

**ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE
COMBUSTIBLE CON CIMENTACIÓN ANULAR, MEDIANTE UN SOFTWARE DE
ELEMENTOS FINITOS.**

ERITH JOHANY URREA VELANDIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE
COMBUSTIBLE CON CIMENTACIÓN ANULAR, MEDIANTE UN SOFTWARE DE
ELEMENTOS FINITOS.**

ERITH JOHANY URREA VELANDIA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título
de Ingeniero Civil**

Director:

Ing. Vladimir Ernesto Merchan Jaimes

ING. CIVIL M.Sc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por darme las fuerzas necesarias y la valentía para poder cumplir con mis metas y mis anhelos. Sin él nada es posible.

A mi hermosa y amada esposa Karen Paternina, que siempre está a mi lado acompañándome como ayuda idónea, en los buenos y malos momentos. Me enseñaste el verdadero significado de la palabra amor.

A mis padres Mary Luz Velandia Niño y Ruben Urrea Millan por haberme enseñado excelentes valores que siempre tuve presente.

A mi hermanito Jhon Anderson Urrea Velandia, desde el día en que supe que era un ejemplo a seguir para ti me esforcé el doble porque te sintieras orgulloso de mí.

A mi hermano Yeferson Andres Urrea Velandia por el apoyo brindado.

Agradecimiento especial a María Miriam Campos quien con sabiduría infinita y amor maternal me enseñó fortaleza, valentía y amor pero sobre todas las cosas me dio la firme convicción de la realidad de Dios.

A mis profesores, amigos y compañeros de estudio, que de una u otra forma aportaron un granito de arena para la finalización de mi carrera universitaria.

A cada uno de ustedes los guardare siempre en mi corazón.

Mil y mil gracias.

Erith Johany Urrea Velandia

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL:	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	16
2. METODOLOGIA	17
3. DESARROLLO Y PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA INVESTIGACIÓN	18
3.1 GEOMETRÍA DEL MODELO	19
3.2 CONDICIONES DE CONTORNO.....	21
3.3 FASES DEL MODELO.....	22
3.4 DISCRETIZACIÓN DEL MEDIO ANALIZADO.....	24
3.4.1 Densidad de la malla	25
3.5 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE DATOS DEL POSTPROCESO Y RESULTADOS.....	27
4. SIMULACIÓN DE MODELOS.....	30
4.1 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	30
4.2 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	31
4.3 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	33
4.4 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	34
4.5 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	35

4.6 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	36
4.7 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	37
4.8 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	38
4.9 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.....	39
4.10 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.....	40
4.11 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.....	41
4.12 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.....	42
4.13 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.....	43
4.15 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.....	45
4.16 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.....	46
4.17 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 40MPA PARA SUELO.....	47
5. ANALISIS DE RESULTADOS.....	48
6. CONCLUSIONES	53
7. RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tramo a simular en el software.....	18
Figura 2. Materiales	19
Figura 3. Geometría del suelo.....	20
Figura 4. Restricciones del suelo con $p=-0,2\text{MPa}$	21
Figura 5. Restricciones horizontales del suelo.....	21
Figura 6. Restricciones verticales del suelo.	22
Figura 7. Tabla de condiciones.	22
Figura 8. Fase 1, fase gravitacional.	23
Figura 9. Fase 2, tanque.	24
Figura 10. Preferencias de una malla no estructurada.	24
Figura 11. Evolución del mallado	25
Figura 12. Mallado con tamaño de 20.....	25
Figura 13. Características de la malla.....	26
Figura 14. Malla con las etiquetas.	27
Figura 15. Etapa de postproceso.	27
Figura 16. Desplazamientos.	28
Figura 17. Esfuerzos inducidos.....	29
Figura 18. Desplazamiento Vs Distancia.	29
Figura 19. Desplazamientos verticales para el modelo 1.....	30
Figura 20. Esfuerzos verticales [MPa] para el modelo 1.	31
Figura 21. Desplazamiento vs distancia.	31
Figura 22. Desplazamientos verticales para el modelo 2.....	32
Figura 23. Desplazamiento vs distancia	32
Figura 24. Desplazamientos verticales para el modelo 3.....	33
Figura 25. Desplazamiento vs distancia.	33

Figura 26. Desplazamientos verticales para el modelo 4.....	34
Figura 27. Desplazamiento vs distancia.	34
Figura 28. Desplazamientos verticales para el modelo 5.....	35
Figura 29. Desplazamiento vs distancia.	35
Figura 30. Desplazamientos verticales para el modelo 6.....	36
Figura 31. Desplazamiento vs distancia	36
Figura 32. Desplazamientos verticales para el modelo 7.....	37
Figura 33. Desplazamiento vs distancia.	37
Figura 34. Desplazamientos verticales para el modelo 8.....	38
Figura 35. Desplazamiento vs distancia	38
Figura 36. Desplazamientos verticales para el modelo 9.....	39
Figura 37. Desplazamiento vs distancia.	39
Figura 38. Desplazamientos verticales para el modelo 10.....	40
Figura 39. Desplazamiento vs distancia.	40
Figura 40. Desplazamientos verticales para el modelo 11.....	41
Figura 41. Desplazamiento vs distancia.	41
Figura 42. Desplazamientos verticales para el modelo 12.....	42
Figura 43. Desplazamiento vs distancia.	42
Figura 44. Desplazamientos verticales para el modelo 13.....	43
Figura 45. Desplazamiento vs distancia.	43
Figura 46. Desplazamientos verticales para el modelo 14.....	44
Figura 47. Desplazamiento vs distancia	44
Figura 48. Desplazamientos verticales para el modelo 15.....	45
Figura 49. Desplazamientos verticales para el modelo 16.....	46
Figura 50. Desplazamiento vs distancia.	46
Figura 51. Desplazamientos verticales para el modelo 20.....	47
Figura 52. Desplazamiento vs distancia	47
Figura 53. Desplazamiento vs distancia.	48
Figura 54. Desplazamiento vs distancia.	49
Figura 55. Desplazamiento vs distancia.	50

Figura 56. Resultados simulación 17.....51
Figura 57. Grafica resultados simulación.....52
Figura 58. rafica resultados simulación.....54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Materiales utilizados. Donde, E = Modulo elástico, Γ = Relación de Poisson.	19
Tabla 2. Valores de desplazamientos.	28
Tabla 3. Valores de desplazamientos.	53
Tabla 4. Valores de desplazamientos verticales.	54
Tabla 5. Valores de desplazamientos verticales.	55
Tabla 6. Valores de esfuerzos verticales.	56

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE CON CIMENTACIÓN ANULAR, MEDIANTE UN SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS*.

AUTOR: ERITH JOHANY URREA VELANDIA**

PALABRAS CLAVES Deformaciones, Cimentación, Elástico-lineal, Rigidez, Elementos finitos.

En este artículo se trabaja en un sistema de cimentación anular para tanques de almacenamiento de combustibles, por medio de una serie de simulaciones numéricas bidimensionales teniendo en cuenta la condición de axisimetría del sistema de cimentación anular de tanques de almacenamiento de combustibles, solo es necesario simular la mitad del sistema de cimentación, en el artículo se estudia el comportamiento de deformación del sistema de cimentación anular para tanques de almacenamiento de combustibles, mediante un software de elementos finitos. Se utilizaron como modelos constitutivos del sistema de cimentación y de los suelos de soporte un modelo constitutivo elástico-lineal trabajando en condiciones drenadas. No se analizarán los efectos de asentamientos por consolidación primaria o secundaria. Se analiza la influencia de las propiedades elásticas del anillo de cimentación y del relleno interno de soporte de los tanques por medio del cálculo de deformaciones inmediatas y también la influencia de la rigidez de los estratos de suelo subyacentes al sistema de cimentación por medio del cálculo de asentamientos inmediatos y de esta forma emplear la metodología que se presenta con el software Code_Bright para el cálculo de deformación de cimientos anulares para tanques de almacenamiento de combustibles, la cual consiste en simular la cimentación anular de un tanque de almacenamiento de combustible con un diámetro de 30m por medio del software Code_Bright la geometría de los diferentes tipos de materiales a utilizar, en este caso una capa de material de los estratos del suelo, una capa de material de mejoramiento del terreno, una capa de material de base granular con espesor de 1m y un tramo de material para el anillo de concreto con espesor de 1m, y así con esta geometría propuesta hacer el análisis correspondiente empleando las dos fases del modelo, empezando con la fase gravitacional en la cual se generan los esfuerzos in situ y por consiguiente la segunda fase, la fase de carga del tanque en la cual se hacen las interacciones adecuadas por medio de la variación de un módulo elástico de un material del sistema y así registrar los cambios que se obtienen al aumentar o disminuir el modulo elástico de cada material propuesto en la tesis.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director. Ing. Vladimir Ernesto Merchan Jaimes

ABSTRACT

TITLE: ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE CON CIMENTACIÓN ANULAR, MEDIANTE UN SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS*.

AUTHOR: ERITH JOHANY URREA VELANDIA**,

KEY WORDS: Deformations, Foundations, Elastic-linear, Rigidity, Finite Elements.

In this article we work in an annular accumulation system for fuel storage tanks, by means of a series of two-dimensional numerical simulations taking into account the condition of the axisymmetry of the annular certification system of fuel storage tanks, it is only necessary simulate half of the foundation system, in the article, the deformation behavior of the ring foundation system for fuel storage tanks is studied through finite element software. An elastic-linear constitutive model working in drained conditions was used as constitutive models of the foundation system and support soils. The effects of settlements due to primary or secondary consolidation will not be analyzed. The influence of the elastic properties of the foundation ring and the internal support filling of the tanks is analyzed by means of the calculation of immediate deformations and also the influence of the rigidity of the soil layers underlying the foundation system by means of the calculation of Immediate settlements and in this way use the methodology presented with the Code_Bright software for the calculation of deformation of annular foundations for fuel storage tanks, which consists of simulating the annular foundation of a fuel storage tank with a diameter of 30m by means of software Code_Bright the geometry of the different types of materials to be used, in this case a layer of material of the soil layers, a layer of ground improvement material, a layer of granular base material with a thickness of 1m and a section of material for the concrete ring with a thickness of 1m, and so with this proposed geometry, make the corresponding analysis using the two phases of the model, starting with the gravitational phase in which the in situ stresses are generated and therefore the second phase, the loading phase of the tank in which the appropriate interactions are made by means of the variation of an elastic modulus of a system material and thus record the changes that are obtained by increasing or decreasing the elastic modulus of each material proposed in the thesis.

* Project of grade

** Facultad de Ingenierias fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Civil. Director. Ing. Vladimir Ernesto Merchan Jaimes

INTRODUCCIÓN

La cimentación es considerada como una parte de la estructura que proporciona apoyo a la misma y transmite sus cargas al terreno¹. En una cimentación es de suma importancia tanto las estructuras que transmiten las cargas, como el suelo en que se apoya.

El desarrollo mismo de la industria petroquímica emplea un papel importante en el avance de un país. En refinerías como en otras plantas industriales y centro de distribución se presenta el problema de almacenar grandes volúmenes de diferentes tipos de líquidos, para esto deben utilizarse grandes tanques de almacenamiento y para en este proyecto teniendo en cuenta la geometría del mismo, se puede modelar el tanque como una sección bidimensional que rota alrededor del eje central, es decir con axisimetría en el eje vertical. Este tipo de simulaciones se pueden realizar con el programa Code_Bright.

Los tanques utilizados en las refinerías tienen diferentes usos, algunos almacenan el petróleo crudo que posteriormente sería procesado, otro gas y algunos más, productos y subproductos derivados del petróleo, tales como: Gasolina, asfaltos, aceites, combustibles, lubricantes, etc.

En este trabajo, se estudia la influencia de las propiedades elásticas de los materiales en el comportamiento deformacional de la cimentación, a partir del diagnóstico realizado se identifican las deformaciones del sistema de la cimentación

¹ AVENDAÑO Juan, RUEDA Rutbel, Estudio del comportamiento de cimentaciones de tanques de almacenamiento mediante el uso de un programa computacional de elementos finitos, Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, (2012), <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2335/2/145294.pdf> [9 de Octubre de 2017]

anular para tanques de almacenamiento de combustibles, verificándolos por medio del software de elementos finitos y así proponer unas conclusiones acerca de lo que le sucede a la cimentación del tanque para que este tema sea de gran enseñanza a las próximas generaciones y así generar un incremento de calidad de aprendizaje en los estudiantes en el tema del comportamiento de deformación del sistema de cimentación anular para tanques de almacenamiento de combustibles, mediante un software de elementos finitos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL:

Estudiar el comportamiento de deformación del sistema de cimentación anular para tanques de almacenamiento de combustibles, mediante un software de elementos finitos.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Revisar la metodología para el cálculo de deformación de cimientos anulares para tanques de almacenamiento de combustibles.
- Estudiar la influencia de las propiedades elásticas del anillo de cimentación y del relleno interno de soporte de los tanques en el cálculo de las deformaciones inmediatas.
- Estudiar la influencia de la rigidez de los estratos de suelo subyacentes al sistema de cimentación en el cálculo de asentamientos inmediatos.

2. METODOLOGIA

Se estudiaron los conceptos básicos de cimentaciones anulares y cálculo de asentamientos.²

Se escogió una geometría típica de cimentaciones anulares³.

Se realizaron una serie de simulaciones numéricas en un programa de elementos finitos que permiten estudiar la influencia de las propiedades elásticas de los materiales en el comportamiento deformacional de la cimentación.

Se realizaron una serie de simulaciones numéricas para estudiar la influencia de la rigidez de los estratos de suelo por debajo del nivel de cimentación.

Y por último se realizó la interpretación y análisis de resultados obtenidos en el programa computacional.

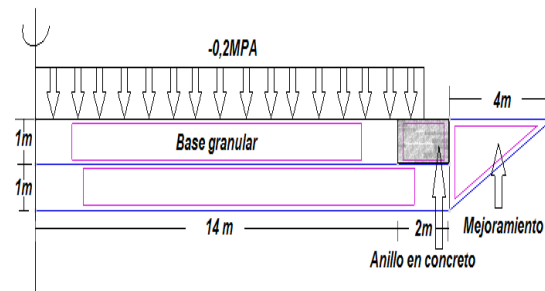
² ECOPETROL Guía para el cálculo de asentamientos en tanques de almacenamiento, estándares de ingeniería, <https://es.scribd.com/doc/170478616/Guia-Para-Calculo-de-Asentamiento-en-Tanques-de-Almacenamiento> [10 de Noviembre de 2017]

³ FILIPI Angel Alberto, Guatemala, Archivo .pdf proceso constructivo del anillo de cimentación para tanques de almacenamiento de hidrocarburos, Universidad de San Carlos Guatemala, 2012

3. DESARROLLO Y PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA INVESTIGACIÓN

Inicialmente se procede a modelar la cimentación de un tanque de 30m de diámetro, teniendo en cuenta la geometría del mismo, se puede modelar el tanque como una sección bidimensional que rota alrededor del eje central, es decir con axisimetría en el eje vertical. Este tipo de simulaciones se pueden realizar con el programa Code_Bright, como el modelo es axisimetrico solo es necesario simular la mitad del sistema de cimentación. Se asume un esfuerzo de contacto de 200kPa. En la Figura 1, se muestra la configuración escogida para el cimiento, el cual consta de: Un tramo de mejoramiento como se observa en la figura1, una base granular de 14metros y un tramo de concreto del anillo de la cimentación.

Figura 1. Tramo a simular en el software.

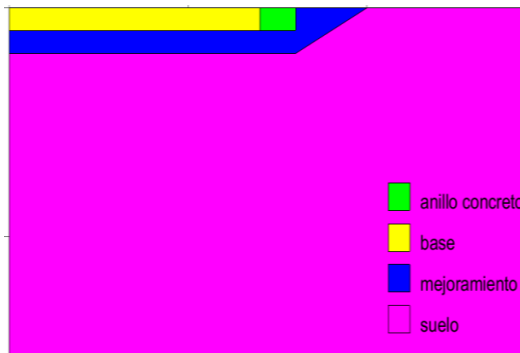


En la tabla 1, se presentan los valores escogidos para realizar el análisis de sensibilidad de asentamiento inmediato, de los materiales investigados.

Tabla 1. Materiales utilizados. Donde, E= Modulo elástico, Γ = Relación de Poisson.

MATERIAL	E: [MPa]	E :[MPa]	E :[MPa]	Γ
CONCRETO	4700 $\sqrt{35}$	4700 $\sqrt{35}$	4700 $\sqrt{35}$	0.3
BASE GRANULAR	30	60	80	0.25
MEJORA DEL TERRENO	20	40	60	0.3
ESTRATOS DEL SUELO	10	20	40	0.3

Figura 2. Materiales



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

3.1 GEOMETRÍA DEL MODELO

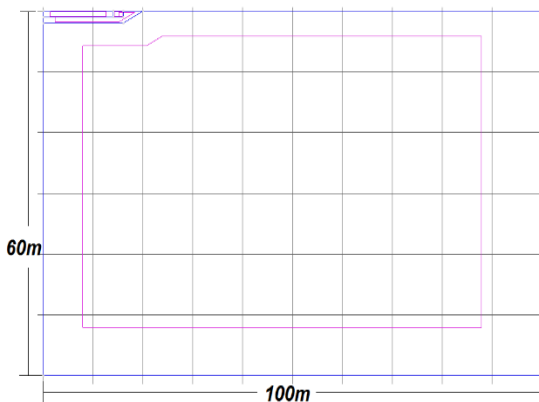
Para el planteamiento de la geometría del modelo se procedió a utilizar el software para elementos finitos GID.13.0.3. El cual permite generar los datos de pre-proceso y post- proceso. Es decir, permite crear la geometría, asignar propiedades, condiciones de contorno y desde su plataforma conectar al programa de cálculo que en este caso es el C.B. Por otra parte, una vez finalizada esta fase, el GID permite visualizar los resultados y exportar datos como desplazamientos, esfuerzos,

invariantes de esfuerzos entre otras variables, para el tipo de problema en modo Code_bright versión 4.0⁴.

En la figura 2 se observan las dimensiones que se utilizaron para la geometría del modelo de los estratos del suelo:

Se tomó una profundidad de 60m y una longitud de 100m⁵.

Figura 3. Geometría del suelo.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

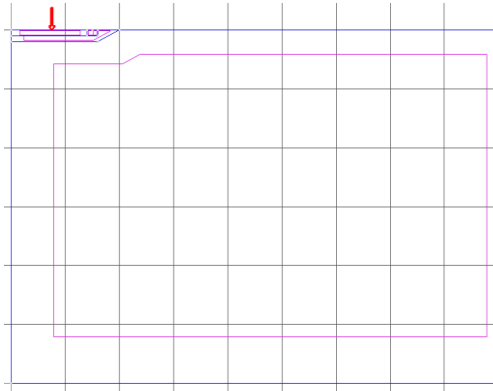
⁴ CODE_bright, tutorial, ii. tutorial example, shallow foundation, universitat politecnica de catalunya (upc), august 2010

⁵ ECOPETROL Op. Cit.

3.2 CONDICIONES DE CONTORNO

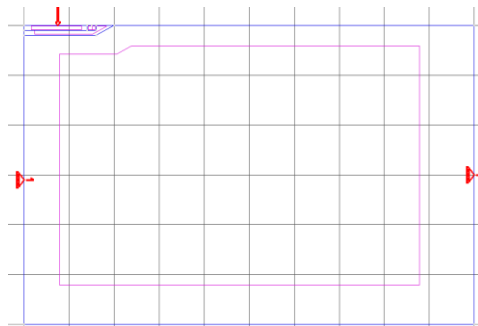
La figura 4. Indica las restricciones que se tomaron para el desarrollo de la investigación.

Figura 4. Restricciones del suelo con $p=-0,2\text{MPa}$.



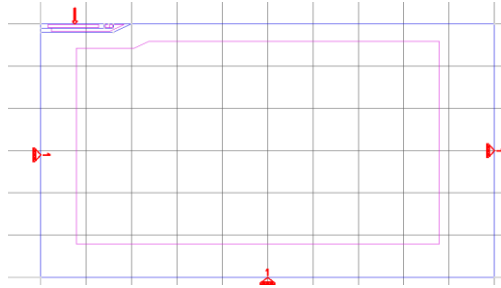
Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

Figura 5. Restricciones horizontales del suelo.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

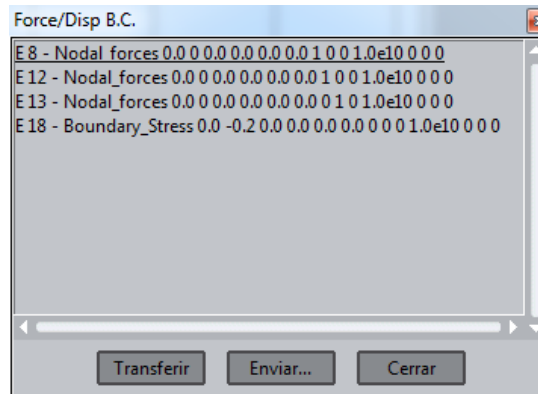
Figura 6. Restricciones verticales del suelo.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

A continuación se procedió a verificar las condiciones fuerzas/desplazamiento, como se puede observar en la figura 7.

Figura 7. Tabla de condiciones.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

Estas condiciones se tomaron para el cálculo de todos los modelos.

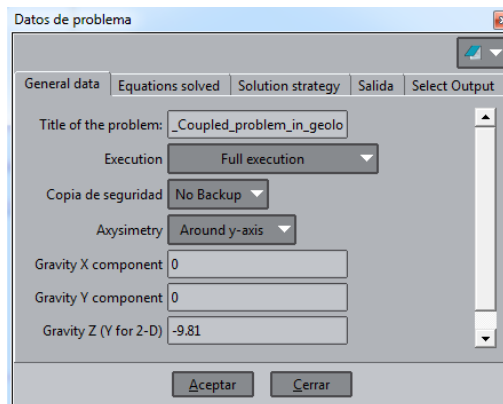
3.3 FASES DEL MODELO.

En el modelo que se desarrolló se manejaron dos fases, la fase 1 es donde se genera el estado de esfuerzos de la masa de suelo en condición geo-estática. Para

ellos se utiliza como artificio para evitar problemas de convergencia un módulo elástico de la masa de suelo alto, por ejemplo en este caso se consideró 3000 MPa.

En esta fase no se consideran los materiales correspondientes al cimiento, ya que su objetivo es puramente generar la condición de esfuerzos previos a la colocación del sistema de cimentación.

Figura 8. Fase 1, fase gravitacional.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la segunda fase, los elementos que componen la cimentación se activan, colocando los módulos elásticos.

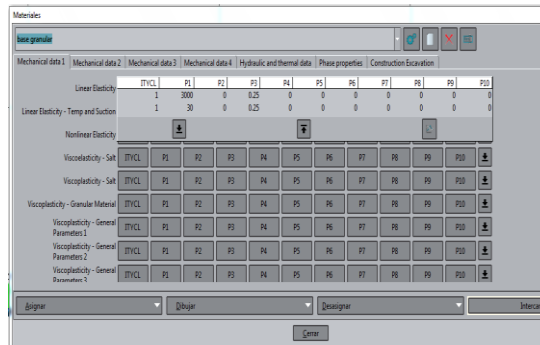
Concreto: $E = 4700\sqrt{35} = 27805.575$ MPA.

Base granular: $E = 30$ MPA.

Mejoramiento: $E = 20$ MPA.

Suelo: $E = 10$ MPA.

Figura 9. Fase 2, tanque.



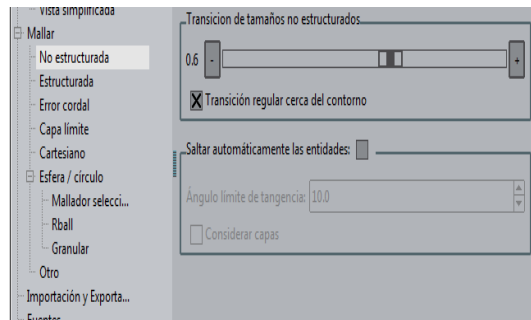
Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

3.4 DISCRETIZACIÓN DEL MEDIO ANALIZADO.

La generación del mallado consiste en discretizar la geometría en nodos y elementos. Las condiciones y materiales asignados a las entidades geométricas se transfieren durante este proceso para los nodos y elemento⁶.

En este ejemplo una malla no estructurada se ha utilizado la cual está compuesta por elementos lineales triangulares.

Figura 10. Preferencias de una malla no estructurada.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

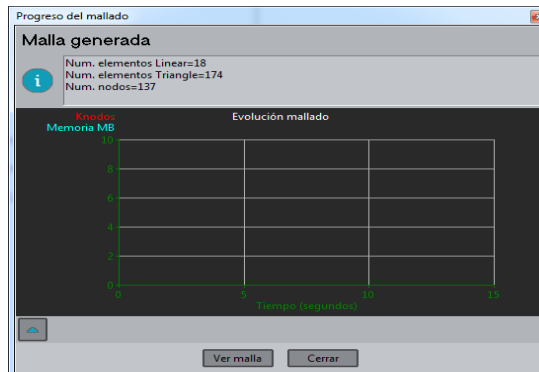
⁶ CODE_bright Op. Clt.

3.4.1 Densidad de la malla La densidad de la malla se puede ajustar mediante el control del tamaño del elemento en diferentes partes de la geometría. El parámetro que controla el tamaño de elementos triangulares es la longitud media de sus lados.

Para este ejemplo se asignó un valor de 1m de parámetro de tamaño de elemento para la línea que soporta la carga de la geometría simulada.

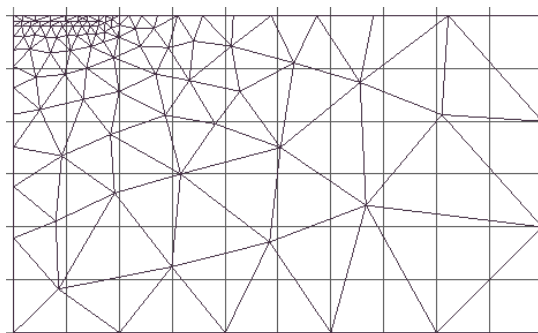
Ahora se procede a insertar el tamaño de los elementos a generar para este caso empezamos con 20, como se puede observar en la figura 11.

Figura 11. Evolución del mallado



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

Figura 12. Mallado con tamaño de 20.



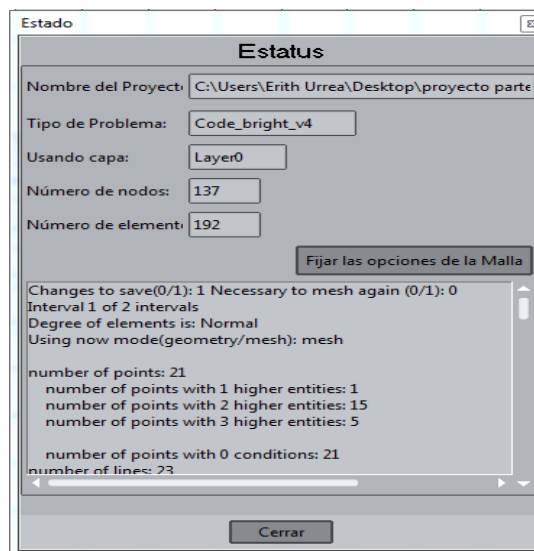
Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

Con todos los parámetros previamente definidos, la malla generada tiene las siguientes propiedades:

- La longitud del lado de triángulos por debajo de la base es igual a 1 m
- La duración media de los lados de los triángulos lejos de la base es igual a 20 m
- La transición desde el límite por debajo de la base para los límites ahora se hará con elementos de aumento de tamaños en una proporción de 0,6.

Las propiedades de la malla se presentan en la Figura 13.

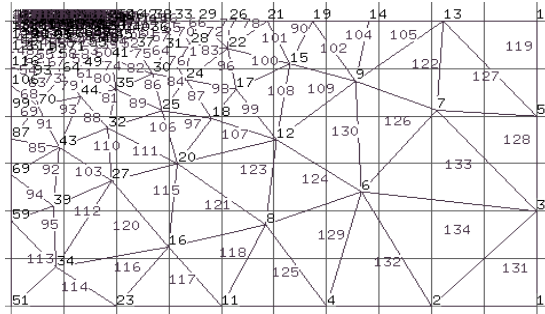
Figura 13. Características de la malla.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

A continuación en la figura 14 se representa la malla específica con las etiquetas correspondientes.

Figura 14. Malla con las etiquetas.

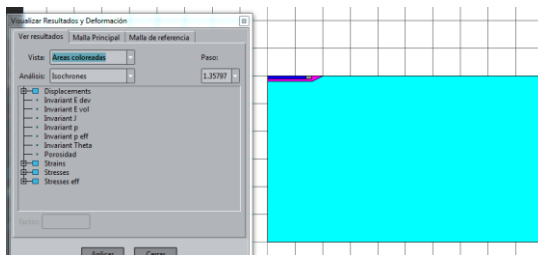


Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

3.5 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE DATOS DEL POSTPROCESO Y RESULTADOS.

Para el cálculo de datos se procede a correr el software en la etapa de post proceso, en la cual se evidencian los resultados para así poder a realizar los análisis correspondientes, como se observa en la figura 15, a continuación.

Figura 15. Etapa de postproceso.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

Para el desarrollo del análisis de resultados se revisó la metodología para el cálculo de deformación de cimientos anulares para tanques de almacenamiento de combustible.

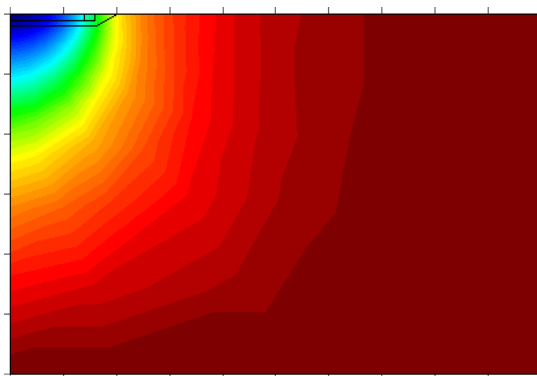
Ahora desde un punto de vista más interno estudiar la influencia de las propiedades elásticas del anillo de cimentación y del relleno interno de soporte de los tanques en el cálculo de las deformaciones inmediatas y así también estudiar la influencia de la rigidez de los estratos de suelo subyacentes al sistema de cimentación en el cálculo de asentamientos inmediatos como se ve en la figura 16 en donde podemos observar la gráfica de desplazamientos en cada estrato de suelo y como tal en la figura 17 la gráfica de los esfuerzos inducidos.

La tabla 2 representa los resultados de los valores de desplazamientos verticales con sus distancias correspondientes al eje.

Tabla 2. Valores de desplazamientos.

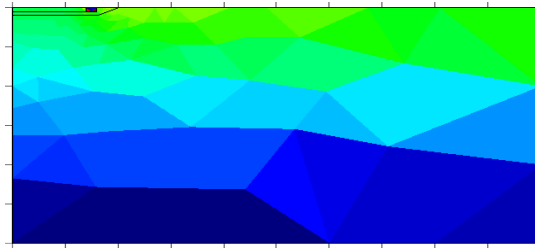
DISTANCIAS [m]	DESPLAZAMIENTOS [m]
17.604021	-0.18561354
15.003467	-0.23901621
11.003467	-0.32389048
6.0034666	-0.38668942
0.00346661	-0.41513422

Figura 16. Desplazamientos.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

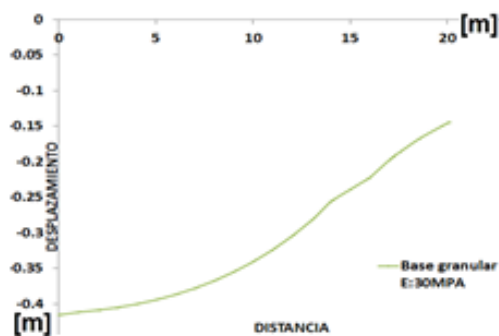
Figura 17. Esfuerzos inducidos.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

Gracias a la fluidez del programa también podemos ver una gráfica de resultados la cual no indica los desplazamientos que ocurren en todos los 4 materiales, con sus respectivas distancias como se representa en la figura 18.

Figura 18. Desplazamiento Vs Distancia.



Lo primordial en el proyecto es el cálculo y la interpretación de los desplazamientos verticales para observar que tanto afecta el tanque en la cimentación propuesta. Lo que se procede a realizar es el paso a paso nombrado anteriormente variando las propiedades elásticas del anillo de cimentación para obtener el óptimo y del relleno interno del soporte, es decir, la base granular, ir cambiando los módulos elásticos.

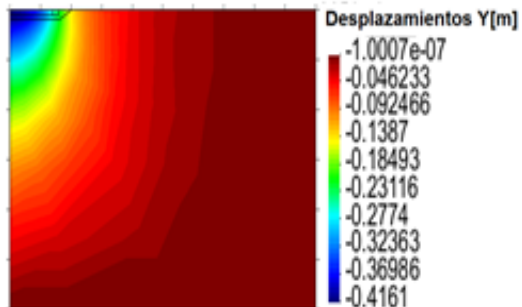
4. SIMULACIÓN DE MODELOS

Para el calculo de las simulaciones del modelo se representa el mismo tanque sobre las mismas geometrias del terreno y se procede a intercambiar o variar las propiedades elasticas del material de mejoramiento y de la base granular.

4.1 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 19 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

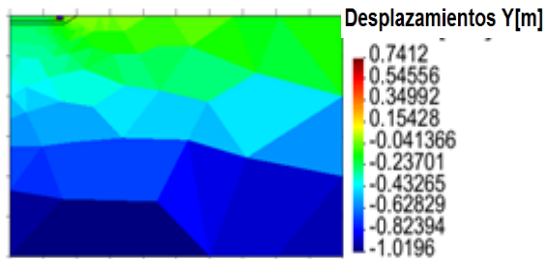
Figura 19. Desplazamientos verticales para el modelo 1.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

La figura 20 representa las zonas de mayor y menor esfuerzo en los estratos del suelo.

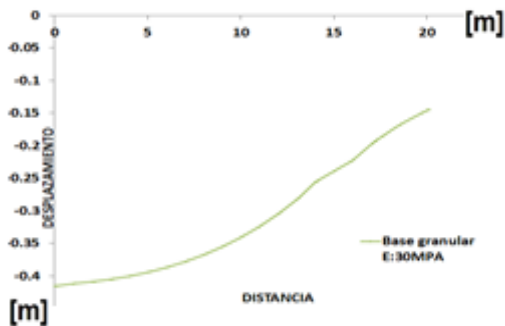
Figura 20. Esfuerzos verticales [MPa] para el modelo 1.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En el próximo gráfico, en la figura 21 se observa el comportamiento del desplazamiento con respecto a la distancia horizontal.

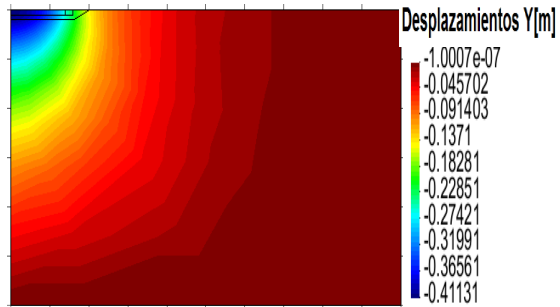
Figura 21. Desplazamiento vs distancia.



4.2 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPa, 20MPa PARA MEJORA Y 10MPa PARA SUELO.

En la figura 22 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

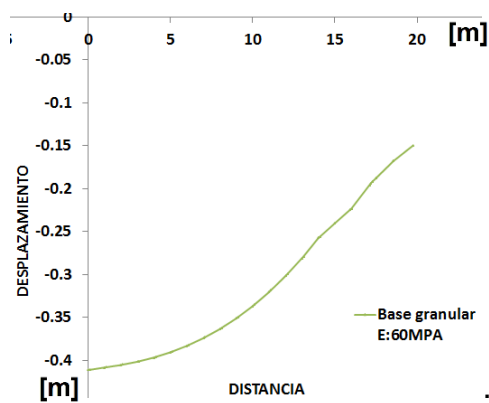
Figura 22. Desplazamientos verticales para el modelo 2.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En el próximo gráfico, en la figura 23 se observa el comportamiento del desplazamiento con respecto a la distancia horizontal.

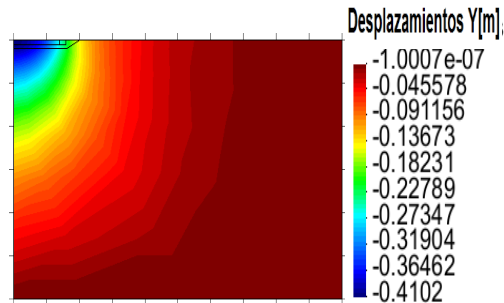
Figura 23. Desplazamiento vs distancia



4.3 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 24 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

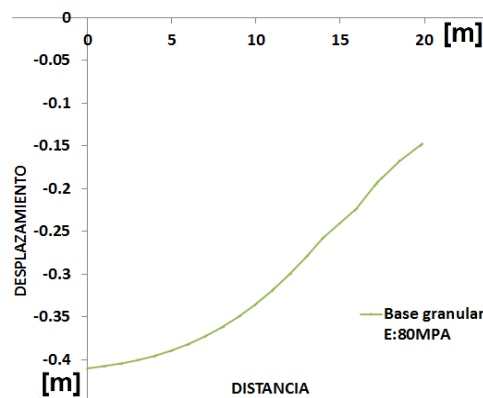
Figura 24. Desplazamientos verticales para el modelo 3



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 25 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

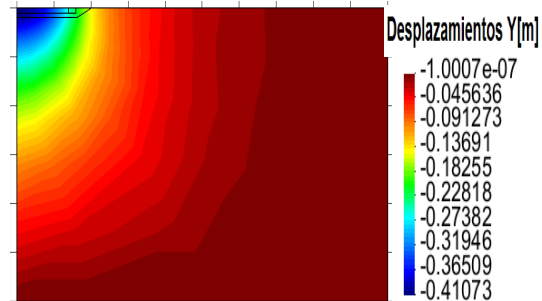
Figura 25. Desplazamiento vs distancia.



4.4 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 26 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo

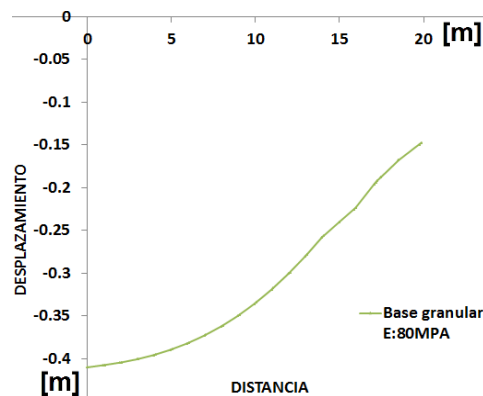
Figura 26. Desplazamientos verticales para el modelo 4.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 27 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

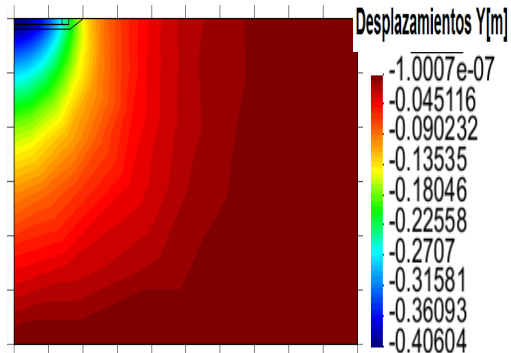
Figura 27. Desplazamiento vs distancia.



4.5 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 28 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

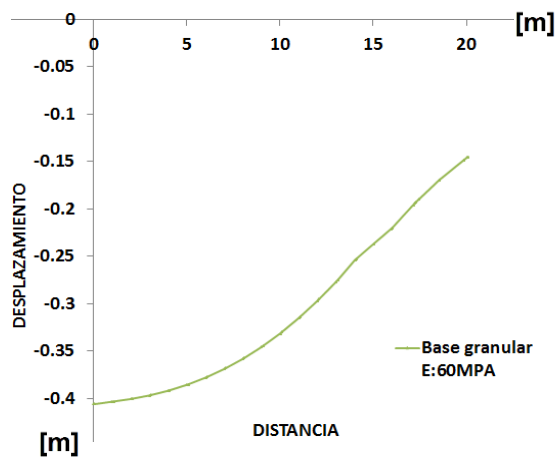
Figura 28. Desplazamientos verticales para el modelo 5



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 29 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

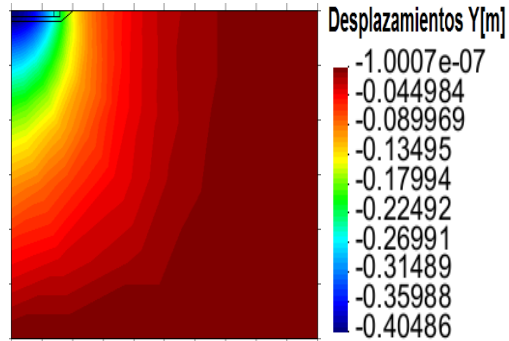
Figura 29. Desplazamiento vs distancia.



4.6 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 30 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

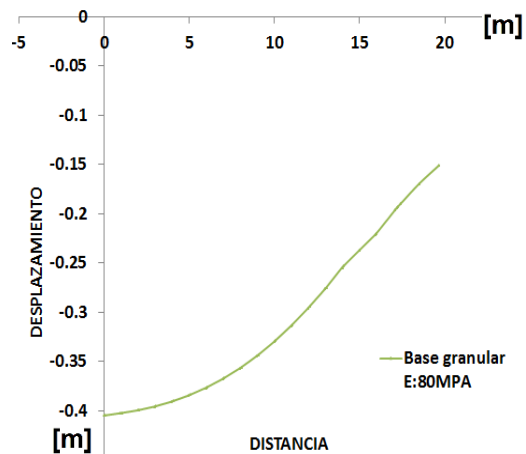
Figura 30. Desplazamientos verticales para el modelo 6.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 31 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

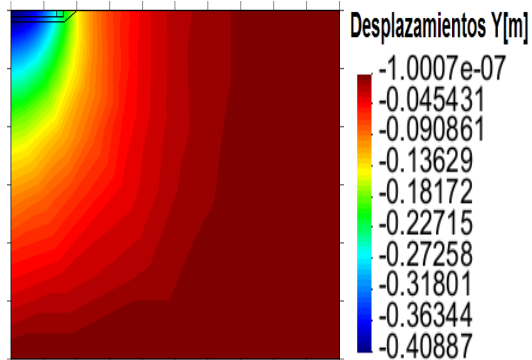
Figura 31. Desplazamiento vs distancia



4.7 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 32 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

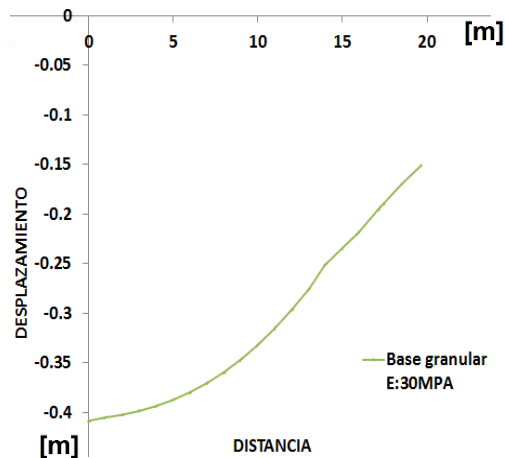
Figura 32. Desplazamientos verticales para el modelo 7



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 33 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

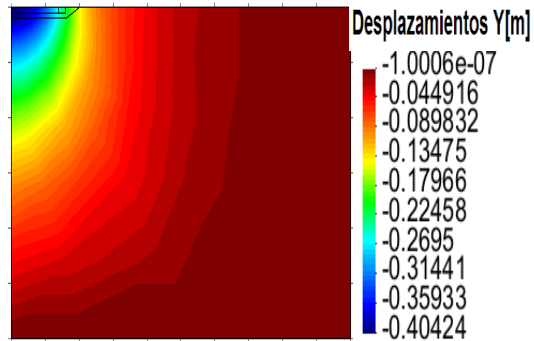
Figura 33. Desplazamiento vs distancia.



4.8 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 34 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo

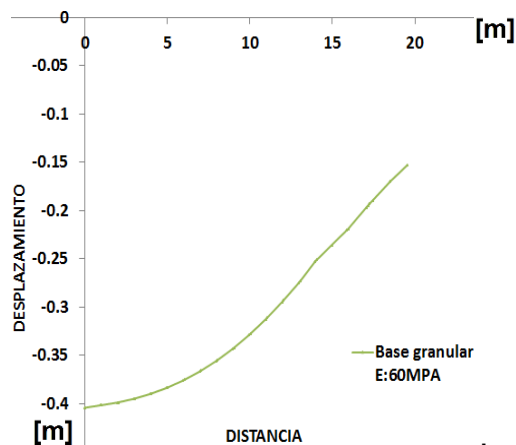
Figura 34. Desplazamientos verticales para el modelo 8.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 35 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

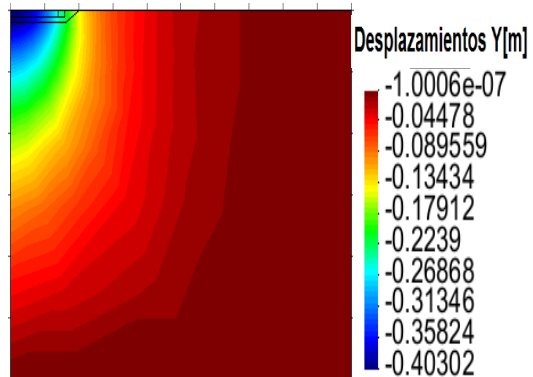
Figura 35. Desplazamiento vs distancia



4.9 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 10MPA PARA SUELO.

En la figura 36 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

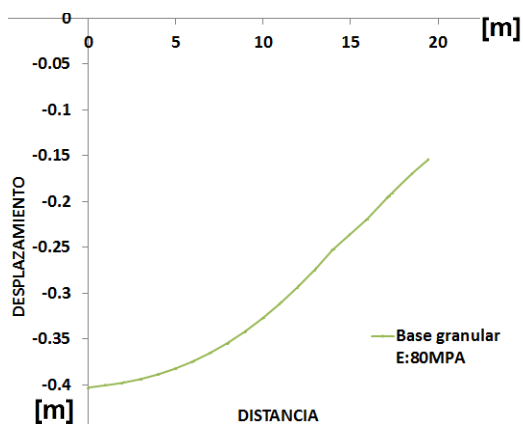
Figura 36. Desplazamientos verticales para el modelo 9.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 37 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

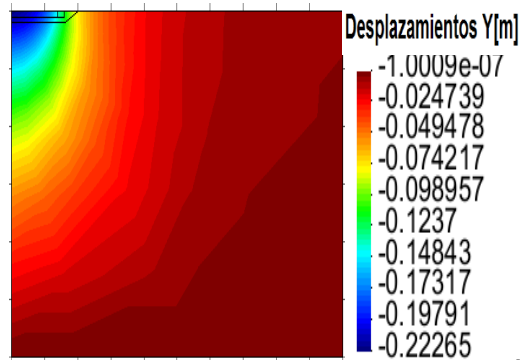
Figura 37. Desplazamiento vs distancia.



4.10 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.

En la figura 38 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

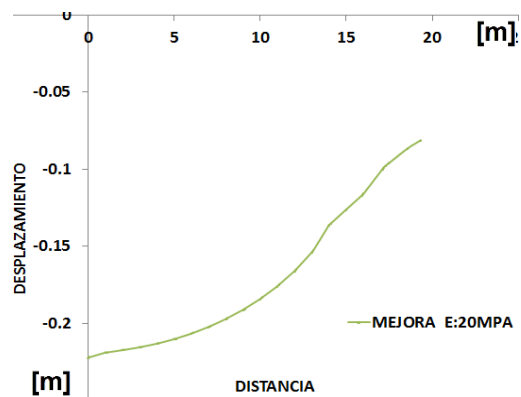
Figura 38. Desplazamientos verticales para el modelo 10



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 39 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

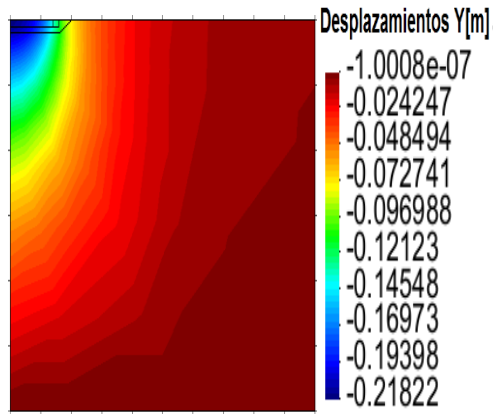
Figura 39. Desplazamiento vs distancia.



4.11 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.

En la figura 40 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

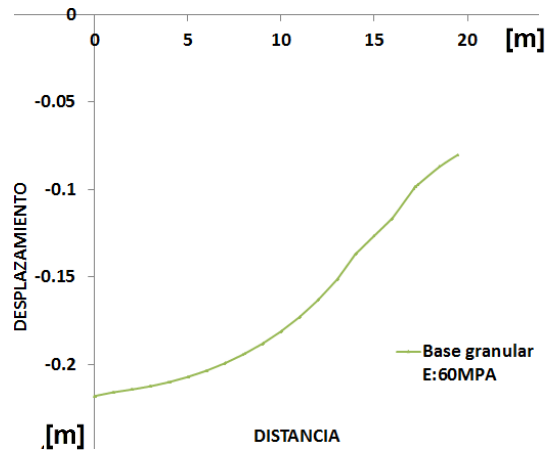
Figura 40. Desplazamientos verticales para el modelo 11



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 40 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

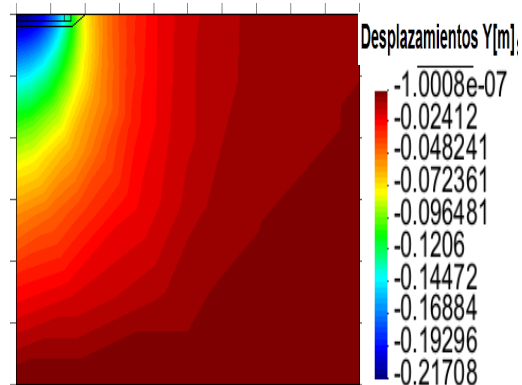
Figura 41. Desplazamiento vs distancia.



4.12 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.

En la figura 42 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

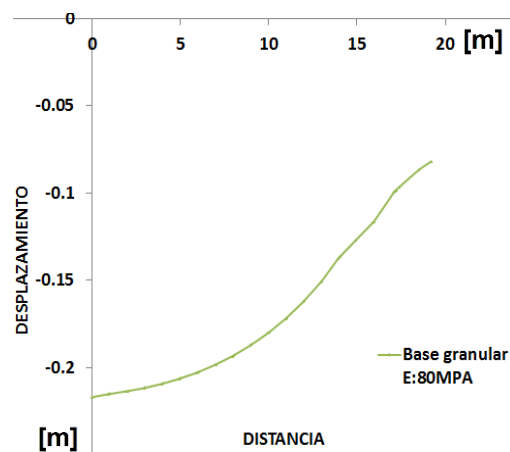
Figura 42. Desplazamientos verticales para el modelo 12



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 43 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

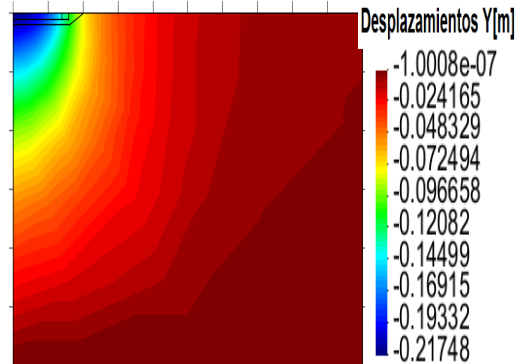
Figura 43. Desplazamiento vs distancia.



4.13 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.

En la figura 44 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

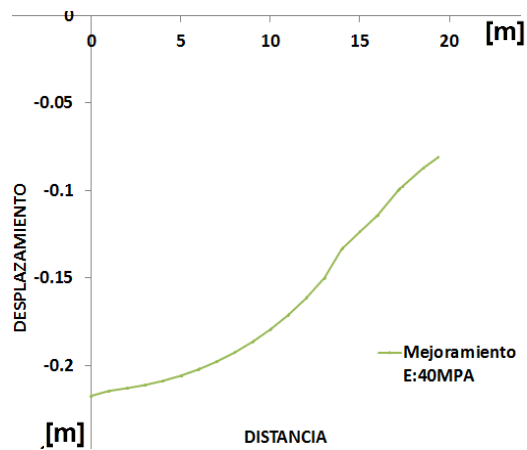
Figura 44. Desplazamientos verticales para el modelo 13.



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 45 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

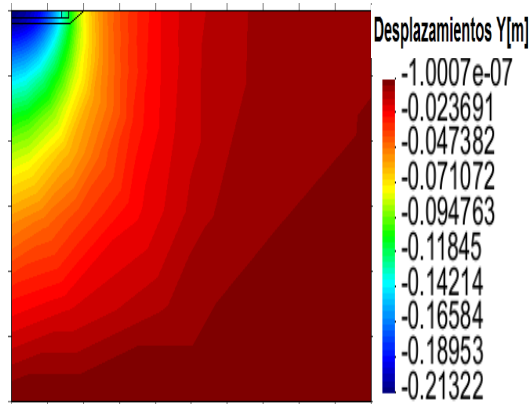
Figura 45. Desplazamiento vs distancia.



4.14 MODELO CON E PARA BASE DE 60MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.

En la figura 46 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

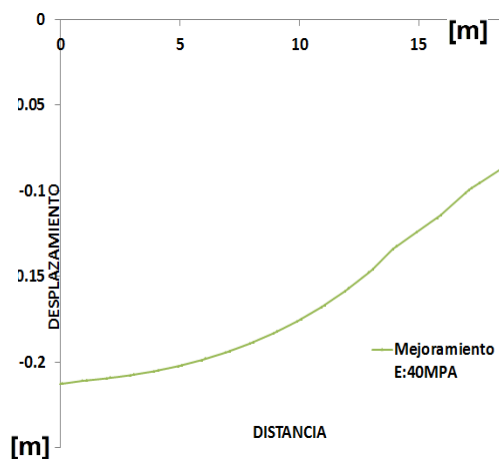
Figura 46. Desplazamientos verticales para el modelo 14



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 47 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

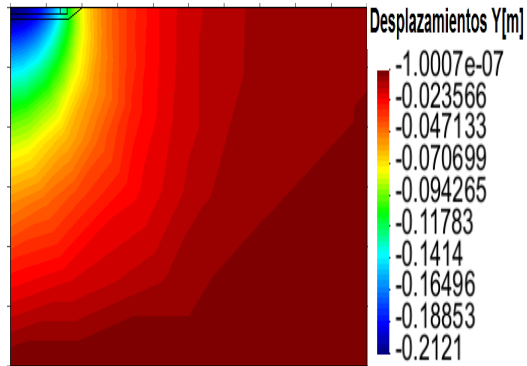
Figura 47. Desplazamiento vs distancia



4.15 MODELO CON E PARA BASE DE 80MPA, 40MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.

En la figura 48 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

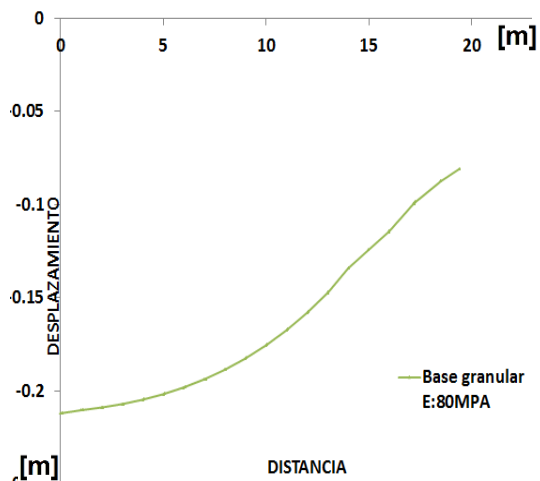
Figura 48. Desplazamientos verticales para el modelo 15



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 49 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

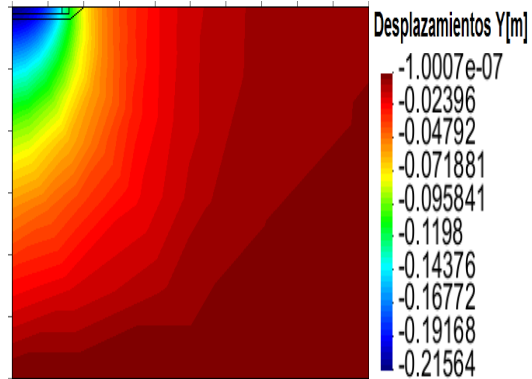
Figura 49. Desplazamiento vs distancia



4.16 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 60MPA PARA MEJORA Y 20MPA PARA SUELO.

En la figura 50 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

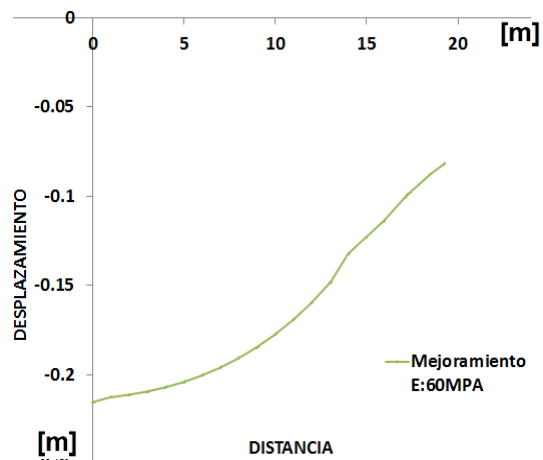
Figura 49. Desplazamientos verticales para el modelo 16



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 51 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

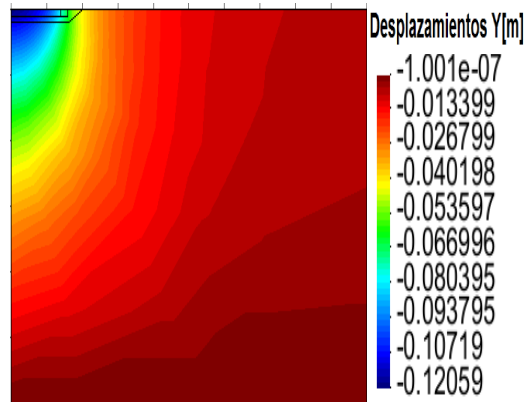
Figura 50. Desplazamiento vs distancia.



4.17 MODELO CON E PARA BASE DE 30MPA, 20MPA PARA MEJORA Y 40MPA PARA SUELO.

En la figura 52 se observa el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

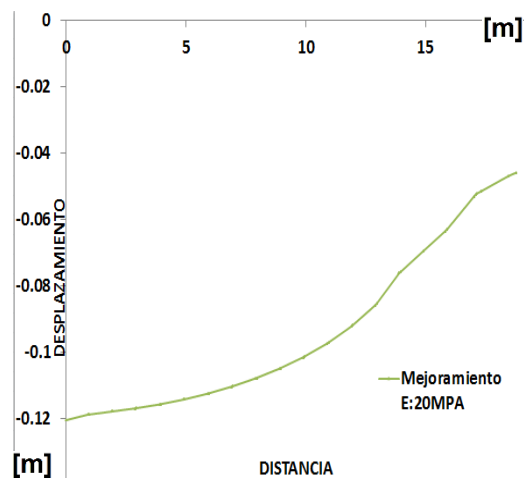
Figura 51. Desplazamientos verticales para el modelo 20



Fuente: software para elementos finitos GID.13.0.3.

En la figura 53 se presenta la distribución del desplazamiento vertical medido desde el eje del tanque.

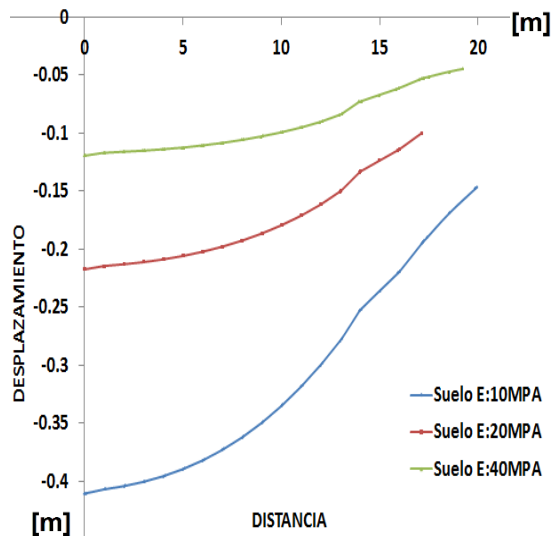
Figura 52. Desplazamiento vs distancia



5. ANALISIS DE RESULTADOS.

En los resultados del análisis de sensibilidad se sugiere que a pesar de las variaciones importantes en el módulo elástico de la base granular y del mejoramiento del terreno, la mejora efectiva para reducir el asentamiento inmediato se logra cuando la rigidez relativa entre los diferentes elementos que componen la cimentación es mínima. Nótese la diferencia tan importante en la figura 54, de asentamientos entre un suelo muy blando ($E= 10\text{MPa}$), otro suelo blando ($E= 20\text{MPa}$) y un suelo medianamente rígido ($E = 40\text{MPa}$). El efecto de contar con una base granular o un mejoramiento del terreno superficial (1m de espesor en este caso) con módulos elásticos muy altos, no tiene relevancia alguna si el suelo de fundación tiene propiedades elásticas muy bajas.

Figura 53. Desplazamiento vs distancia.



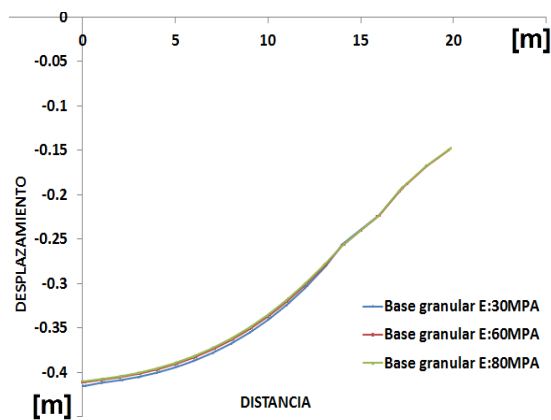
El esquema analizado es por lo tanto válido para suelos de fundación rígidos, con módulos elásticos por encima de 60MPa. En caso contrario, se sugiere que el mejoramiento del suelo se realice mediante columnas de grava o pilotes

concentrados en la vecindad del eje central del tanque. Para la escogencia de las profundidades y número de pilotes debe realizarse un análisis de sensibilidad numérico como el llevado a cabo en este trabajo.

En la simulación de los numerales 4.1,4.2 y 4.3 se estudió que al dejar el mismo modulo elástico para los materiales de mejoramiento y de los estratos de suelos y al variar el material de base granular se nota un cambio en el desplazamiento máximo generado por el modelo lo cual es algo razonable ya que a medida que aumenta el módulo de elasticidad a el material utilizado de Base granular la estructura del suelo se deformara menos y tendrá desplazamientos menores, como para estos casos. Para la simulación 1 con módulo de 30MPa se obtuvo un desplazamiento Max de 0,43415, para la simulación 2 con un módulo de 60MPa se obtuvo un desplazamiento Max de 0,42786, y para la simulación 3 con un módulo de 80MPa se obtuvo el desplazamiento Max de 0,42579.

-Se estudió el comportamiento de deformación del sistema de cimentación anular para tanques de almacenamiento de combustibles, mediante el software de elementos finitos GID, el cual permitió concluir como se pueden ver en la figura 55 referentes a las gráficas de desplazamiento vs distancia para cada simulación donde observamos los resultados de variar el modulo para la base granular.

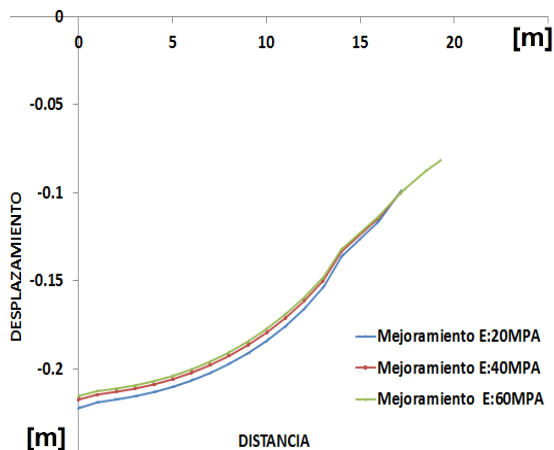
Figura 54. Desplazamiento vs distancia.



El desplazamiento máximo se presenta en el eje del tanque y como tal el mínimo en el borde, el eje x nos representa la distancia horizontal mientras que el eje y el vertical el asentamiento del tanque.

Debido a los registros presentados en las simulaciones 10, 13, y 16, las cuales están en los numerales 4.10, 4.13 y 4.16 se puede ver en las figuras de desplazamiento, figura 39, 45 y 51 que se realizaron una serie de simulaciones numéricas las cuales se utilizaron para el estudio de la influencia de las propiedades elásticas de los materiales en el comportamiento deformacional de la cimentación. Para la simulación 10 con módulo de 20MPa para mejoramiento se obtuvo un desplazamiento Max de 0,23079, para la simulación 13 con un módulo de 40MPa se obtuvo un desplazamiento Max de 0,22595, y para la simulación 16 con un módulo de 80MPa se obtuvo el desplazamiento Max de 0,2241. Esto indica cuál es el mejor material y cual produce una menor deformación de la cimentación, esto trabajando el material constante del suelo y de la base granular con módulos elásticos para el suelo de 20MPa y para la base granular de 30MPa, también se observan los resultados de variar el modulo para el material de mejoramiento del terreno en la figura 56.

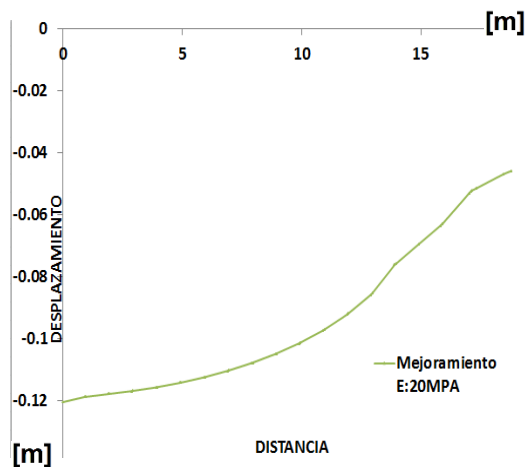
Figura 55. Desplazamiento vs distancia.



-Se puede concluir y ver que en los registros de las conclusiones 1 y 3 se obtuvieron desplazamientos o deformaciones mayores en las simulaciones 1,2 y 3 que en las de la 10,13 y 16 esto debido a que el material de los estratos del suelo para las simulaciones de la conclusión número 3 son mejores y tienen un módulo elástico mayor de 20 MPA comparado con los de las simulaciones 1,2 y 3 que se trabajaron con un módulo de 20MPA, esto nos permite evidenciar que influencia presenta la rigidez de los estratos del suelo por debajo del nivel de cimentación, entre mayor sea la rigidez presentara un menor asentamiento Max.

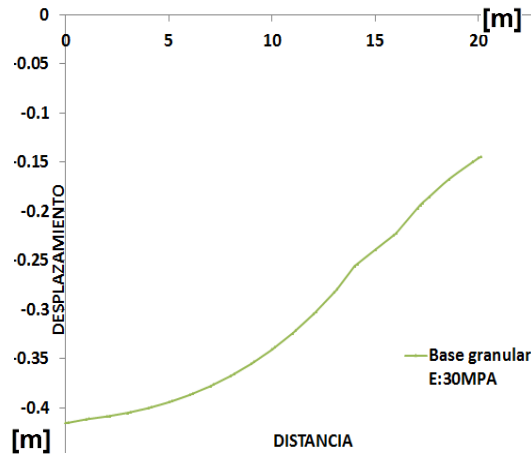
-Al analizar la simulación número 17 como se puede evidenciar en los resultados obtenidos y presentados en el numeral 4.20 en las figuras,52 y 53 para una simulación empleando materiales de módulos elásticos para base granular de 60MPa, mejoramiento de 20MPa y un estrato de suelo con 40MPa de modulo, y al compararla con la simulación número 1 el cual presenta unos módulos elásticos para base granular de 30MPa, mejoramiento de 20MPa y un estrato de suelo con 10MPa de modulo, para la simulación 17 obtuvimos un desplazamiento en el eje del tanque Max de 0.123 y un mínimo en el borde de 0.057 como se puede ver en la figura 57.

Figura 56. Resultados simulación 17.



Para la simulación 1 se obtuvo un desplazamiento en el eje del tanque Max de 0.434 y un mínimo en el borde de 0.212, ver en la figura 58.

Figura 57. Grafica resultados simulación.



Como resultado son de suma importancia las propiedades elásticas al trabajar una cimentación para un tanque de almacenamiento de combustible ya que al variar un módulo en cualquiera de los materiales varía enormemente el resultado de las deformaciones y como se pudo ver en la simulación número 17 con la simulación número 1 el comportamiento de la deformación es parecida pero los valores son diferentes para la simulación número 17 encontramos deformaciones menores con respecto a la simulación número 1 debido al material empleado en el suelo.

6. CONCLUSIONES

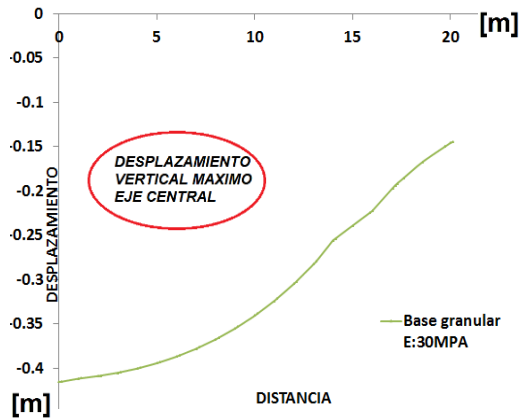
La distribución del esfuerzo de contacto constante, concluye que el tipo de cimentación es flexible. Esta hipótesis, se valida teniendo en cuenta las dimensiones de la base del tanque comparadas con el espesor de las capas de base y de mejoramiento del terreno que transmiten la carga al suelo de fundación. El efecto de una cimentación flexible sobre el terreno en términos de desplazamientos verticales se comprobó mediante el software utilizado. Cuando la distribución del esfuerzo de contacto es constante, se presentan concentraciones de asentamientos en el eje y en estos se observa que se van reduciendo hacia las esquinas del cimiento en el suelo, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de desplazamientos.

DISTANCIAS [m]	DESPLAZAMIENTOS [m]
17.604021	-0.18561354
15.003467	-0.23901621
11.003467	-0.32389048
6.0034666	-0.38668942
0.00346661	-0.41513422

Se aclara con los resultados y se invita a reflexionar sobre la importancia de las condiciones del suelo de cimentación en las vecindades del eje central del suelo de fundación, porque implica que debe rigidizarse de manera importante para evitar justamente la concentración de desplazamientos verticales observados en todas las simulaciones (ejemplo figura 59). Lo anterior, no sucede en el caso de los cimientos rígidos como las zapatas, pues por su condición se presentan asentamientos uniformes, lo cual conlleva a concentraciones de esfuerzos en las esquinas.

Figura 58. Grafica resultados simulación



Como deducción de la investigación el efecto de contar con una base granular o un mejoramiento del terreno superficial (1m de espesor) con módulos elásticos muy altos, no tiene relevancia alguna si el suelo de fundación tiene propiedades elásticas muy bajas, ver tabla 4.

Tabla 4. Valores de desplazamientos verticales.

Simulacion6		Simulacion1	
Base granular	E:80MPA	Base granular	E:30MPA
Material mejora	E:40MPA	Material mejora	E:20MPA
Suelo	E:10MPA	Suelo	E:10MPA
Desplazamiento vertical[m]	Distancia [m]	Desplazamiento vertical[m]	Distancia [m]
0	-0.40457964	0.00346661	-0.41513422
0.044019677	-0.40451929	0.14076519	-0.41485772
5.0440197	-0.38361973	5.0034666	-0.39404976
5.9657192	-0.3765761	5.1407652	-0.39303374
10.04402	-0.32866842	10.003467	-0.34056103
10.965719	-0.31378758	10.140765	-0.33826482
15.887419	-0.2215357	15.003467	-0.23901621
15.965719	-0.2201966	15.866168	-0.22485581
18.507114	-0.16914049	18.580378	-0.16727801
19.647219	-0.15093352	19.72887	-0.14990121

Se comprueba por medio del análisis de sensibilidad utilizado en la simulación número 17 y la simulación 1 el efecto de cimiento flexible, esto debido a que al

emplear en la simulación 1 un suelo con módulo elástico de 10MPa se obtienen desplazamientos verticales en el eje central de gran magnitud comparados a los obtenidos en la simulación número 17 con un módulo elástico de 40MPa, por lo tanto es cimiento flexible por la gran magnitud hallada en el eje central y el comportamiento que se obtuvo de disminución de desplazamiento vertical al alejarse de su eje central, ver tabla 5.

Tabla 5. Valores de desplazamientos verticales.

Simulacion1		Simulacion17	
Base granular	E:30MPa	Base granular	E:30MPa
Material mejora	E:20MPa	Material mejora	E:20MPa
Suelo	E:10MPa	Suelo	E:40MPa
Desplazamiento vertical[m]	Distancia [m]	Desplazamiento vertical[m]	Distancia [m]
0.00346661	-0.41513422	0	-0.12031998
0.14076519	-0.41485772	0.89202678	-0.11868639
5.0034666	-0.39404976	5.8920426	-0.11238463
5.1407652	-0.39303374	5.9368949	-0.11228832
10.003467	-0.34056103	10.892058	-0.09726751
10.140765	-0.33826482	10.94945	-0.09697693
15.003467	-0.23901621	15.822488	-0.06347656
15.866168	-0.22485581	15.892074	-0.06301931
18.580378	-0.16727801	18.432159	-0.04703737
19.72887	-0.14990121	18.785982	-0.04589335

Por ultimo después de haber analizado el comportamiento de los esfuerzos verticales se obtuvo que no importa si se utiliza una base granular y un material de mejora con módulos elásticos elevados si se trabaja con el mismo material de suelo

y con un módulo elástico bajo como se observa en la tabla 6, se recomienda trabajar con módulos elásticos bajos ya que tienen resultados similares.

Tabla 6. Valores de esfuerzos verticales.

Simulacion1		Simulacion6	
Base granular	E:30MPA	Base granular	E:80MPA
Material mejora	E:20MPA	Material mejora	E:40MPA
Suelo	E:10MPA	Suelo	E:10MPA
Esfuerzos verticales[MPA]		Esfuerzos verticales[MPA]	
0.7412		0.79252	
0.54556		0.58745	
0.34992		0.38238	
0.15428		0.17731	
-0.041366		-0.027765	
-0.23701		-0.23284	
-0.43265		-0.43791	
-0.62829		-0.64298	
-0.82394		-0.84805	
-1.0196		-1.0531	

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de herramientas computacionales para realizar análisis de sensibilidad de las diferentes propiedades de los materiales que componen un proyecto geotécnico. Esto permite, ver las que presentan mayor influencia en el comportamiento de la estructura geotécnica y por lo tanto, será útil para la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

AVENDAÑO Juan, RUEDA Rutbel, Estudio del comportamiento de cimentaciones de tanques de almacenamiento mediante el uso de un programa computacional de elementos finitos, Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, (2012),<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2335/2/145294.pdf> [9 de Octubre de 2017]

CODE_bright, tutorial, ii. tutorial example, shallow foundation, universitat politecnica de catalunya (upc), august 2010.

ECOPETROL Guía para el cálculo de asentamientos en tanques de almacenamiento, estándares de ingeniería, <https://es.scribd.com/doc/170478616/Guia-Para-Calculo-de-Asentamiento-en-Tanques-de-Almacenamiento>• [10 de Noviembre de 2017]

FILIPÍ Angel Alberto, Guatemala, Archivo .pdf proceso constructivo del anillo de cimentación para tanques de almacenamiento de hidrocarburos, Universidad de San Carlos Guatemala, (2012).