procedimiento específico para el diseño de edificaciones.

Esta investigación se llevó a cabo en un tiempo aproximado de 5 meses, lapso comprendido desde Febrero de 2014 hasta Junio del mismo año.

³ Fuente: <https://maps.google.es/maps>



4. Metodología

La filosofía de la investigación es de tipo causal, debido a que los asentamientos diferenciales en la cimentación sobre pilotes son el resultado de la interacción suelo-estructura y consideraciones pertinentes de diseño con base en los diferentes coeficientes de resorte del subsuelo, módulos de elasticidad, rigidez.

4.2 Formulación de hipótesis

- ❖ **Hipótesis 1:** la optimización de un proyecto se obtiene haciendo un balance de asentamientos diferenciales, teniendo como base en el diseño una cimentación deformable.
- ❖ **Hipótesis 2:** Los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes ocurren por los diferentes niveles de carga en los grupos de pilotes, la capacidad de soporte de un grupo de pilotes no tiene equivalencia a un pilote individual como tampoco a la carga total de la estructura, por lo tanto no se puede considerar una cimentación rígida, esta presenta deformación.

4.3 Procedimiento

En este proyecto para cumplir con los objetivos propuestos, previamente definidos, fue dividido en las siguientes etapas:

- Recolección de información secundaria (bibliográfica)
- Recopilación del proyecto
- Caracterización geotécnica del subsuelo.
- Aprendizaje del software
- Análisis de variables
- Modelación de la interacción suelo estructura.
- Análisis de distribución de cargas.
- Análisis comparativo de asentamientos vs distribución de carga.
- Análisis de resultados y conclusiones



I. Recopilación secundaria (bibliográfica).

En esta etapa del estudio se incluyó todo lo referente a las indagaciones de la teoría del proyecto, el marco teórico y sus antecedentes, la definición de conceptos básicos del proyecto como son sistemas estructurales y cimentaciones, aspectos de análisis en los cuales se incluyen las determinaciones de las distribución de cargas, el tipo de suelo, comportamiento de pilotes y grupos de pilotes, cargas de falla, coeficientes de resorte del suelo, módulo de elasticidad y demás aspectos que definen el espectro de diseño de la estructura y que juegan con todas las consideraciones para obtener un fin último que consiste en el diseño de una edificación.

Para su realización se requirió de elementos como libros, artículos, revistas e internet que sirvieron como material bibliográfico; los cuales se obtuvieron de la biblioteca de la Universidad de Cartagena y de bases de datos especializadas en artículos relacionados con el tema como Science Direct, entre otras

II. Recopilación del proyecto.

El proyecto a estudiar fue suministrado por la empresa ARNOLDO BERROCAL INGENIERÍA S.A.S y el estudio del suelo por AICO LTDA.

III. Caracterización geotécnica del subsuelo.

Se hizo una caracterización del subsuelo del lugar a estudiar, con base a datos provenientes de los estudios realizados por el Ingeniero Álvaro Covo, quien hizo un estudio del subsuelo con 125 metros lineales de perforación repartidos en cinco sondeos, con sus correspondientes ensayos de laboratorio. Los sondeos se realizaron en diferentes lugares teniendo como referencia los planos arquitectónicos del edificio.

Tipo de Perfil Suelo

De acuerdo con las condiciones específicas encontradas durante el programa de exploración de campo, los resultados de los ensayos efectuados en las muestras, el tipo de cimentación y la geología de la zona podemos concluir que el tipo de perfil del suelo del sitio es tipo C.

Nivel Freático

El nivel del agua en las perforaciones se detectó a una profundidad de 1 metro por debajo del nivel existente de terreno.



Recomendación de cimentación Extendida.

Debido a la baja resistencia encontrada al nivel de cimentación, recomendamos que la nueva edificación se soporte sobre un sistema de cabezal y pilotes de 0,60 metros de diámetro cimentados a una profundidad de 21 metros por debajo del nivel existente de terreno. La carga de diseño del pilote descrito es de 150 toneladas con un factor de seguridad de 2,5. Recomendamos que los pilotes se construyan con una separación de 3 diámetros medidos centro a centro. Con el objeto de verificar la carga de diseño recomendamos efectuar pruebas de carga en por lo menos 2 pilotes.

Recomendación de cimentación Superficial.

Cargas por debajo de 50 toneladas se podrán cimentar superficialmente a una profundidad de 0,50 metros mejorando el terreno hasta una profundidad de 1,5 metros, tal como se muestra en la Figura 1. El esfuerzo admisible de diseño con el mejoramiento descrito es de 10 toneladas por metro cuadrado. La grava triturada podrá ser reemplazada por relleno por material del sitio aprobado por el geotécnico o zahorra compactada hasta el 94 por ciento del proctor modificado del material, siempre y cuando este se encuentre por encima del nivel freático



Figura 7: Recomendación cimentación superficial (AICO LTDA, 2013).

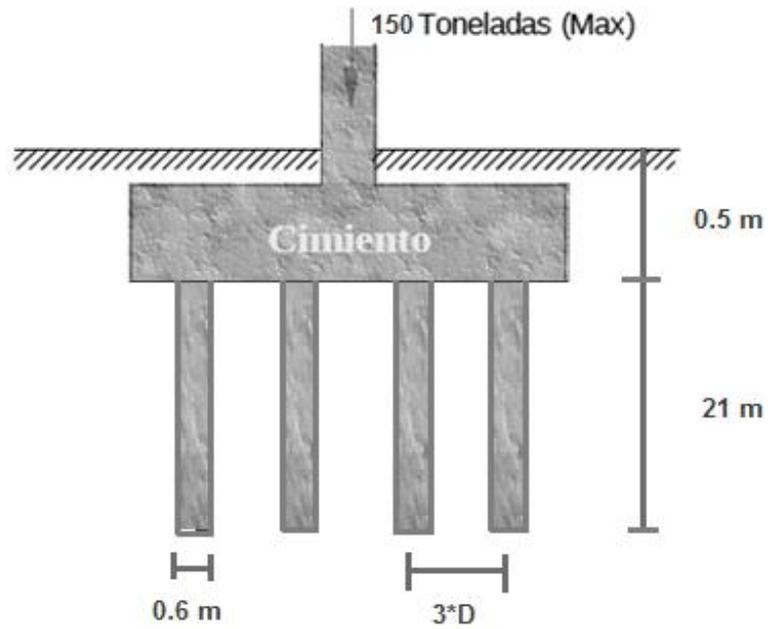


Figura 8: Recomendación cimentación profunda (AICO LTDA, 2013). ilustrada por autor.

Sondeos realizados por el estudio de suelo



Figura 9: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°1, (AICO LTDA, 2013).



Figura 10: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°2, (AICO LTDA, 2013)



Figura 11: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°3, (AICO LTDA, 2013)



Figura 12: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n°4, (AICO LTDA, 2013)



Figura 13: fotografías correspondientes al estudio de suelos, sondeo n° 5, (AICO LTDA, 2013)



IV. Aprendizaje del software:

Para el manejo de los software ETABS y CSI SAFE, se dedicó tiempo al autoaprendizaje de los mismos y además se tuvo acompañamiento del director del estudio para que el proceso se diera de una forma más oportuna para las necesidades propias de este estudio, seguidamente se aplicó la modelación de la interacción suelo-estructura, análisis, diseño y cálculo de los asentamientos en cimentaciones sobre pilotes utilizando el sistema de elementos finitos en un edificio en concreto estructural con el fin de conocer el nivel de afectación a la superestructura y a los demás elementos no estructurales, el comportamiento del subsuelo.

V. Análisis.

i. Descripción de la estructura:

El edificio consta de una estructura de 16 niveles de entre pisos ubicados en la ciudad de Cartagena, el sistema estructural es combinado, con una capacidad de disipación DMI, zona de amenaza sísmica baja.

Características	
Sistema estructural	Combinado
Capacidad de disipación de energía	DMI
Coefficiente de disipación de energía	2.5
Zona de amenaza sísmica	Baja
A_a	0.1
A_v	0.1
Perfil de tipo suelo	c
Grupo de uso	1.0

Tabla 8. Características sísmicas del edificio a analizar

ii. Definición de variables:

i. variable dependiente:

- Asentamientos diferenciales.
- Distribución de carga
- Módulo de elasticidad.
- Coeficiente de resorte del suelo.



ii. *variables independientes:*

- Número de pisos.
- Geometría de la planta del edificio.
- Sistema estructural.
- Norma utilizada.

iii. ***Modelación de la interacción suelo-estructura:***

Teniendo en cuenta las condiciones suministradas por el Ingeniero Álvaro Covo, el ingeniero Arnoldo Berrocal el procedimiento para modelar las estructuras se realizó en el software estructural ETABS V9.7.4 para posteriormente analizar en el software estructural SAFE 2014 de la siguiente forma:

- ❖ Se hizo la geometría de la cimentación del edificio en el software ETABS V9.7.4 y se exporto en SAFE 2014.

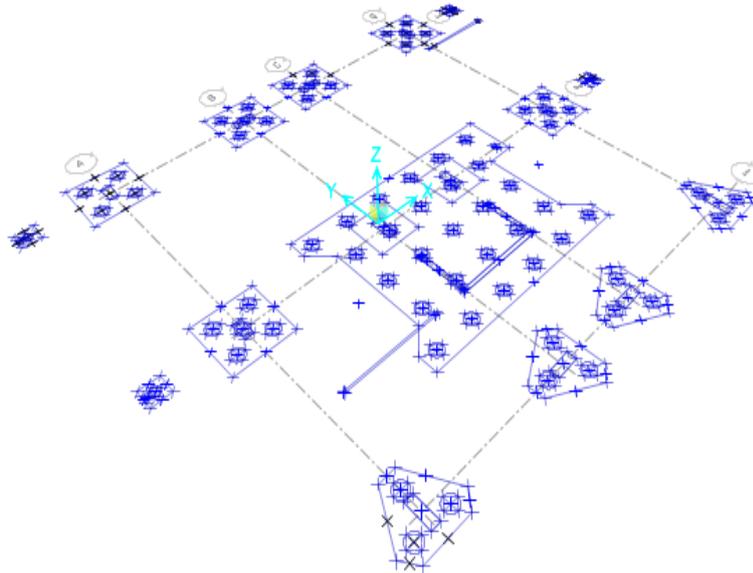


Figura 14; *Imagen de modelación de la cimentación del edificio a estudiar (etabs)*



- ❖ Se importó el modelo geométrico de la cimentación del edificio a estudiar a SAFE 2014.

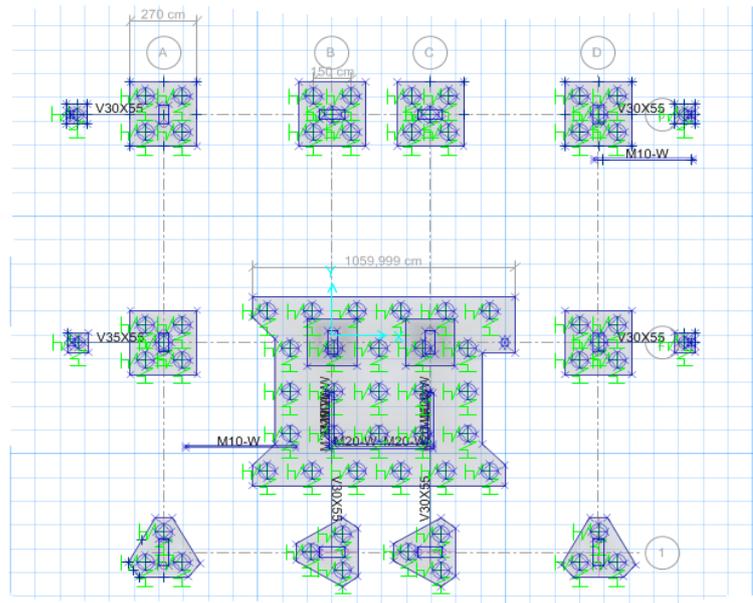


Figura 15 ; Imagen de modelación de la Cimentación del edificio a estudiar (Safe).

- ❖ Se dividió cada elemento en partes más pequeñas, para hacer la evaluación mediante elementos finitos y así obtener valores más representativos del comportamiento de la cimentación frente a las cargas impuestas, debido a la interacción suelo- estructura.

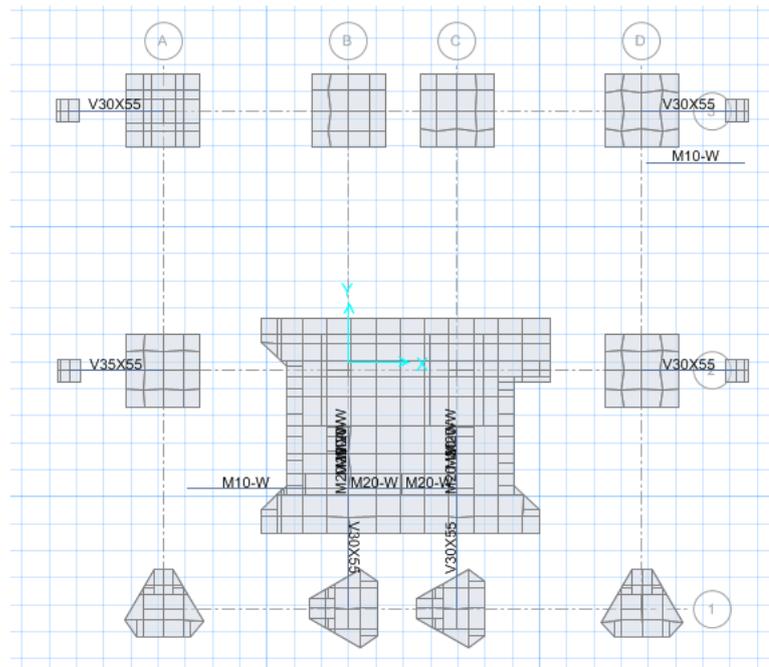


Figura 16 ; División de la cimentación en elementos finitos, utilizando la opción show mesh (Safe 2014).



- ❖ Se definieron los materiales constituyentes al edificio en estudio, de acuerdo con sus propiedades, características y especificaciones (Figura 17).

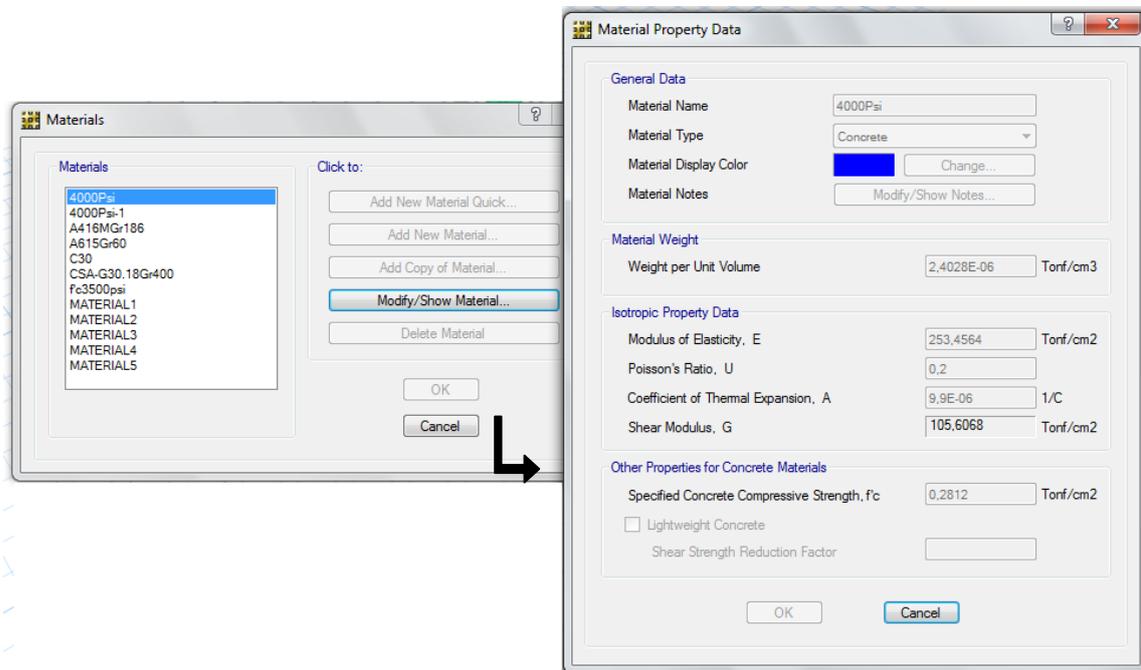


Figura 17; Asignación de las propiedades de los materiales (Safe 2014)

- ❖ Se definieron las propiedades de la losa, de acuerdo con las especificaciones del diseño (figura 26), de la misma manera se definen las propiedad de las vigas utilizando la opción *Beam property*, como otras propiedades importantes para el diseño.

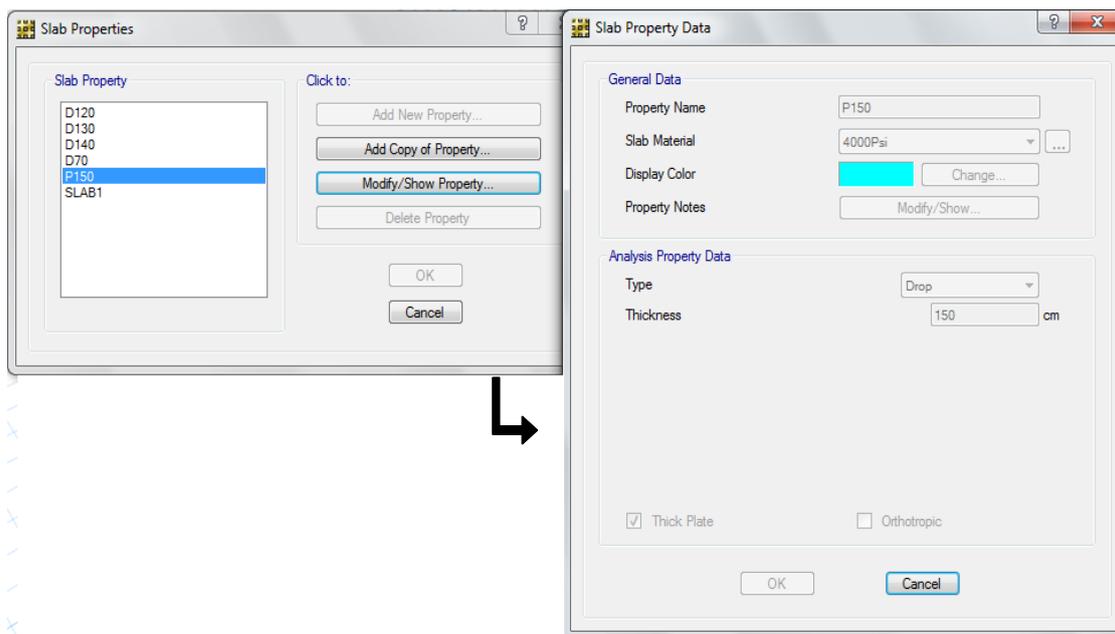


Figura 18; Asignación de las características de la losa (Safe 2014).



- ❖ Se verificaron las cargas para el diseño sísmico. Para el cálculo de la deformación de la cimentación bajo un posible sismo.

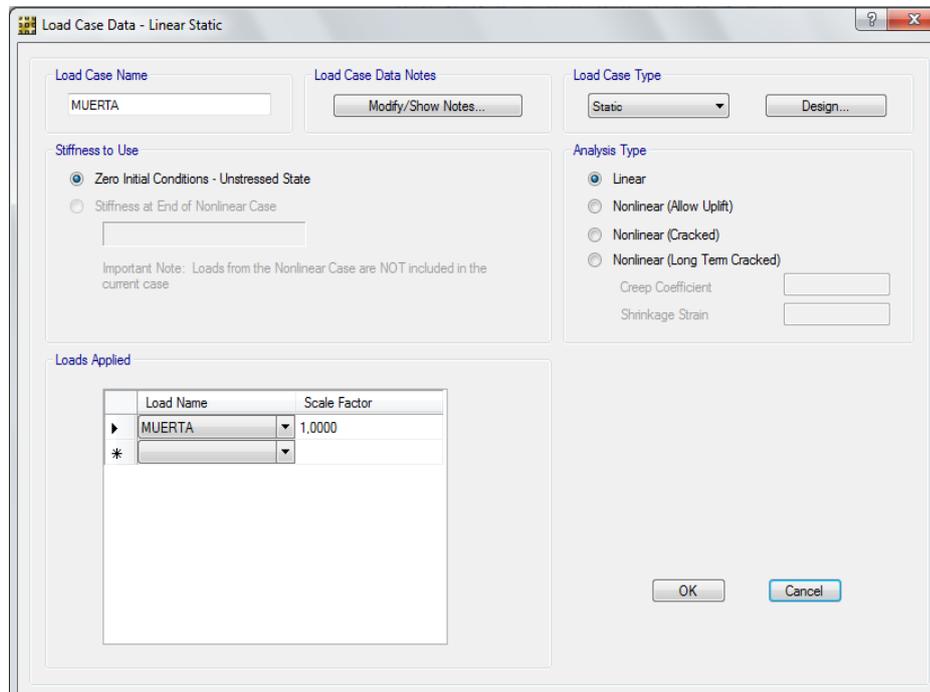


Figura 19; Asignación de cargas de diseño sísmico para la cimentación sobre pilotes (SAFE 2014).

- ❖ Se definieron las combinaciones de carga (figura 28), realizando un análisis dinámico para la aplicación de un sismo de diseño, mediante unas combinaciones de carga estipuladas en el Capítulo A.5.2 de la NSR 10.

Combinaciones de carga:

Combinación 1: 1.2CM+1.2PP+1.6CV

Combinación 2: CM+PP

Combinación 3: 1.4 CM+1.4 PP+1.4 SM

Combinación 4: 0.9CM+1.2 CV+0.9PP+1.6 V2

Combinación 5: 1.2CM+0.5CV+1.2PP+0.12SpecX+0.4SpecY

Combinación 6: 1.2CM+0.5CV+1.2PP+0.4SpecX+0.12SpecY

Combinación 7: 1.4CM+1.4PP+1.4SM, entre otras combinaciones básicas necesarias



Dónde:

CM: Carga muerta

CV: Carga viva

PP: Peso propio

Specx: Sismo en dirección x

Specy: Sismo en dirección y

Viento1: Efecto del viento en dirección x

Viento 2: Efecto del viento en dirección y

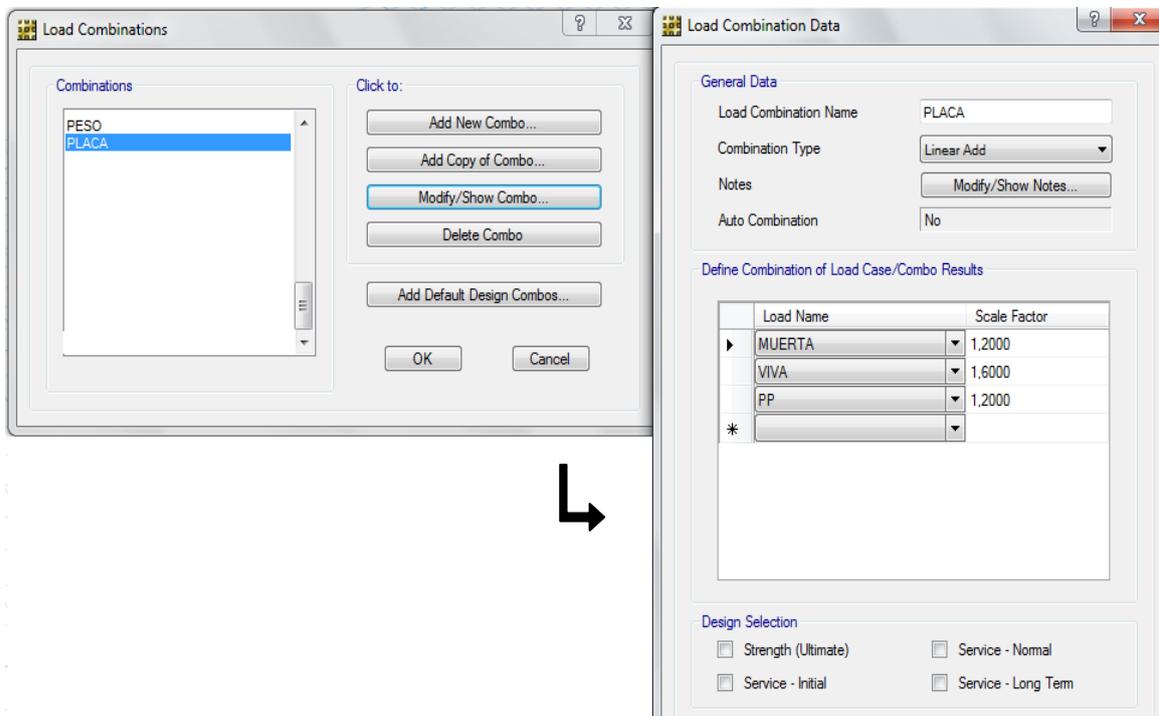


Figura 20; Asignación de combinación 1, en la aplicación de sismo del diseño (safe2014)



iv. Determinación de la constante elástica del terreno, modulo de resistencia del suelo (modulo winkler).

Para la determinación de los correspondientes módulos de resistencia de suelo se tuvieron en cuenta el Informe Geotécnico, los esfuerzos admisibles del suelo (kg/cm^2) y la caracterización geotécnica del subsuelo.

Modulo de Reaccion del Suelo Datos para SAFE					
Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)
0.25	0.65	1.55	3.19	2.85	5.70
0.30	0.78	1.60	3.28	2.90	5.80
0.35	0.91	1.65	3.37	2.95	5.90
0.40	1.04	1.70	3.46	3.00	6.00
0.45	1.17	1.75	3.55	3.05	6.10
0.50	1.30	1.80	3.64	3.10	6.20
0.55	1.39	1.85	3.73	3.15	6.30
0.60	1.48	1.90	3.82	3.20	6.40
0.65	1.57	1.95	3.91	3.25	6.50
0.70	1.66	2.00	4.00	3.30	6.60
0.75	1.75	2.05	4.10	3.35	6.70
0.80	1.84	2.10	4.20	3.40	6.80
0.85	1.93	2.15	4.30	3.45	6.90
0.90	2.02	2.20	4.40	3.50	7.00
0.95	2.11	2.25	4.50	3.55	7.10
1.00	2.20	2.30	4.60	3.60	7.20
1.05	2.29	2.35	4.70	3.65	7.30
1.10	2.38	2.40	4.80	3.70	7.40
1.15	2.47	2.45	4.90	3.75	7.50
1.20	2.56	2.50	5.00	3.80	7.60
1.25	2.65	2.55	5.10	3.85	7.70
1.30	2.74	2.60	5.20	3.90	7.80
1.35	2.83	2.65	5.30	3.95	7.90
1.40	2.92	2.70	5.40	4.00	8.00
1.45	3.01	2.75	5.50		
1.50	3.10	2.80	5.60		

Tabla 9: Modulo del semi-espacio de winkler para darle valores a la superficie de apoyo, (Morrison, 1993)

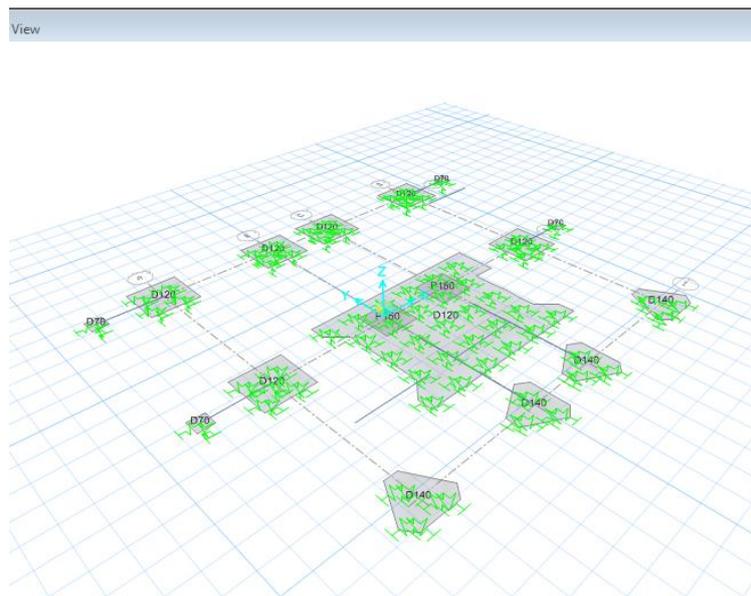


Figura 21; ilustración sobre los coeficientes del resorte del suelo en la cimentación sobre pilotes (SAFE2014)



v. *Calculo de asentamientos.*

Para el cálculo de asentamientos se tuvieron en cuenta la caracterización geotécnica del subsuelo y la interacción suelo estructura para las condiciones de rigidez del suelo,

vi. *Análisis de la distribución de cargas.*

Se realizo una distribución de cargas en los pilotes de tal manera de brindar una solución estructural que cumpla con el balance de asentamientos diferenciales

vii. *Análisis comparativo de asentamiento vs distribución de carga.*

Se recopiló toda la información obtenida del cálculo de los asentamientos en cimentaciones sobre pilotes, con el fin de lograr una relación entre la distribución de cargas en la estructura diseñada y la capacidad de soporte de los pilotes, teniendo en cuenta la caracterización geotécnica del subsuelo y la interacción suelo-estructura para las condiciones del suelo dadas por el ingeniero Álvaro Covo, las cuales permiten un gama de las alternativas a escoger

- ❖ Cambiando las longitud en los pilotes con base a la distribución de cargas impuesta en la estructura, con el fin de transmitir las cargas a un estrato de suelo más resistente y así poder aumentar o disminuir las cargas individuales de los pilotes sin producir asentamientos diferenciales, que pongan en riesgo la estabilidad de la estructura.

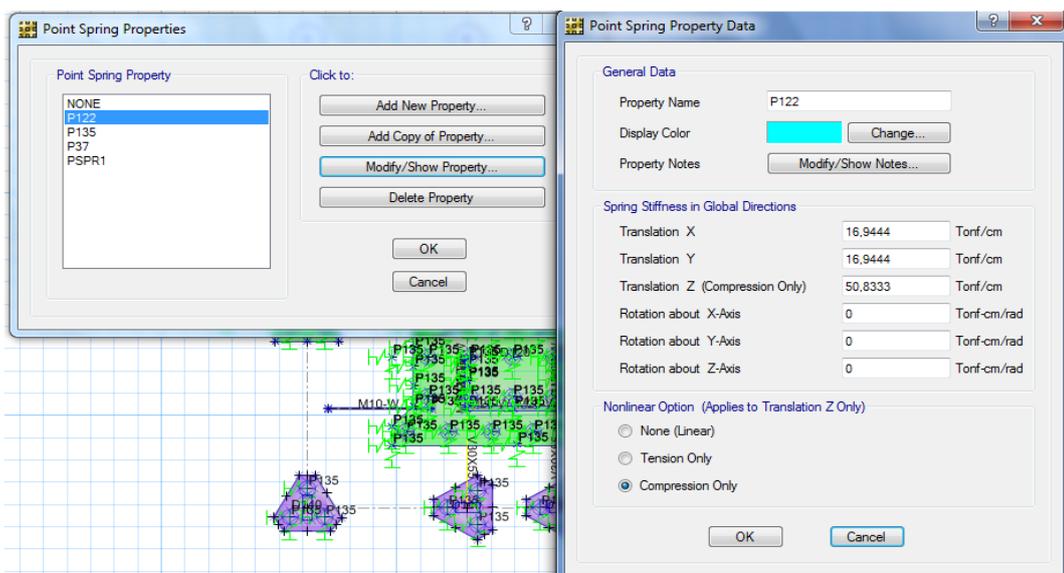


Figura 22; ilustración sobre los cambios en los valores de los resortes lineales para pilotes con diferentes longitudes y un diámetro de 60 cm, (SAFE2014).



- ❖ Modificando las características del suelo con el fin de obtener un suelo más resistente, podemos introducir en el suelo existente una mezcla de grava o conglomerado compactado con el propósito de tener un mayor esfuerzo admisible, en este caso podemos simplemente mejorar todo el suelo o la zona donde el suelo requiera más resistencia, debido a la distribución de cargas impuestas, el esfuerzo admisible es de $1,10 \text{ Kg/cm}^2$ para una nueva modelación en un suelo con clasificación diferente.

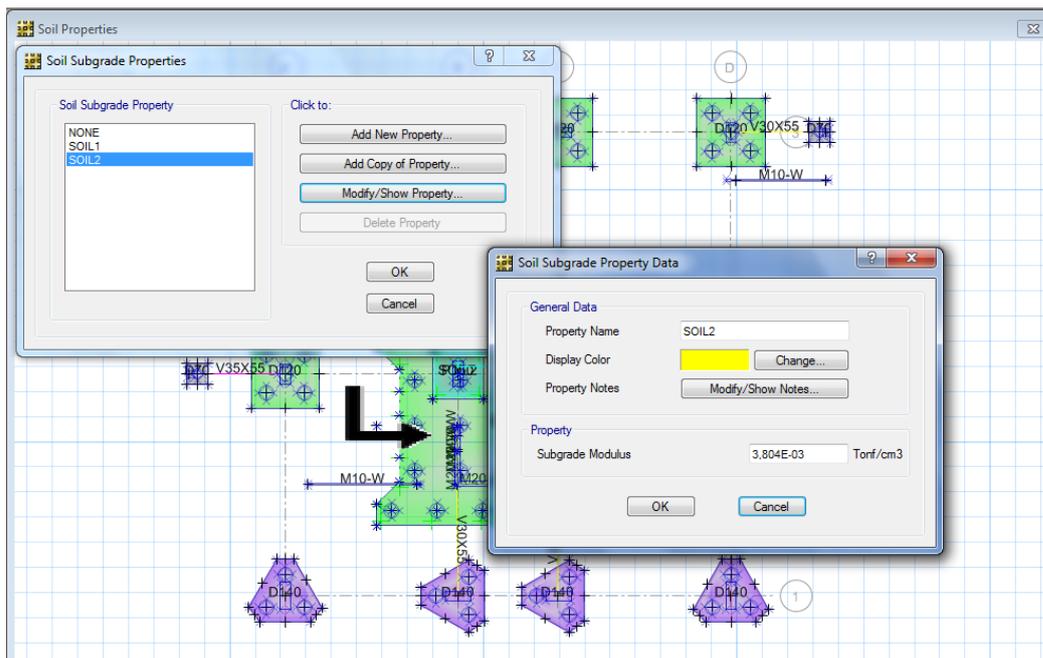


Figura 23; ilustración sobre los coeficientes de balasto para un esfuerzo admisible de $1,10 \text{ ton/cm}^2$ del suelo en la cimentación sobre pilotes (SAFE2014),

viii. Comparación de resultados obtenidos con resultados de otras investigaciones

Se hizo una comparación de resultados de esta investigación, con los resultados de otras investigaciones, teniendo en cuenta los resultados más relevantes como lo son las cargas impuestas, presión del suelo, y asentamientos.

ix. Análisis de resultados y conclusiones:

Después de haber realizado el análisis de los asentamientos diferenciales de la edificación, se determinará el método de minimizarlos y se ha escogió la alternativa optimizada, se hicieron recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos de acuerdo a esta investigación y a estudios relacionados a este.



5. Resultados y discusión

5.2 Caracterización geotécnica del suelo

En los cinco (5) sondeos efectuados en los ciento veinticinco (125) metros lineales de perforación se encontraron, un depósito de arena con grava a Limosa, medio denso a suelto, de color parda clara a parda gris, el cual se extiende hasta una profundidad de 10,5 metros, por debajo del cual encontramos un estrato de arcilla de media a alta plasticidad, resistente a muy resistente, el cual se extiende hasta la profundidad a que los sondeos se terminaron a 25 metros por debajo del nivel existente de terreno, en consecuencia con la exploración en campo, el tipo de cimentación y la geología de la zona se puede concluir que el tipo de perfil del suelo del sitio es tipo c. (AICO LTDA, 2013)

8.2.1. Nivel Freático.

El nivel del agua en las perforaciones se detectó a una profundidad de 1 metro por debajo del nivel existente de terreno.



Figura 24. Sondeos 1, 2, 3,5 en el lugar de estudio (AICO LTDA, 2013)



❖ **Constante de resorte k**

Coeficientes de balasto según Terzaghi									
Z	N	CONSISTENCIA	COMPACIDAD	kh1	nh	kh Terzaghi	k	K	Diametro
(m)		ARCILLA	ARENA	(kN/m3)	(kN/m3)	(kN/m3)	(KN/m3)	(Kg/cm3)	(m)
1	9		suelta	0	1300	21666,66667	1300	0,1325631	0,06
2	14		Media	0	4400	146666,6667	8800	0,8973503	0,06
3	12		Media	0	4400	220000	13200	1,3460254	0,06
4	15		Media	0	4400	293333,3333	17600	1,7947005	0,06
5	4		suelta	0	1300	108333,3333	6500	0,6628155	0,06
6	32		Densa	0	10800	180000	10800	1,1012935	0,06
7	19		media	0	4400	513333,3333	30800	3,1407259	0,06
8	15		media	0	4400	586666,6667	35200	3,5894011	0,06
9	11		media	0	4400	660000	39600	4,0380762	0,06
10	19		media	0	4400	733333,3333	44000	4,4867513	0,06
11	21	muy compacta		48000	0	160000	9600	0,9789276	0,06
12	25	muy compacta		48000	0	160000	9600	0,9789276	0,06
13	29	muy compacta		48000	0	160000	9600	0,9789276	0,06
14	30	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
15	34	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



16	37	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
17	39	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
18	42	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
19	46	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
20	48	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
21	51	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
22	53	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
23	59	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06
24	61	Dura		99900	0	333000	19980	2,037393	0,06

Tabla 10: calculo del modulo de balasto y constante de resorte para la modelación del estudio realizado.



❖ **Perfil estratigráfico típico del estudio de suelo.**

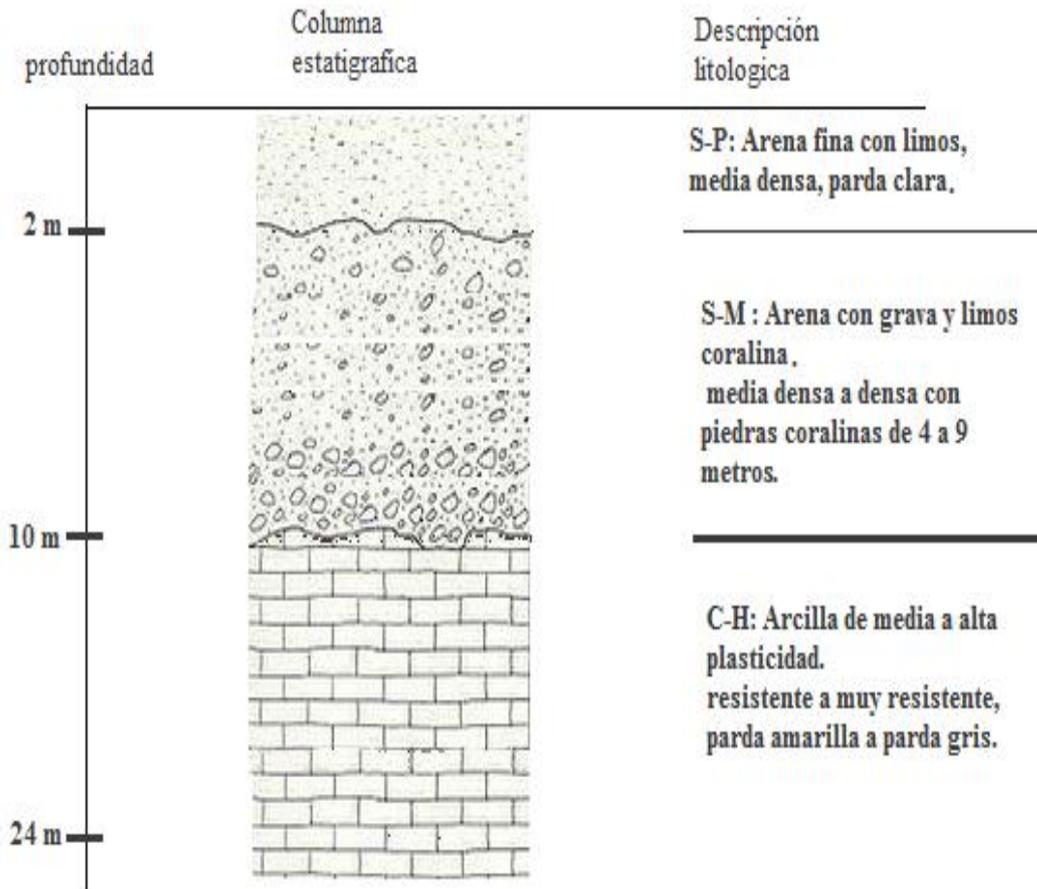


Figura 25. Perfil estratigráfico típico del subsuelo del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013), En la figura 23 se puede observar el perfil estratigráfico teniendo en cuenta los sondeos, en el que se relaciona el número de golpes, y la clasificación de cada una de las muestras a diferentes profundidades, cabe señalar que el nivel freático se encuentra a 1 metro de profundidad.

5.3 Descripción de la estructura

El edificio consta de una estructura de 16 niveles de entepiso, analizando el comportamiento de la cimentación frente a las características del suelo y diseño estructural, ubicado en la ciudad de Cartagena, para esta investigación se realizaron tres modelaciones con diferentes parámetros con el fin de minimizar los asentamientos diferenciales y totales



6.2.1. Datos para el análisis n°1.

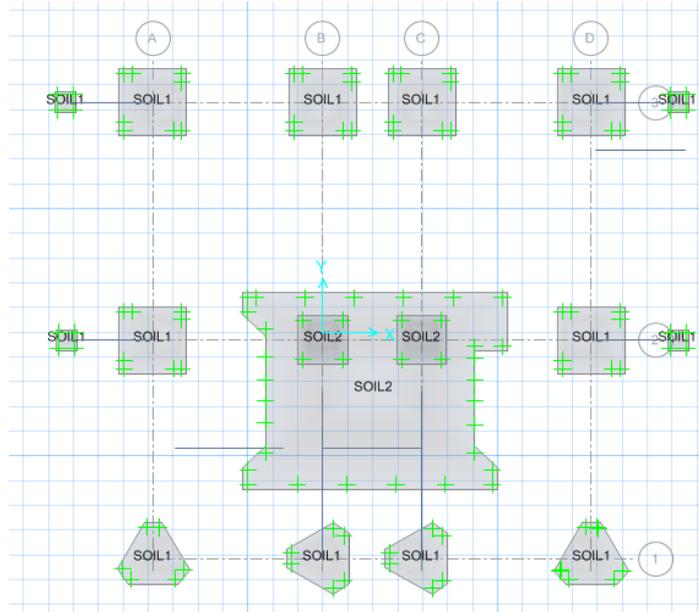


Figura 26. Ilustración de Modelo con propiedades del suelo modificadas.

Capacidad de disipación de energía: DMI.

Tipo de suelo: C, modificado a SC, GC.

Sistema estructural: Combinado

Descripción de los pilotes: Diámetro de 0.6 metros* 20.0 metros de longitud.

Coefficiente de balastro: 2.38 kg/ cm³, para un esfuerzo admisible de 1.10 kg/ cm².

Carga máxima de pilote: 135 toneladas

Una vez definidos todos los aspectos requeridos para el análisis de este edificio se obtuvieron



6.2.2. Datos para el análisis n°2.

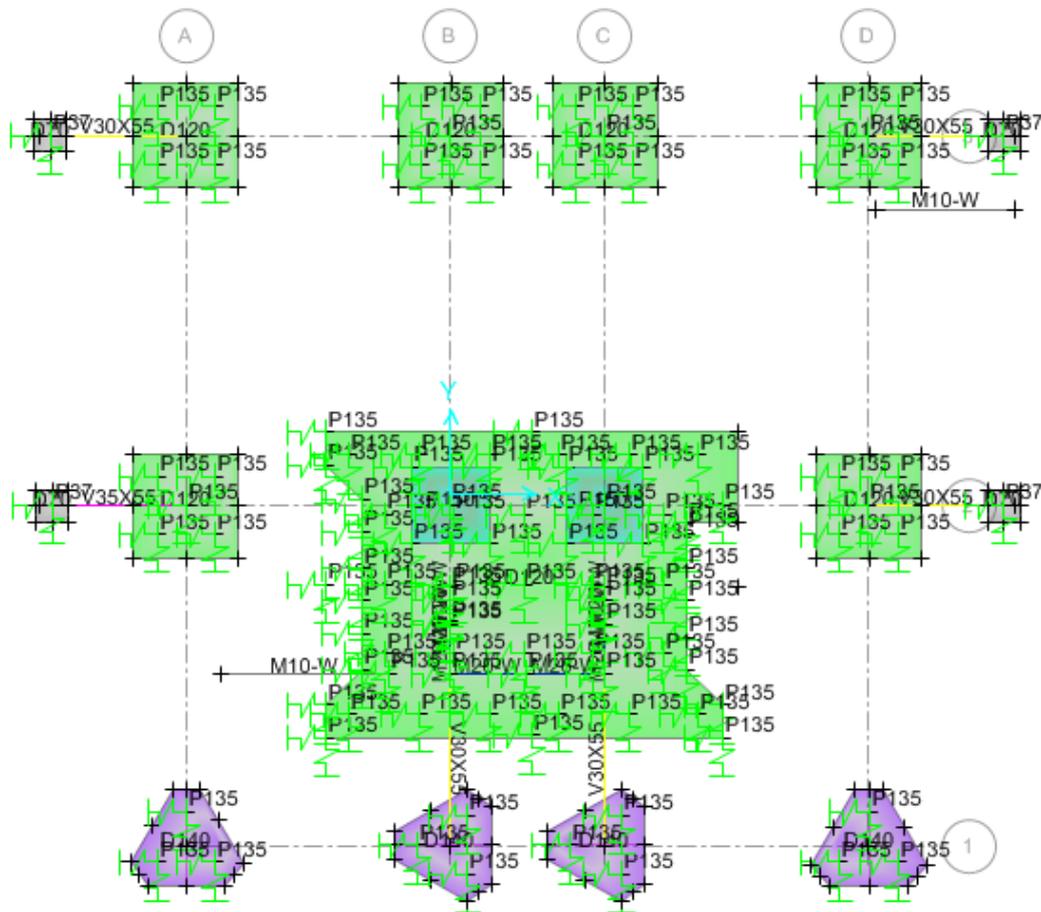


Figura 27. Ilustración de modelo con modificación en longitud de pilotes

Capacidad de disipación de energía: DMI.

Tipo de suelo: C.

Sistema estructural: Combinado

Descripción de los pilotes: Diámetro de 0.6 metros* longitud modificada de 18-21 metros.

Coefficiente de balastro: 2.03 kg/ cm³, para un esfuerzo admisible de 0.9 kg/ cm³.

Carga máxima de pilote: 135 toneladas

Una vez definidos todos los aspectos requeridos para el análisis de este edificio se obtuvieron los siguientes resultados.



6.2.3. Datos para el análisis n°3.

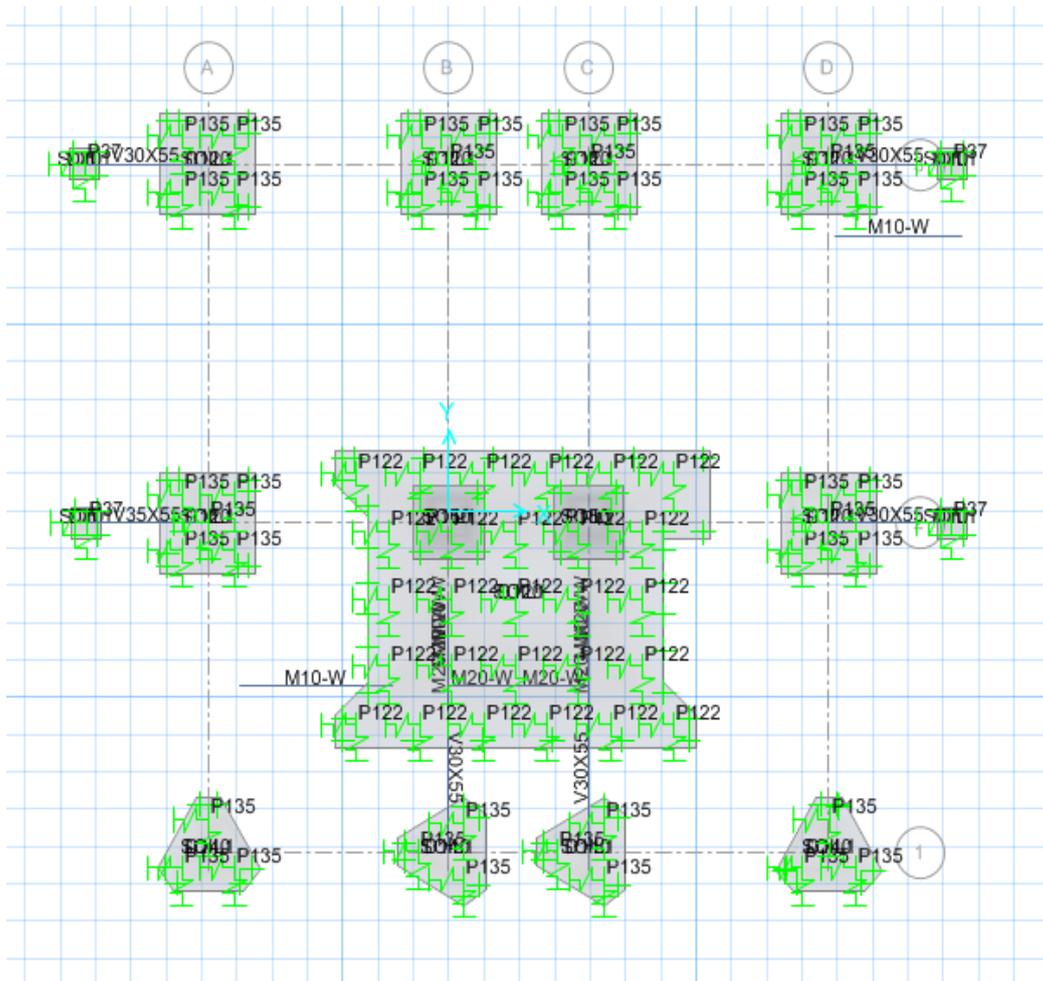


Figura 28. Ilustración de modelo de cimentación final.

Capacidad de disipación de energía: DMI.

Tipo de suelo: C.

Sistema estructural: Combinado

Descripción de los pilotes: Diámetro de 0.6 metros* longitud 20 metros.

Coefficiente de balastro: 2.03 kg/ cm³, para un esfuerzo admisible de 0.9 kg/ cm³.

Carga máxima de pilote: 135 toneladas

Una vez definidos todos los aspectos requeridos para el análisis de este edificio se obtuvieron los siguientes resultados.



8.1 Analisis y comparación de resultados obtenidos de acuerdo a las modelaciones realizadas

6.3.1. Comparación de presiones en el suelo

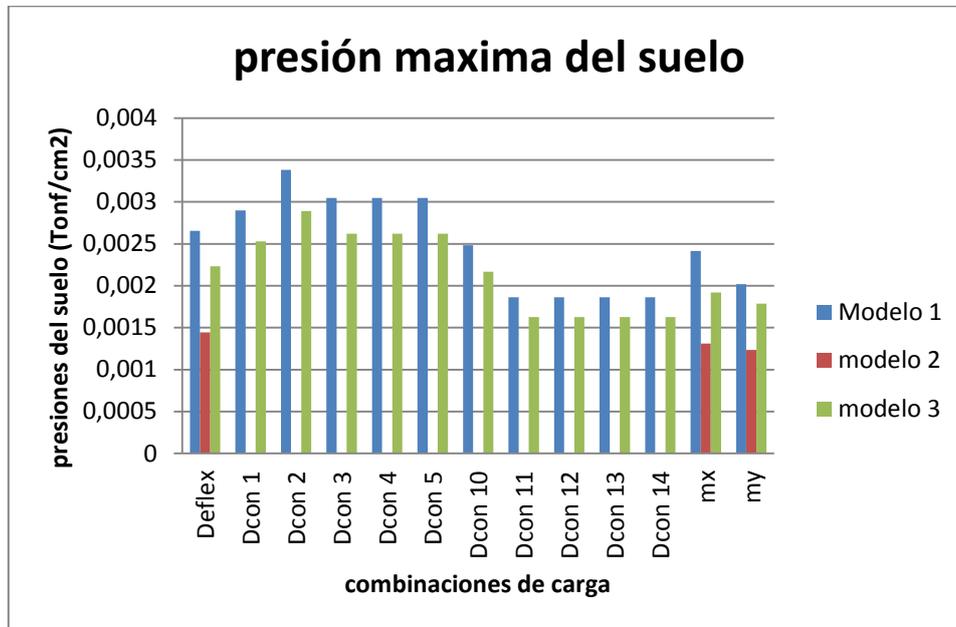


Figura 29. Comparación de las presiones máximas del suelo de los modelos generados bajo las condiciones de carga impuestas

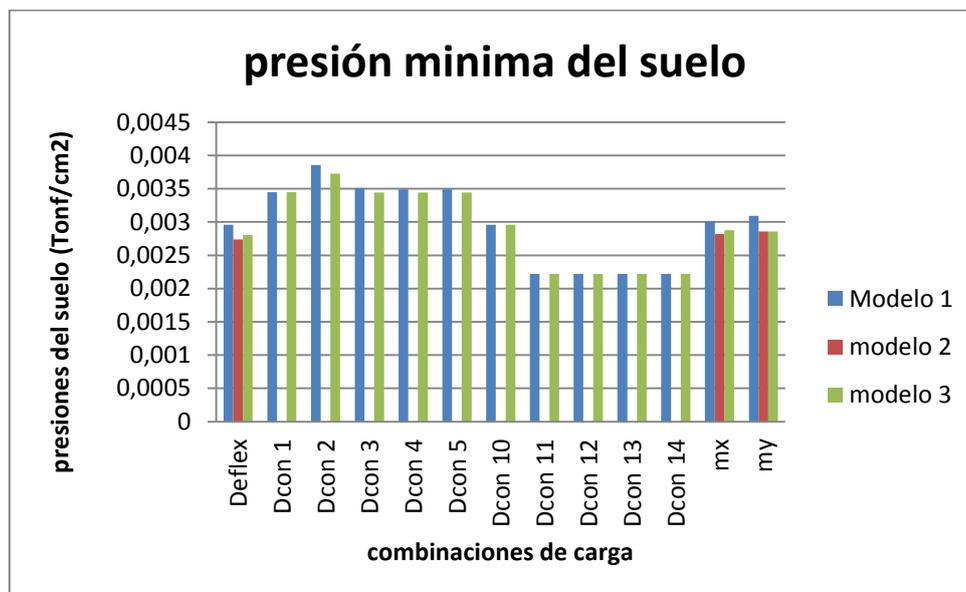


Figura 30. Comparación de las presiones mínimas del suelo de los modelos generados bajo las condiciones de carga impuestas.



6.3.2. Envoltente para falla en el suelo

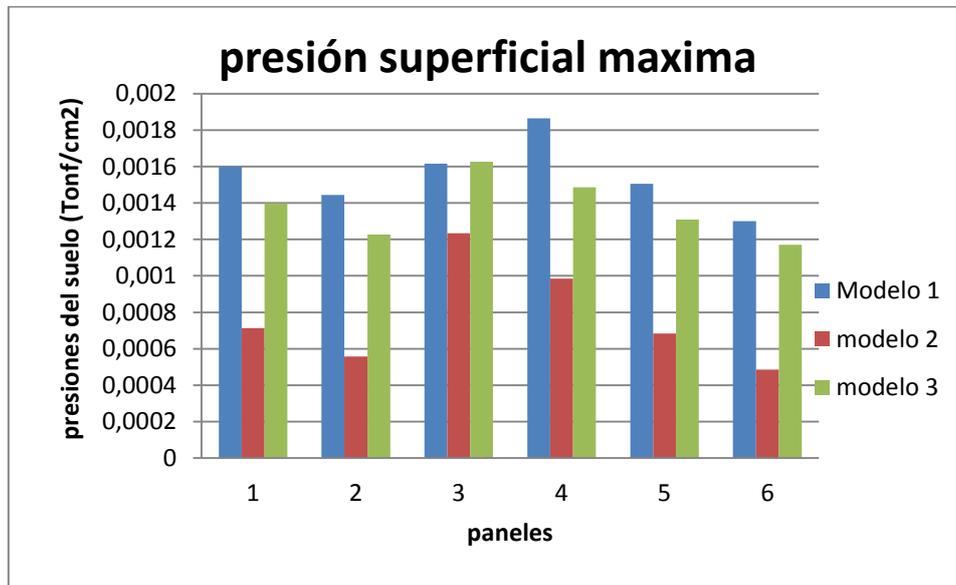


Figura 31. Comparación de las presiones superficiales del suelo en los paneles bajo las condiciones de cargas impuestas.

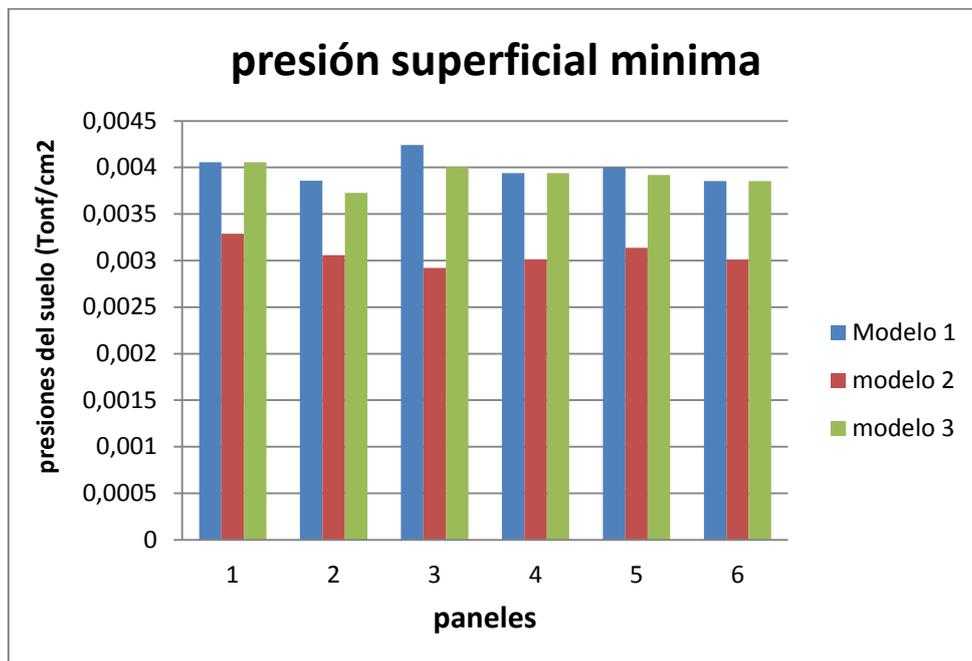


Figura 32. Comparación de las presiones superficiales del suelo en los paneles bajo las condiciones de cargas impuestas



6.3.3. Cálculo de Asentamientos.

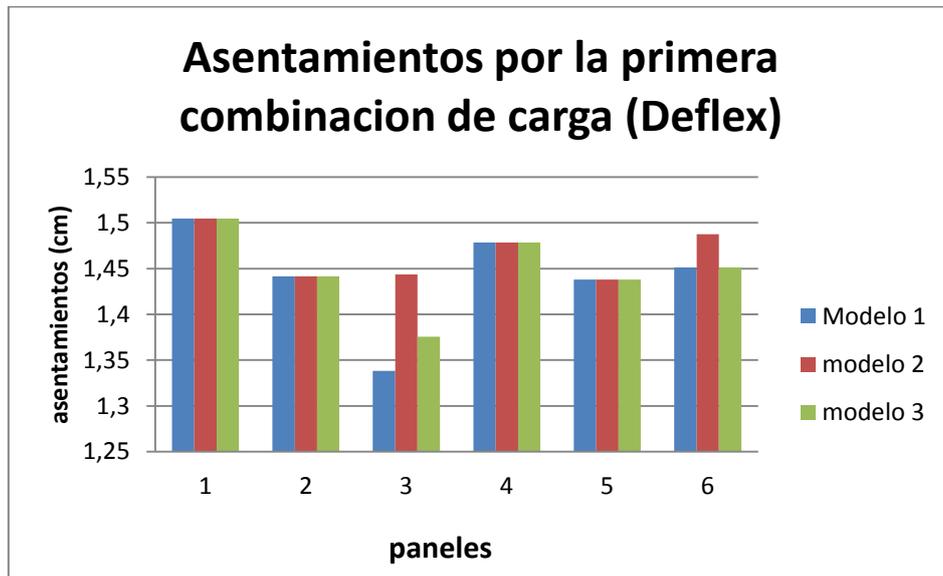


Figura 33. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Deflex).

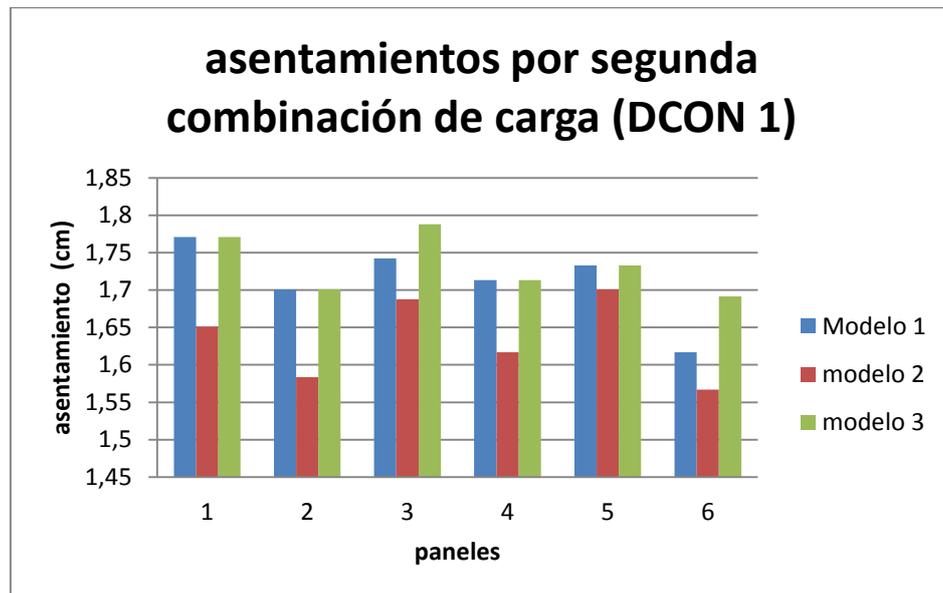


Figura 34. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon1).

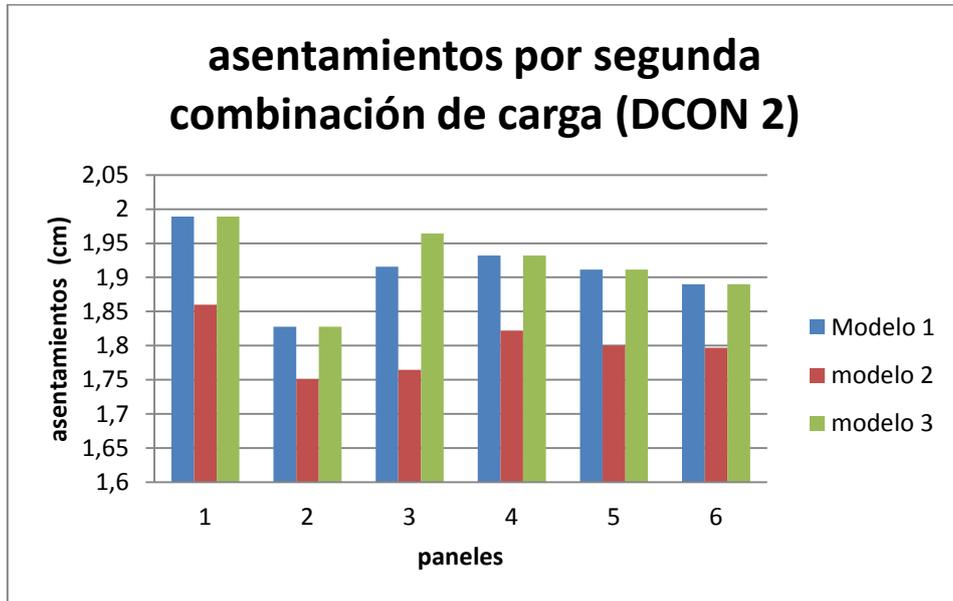


Figura 35. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon2).

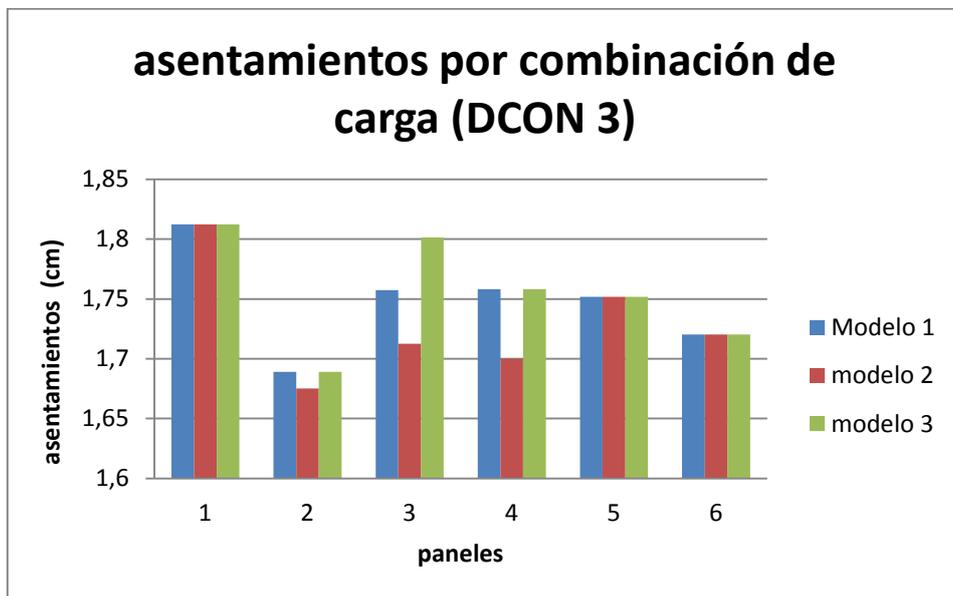


Figura 36. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 3).

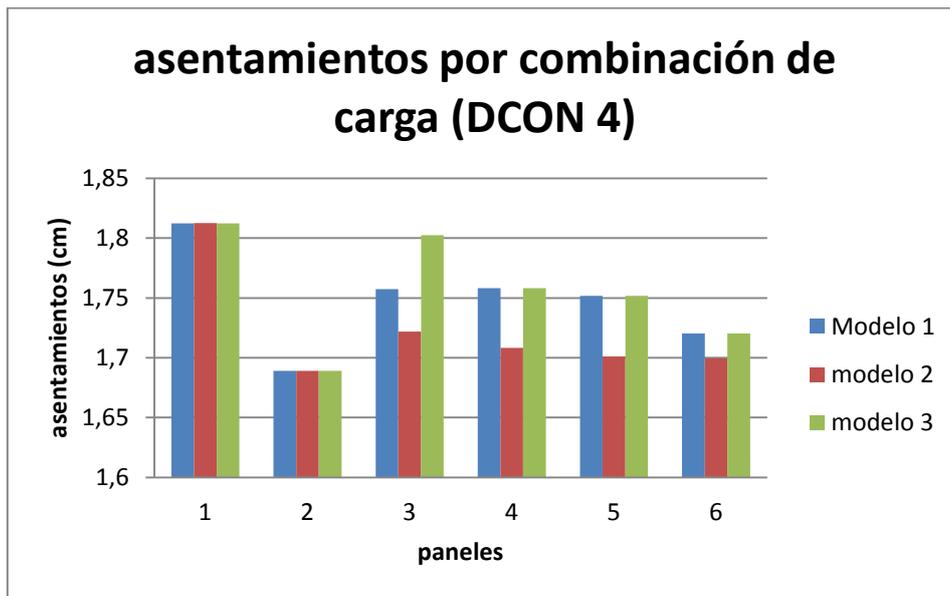


Figura 37. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 4).

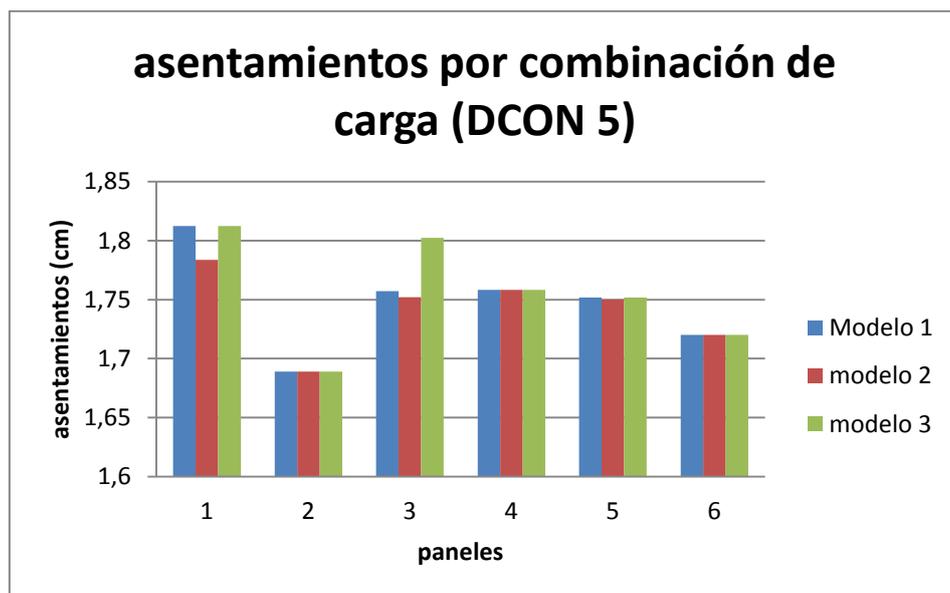


Figura 38. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon5).

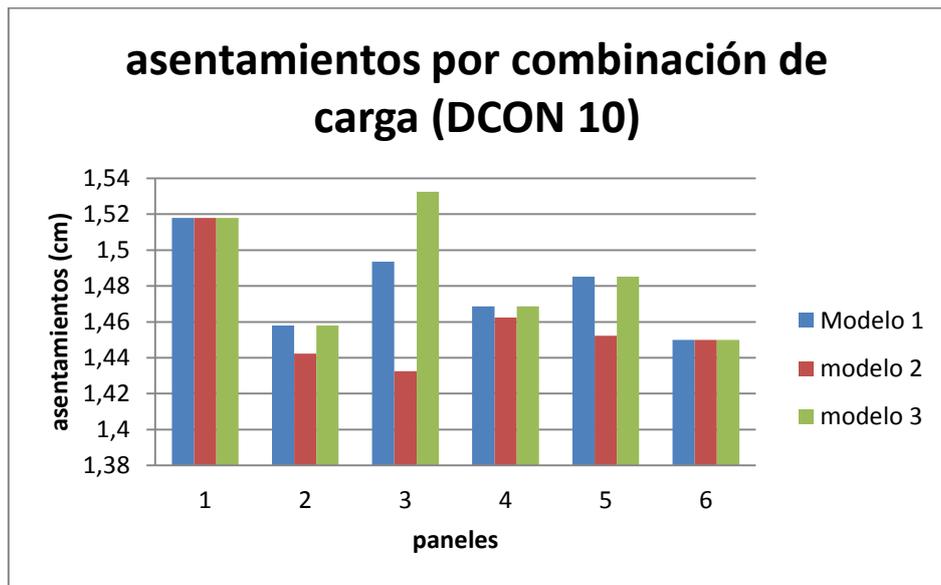


Figura 39. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon10).

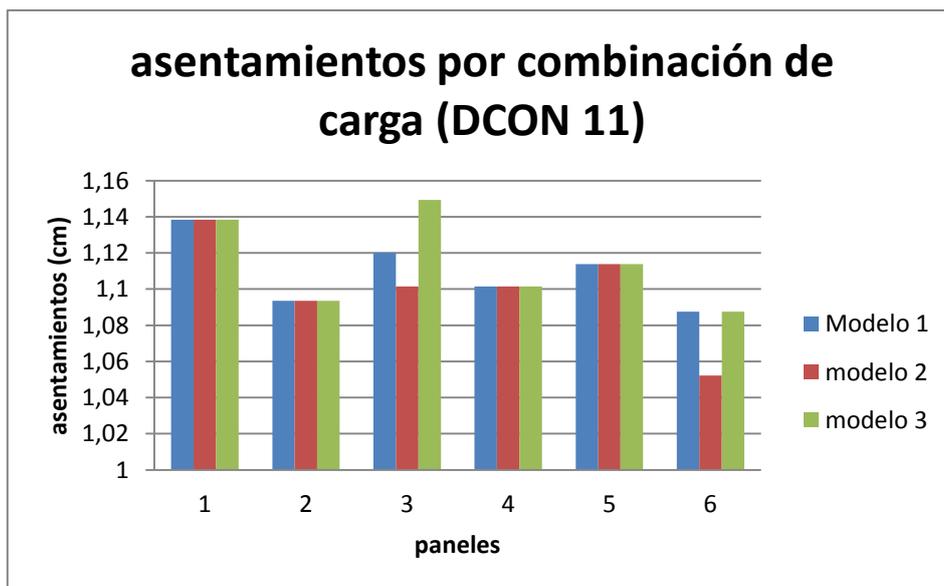


Figura 40. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon11).

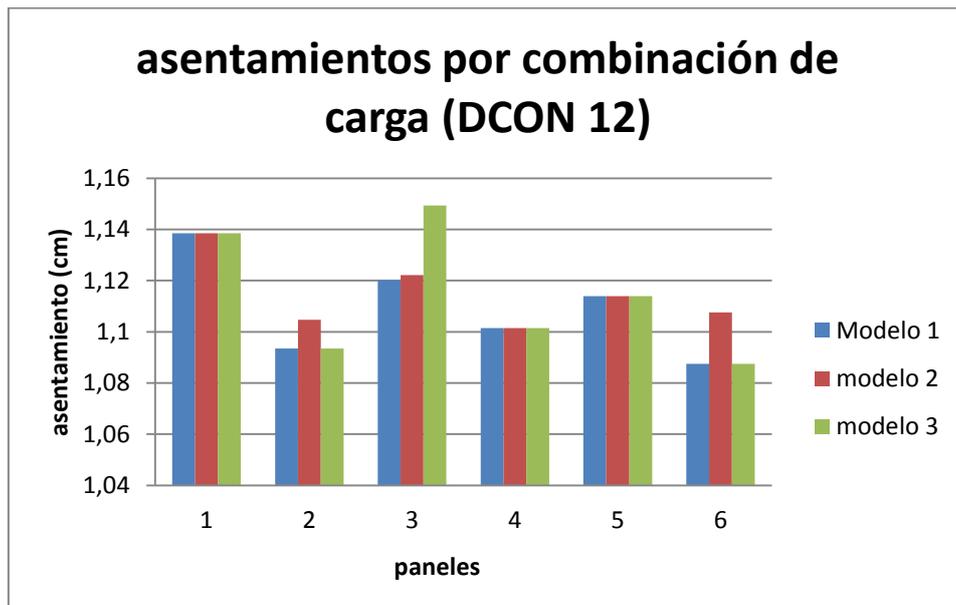


Figura 41. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon12).

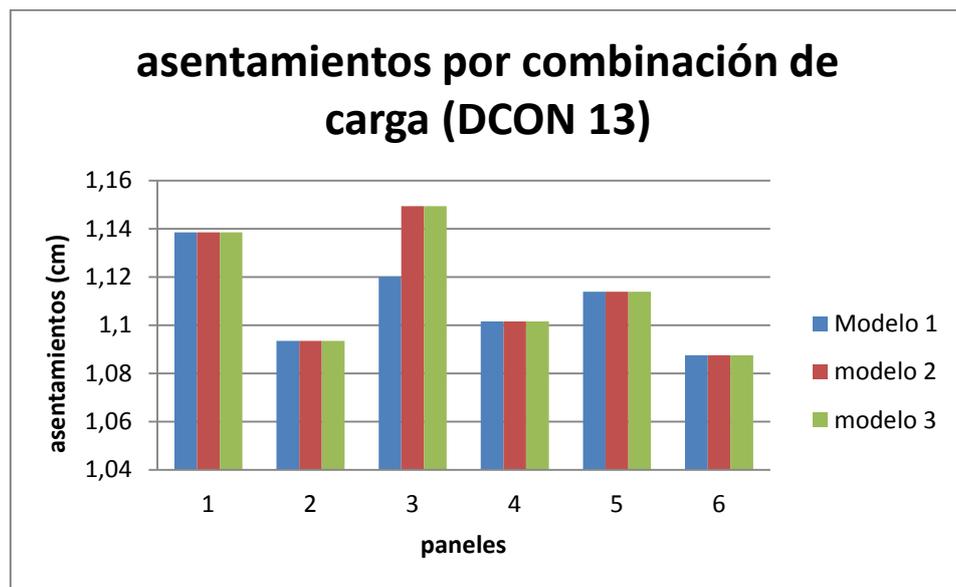


Figura 42. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 13).

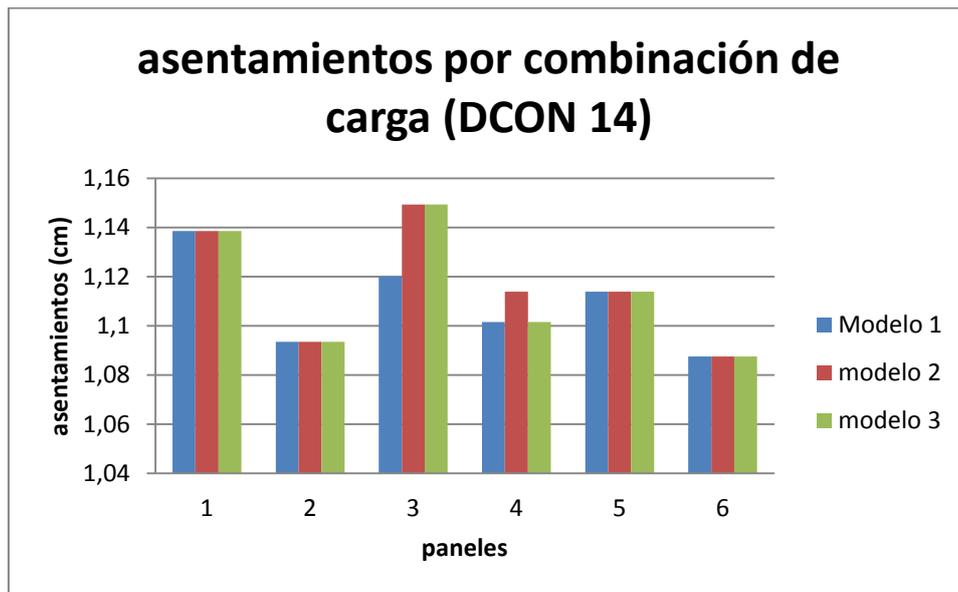


Figura 43. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (Dcon 14).

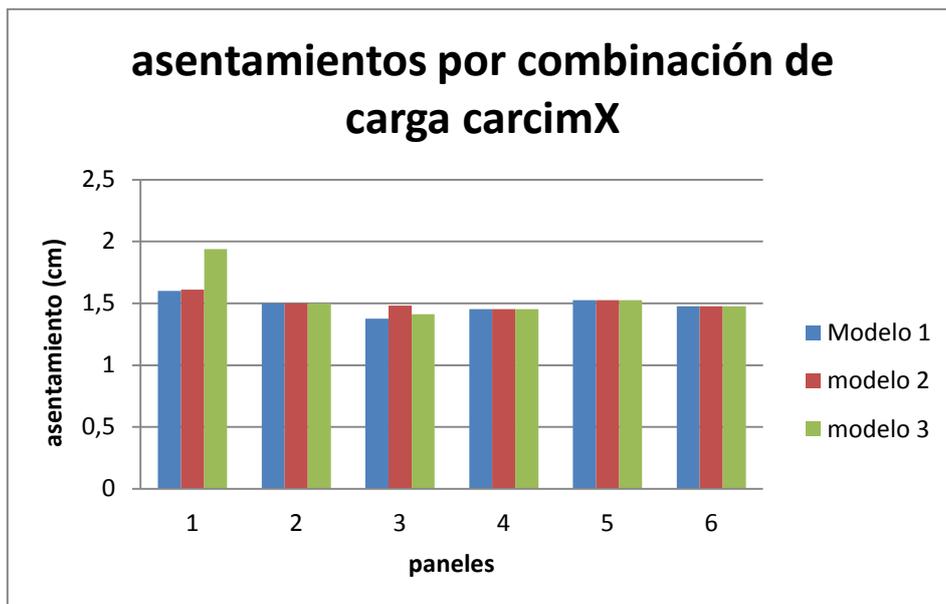


Figura 44. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (carcimx).

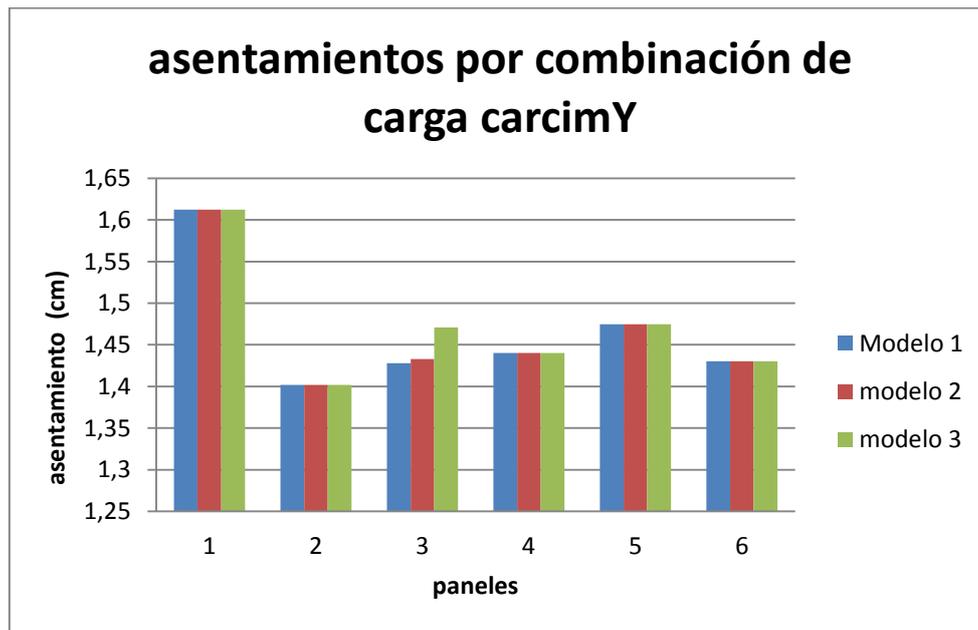


Figura 45. Comparación de los asentamientos en los estratos del suelo en que se apoya la cimentación para una de las combinaciones de carga (carcimY).

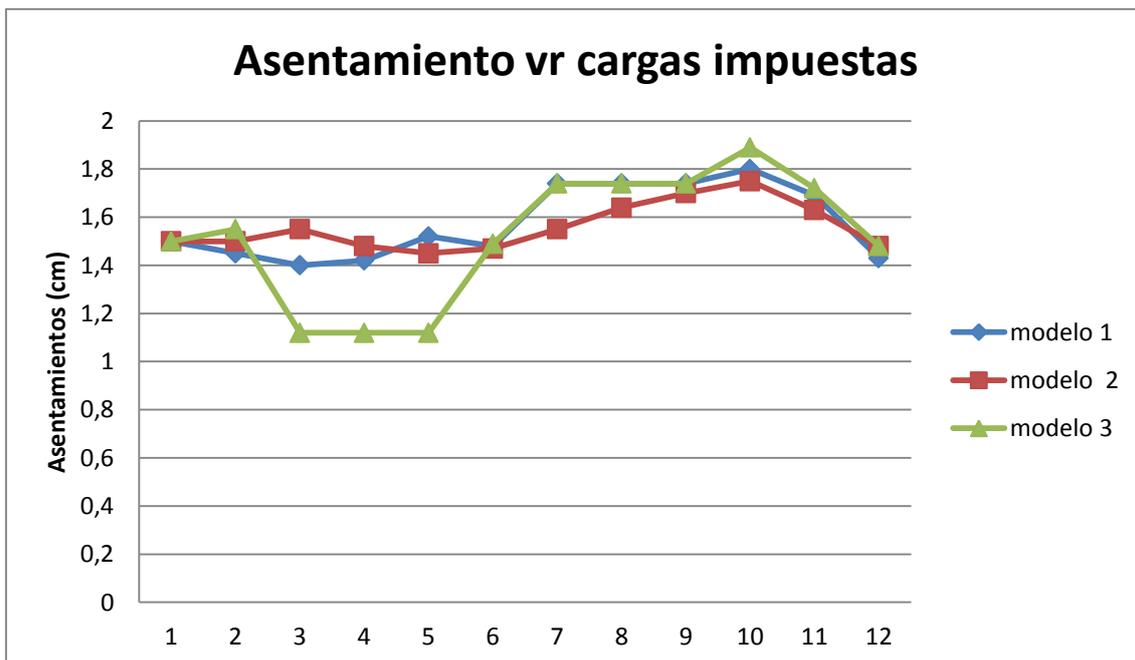


Figura 46. Comparación de los asentamientos en las modelaciones realizadas, ilustrando las diferentes combinaciones de cargas respectivas.



8.2 Análisis y comparación de resultados obtenidos con resultados de estudios anteriores

El análisis se hizo comparando resultados de las presiones del suelo y cálculo de asentamientos diferenciales y totales. Para llevar a cabo este análisis de comparación, fue necesario apoyar la investigación en algunos estudios previos a esta investigación y las teorías existentes sobre el comportamiento de la cimentación bajo diferentes cargas, en base a las teorías existente de la mecánica de suelo y estructuras, se puede decir que si las presiones impuestas por la estructura en el suelo supera el esfuerzo admisible de este, presenta asentamiento excesivos, por tal motivo se exponen algunos estudios sin desmeritar los demás que influyeron en el desarrollo de esta investigación como:

- ❖ Uno de los más destacados es el de la Torre Inclinada de Pisa, la cual sufrió asentamientos diferenciales de 1.2 y 3 metros en sus lados norte y sur, respectivamente, desde 1174 hasta nuestros días mediante un proceso conocido como consolidación. Los escandinavos utilizaron pilotes de madera para soportar construcciones en arcillas blandas, (Covo T.A.I, 2008).
- ❖ En la ciudad de bogota se presentaron inconveniente en el diseño y construcción de muchos edificios, por coniguiente para el 2008 se realizo un estudio de los asentamientos diferenciales y totales en sectores de la ciudad, causados por peso excesivo, cimentaciones deficientes o por desecación diferencial en zonas de arcilla blanda, en el cual se limitaba la altura del edificio por condiciones de cargas impuestas al suelo de soporte (Orozco, 2008).
- ❖ La mayoría de las cimentaciones con pilotes han sido diseñadas por la implementación de los pilotes de manera uniforme. En situaciones como estas los asentamientos tienden a ser grandes lo que conduce a un aumento de longitud y/o numero de pilotes necesario para reducir los asentamientos de la cimentación, (Dang Dinh Chung Nguyen, 2014).

Los estudios previos muestran la importancia de conocer el comportamiento del suelo bajo condiciones de las cargas impuestas, la conocida interacción suelo-estructura.



6. Conclusión

Estas son las conclusiones obtenidas después de haber cumplido con cada actividad propuesta en la metodología para el desarrollo de esta tesis. Se indica hasta donde se ha llegado con el estudio teniendo en cuenta las limitaciones de la modelación de la interacción suelo estructura mediante un análisis dinámico-elástico, y a través del modelo matemático de elementos finitos, en base a la viabilidad académica y económica, garantizando de tal forma el cumplimiento de los objetivos planteados previamente. De igual manera se dan las recomendaciones para balancear los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes que fue objeto de estudio, además se referencian aspectos importantes para tener en cuenta en futuros estudios relacionados con el mismo tema.

En este trabajo se planteó un modelo para el cálculo de la cimentación de un edificio y los desplazamientos en pilotes individuales cargados lateralmente, involucrando un modelo constitutivo no lineal y dependiente de coeficientes que simulan el suelo. El cálculo de los asentamientos se realizó empleando la metodología de Interacción Suelo Estructura que garantizó la compatibilidad de desplazamientos y de cargas en la interfaz suelo- estructura. Este procedimiento se implementó en un programa de computador capaz de calcular los desplazamientos en la cimentación sobre pilote, en función de la profundidad y la carga impuesta, obteniendo resultados obtenidos en las tablas y figuras anteriores, se concluye que los desplazamientos generados en la cimentación sobre pilotes no superan el asentamiento permisible en el orden de 3 cm, presentando asentamientos máximos de 1,98 cm, se realizó comparaciones en los asentamientos y encontramos asentamientos menores a 1 cm de diferencia, estos datos se analizaron con referencia el estudio de suelos realizado por la empresa AICO. LTDA 2013, basádo los resultados en estudios de edificaciones anteriores se puede afirmar que se logro minimizar las asentamientos diferenciales a un punto optimo.

Por estudios anteriores tenemos el coeficiente de balastro o modulo de winckler, este factor funciona simulando las carateristicas del suelo y por ende se puede manejar el comportamiento de este, para balancear los asentamientos de la cimentación es posible modificar las condiciones del suelo, mejorando las propiedades de este, teniendo como resultado mayor resistencia.



El modificar las características de los pilotes, El implementar pilotes más largos en las zonas donde la cimentación presente posibles asentamientos diferenciales asegura la estabilidad de la estructura, debido a que este elemento estructural posee una mayor capacidad de carga al llegar a un extracto de suelo más resistente

Tenemos la opción de utilizar las dos alternativas anteriores, obteniendo de esta el método de diseño más eficiente para minimizar los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes. La deflexión del pilote depende de la respuesta del suelo, la que a su vez depende de la deflexión del pilote, aunque es recomendable estudiar la rentabilidad económica de esta opción.

Se concluye también que los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con otros estudios, en cuanto al comportamiento que presenta la implementación de pilotes en la cimentación, con el fin de minimizar los esfuerzos generados en la interacción suelo estructura por los efectos de las combinaciones de carga, la resistencia del suelo, centro de masa, centro de rigidez los cuales coinciden y otros factores no suficientes para producir fallas en la estructura, asentamientos balanceados menores al asentamiento permisible de 2 cm como lo indican estudios anteriores.

La importancia de esta investigación se centra en la determinación del método de diseño mas eficiente para minimizar los asentamientos diferenciales en cimentaciones sobre pilotes, el analizar una cimentación con un modelo empleando elementos finitos bajo la formulación de un modelo constitutivo no linel, que simule el comportamiento del suelo cuando es sometido a una carga lateral,específicamente por la generada por un pilote o grupo de pilotes cargados lateralme, permitiendo evaluar las probabilidades de mitigar o balancear las cargas impuestas por la estructura y trasmitidas a la cimentación, lo que nos ayuda a advertir y prevenir daños o colapsos en edificaciones o en edificaciones aledañas donde se presenten asentamientos diferenciales , destacando que este estudio es significativo debido a que las estructuras son íconos representativos del desarrollo de la ciudad y del país Por todo lo planteado anteriormente, esta investigación desde el punto de vista académico es considerado como base para enriquecer las fuentes bibliográficas de la universidad, para la publicación de artículos, y brindar mayor conocimiento y servir de antecedentes para estudios posteriores o proyectos de grado.



7. Recomendación

Al diseñar una edificación de gran altura, pero sobre todo en aquellos donde las cargas presentan diferencias de más del 80%, donde se presenten asentamientos diferenciales en la cimentaciones sobre pilotes, es necesario hacer unas recomendaciones que contribuyan a la minimización de asentamientos excesivos y diferenciales, tales como:

- ❖ Extraer las capas de suelo menos resistentes y reemplazar ese material por otro más resistente con una adecuada compactación, en cargas que superen el esfuerzo admisible, dejando sin modificar aquellas donde la carga de la superestructura sea menor a la del esfuerzo admisible del suelo.
- ❖ Cambiar la longitud de los pilotes de acuerdo a las combinaciones de carga, en aquellas zonas donde las cargas son mayores al esfuerzo admisible del suelo, los pilotes deben ser más profundo o/y con mayor diámetro, como también se pueden aumentar el número de pilotes en esa zona.
- ❖ Realizar una combinación de las dos alternativas expuestas anteriormente en base a las cargas impuestas, el tipo de terreno y las características deseadas.

Para posteriores estudios relacionados con el tema tratado en esta tesis se plantean las siguientes recomendaciones:

- ❖ Con la finalidad de profundizar más en el tema, sería importante enfatizar en una investigación tipo experimental o mixta, que conlleve a la construcción del edificio y verificación de asentamientos en todo el proceso constructivo, comparando el progreso de la construcción con los asentamientos establecidos en el diseño y aquellos no previstos si presentan.
- ❖ Hacer una evaluación donde se involucren los asentamientos en suelos donde sea factible la acción de heladas o no anticipadas del agua.
- ❖ enfatizar en materiales ya sean de fábrica o naturales, que disminuyan las cargas de la superestructura con el fin de no presentar variabilidad de cargas impuestas a la cimentación.



8. Anexos

8.2.1. Registros de perforación

PERFORACION No 1		Pag 1 de 1								
PROPIETARIO:		ARQUITECTO/INGENIERO:								
LUGAR: AVENIDA PINANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR		PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO								
GRAFICO	Descripción	MUESTRA		ENSAYOS						
		PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SPLE (T/M ²)
	ARENA FINA CON LIMO, Media Densa, Parda Clara	1	SP	1	PB					
			SP	2	TP		10			
			SP	3	TP		18			
	ARENA CON GRAVA Y LIMO CORALINA, Media Densa a Densa, Parda Gris Con Piedra Coralina de 7 a 8 Metros	2	SM	4	TP		5			
		3	SM	5	TP		3			
		4	SM	6	TP		10			
		5	SM	7	TP		27			
		6	SM	8	TP		30			
		7	SM	9	TP		21			
		8	SM	10	TP		29			
		9	SM	11	TP		25			
		10	SM	12	TP		22			
			ARCILLA DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla a Parda Gris	11	CH	13	TP		33	30,6
12	CH			14	TP		34	30,3	1,51	39
13	CH			15	TP		37	30,3	1,52	42
14	CH			16	TP		39	29,7	1,53	45
15	CH			17	TP		38	29,9	1,52	44
FIN DE LA PERFORACION		Penetrómetro de Bolsillo *								
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013				
NA	1 Metro CP					TERMINADA: Mayo de 2013				
NA						EQUIPO: PL		SUPERVISOR: FJG		
NA		APROBO: AIC		TRAB. NO 2013024						



PERFORACION No 1										Pag 2 de 2		
PROPIETARIO:					ARQUITECTO/INGENIERO:							
LUGAR: AVENIDA PINANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR					PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO							
					MUESTRA		ENSAYOS					
GRAFICO	Descripción	PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SPLE (T/M ²)		
	ARCILLA DE MEDIA A LATA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla	17	CH	18	TP		42	29,5	1,53	48		
		18	CH	19	TP		44	28,8	1,55	50		
		19	CH	20	TP		51	27,8	1,57	58		
		20	CH	21	TP		50	28,1	1,57	57		
		21	CH	22	TP		52	27,4	1,58	59		
		22	CH	23	TP		54	27,7	1,58	61		
		23	CH	24	TP		56	27,2	1,59	63		
		24	CH	25	TP		57	26,7	1,60	65		
		25	CH	26	TP		61	26,4	1,61	69		
		FIN DE LA PERFORACION		25								
				26								
				27								
				28								
				29								
		30										
		31										
Penetrómetro de Bolsillo *												
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013						
NA	1 Metro CP					TERMINADA: Mayo de 2013						
NA						EQUIPO: PL	SUPERVISO FJG					
NA		APROBO: AIC	TRAB. NO		2013024							

Tabla 11. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 1 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).



PERFORACION No 2										Pag 1 de 1	
PROPIETARIO:					ARQUITECTO/INGENIERO:						
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR					PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO						
					MUESTRA			ENSAYOS			
GRAFICO	Descripción	PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SPLE (T/M ²)	
●●●●●	ARENA FINA CON CARACOLEJO Y LIMO, Clara	1	SP	1	PB						
			SP	2	TP		2				
			SP	3	TP		3				
●●●●●	ARENA CON GRAVA Y LIMO CORALINA, Media Densa a Densa, Parda Gris Con Piedra Coralina de 7 a 8 Metros	2	SM	4	TP		10				
			SM	5	TP		22				
			SM	6	TP		16				
			SM	7	TP		11				
			SM	8	TP		23				
			SM	9	TP		20				
			SM	10	TP		14				
			SM	11	TP		11				
			SM	12	TP		14				
			SM	13	TP		14				
●●●●●	ARCILLA DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla a Parda Gris	11	CH	13	TP		22	32,4	1,47	26	
			CH	14	TP		25	32,2	1,48	28	
			CH	15	TP		29	31,1	1,49	34	
			CH	16	TP		32	30,2	1,51	36	
			CH	17	TP		34	30,3	1,51	38	
FIN DE LA PERFORACION						Penetrómetro de Bolsillo *					
NA	NIVELES DE AGUA		AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013				
	1 Metro CP						TERMINADA: Mayo de 2013				
NA							EQUIPO: PL	SUPERVISO FJG			
NA							APROBO: AIC	TRAB. NO		2013024	



PERFORACION No 2		Pag 2 de 2								
PROPIETARIO:		ARQUITECTO/INGENIERO:								
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR		PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO								
GRAFICO	Descripción	MUESTRA		ENSAYOS						
		PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SPLE (T/M ²)
	ARCILLA DE MEDIA A LATA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla	17	CH	18	TP		37	30,1	1,52	43
		18	CH	19	TP		41	29,4	1,53	46
		19	CH	20	TP		46	28,8	1,55	53
		20	CH	21	TP		51	28,1	1,57	58
		21	CH	22	TP		54	27,1	1,58	61
		22	CH	23	TP		56	27,5	1,58	64
		23	CH	24	TP		59	26,7	1,60	67
		24	CH	25	TP		57	27,1	1,59	64
		25	CH	26	TP		61	26,3	1,61	69
		FIN DE LA PERFORACION		26						
		27								
		28								
		29								
		30								
		31								
Penetrómetro de Bolsillo *										
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013				
NA	1 Metro CP					TERMINADA: Mayo de 2013				
NA						EQUIPO: PL	SUPERVISO FJG			
NA		APROBO: AIC	TRAB. NO 2013024							

Tabla 12. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 2 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).



PERFORACION No 3		Pag 1 de 1									
PROPIETARIO:		ARQUITECTO/INGENIERO:									
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR		PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO									
GRAFICO	Descripción	MUESTRA		ENSAYOS							
		PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SPLE (T/M ²)	
●●●●●	ARENA FINA CON LIMO, Media Densa, Parda Clara	1	SP	1	PB						
			SP	2	TP		3				
			SP	3	TP		6				
●●●●●	ARENA CON GRAVA Y LIMO CORALINA, Media Densa a Densa, Parda Gris Con Piedra Coralina de 7 a 8 Metros	2	SM	4	TP		14				
			SM	5	TP		12				
		3	SM	6	TP		15				
			SM	7	TP		4				
		4	SM	8	TP		32				
			SM	9	TP		19				
		5	SM	10	TP		15				
			SM	11	TP		11				
		6	SM	12	TP		19				
			CH	13	TP		21	32,3	1,47	24	
●●●●●	ARCILLA DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla a Parda Gris	12	CH	14	TP		25	31,7	1,48	28	
			CH	15	TP		29	31,4	1,49	33	
		CH	16	TP		30	31,0	1,50	34		
15	CH	17	TP		34	30,2	1,51	39			
FIN DE LA PERFORACION		Penetrómetro de Bolsillo *									
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D		INICIADA: Mayo de 2013							
	1 Metro CP			TERMINADA: Mayo de 2013							
NA				EQUIPO: PL	SUPERVISO FJG						
NA				APROBO: AIC	TRAB. NO 2013024						



PERFORACION No 3		Pag 2 de 2									
PROPIETARIO:		ARQUITECTO/INGENIERO:									
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR		PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO									
GRAFICO	Descripción	MUESTRA		ENSAYOS							
		PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SPLE (T/M ²)	
	ARCILLA DE MEDIA A LATA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla	17	CH	18	TP		37	30,2	1,52	42	
		18	CH	19	TP		39	29,2	1,53	44	
		19	CH	20	TP		42	29,3	1,54	48	
		20	CH	21	TP		46	29,0	1,55	52	
		21	CH	22	TP		48	28,6	1,56	54	
		22	CH	23	TP		51	28,0	1,57	58	
		23	CH	24	TP		53	27,8	1,57	60	
		24	CH	25	TP		59	27,1	1,59	66	
		25	CH	26	TP		61	26,6	1,60	69	
		FIN DE LA PERFORACION		26							
		27									
		28									
		29									
		30									
		31									
Penetrómetro de Bolsillo *											
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013					
NA	1 Metro CP					TERMINADA: Mayo de 2013					
NA						EQUIPO: PL	SUPERVISO FJG				
NA						APROBO: AIC	TRAB. NO	2013024			

Tabla 13. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 3 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).



PERFORACION No 4										Pag 1 de 1			
PROPIETARIO:					ARQUITECTO/INGENIERO:								
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR					PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO								
GRAFICO	Descripción	PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SPLE (T/M ²)			
	ARENA FINA CON LIMO, Media Densa, Parda Clara	1	SP	1	PB								
				2	TP								
				3	TP			14					
	ARENA CON GRAVA Y LIMO CORALINA, Media Densa a Densa, Parda Gris Con Piedra Coralina de 4 a 9 Metros	2	SM	4	TP			18					
				5	TP			19					
				6	TP			27					
				7	TP			47					
				8	TP			47					
				9	TP			22					
				10	TP			41					
				11	TP			24					
				12	TP			25					
				ARCILLA DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla a Parda Gris	11	CH	13	TP			26	31,1	1,49
	14	TP						27	31,8	1,48	30		
	15	TP						31	30,4	1,51	35		
	16	TP						37	29,6	1,52	42		
	17	TP						42	29,0	1,54	48		
FIN DE LA PERFORACION										Penetrómetro de Bolsillo *			
NA	NIVELES DE AGUA		AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013						
NA	1 Metro CP						TERMINADA: Mayo de 2013						
NA							EQUIPO: PL		SUPERVISO FJG				
NA					APROBO: AIC		TRAB. NO 2013024						



PERFORACION No 4		Pag 2 de 2								
PROPIETARIO:		ARQUITECTO/INGENIERO:								
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR		PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO								
GRAFICO	Descripción	MUESTRA		ENSAYOS						
		PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)	COMPRESION SFLE (T/M ²)
	ARCILLA DE MEDIA A LATA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla	17	CH	18	TP		46	29,0	1,55	52
		18	CH	19	TP		52	28,0	1,57	59
		19	CH	20	TP		53	27,5	1,58	60
		20	CH	21	TP		56	27,4	1,58	63
		21	CH	22	TP		55	27,2	1,58	62
		22	CH	23	TP		59	27,0	1,59	67
		23	CH	24	TP		61	26,8	1,60	70
		24	CH	25	TP		62	25,7	1,62	71
		25	CH	26	TP		65	26,1	1,62	74
		FIN DE LA PERFORACION		26						
		27								
		28								
		29								
		30								
		31								
Penetrómetro de Bolsillo *										
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013				
	1 Metro CP					TERMINADA: Mayo de 2013				
NA						EQUIPO: PL	SUPERVISO FJG			
NA						APROBO: AIC	TRAB. NO 2013024			

Tabla 14. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 4 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).



PERFORACION No 5		Pag 1 de 1									
PROPIETARIO:		ARQUITECTO/INGENIERO:									
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR		PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO									
GRAFICO	Descripción	PROFUNDIDAD (M)	MUESTRA		ENSAYOS						
			CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	No DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/M ³)		COMPRESION SPLE (T/M ²)
1	ARENA FINA CON LIMO, Media Densa, Parda Clara	1	SP	1	PB						
			SP	2	TP		4				
			SP	3	TP		6				
2	ARENA CON GRAVA Y LIMO CORALINA, Media Densa a Densa, Parda Gris	2	SM	4	TP		10				
			SM	5	TP		4				
			SM	6	TP		10				
			SM	7	TP		19				
			SM	8	TP		11				
			SM	9	TP		17				
			SM	10	TP		12				
			SM	11	TP		14				
			SM	12	TP		15				
			3	ARCILLA DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla a Parda Gris	3	CH	13	TP		23	32,5
CH	14	TP					27	31,8	1,48	31	
CH	15	TP					31	30,8	1,50	35	
CH	16	TP					32	30,4	1,51	36	
CH	17	TP					35	30,3	1,51	40	
FIN DE LA PERFORACION		Penetrómetro de Bolsillo *									
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013					
NA	1 Metro CP					TERMINADA: Mayo de 2013					
NA						EQUIPO: PL		SUPERVISO FJG			
NA		APROBO: AIC		TRAB. NO 2013024							



PERFORACION No 5		Pag 2 de 2								
PROPIETARIO:		ARQUITECTO/INGENIERO:								
LUGAR: AVENIDA PIÑANGO, CASTILLO GRANDE CARTAGENA, BOLIVAR		PROYECTO: EDIFICIO PROPUESTO								
GRAFICO	Descripción	MUESTRA				ENSAYOS				
		PROFUNDIDAD (M)	CLASIFICACION (USC)	NUMERO	TIPO	RECUPERACION (%)	Nº DE GOLPES POR PIE	HUMEDAD (%)	PESO SECO (T/MP)	COMPRESION SPLE (T/MP)
	ARCILLA DE MEDIA A LATA PLASTICIDAD, Resistente a Muy Resistente, Parda Amarilla		CH	18	TP		39	29,8	1,53	44
		17	CH	19	TP		41	29,0	1,54	46
		18	CH	20	TP		43	28,8	1,55	48
		19	CH	21	TP		45	29,2	1,54	51
		20	CH	22	TP		51	28,1	1,57	57
		21	CH	23	TP		53	27,7	1,58	60
		22	CH	24	TP		52	27,8	1,57	59
		23	CH	25	TP		54	26,9	1,59	61
		24	CH	26	TP		55	27,6	1,58	62
		FIN DE LA PERFORACION		25						
		26								
		27								
		28								
		29								
		30								
		31								
Penetrómetro de Bolsillo *										
NA	NIVELES DE AGUA	AICO LTDA. ALVARO IGNACIO COVO T. INGENIERO CIVIL, Ph.D				INICIADA: Mayo de 2013				
NA	1 Metro CP					TERMINADA: Mayo de 2013				
NA						EQUIPO: PL		SUPERVISO FJG		
NA						APROBO: AIC		TRAB. NO 2013024		

Tabla 15. Perfil estratigráfico del subsuelo sondeo 5 del proyecto a estudio; (AICO LTDA, 2013).



8.2.2. Tablas de resustados análisis 1

8.2.1. Presión del suelo:

Panel	OutputCase	CaseType	MaxPress	MinPress	GlobalXMax	GlobalYMax	GlobalXMin	GlobalYMin
			Tonf/cm2	Tonf/cm2	cm	cm	cm	cm
1	DEFLEX	Combination	-0,002085	-0,003113	-51,636	-823,768	-3,407	-468,491
2	DEFLEX	Combination	-0,002087	-0,003012	-320,552	159,609	-81,552	6,257
3	DEFLEX	Combination	-0,002018	-0,003263	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DEFLEX	Combination	-0,002653	-0,003036	278,448	159,609	99,764	6,263
5	DEFLEX	Combination	-0,001896	-0,003072	439,567	-769,053	396,591	-468,492
6	DEFLEX	Combination	-0,001844	-0,002960	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON1	Combination	-0,002634	-0,003656	-51,636	-823,768	-81,552	-468,490
2	DCON1	Combination	-0,002248	-0,003469	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON1	Combination	-0,002532	-0,003849	-0,911	-794,615	188,448	-468,491
4	DCON1	Combination	-0,002900	-0,003495	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON1	Combination	-0,002378	-0,003634	700,050	-30,995	396,591	-468,492
6	DCON1	Combination	-0,002022	-0,003450	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON2	Combination	-0,002882	-0,004056	-51,636	-823,768	-681,550	-766,495
2	DCON2	Combination	-0,002642	-0,003857	-320,552	159,609	-81,552	6,257
3	DCON2	Combination	-0,002771	-0,004243	-0,911	-794,615	188,448	-468,491
4	DCON2	Combination	-0,003383	-0,003940	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON2	Combination	-0,002608	-0,003999	439,567	-769,053	396,591	-416,491

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	DCON2	Combination	-0,002350	-0,003855	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON3	Combination	-0,002647	-0,003696	-51,636	-823,768	-681,550	-766,495
2	DCON3	Combination	-0,002374	-0,003489	-320,552	159,609	-81,552	6,257
3	DCON3	Combination	-0,002546	-0,003889	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON3	Combination	-0,003046	-0,003586	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON3	Combination	-0,002405	-0,003667	439,567	-769,053	396,591	-468,492
6	DCON3	Combination	-0,002119	-0,003508	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON4	Combination	-0,002647	-0,003696	-51,636	-823,768	-681,550	-766,495
2	DCON4	Combination	-0,002374	-0,003489	-320,552	159,609	-81,552	6,257
3	DCON4	Combination	-0,002546	-0,003889	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON4	Combination	-0,003046	-0,003586	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON4	Combination	-0,002405	-0,003667	439,567	-769,053	396,591	-468,492
6	DCON4	Combination	-0,002119	-0,003508	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON5	Combination	-0,002647	-0,003696	-51,636	-823,768	-681,550	-766,495
2	DCON5	Combination	-0,002374	-0,003489	-320,552	159,609	-81,552	6,257
3	DCON5	Combination	-0,002546	-0,003889	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON5	Combination	-0,003046	-0,003586	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON5	Combination	-0,002405	-0,003667	439,567	-769,053	396,591	-468,492
6	DCON5	Combination	-0,002119	-0,003508	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON10	Combination	-0,002257	-0,003134	-51,636	-823,768	-81,552	-468,490
2	DCON10	Combination	-0,001927	-0,002973	-320,552	159,609	-606,550	44,004

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



3	DCON10	Combination	-0,002171	-0,003299	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON10	Combination	-0,002485	-0,002995	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON10	Combination	-0,002038	-0,003115	700,050	-30,995	396,591	-416,491
6	DCON10	Combination	-0,001733	-0,002957	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON11	Combination	-0,001693	-0,002350	-51,636	-823,768	-81,552	-416,491
2	DCON11	Combination	-0,001445	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON11	Combination	-0,001628	-0,002475	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON11	Combination	-0,001864	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON11	Combination	-0,001529	-0,002336	700,050	-30,995	396,591	-468,492
6	DCON11	Combination	-0,001300	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON12	Combination	-0,001693	-0,002350	-51,636	-823,768	-81,552	-416,491
2	DCON12	Combination	-0,001445	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON12	Combination	-0,001628	-0,002475	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON12	Combination	-0,001864	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON12	Combination	-0,001529	-0,002336	700,050	-30,995	396,591	-468,492
6	DCON12	Combination	-0,001300	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON13	Combination	-0,001693	-0,002350	-51,636	-823,768	-81,552	-416,491
2	DCON13	Combination	-0,001445	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON13	Combination	-0,001628	-0,002475	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON13	Combination	-0,001864	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON13	Combination	-0,001529	-0,002336	700,050	-30,995	396,591	-468,492

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	DCON13	Combination	-0,001300	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON14	Combination	-0,001693	-0,002350	-51,636	-823,768	-81,552	-416,491
2	DCON14	Combination	-0,001445	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON14	Combination	-0,001628	-0,002475	43,568	-769,053	188,448	-416,491
4	DCON14	Combination	-0,001864	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON14	Combination	-0,001529	-0,002336	700,050	-30,995	396,591	-468,492
6	DCON14	Combination	-0,001300	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	CARCIMX	Combination	-0,001690	-0,003284	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	CARCIMX	Combination	-0,001659	-0,003060	-320,552	159,609	-134,552	930,005
3	CARCIMX	Combination	-0,001840	-0,003157	344,363	-823,768	-3,407	-468,491
4	CARCIMX	Combination	-0,002415	-0,003013	278,448	159,609	-6,803E-004	6,257
5	CARCIMX	Combination	-0,001610	-0,003142	439,567	-769,053	396,591	-468,492
6	CARCIMX	Combination	-0,001462	-0,003012	638,448	159,609	463,247	930,005
1	CARCIMY	Combination	-0,001681	-0,003348	-51,636	-823,768	-2,143	-633,591
2	CARCIMY	Combination	-0,001527	-0,003160	-320,552	159,609	-81,552	6,257
3	CARCIMY	Combination	-0,001615	-0,003531	43,568	-769,053	98,448	-573,091
4	CARCIMY	Combination	-0,002017	-0,003160	278,448	159,609	-6,803E-004	6,257
5	CARCIMY	Combination	-0,001506	-0,003327	439,567	-769,053	396,216	-576,812
6	CARCIMY	Combination	-0,001312	-0,003095	638,448	159,609	395,047	6,257

Tabla 16. Presiones maximas y minimas del suelo con sus respectivas cordenadas, (safe2014).



8.3.1. Desplazamiento nodal

Panel	Node	OutputCase	CaseType	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry
				cm	cm	cm	Radians	Radians
1	45	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,504508	0,000000	0,000000
2	~465	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,441401	0,000000	0,000000
3	~724	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,338360	0,000000	0,000000
4	~558	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,478597	0,000000	0,000000
5	~518	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,437967	0,000000	0,000000
6	1042	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,451330	0,000000	0,000000
1	~644	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,770982	0,000000	0,000000
2	~465	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,700944	0,000000	0,000000
3	~724	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,742422	0,000000	0,000000
4	~558	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,713477	0,000000	0,000000
5	76	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,732760	0,000000	0,000000
6	46	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,691669	0,000000	0,000000
1	~644	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,989007	0,000000	0,000000
2	1054	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,827906	0,000000	0,000000
3	~724	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,915504	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,931978	0,000000	0,000000
5	76	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,911604	0,000000	0,000000
6	1042	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,890054	0,000000	0,000000
1	~644	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,812374	0,000000	0,000000
2	~465	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,689002	0,000000	0,000000
3	~724	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,757254	0,000000	0,000000
4	~558	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,758247	0,000000	0,000000
5	76	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,751711	0,000000	0,000000
6	1042	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,720198	0,000000	0,000000
1	~644	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,812374	0,000000	0,000000
2	~465	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,689002	0,000000	0,000000
3	~724	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,757254	0,000000	0,000000
4	~558	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,758247	0,000000	0,000000
5	76	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,751711	0,000000	0,000000
6	1042	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,720198	0,000000	0,000000
1	~644	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,812374	0,000000	0,000000
2	~465	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,689002	0,000000	0,000000
3	~724	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,757254	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,758247	0,000000	0,000000
5	76	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,751711	0,000000	0,000000
6	1042	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,720198	0,000000	0,000000
1	~644	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,517985	0,000000	0,000000
2	~465	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,457952	0,000000	0,000000
3	~724	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,493505	0,000000	0,000000
4	~558	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,468695	0,000000	0,000000
5	76	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,485223	0,000000	0,000000
6	46	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,450002	0,000000	0,000000
1	~644	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,120129	0,000000	0,000000
4	~558	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	~644	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,120129	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	~644	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,120129	0,000000	0,000000
4	~558	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	~644	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,120129	0,000000	0,000000
4	~558	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	~644	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,610394	0,000000	0,000000
2	~576	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,500355	0,000000	0,000000
3	~724	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,375988	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,452704	0,000000	0,000000
5	76	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,526809	0,000000	0,000000
6	~561	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,476976	0,000000	0,000000
1	~644	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,612475	0,000000	0,000000
2	~465	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,401686	0,000000	0,000000
3	~724	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,427947	0,000000	0,000000
4	~558	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,440080	0,000000	0,000000
5	76	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,474739	0,000000	0,000000
6	1042	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,430292	0,000000	0,000000

Tabla 17. Desplazamiento verticales parte 1 de 2, (safe2014).

Panel	Node	OutputCase	Rz	MaxUzRel	GlobalX	GlobalY
			Radians	cm	cm	cm
1	45	DEFLEX	0,000000	0,919851	-546,550	-165,996
2	~465	DEFLEX	0,000000	0,892740	-546,550	-30,995
3	~724	DEFLEX	0,000000	0,573883	249,248	-913,152
4	~558	DEFLEX	0,000000	0,781132	261,447	930,005
5	~518	DEFLEX	0,000000	0,885007	941,977	-30,995

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	1042	DEFLEX	0,000000	0,966569	395,047	930,005
1	~644	DCON1	0,000000	1,060256	-681,550	-766,495
2	~465	DCON1	0,000000	1,110074	-546,550	-30,995
3	~724	DCON1	0,000000	0,883862	249,248	-913,152
4	~558	DCON1	0,000000	0,951207	261,447	930,005
5	76	DCON1	0,000000	1,107639	1042,257	-766,495
6	46	DCON1	0,000000	1,160173	941,977	104,004
1	~644	DCON2	0,000000	1,225831	-681,550	-766,495
2	1054	DCON2	0,000000	1,133425	-7,803E-004	930,005
3	~724	DCON2	0,000000	0,934294	249,248	-913,152
4	~558	DCON2	0,000000	1,042678	261,447	930,005
5	76	DCON2	0,000000	1,201259	1042,257	-766,495
6	1042	DCON2	0,000000	1,272219	395,047	930,005
1	~644	DCON3	0,000000	1,106941	-681,550	-766,495
2	~465	DCON3	0,000000	1,065029	-546,550	-30,995
3	~724	DCON3	0,000000	0,868032	249,248	-913,152
4	~558	DCON3	0,000000	0,957419	261,447	930,005
5	76	DCON3	0,000000	1,106814	1042,257	-766,495

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	1042	DCON3	0,000000	1,163213	395,047	930,005
1	~644	DCON4	0,000000	1,106941	-681,550	-766,495
2	~465	DCON4	0,000000	1,065029	-546,550	-30,995
3	~724	DCON4	0,000000	0,868032	249,248	-913,152
4	~558	DCON4	0,000000	0,957419	261,447	930,005
5	76	DCON4	0,000000	1,106814	1042,257	-766,495
6	1042	DCON4	0,000000	1,163213	395,047	930,005
1	~644	DCON5	0,000000	1,106941	-681,550	-766,495
2	~465	DCON5	0,000000	1,065029	-546,550	-30,995
3	~724	DCON5	0,000000	0,868032	249,248	-913,152
4	~558	DCON5	0,000000	0,957419	261,447	930,005
5	76	DCON5	0,000000	1,106814	1042,257	-766,495
6	1042	DCON5	0,000000	1,163213	395,047	930,005
1	~644	DCON10	0,000000	0,908791	-681,550	-766,495
2	~465	DCON10	0,000000	0,951492	-546,550	-30,995
3	~724	DCON10	0,000000	0,757596	249,248	-913,152
4	~558	DCON10	0,000000	0,815320	261,447	930,005
5	76	DCON10	0,000000	0,949405	1042,257	-766,495

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	46	DCON10	0,000000	0,994434	941,977	104,004
1	~644	DCON11	0,000000	0,681593	-681,550	-766,495
2	~465	DCON11	0,000000	0,713619	-546,550	-30,995
3	~724	DCON11	0,000000	0,568197	249,248	-913,152
4	~558	DCON11	0,000000	0,611490	261,447	930,005
5	76	DCON11	0,000000	0,712054	1042,257	-766,495
6	46	DCON11	0,000000	0,745825	941,977	104,004
1	~644	DCON12	0,000000	0,681593	-681,550	-766,495
2	~465	DCON12	0,000000	0,713619	-546,550	-30,995
3	~724	DCON12	0,000000	0,568197	249,248	-913,152
4	~558	DCON12	0,000000	0,611490	261,447	930,005
5	76	DCON12	0,000000	0,712054	1042,257	-766,495
6	46	DCON12	0,000000	0,745825	941,977	104,004
1	~644	DCON13	0,000000	0,681593	-681,550	-766,495
2	~465	DCON13	0,000000	0,713619	-546,550	-30,995
3	~724	DCON13	0,000000	0,568197	249,248	-913,152
4	~558	DCON13	0,000000	0,611490	261,447	930,005
5	76	DCON13	0,000000	0,712054	1042,257	-766,495

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	46	DCON13	0,000000	0,745825	941,977	104,004
1	~644	DCON14	0,000000	0,681593	-681,550	-766,495
2	~465	DCON14	0,000000	0,713619	-546,550	-30,995
3	~724	DCON14	0,000000	0,568197	249,248	-913,152
4	~558	DCON14	0,000000	0,611490	261,447	930,005
5	76	DCON14	0,000000	0,712054	1042,257	-766,495
6	46	DCON14	0,000000	0,745825	941,977	104,004
1	~644	CARCIMX	0,000000	1,408522	-681,550	-766,495
2	~576	CARCIMX	0,000000	1,064185	-134,552	930,005
3	~724	CARCIMX	0,000000	0,687376	249,248	-913,152
4	~558	CARCIMX	0,000000	0,817921	261,447	930,005
5	76	CARCIMX	0,000000	1,087897	1042,257	-766,495
6	~561	CARCIMX	0,000000	1,092764	531,447	930,005
1	~644	CARCIMY	0,000000	1,153977	-681,550	-766,495
2	~465	CARCIMY	0,000000	1,000201	-546,550	-30,995
3	~724	CARCIMY	0,000000	0,799271	249,248	-913,152
4	~558	CARCIMY	0,000000	0,909857	261,447	930,005
5	76	CARCIMY	0,000000	1,028954	1042,257	-766,495



6	1042	CARCIMY	0,000000	1,085475	395,047	930,005
---	------	---------	----------	----------	---------	---------

Tabla 18. Desplazamientos verticales parte 2 de 3, (safe2014).

8.3.2. Desplazamiento nodal-envolvente.

Panel	OutputItem	DisplTrans	OutputCase	CaseType	Node	GlobalX	GlobalY
		cm				cm	cm
1	UzMax	-0,201872	CARCIMX	Combination	1110	-591,545	-468,490
1	UzMin	-1,989007	DCON2	Combination	~644	-681,550	-766,495
2	UzMax	-0,379845	DCON11	Combination	298	-320,552	159,609
2	UzMin	-1,827906	DCON2	Combination	1054	-7,803E-004	930,005
3	UzMax	-0,551932	DCON11	Combination	~338	395,047	-56,491
3	UzMin	-1,915504	DCON2	Combination	~724	249,248	-913,152
4	UzMax	-0,490031	DCON11	Combination	~307	368,448	159,609
4	UzMin	-1,931978	DCON2	Combination	~558	261,447	930,005
5	UzMax	-0,401863	DCON11	Combination	~346	739,447	-30,995
5	UzMin	-1,911604	DCON2	Combination	76	1042,257	-766,495
6	UzMax	-0,341676	DCON11	Combination	297	739,447	159,609
6	UzMin	-1,890054	DCON2	Combination	1042	395,047	930,005

Tabla 19. Desplazamientos verticales nodal- resumen envolvente, (safe2014).



8.3.3. Presión en suelo –envolvente.

Panel	OutputItem	SurfPress	OutputCase	CaseType	GlobalX	GlobalY
		Tonf/cm2			cm	cm
1	MaxPress	-0,001681	CARCIMY	Combination	-51,636	-823,768
1	MinPress	-0,004056	DCON2	Combination	-681,550	-766,495
2	MaxPress	-0,001445	DCON11	Combination	-320,552	159,609
2	MinPress	-0,003857	DCON2	Combination	-81,552	6,257
3	MaxPress	-0,001615	CARCIMY	Combination	43,568	-769,053
3	MinPress	-0,004243	DCON2	Combination	188,448	-468,491
4	MaxPress	-0,001864	DCON11	Combination	278,448	159,609
4	MinPress	-0,003940	DCON2	Combination	261,447	930,005
5	MaxPress	-0,001506	CARCIMY	Combination	439,567	-769,053
5	MinPress	-0,003999	DCON2	Combination	396,591	-416,491
6	MaxPress	-0,001300	DCON11	Combination	638,448	159,609
6	MinPress	-0,003855	DCON2	Combination	395,047	930,005

Tabla 20. Presión en suelo-resumen de envolvente, (safe2014).



8.3 Tablas de resultado analisis 2

8.4.1. Presion en el suelo

Panel	OutputCase	CaseType	MaxPress Tonf/cm2	MinPress Tonf/cm2	GlobalXMax cm	GlobalYMax cm	GlobalXMin cm	GlobalYMin cm
1	DEFLEX	Combination	-0,000939	-0,003068	-320,552	-573,091	-606,550	-105,996
2	DEFLEX	Combination	-0,000806	-0,002940	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DEFLEX	Combination	-0,001442	-0,002740	368,448	-56,491	249,248	-878,432
4	DEFLEX	Combination	-0,001306	-0,003015	296,447	159,609	261,447	930,005
5	DEFLEX	Combination	-0,000836	-0,002933	700,050	-30,995	941,977	-30,995
6	DEFLEX	Combination	-0,000731	-0,002960	700,050	159,609	395,047	930,005
1	CARCIMX	Combination	-0,000737	-0,003284	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	CARCIMX	Combination	-0,000656	-0,003060	-320,552	159,609	-134,552	930,005
3	CARCIMX	Combination	-0,001312	-0,002817	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	CARCIMX	Combination	-0,001193	-0,002963	296,447	159,609	261,447	930,005
5	CARCIMX	Combination	-0,000683	-0,003136	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	CARCIMX	Combination	-0,000597	-0,003012	700,050	159,609	463,247	930,005
1	CARCIMY	Combination	-0,000715	-0,003289	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	CARCIMY	Combination	-0,000557	-0,002859	-320,552	159,609	-606,550	44,004



Panel	OutputCase	CaseType	MaxPress Tonf/cm2	MinPress Tonf/cm2	GlobalXMax cm	GlobalYMax cm	GlobalXMin cm	GlobalYMin cm
3	CARCIMY	Combination	-0,001233	-0,002922	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	CARCIMY	Combination	-0,000985	-0,002937	296,447	159,609	261,447	930,005
5	CARCIMY	Combination	-0,000683	-0,003020	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	CARCIMY	Combination	-0,000485	-0,002917	700,050	159,609	395,047	930,005

Tabla 21. Presiones maximas y minimas del suelo con sus respectivas cordenadas, (safe2014).

8.4.2. Presion en el suelo- envolvente

Panel	OutputItem	SurfPress Tonf/cm2	OutputCase	CaseType	GlobalX cm	GlobalY cm
1	MaxPress	-0,000715	CARCIMY	Combination	-320,552	-573,091
1	MinPress	-0,003289	CARCIMY	Combination	-681,550	-766,495
2	MaxPress	-0,000557	CARCIMY	Combination	-320,552	159,609
2	MinPress	-0,003060	CARCIMX	Combination	-134,552	930,005
3	MaxPress	-0,001233	CARCIMY	Combination	368,448	-30,995
3	MinPress	-0,002922	CARCIMY	Combination	249,248	-878,432
4	MaxPress	-0,000985	CARCIMY	Combination	296,447	159,609
4	MinPress	-0,003015	DEFLEX	Combination	261,447	930,005



Panel	OutputItem	SurfPress Tonf/cm2	OutputCase	CaseType	GlobalX cm	GlobalY cm
5	MaxPress	-0,000683	CARCIMX	Combination	700,050	-30,995
5	MinPress	-0,003136	CARCIMX	Combination	1042,257	-766,495
6	MaxPress	-0,000485	CARCIMY	Combination	700,050	159,609
6	MinPress	-0,003012	CARCIMX	Combination	463,247	930,005

Tabla 22. Presión en suelo-resumen de envolvente, (safe2014).

8.4.3. Desplazamiento nudales.

Panel	Node	OutputCase	CaseType	Ux cm	Uy cm	Uz cm	Rx Radians	Ry Radians
1	45	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,504508	0,000000	0,000000
2	~638	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,441401	0,000000	0,000000
3	~897	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,343490	0,000000	0,000000
4	~731	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,478597	0,000000	0,000000
5	~691	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,437967	0,000000	0,000000
6	1042	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,451330	0,000000	0,000000
1	~817	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,610394	0,000000	0,000000



Panel	Node	OutputCase	CaseType	Ux cm	Uy cm	Uz cm	Rx Radians	Ry Radians
2	~749	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,500355	0,000000	0,000000
3	~897	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,381124	0,000000	0,000000
4	~731	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,452704	0,000000	0,000000
5	76	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,526813	0,000000	0,000000
6	~734	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,476976	0,000000	0,000000
1	~817	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,612475	0,000000	0,000000
2	~638	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,401686	0,000000	0,000000
3	~897	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,432771	0,000000	0,000000
4	~731	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,440080	0,000000	0,000000
5	76	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,474743	0,000000	0,000000
6	1042	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,430292	0,000000	0,000000

Tabla 23. Desplazamiento vertical parte 1 de 2, (safe2014).

Panel	Node	OutputCase	Rz Radians	MaxUzRel cm	GlobalX cm	GlobalY cm
1	45	DEFLEX	0,000000	1,504508	-546,550	-165,996



Panel	Node	OutputCase	Rz Radians	MaxUzRel cm	GlobalX cm	GlobalY cm
2	~638	DEFLEX	0,000000	1,046401	-546,550	-30,995
3	~897	DEFLEX	0,000000	0,627391	249,248	-913,152
4	~731	DEFLEX	0,000000	0,838017	261,447	930,005
5	~691	DEFLEX	0,000000	1,437967	941,977	-30,995
6	1042	DEFLEX	0,000000	1,092974	395,047	930,005
1	~817	CARCIMX	0,000000	1,610394	-681,550	-766,495
2	~749	CARCIMX	0,000000	1,178740	-134,552	930,005
3	~897	CARCIMX	0,000000	0,729007	249,248	-913,152
4	~731	CARCIMX	0,000000	0,867535	261,447	930,005
5	76	CARCIMX	0,000000	1,526813	1042,257	-766,495
6	~734	CARCIMX	0,000000	1,184071	531,447	930,005
1	~817	CARCIMY	0,000000	1,612475	-681,550	-766,495
2	~638	CARCIMY	0,000000	1,128400	-546,550	-30,995
3	~897	CARCIMY	0,000000	0,828117	249,248	-913,152
4	~731	CARCIMY	0,000000	0,956984	261,447	930,005
5	76	CARCIMY	0,000000	1,474743	1042,257	-766,495



Panel	Node	OutputCase	Rz	MaxUzRel	GlobalX	GlobalY
			Radians	cm	cm	cm
6	1042	CARCIMY	0,000000	1,192348	395,047	930,005

Tabla 24. Desplazamiento vertical parte 2 de 2, (safe2014).

8.4.4. Desplazamiento nodales –envolventes.

Panel	OutputItem	DisplTrans	OutputCase	CaseType	Node	GlobalX	GlobalY
		cm				cm	cm
1	UzMax	0,000000	DEFLEX	Combination	161	-320,552	-236,991
1	UzMin	-1,612475	CARCIMY	Combination	~817	-681,550	-766,495
2	UzMax	-0,273286	CARCIMY	Combination	298	-320,552	159,609
2	UzMin	-1,500355	CARCIMX	Combination	~749	-134,552	930,005
3	UzMax	-0,604654	CARCIMY	Combination	2717	395,047	-30,995
3	UzMin	-1,432771	CARCIMY	Combination	~897	249,248	-913,152
4	UzMax	-0,483096	CARCIMY	Combination	~583	395,047	159,609
4	UzMin	-1,478597	DEFLEX	Combination	~731	261,447	930,005
5	UzMax	0,000000	DEFLEX	Combination	166	739,447	-240,391
5	UzMin	-1,526813	CARCIMX	Combination	76	1042,257	-766,495



Panel	OutputItem	DisplTrans cm	OutputCase	CaseType	Node	GlobalX cm	GlobalY cm
6	UzMax	-0,237945	CARCIMY	Combination	297	739,447	159,609
6	UzMin	-1,476976	CARCIMX	Combination	~734	531,447	930,005

Tabla 25. Desplazamiento vertical –resumen envolvente, (safe2014).

8.4 Tablas de resultados análisis 3

8.4.1. Presión del suelo.

Panel	OutputCase	CaseType	MaxPress Tonf/cm2	MinPress Tonf/cm2	GlobalXMax cm	GlobalYMax cm	GlobalXMin cm	GlobalYMin cm
1	DEFLEX	Combination	-0,001806	-0,003068	-320,552	-573,091	-606,550	-105,996
2	DEFLEX	Combination	-0,001764	-0,002940	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DEFLEX	Combination	-0,002232	-0,002805	368,448	-573,091	249,248	-878,432
4	DEFLEX	Combination	-0,002111	-0,003015	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DEFLEX	Combination	-0,001791	-0,002933	638,448	-573,091	941,977	-30,995
6	DEFLEX	Combination	-0,001656	-0,002960	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON1	Combination	-0,002183	-0,003612	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON1	Combination	-0,001907	-0,003469	-320,552	159,609	-606,550	44,004

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



3	DCON1	Combination	-0,002530	-0,003646	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON1	Combination	-0,002312	-0,003495	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON1	Combination	-0,002036	-0,003550	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON1	Combination	-0,001820	-0,003450	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON2	Combination	-0,002356	-0,004056	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON2	Combination	-0,002236	-0,003728	-320,552	159,609	-67,276	930,005
3	DCON2	Combination	-0,002890	-0,004006	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON2	Combination	-0,002692	-0,003940	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON2	Combination	-0,002316	-0,003920	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON2	Combination	-0,002112	-0,003855	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON3	Combination	-0,002174	-0,003696	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON3	Combination	-0,002010	-0,003445	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON3	Combination	-0,002619	-0,003676	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON3	Combination	-0,002426	-0,003586	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON3	Combination	-0,002102	-0,003591	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON3	Combination	-0,001905	-0,003508	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON4	Combination	-0,002174	-0,003696	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON4	Combination	-0,002010	-0,003445	-320,552	159,609	-606,550	44,004

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



3	DCON4	Combination	-0,002619	-0,003676	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON4	Combination	-0,002426	-0,003586	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON4	Combination	-0,002102	-0,003591	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON4	Combination	-0,001905	-0,003508	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON5	Combination	-0,002174	-0,003696	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON5	Combination	-0,002010	-0,003445	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON5	Combination	-0,002619	-0,003676	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON5	Combination	-0,002426	-0,003586	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON5	Combination	-0,002102	-0,003591	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON5	Combination	-0,001905	-0,003508	638,448	159,609	395,047	930,005
1	DCON10	Combination	-0,001871	-0,003096	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON10	Combination	-0,001635	-0,002973	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON10	Combination	-0,002168	-0,003125	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON10	Combination	-0,001981	-0,002995	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON10	Combination	-0,001745	-0,003043	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON10	Combination	-0,001560	-0,002957	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON11	Combination	-0,001404	-0,002322	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON11	Combination	-0,001226	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



3	DCON11	Combination	-0,001626	-0,002344	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON11	Combination	-0,001486	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON11	Combination	-0,001309	-0,002282	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON11	Combination	-0,001170	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON12	Combination	-0,001404	-0,002322	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON12	Combination	-0,001226	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON12	Combination	-0,001626	-0,002344	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON12	Combination	-0,001486	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON12	Combination	-0,001309	-0,002282	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON12	Combination	-0,001170	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON13	Combination	-0,001404	-0,002322	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON13	Combination	-0,001226	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	DCON13	Combination	-0,001626	-0,002344	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON13	Combination	-0,001486	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON13	Combination	-0,001309	-0,002282	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON13	Combination	-0,001170	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	DCON14	Combination	-0,001404	-0,002322	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	DCON14	Combination	-0,001226	-0,002230	-320,552	159,609	-606,550	44,004

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



3	DCON14	Combination	-0,001626	-0,002344	368,448	-30,995	249,248	-878,432
4	DCON14	Combination	-0,001486	-0,002246	278,448	159,609	261,447	930,005
5	DCON14	Combination	-0,001309	-0,002282	700,050	-30,995	1042,257	-766,495
6	DCON14	Combination	-0,001170	-0,002218	638,448	159,609	941,977	104,004
1	CARCIMX	Combination	-0,001399	-0,003284	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	CARCIMX	Combination	-0,001411	-0,003060	-320,552	159,609	-134,552	930,005
3	CARCIMX	Combination	-0,001989	-0,002878	368,448	-573,091	249,248	-878,432
4	CARCIMX	Combination	-0,001918	-0,002963	278,448	159,609	261,447	930,005
5	CARCIMX	Combination	-0,001405	-0,003136	638,448	-573,091	1042,257	-766,495
6	CARCIMX	Combination	-0,001322	-0,003012	638,448	159,609	463,247	930,005
1	CARCIMY	Combination	-0,001431	-0,003289	-320,552	-573,091	-681,550	-766,495
2	CARCIMY	Combination	-0,001321	-0,002859	-320,552	159,609	-606,550	44,004
3	CARCIMY	Combination	-0,001787	-0,003000	368,448	-573,091	249,248	-878,432
4	CARCIMY	Combination	-0,001619	-0,002937	278,448	159,609	261,447	930,005
5	CARCIMY	Combination	-0,001415	-0,003020	638,448	-573,091	1042,257	-766,495
6	CARCIMY	Combination	-0,001219	-0,002917	638,448	159,609	395,047	930,005

Tabla 26. Presión máximo y mínimo del suelo con sus respectivas coordenadas, (safe2014).



8.4.2. Desplazamiento de nodo.

Panel	Node	OutputCase	CaseType	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry
				cm	cm	cm	Radians	Radians
1	45	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,504508	0,000000	0,000000
2	~465	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,441401	0,000000	0,000000
3	~724	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,375522	0,000000	0,000000
4	~558	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,478597	0,000000	0,000000
5	~518	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,437967	0,000000	0,000000
6	1042	DEFLEX	Combination	0,000000	0,000000	-1,451330	0,000000	0,000000
1	~644	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,770982	0,000000	0,000000
2	~465	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,700944	0,000000	0,000000
3	~724	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,787900	0,000000	0,000000
4	~558	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,713477	0,000000	0,000000
5	76	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,732760	0,000000	0,000000
6	46	DCON1	Combination	0,000000	0,000000	-1,691669	0,000000	0,000000
1	~644	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,989007	0,000000	0,000000
2	1054	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,827906	0,000000	0,000000
3	~724	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,964333	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,931978	0,000000	0,000000
5	76	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,911604	0,000000	0,000000
6	1042	DCON2	Combination	0,000000	0,000000	-1,890054	0,000000	0,000000
1	~644	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,812374	0,000000	0,000000
2	~465	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,689002	0,000000	0,000000
3	~724	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,802390	0,000000	0,000000
4	~558	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,758247	0,000000	0,000000
5	76	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,751711	0,000000	0,000000
6	1042	DCON3	Combination	0,000000	0,000000	-1,720198	0,000000	0,000000
1	~644	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,812374	0,000000	0,000000
2	~465	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,689002	0,000000	0,000000
3	~724	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,802390	0,000000	0,000000
4	~558	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,758247	0,000000	0,000000
5	76	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,751711	0,000000	0,000000
6	1042	DCON4	Combination	0,000000	0,000000	-1,720198	0,000000	0,000000
1	~644	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,812374	0,000000	0,000000
2	~465	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,689002	0,000000	0,000000
3	~724	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,802390	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,758247	0,000000	0,000000
5	76	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,751711	0,000000	0,000000
6	1042	DCON5	Combination	0,000000	0,000000	-1,720198	0,000000	0,000000
1	~644	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,517985	0,000000	0,000000
2	~465	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,457952	0,000000	0,000000
3	~724	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,532486	0,000000	0,000000
4	~558	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,468695	0,000000	0,000000
5	76	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,485223	0,000000	0,000000
6	46	DCON10	Combination	0,000000	0,000000	-1,450002	0,000000	0,000000
1	~644	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,149365	0,000000	0,000000
4	~558	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON11	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	~644	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,149365	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON12	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	~644	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,149365	0,000000	0,000000
4	~558	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON13	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	~644	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,138489	0,000000	0,000000
2	~465	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,093464	0,000000	0,000000
3	~724	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,149365	0,000000	0,000000
4	~558	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,101521	0,000000	0,000000
5	76	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,113917	0,000000	0,000000
6	46	DCON14	Combination	0,000000	0,000000	-1,087502	0,000000	0,000000
1	1110	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,940156	0,000000	0,000000
2	~576	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,500355	0,000000	0,000000
3	~724	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,411180	0,000000	0,000000

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



4	~558	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,452704	0,000000	0,000000
5	76	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,526809	0,000000	0,000000
6	~561	CARCIMX	Combination	0,000000	0,000000	-1,476976	0,000000	0,000000
1	~644	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,612475	0,000000	0,000000
2	~465	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,401686	0,000000	0,000000
3	~724	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,470885	0,000000	0,000000
4	~558	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,440080	0,000000	0,000000
5	76	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,474739	0,000000	0,000000
6	1042	CARCIMY	Combination	0,000000	0,000000	-1,430292	0,000000	0,000000

Tabla 27. Desplazamiento vertical parte 1 de 2, (safe2014).

Panel	Node	OutputCase	Rz	MaxUzRel	GlobalX	GlobalY
			Radians	cm	cm	cm
1	45	DEFLEX	0,000000	0,619054	-546,550	-165,996
2	~465	DEFLEX	0,000000	0,576549	-546,550	-30,995
3	~724	DEFLEX	0,000000	0,271867	249,248	-913,152
4	~558	DEFLEX	0,000000	0,443445	261,447	930,005
5	~518	DEFLEX	0,000000	0,559987	941,977	-30,995

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	1042	DEFLEX	0,000000	0,639463	395,047	930,005
1	~644	DCON1	0,000000	0,700439	-681,550	-766,495
2	~465	DCON1	0,000000	0,765792	-546,550	-30,995
3	~724	DCON1	0,000000	0,547551	249,248	-913,152
4	~558	DCON1	0,000000	0,580035	261,447	930,005
5	76	DCON1	0,000000	0,734556	1042,257	-766,495
6	46	DCON1	0,000000	0,799331	941,977	104,004
1	~644	DCON2	0,000000	0,834013	-681,550	-766,495
2	1054	DCON2	0,000000	0,731572	-7,803E-004	930,005
3	~724	DCON2	0,000000	0,547505	249,248	-913,152
4	~558	DCON2	0,000000	0,611770	261,447	930,005
5	76	DCON2	0,000000	0,776155	1042,257	-766,495
6	1042	DCON2	0,000000	0,854243	395,047	930,005
1	~644	DCON3	0,000000	0,746399	-681,550	-766,495
2	~465	DCON3	0,000000	0,703208	-546,550	-30,995
3	~724	DCON3	0,000000	0,518053	249,248	-913,152
4	~558	DCON3	0,000000	0,568796	261,447	930,005
5	76	DCON3	0,000000	0,721204	1042,257	-766,495

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	1042	DCON3	0,000000	0,785993	395,047	930,005
1	~644	DCON4	0,000000	0,746399	-681,550	-766,495
2	~465	DCON4	0,000000	0,703208	-546,550	-30,995
3	~724	DCON4	0,000000	0,518053	249,248	-913,152
4	~558	DCON4	0,000000	0,568796	261,447	930,005
5	76	DCON4	0,000000	0,721204	1042,257	-766,495
6	1042	DCON4	0,000000	0,785993	395,047	930,005
1	~644	DCON5	0,000000	0,746399	-681,550	-766,495
2	~465	DCON5	0,000000	0,703208	-546,550	-30,995
3	~724	DCON5	0,000000	0,518053	249,248	-913,152
4	~558	DCON5	0,000000	0,568796	261,447	930,005
5	76	DCON5	0,000000	0,721204	1042,257	-766,495
6	1042	DCON5	0,000000	0,785993	395,047	930,005
1	~644	DCON10	0,000000	0,600376	-681,550	-766,495
2	~465	DCON10	0,000000	0,656393	-546,550	-30,995
3	~724	DCON10	0,000000	0,469329	249,248	-913,152
4	~558	DCON10	0,000000	0,497173	261,447	930,005
5	76	DCON10	0,000000	0,629620	1042,257	-766,495

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	46	DCON10	0,000000	0,685141	941,977	104,004
1	~644	DCON11	0,000000	0,450282	-681,550	-766,495
2	~465	DCON11	0,000000	0,492295	-546,550	-30,995
3	~724	DCON11	0,000000	0,351997	249,248	-913,152
4	~558	DCON11	0,000000	0,372879	261,447	930,005
5	76	DCON11	0,000000	0,472215	1042,257	-766,495
6	46	DCON11	0,000000	0,513856	941,977	104,004
1	~644	DCON12	0,000000	0,450282	-681,550	-766,495
2	~465	DCON12	0,000000	0,492295	-546,550	-30,995
3	~724	DCON12	0,000000	0,351997	249,248	-913,152
4	~558	DCON12	0,000000	0,372879	261,447	930,005
5	76	DCON12	0,000000	0,472215	1042,257	-766,495
6	46	DCON12	0,000000	0,513856	941,977	104,004
1	~644	DCON13	0,000000	0,450282	-681,550	-766,495
2	~465	DCON13	0,000000	0,492295	-546,550	-30,995
3	~724	DCON13	0,000000	0,351997	249,248	-913,152
4	~558	DCON13	0,000000	0,372879	261,447	930,005
5	76	DCON13	0,000000	0,472215	1042,257	-766,495

BALANCE DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES PRESENTES
EN EDIFICACIÓN CON CIMENTACIONES SOBRE PILOTES



6	46	DCON13	0,000000	0,513856	941,977	104,004
1	~644	DCON14	0,000000	0,450282	-681,550	-766,495
2	~465	DCON14	0,000000	0,492295	-546,550	-30,995
3	~724	DCON14	0,000000	0,351997	249,248	-913,152
4	~558	DCON14	0,000000	0,372879	261,447	930,005
5	76	DCON14	0,000000	0,472215	1042,257	-766,495
6	46	DCON14	0,000000	0,513856	941,977	104,004
1	1110	CARCIMX	0,000000	1,519688	-591,545	-468,490
2	~576	CARCIMX	0,000000	0,808545	-134,552	930,005
3	~724	CARCIMX	0,000000	0,417271	249,248	-913,152
4	~558	CARCIMX	0,000000	0,512061	261,447	930,005
5	76	CARCIMX	0,000000	0,837825	1042,257	-766,495
6	~561	CARCIMX	0,000000	0,828528	531,447	930,005
1	~644	CARCIMY	0,000000	0,910838	-681,550	-766,495
2	~465	CARCIMY	0,000000	0,754099	-546,550	-30,995
3	~724	CARCIMY	0,000000	0,585329	249,248	-913,152
4	~558	CARCIMY	0,000000	0,645989	261,447	930,005
5	76	CARCIMY	0,000000	0,781096	1042,257	-766,495



6	1042	CARCIMY	0,000000	0,832785	395,047	930,005
---	------	---------	----------	----------	---------	---------

Tabla 28. Desplazamiento vertical parte 2 de 2, (safe2014).

8.4.3. Desplazamiento nodal-envolvente.

Panel	OutputItem	DisplTrans	OutputCase	CaseType	Node	GlobalX	GlobalY
		cm				cm	cm
1	UzMax	-0,420469	CARCIMX	Combination	1110	-591,545	-468,490
1	UzMin	-1,989007	DCON2	Combination	~644	-681,550	-766,495
2	UzMax	-0,601169	DCON11	Combination	298	-320,552	159,609
2	UzMin	-1,827906	DCON2	Combination	1054	-7,803E-004	930,005
3	UzMax	-0,797368	DCON11	Combination	~337	368,448	-30,995
3	UzMin	-1,964333	DCON2	Combination	~724	249,248	-913,152
4	UzMax	-0,728642	DCON11	Combination	~307	368,448	159,609
4	UzMin	-1,931978	DCON2	Combination	~558	261,447	930,005
5	UzMax	-0,641702	DCON11	Combination	~346	739,447	-30,995
5	UzMin	-1,911604	DCON2	Combination	76	1042,257	-766,495
6	UzMax	-0,573646	DCON11	Combination	297	739,447	159,609
6	UzMin	-1,890054	DCON2	Combination	1042	395,047	930,005

Tabla 29. Desplazamiento vertical- resumen de envolvente, (safe2014).



8.4.4. Presión de suelo-envolvente.

Panel	OutputItem	SurfPress	OutputCase	CaseType	GlobalX	GlobalY
		Tonf/cm2			cm	cm
1	MaxPress	-0,001399	CARCIMX	Combination	-320,552	-573,091
1	MinPress	-0,004056	DCON2	Combination	-681,550	-766,495
2	MaxPress	-0,001226	DCON11	Combination	-320,552	159,609
2	MinPress	-0,003728	DCON2	Combination	-67,276	930,005
3	MaxPress	-0,001626	DCON11	Combination	368,448	-30,995
3	MinPress	-0,004006	DCON2	Combination	249,248	-878,432
4	MaxPress	-0,001486	DCON11	Combination	278,448	159,609
4	MinPress	-0,003940	DCON2	Combination	261,447	930,005
5	MaxPress	-0,001309	DCON11	Combination	700,050	-30,995
5	MinPress	-0,003920	DCON2	Combination	1042,257	-766,495
6	MaxPress	-0,001170	DCON11	Combination	638,448	159,609
6	MinPress	-0,003855	DCON2	Combination	395,047	930,005

Tabla 30. Presión del suelo-resumen envolvente, (safe 2014)



9. Referencias bibliográficas

AGÁMEZ VEGA, Dina Marcela; JARAMILLO ÁLVAREZ, Paola Marcela. (2010). *Determinación de la vulnerabilidad estructural de las murallas de Cartagena ante los efectos vibratorios producidos por los vehículos articulados de Transcaribe, caso Baluarte de San Ignacio y San Pedro Mártir*. Cartagena de Indias.

AICO LTDA. (2013). *ESTUDIO DE SUELO*. CARTAGENA: ALVARO IGNACIO COVO TORRES.

AISSA, Gonzalo; ARRÚA, Pedro; TERZAIOL, Roberto. (2004). *Diseño sísmico de estructuras de contención en suelos granulares*. Cordoba, Argentina.

BENJUMEA CADAVID, Juan Manuel. (2003). *Vibraciones Causadas por la actividad humana, caracterización, efectos y manejo en la Ingeniería Civil*. Santiago de cali.

BERROCAL OLAVE, Arnoldo. (2008). *Estudio de vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas de Cartagena- caso baluarte de San Ignacio, baluarte de San pedro mártir y Torre del Reloj*. Cartagena.

CABALLERO GUERRERO, Álvaro Rafael. (2007). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica*. Sincelejo.

COMPUTER AND STRUCTURES INC. (2000). *SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, concrete design manual* (7.4 ed.). Berkeley, California, USA.

Cooke, R. W. (1986). Piled raft foundation on stiff clays, a contribution to design philosophy. *Geotechnique* , 36 (2).

Covo T.A.I. (octubre de 2008). *MECANICA DE SUELOS*. CARTAGENA.

COVO, Álvaro. (2008). *Recomendaciones geotécnicas y dinámico-vibratoriales para consultoría de los estudios y diseños para la restauración del lienzo de murallas entre el monumento de la india catalina y el museo de la marina*. Cartagena.

CUETO FERREIRA, José Ángel; GRANGER SERRANO, Eliana. (2011). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y vibracional en las murallas de Cartagena de indias, en el sector que comprende desde las Bóvedas hasta el Hotel Santa Clara*. Cartagena de Indias.

Dang Dinh Chung Nguyen, D.-S. K.-B. (2014). Parametric study for optimal design of large piled raft foundations on sand. *Computers and Geotechnics*, vol 55 , 14–26.



ETABS, C. C. (2003). *ETABS ,SOFTWARE INTEGRADO DE DISEÑO DE EDIFICIO*. BERKELEY, CALIFORNIA, USA: COPYRIGHT CSI COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.

Gabrielaitis, L. (2013). Estimation of settlements of bored piles foundation. *Procedia Enginnering* , 287-293.

GUZMAN, Carlos; KANTOR, Pablo; PERSICO, Diego. (2008). *Estudio de vibraciones en edificios de Buenos Aires Argentina*. Buenos Aires.

H.H. ZHANG, J. C. (2000). Analysis of capped pile groups subjeed to horizontal and vertical loads. *computers and geotechnics* , 1-21.

Hain, S. J. (1978). The analysis of flexible raft-pile systems. *Geotechnique* 28 (1) , 65-83.

Hooper, J. A. (1973). Observations on the behaviour of a piled-raft foundation on London Clay. *Proc. Inst. Civil. Engnrs* 55, No. 2 , 855-877.

J. C. Small, H. Z. (2002). Behaviour of piled raft foundations under lateral y vertical loanding. *intj geomech* , 29-45.

John C. Small, H. L. (2008). Time settlement behaviour of piled raft foundations using infinite element. *computer and geotechnics* , 187-195.

KN Kim, S. L. (2001). Optimal pile arrangement for minimizing differential settlements in piled raft foundations. *Comput Geotech*,28 , 235-253.

Leonardo Zeevaert, J. A. (1957). IN MEMORIAN DR.Leonardo Zeevaert wiechers. *SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERIA GEOTECNICA, A.C (SMIG* , 11 y 23-24.

M.F. Randolph & Wroth, C. (1983). An analysis of the vertical deformation of pile groups. *geotechnique* 29 , 423-439.

M.F. RANDOLPH & WROTH, C. (1983). An analysis of the vertical deformation of pile groups. *geotechnique* 29 , 423-439.

MARCO DORIA, Enrique. (1988). *Cartagena de Indias: Puerto y Plaza fuerte*. Cartagena: Bogotá: Fondo Cultural Cafetero.

MARÍN HORTELANO, María Dolores; RUIZ ROJAS, Manuel. (2009). *Recopilación de materiales para enseñar y aprender la Física en la Región de Murcia*. Murcia, España.

Mindlin, R. (1936). Force at a point in the interior of a semi-infinite-solid. *physics* 7 , 195-202.



MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. *Manual de Diseño Geométrico*. Bogotá.

Morrison, N. (1993). *scribs*. Recuperado el 11 de MAYO de 2014, de scribs: <http://es.scribd.com/doc/59966677/modulo-de-balasto>

Nam, K. K. (2001). Optimal pile arrangement for minimizing differential settlements in piled raft foundations. *computer and geotechnics, volumen 28* , 235-263.

NORMA SISMO RESISTENTE, NSR 10.

NSR-10. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE., (págs. H-17,H-18).

O'Neill, M. D. (1996). case historiesa of piled-supported raft. *Report for ISSMFE Tech.* texas: univ. of houston.

OLIVEROS JIMÉNEZ, María Mercedes. (2011). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas del sector que comprende el hotel santa clara hasta el claustro de la merced de la ciudad de Cartagena de indias*. Cartagena.

Orozco, L. F. (2008). ASENTAMIENTOS TOTALES Y DIFERENCIALES EN BOGOTÁ-RECUPERACIÓN DE LA VERTICALIDAD DE EDIFICIOS. *conferencia LFO* , 6-8.

OROZCO, L. F. (2008). ASENTAMIENTOS TOTALES Y DIFERENCIALES EN BOGOTÁ-RECUPERACIÓN DE LA VERTICALIDAD DE EDIFICIOS. *conferencia LFO* , 6-8.

Ottoviani, M. (1975). Three-dimensional finite element analysis of vertically loaded pile groups. *Geotechnique 25, No. 2.* , 159-174.

Poulos, H. G. (1968). Analysis of settlement of pile groups. *Geotechnique 18 No.4* , 449-471.

Randolph, M. (1994). Design methods for pile groups and piled rafts. *thirteenth international conference on soil mechanics an foundation engineering* (págs. 61,82). india: new delhi.

ROCHA, Jorge. (2003). *Informe Patológico y Geotécnico Sociedad de Mejoras Públicas.* . Cartagena.

Safe, o. a. (2004). *safe, Integrated Analysis and Design of Slab Systems*. berkeley, california,usa: COPYRIGHT CSI COMPUTERS AND ESTRUCTURES, INC.

SERWAY, R.A. (1992). *Física*. Mc Graw Hill.



Torres A.I.C. (2006). Introducción al método de elementos finitos., (págs. 142-146). Cartagena.

TORRES BELANDRIA, Rafael Ángel. (2008). *Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado*. Mérida, Venezuela.

VADILLO, Fernando. (2006). *Una introducción al método de los elementos finitos*. País Vasco.

Vazques L.G, I. (2000). Diseño y construcción de cimentaciones., (págs. 14-19 Y 147-148). MEDELLIN.

YF Leung, A. K. (2010). Theoretical study on pile length optimization of pile groups and piled rafts. *ASCE J Geotech Geoenviron Eng*, 136 (2) , 319-330.