



**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍAS ANALÍTICAS  
TRADICIONALES Y DE ELEMENTOS FINITOS PARA EL DISEÑO  
GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES**

**DANIELA DE JESUS PANTOJA CALDERÓN**

**LINDA VANESSA PÉREZ CANEDO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA D., T. Y C. – BOLÍVAR**

**DICIEMBRE DEL 2019**

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍAS ANALÍTICAS  
TRADICIONALES Y DE ELEMENTOS FINITOS PARA EL DISEÑO  
GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES**

**Grupo de investigación**

**GEOTECNIA, MATERIALES, VÍAS, TRÁNSITO Y TRANSPORTE**

**(GEOMAVIT)**

**Línea de investigación**

**PROPIEDADES DE LOS SUELOS, USOS Y APLICACIONES**

**Director De Proyecto**

**ING. GUILLIAM BARBOZA MIRANDA**

**Investigadores**

**DANIELA DE JESUS PANTOJA CALDERON**

**LINDA VANESSA PERÉZ CANEDO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA D., T. Y C. – BOLÍVAR**

**DICIEMBRE DEL 2019**

## Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Guilliam Barboza Miranda

**Director**

---

Modesto Barrios

**Director**

---

Walberto Rivera

**Director**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a Dios por todas las bendiciones que he recibido a lo largo de mi vida, por haber permitido que todo saliera de la mejor manera en el desarrollo de este Trabajo de grado y en el cumplimiento de mis objetivos y metas.

Gracias a mis padres y mi hermano por siempre estar presentes no solo en esta etapa tan importante de mi vida sino en todo momento ofreciéndome su amor y apoyo, por confiar y creer en mí e impulsarme a ser una mejor persona, por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante este recorrido.

Gracias a los docentes involucrados en el desarrollo de este Trabajo de Grado y en mi formación como profesional por sus guías y enseñanzas a lo largo de toda la carrera, en especial nuestro director de Tesis el Ingeniero Guilliam Barboza quien hizo posible la realización de este proyecto.

Y por último, gracias a mis compañeros y amigos con los que he compartido momentos inolvidables a lo largo de estos cinco años.

*Daniela Pantoja Calderón*

Gracias principalmente a Dios, por todas las bendiciones que día a día me regala, por guiarme en el camino y por regalarme fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo. Ha sido un orgullo y un gran privilegio ser su hija.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional en todo momento. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A todos mis amigos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad. Gracias por brindarme su amistad sincera y por todos los momentos vividos junto a ustedes durante estos 5 años. A mi colega favorito, ha sido un placer compartir este sueño contigo.

Y por último, quiero agradecer a todos los docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad de Cartagena, en especial a mi director de tesis, el Ing Guilliam Barboza quien con su experiencia y conocimiento me oriento en todo el proceso de investigación.

*Linda Pérez Canedo*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	20
ABSTRACT.....	21
INTRODUCCIÓN.....	22
1. MARCO DE REFERENCIA .....	24
1.1. ESTADO DEL ARTE.....	24
1.2. ANTECEDENTES.....	25
1.3. MARCO TEÓRICO.....	28
1.3.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES .....	28
1.3.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS.....	30
1.3.3. MÉTODO SOFTWARE GEO5 .....	36
1.3.4. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	43
2. OBJETIVOS.....	45
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	45
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	45
3. ALCANCE .....	46
3.1. DELIMITACIÓN DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN.....	46
3.2. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA.....	47
3.3. DELIMITACIÓN DE METODOLOGÍA.....	49
3.4. RESULTADOS Y PRODUCTO FINAL A ENTREGAR .....	49
3.5. EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES .....	49
4. METODOLOGÍA .....	50
4.1. ETAPA 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	50
4.2. ETAPA 2: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES .....	51

4.3.	ETAPA 3: ANÁLISIS COMPARATIVO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
5.	RESULTADOS .....	66
5.1.	ETAPA 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	66
5.1.1.	ZONA I.....	66
5.1.2.	ZONA IIIA .....	66
5.2.	ETAPA 2: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS .....	67
5.2.1.	ZONA 1 .....	67
5.2.2.	ZONA 3A .....	67
5.3.	ETAPA 2: DISEÑO DE CIMENTACIONES .....	82
5.4.	ETAPA 3: ANÁLISIS COMPARATIVO .....	82
5.4.1.	ZONA 1 .....	82
5.4.1.1.	SECTOR LAGUITO .....	82
5.4.1.2.	SECTOR CRESPO .....	84
5.4.1.3.	SECTOR CASTILLOGRANDE .....	86
5.4.1.4.	SECTOR CABRERO- MARBELLA .....	88
5.4.1.5.	SECTOR CENTRO .....	90
5.4.1.6.	SECTOR BOCAGRANDE .....	91
5.4.1.7.	SECTOR MANGA .....	93
5.4.1.8.	SECTOR PIE DE LA POPA .....	95
5.4.2.	ZONA 3 .....	97
5.4.2.1.	CALICANTO – VILLA ROSITA .....	97
5.4.2.2.	SAN JOSE DE LOS CAMPANOS .....	99
5.4.2.3.	VILLAGRANDE- TERNERA .....	101
5.4.2.4.	POZON- VILLA ESTRELLA .....	103
5.4.2.5.	RODEO.....	104

5.5. ETAPA 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS  
105

6. CONCLUSIONES..... 111

7. RECOMENDACIONES ..... 113

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS ..... 114

9. ANEXOS..... 117

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Capacidad de Soporte de carga ultima de un pilote. Fuente: (Braja M Das) .	30
Ilustración 2. Coeficiente efectivo de la tierra según el tipo de pilote. Fuente: Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Braja Das.....	32
Ilustración 3. Varios tipos de distribución por fricción (superficial) unitaria a lo largo del fuste del pilote. Fuente: (Braja M Das) .....	35
Ilustración 4. Factor de capacidad portante $N_q$ . Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984. ....	38
Ilustración 5. Ángulo de fricción en el pilote. Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984. ....	39
Ilustración 6. Coeficiente de adhesión. Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984. ....	40
Ilustración 7. Profundidad crítica. Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984. ....	41
Ilustración 8. Clasificación de las unidades de Construcción por categorías. Fuente: Norma NSR-10. ....	46
Ilustración 9. Zona 1 de la Ciudad de Cartagena. Fuente: Google Earth .....	47
Ilustración 10. Zona IIIA de la Ciudad de Cartagena. Fuente: Google Earth .....	48
Ilustración 11. Clasificación de las unidades de construcción por categorías. Fuente: Norma NSR-10 .....	53
Ilustración 12. Datos de entrada especificaciones del subsuelo. Fuente: Autor.....	55
Ilustración 13. Perfil generado por el software Geo5. Fuente: Autor.....	56
Ilustración 14. Dimensiones ubicación del pilote. Fuente: Autor .....	56
Ilustración 15. Especificaciones de materiales en el Software Geo5. Fuente: Autor. ....	57
Ilustración 16. Datos de salida Software Geo5. Fuente: Autor .....	58
Ilustración 17. Datos de salida Asentamiento software Geo5. Fuente: Autor.....	58
Ilustración 18. Perfil generado por Software Geo5 para cimentaciones superficiales. Fuente: Autor.....	60
Ilustración 19. Datos de salida para cimentaciones superficiales software Geo5. Fuente: Autor.....	60



Ilustración 20. Datos de salida asentamiento software Geo5. Fuente: Autor.....	61
Ilustración 21. Diseño de dimensiones software Geo5. Fuente: Autor. ....	61
Ilustración 22. Parámetros de entrada software Plaxis. Fuente: Autores .....	62
Ilustración 23. Asignación de suelos al perfil estratigráfico. Fuente: Autores.....	62
Ilustración 24. Malla de elementos finitos generada. Fuente: Autores .....	63
Ilustración 25. Proceso de cálculo del Software Plaxis. Fuente: Autores .....	63
Ilustración 26. Malla deformada caso cimentación profunda. Fuente: Autores.....	64
Ilustración 27. Malla deformada caso cimentación superficial. Fuente: Autores .....	64
Ilustración 28. Curva de carga – asentamiento generada por el software Plaxis. Fuente: Autores .....	65
Ilustración 29. Subzonas (Zona 1) escogidas para estudio. Fuente: Google maps.....	66
Ilustración 30. Subzonas (Zona3A) escogidas. Fuente: Google maps .....	67
Ilustración 31. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Laguito, carga 800 kN. Fuente: Autores .....	82
Ilustración 32. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Laguito carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	83
Ilustración 33. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Crespo carga 800 kN. Fuente: Autores .....	84
Ilustración 34. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Crespo carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	85
Ilustración 35. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Castillogrande carga 800 kN. Fuente: Autores.....	86
Ilustración 36. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Castillogrande carga 4000 kN. Fuente: Autores.....	87
Ilustración 37. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Cabrero- Marbella e carga 800 kN. Fuente: Autores.....	88
Ilustración 38. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Cabrero- Marbella e carga 4000 kN. Fuente: Autores.....	89
Ilustración 39. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Centro, carga 800 kN. Fuente: Autores .....	90

Ilustración 40. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Bocagrande carga 800 kN. Fuente: Autores.....	91
Ilustración 41. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Bocagrande carga 4000 kN. Fuente: Autores.....	92
Ilustración 42. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Manga, carga 800 kN. Fuente: Autores .....	93
Ilustración 43. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Manga, carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	94
Ilustración 44. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autores.....	95
Ilustración 45. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autores.....	96
Ilustración 46. Diseño cimentación superficial. Sector Calicanto-Villa Rosita, carga 800 kN. Fuente: Autores.....	97
Ilustración 47. Perfil de diseño cimentación profunda. Sector Calicanto – Villa Rosita, carga 4000 kN. Fuente: Autores. ....	98
Ilustración 48. Diseño cimentación superficial. Sector San Jose, carga 800 kN. Fuente: Autores .....	99
Ilustración 49. Perfil de diseño cimentación profunda. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	100
Ilustración 50. Diseño cimentación superficial. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autores .....	101
Ilustración 51. Perfil de diseño cimentación profunda. Sector Villagrande - Ternera, carga 4000 kN. Fuente: Autores.....	102
Ilustración 52. Diseño cimentación superficial. Sector Pozón - Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores .....	103
Ilustración 53. . Diseño cimentación superficial. Sector Rodeo, carga 800 kN. Fuente: Autores. ....	104

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sectores en la Zona1 y Zona 3A. Fuente: Autor .....	51
Tabla 2. Datos de salida software Geo5. Fuente: Autor.....	57
Tabla 3. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Cabrero-Marbella. Fuente: Autores68	
Tabla 4. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Bocagrande. Fuente:Autores .....	69
Tabla 5. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Castillogrande. Fuente: Autores ....	70
Tabla 6. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Crespo. Fuente: Autores .....	71
Tabla 7. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Laguito. Fuente: Autores .....	72
Tabla 8. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Centro. Fuente: Autores.....	73
Tabla 9. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Pie de la Popa. Fuente: Autores.....	74
Tabla 10. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Manga. Fuente: Autores .....	75
Tabla 11. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector San José de los campanos. Fuente: Autores .....	76
Tabla 12. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Calicanto- Villa rosita. Fuente: Autores .....	77
Tabla 13. Perfil típico y parámetros geotécnicos. Sector Pozón- Villa estrella. Fuente: Autores .....	78
Tabla 14. Perfil típico y parámetros geotécnicos sector Rodeo. Fuente: Autores.....	79
Tabla 15. Perfil típico y parámetros geotécnicos sector Ternera- Villa grande. Fuente: Autores .....	80
Tabla 16. Perfil típico y parámetros geotécnicos sector Palmeras. Fuente: Autores.....	81
Tabla 17. Tabla comparativa. Sector Laguito, 4 niveles. Fuente: Autores.....	83
Tabla 18. Tabla comparativa. Sector Laguito, 10 niveles. Fuente: Autores. ....	83
Tabla 19. Tabla comparativa. Sector Crespo, 4 niveles. Fuente: Autores.....	84
Tabla 20. Tabla comparativa. Sector Crespo, 10 niveles. Fuente: Autores.....	85
Tabla 21. Tabla comparativa. Sector Castillogrande, 4 niveles. Fuente: Autores.....	86
Tabla 22. Tabla comparativa. Sector Castillogrande, 10 niveles. Fuente: Autores.....	87
Tabla 23. Tabla comparativa. Sector Cabrero- Marbella, 4 niveles. Fuente: Autores. ....	88
Tabla 24. Tabla comparativa. Sector Cabrero-Marbella, 10 niveles. Fuente: Autores. ....	89
Tabla 25. Tabla comparativa. Sector Centro, 4 niveles. Fuente: Autores. ....	90
Tabla 26. Tabla comparativa. Sector Bocagrande, 4 niveles. Fuente: Autores.....	91

Tabla 27. Tabla comparativa. Sector Bocagrande, 10 niveles. Fuente: Autores.....	92
Tabla 29. Tabla comparativa. Sector Manga, 4 niveles. Fuente: Autores.....	93
Tabla 30. Tabla comparativa. Sector Manga, 10 niveles. Fuente: Autores.....	94
Tabla 31. Tabla comparativa. Sector Pie de la popa, 4 niveles. Fuente: Autores. ....	95
Tabla 32. Tabla comparativa. Sector Pie de la popa, 10 niveles. Fuente: Autores. ....	96
Tabla 33. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Calicanto – Villa Rosita, carga 800 kN. Fuente: Autores .....	97
Tabla 34. Tabla comparativa. Sector calicanto- Villa rosita, 10 niveles. Fuente: Autores. .	98
Tabla 35.Tabla comparativa. Sector San Jose, 4 niveles. Fuente: Autores. ....	99
Tabla 36. Tabla comparativa. Sector San José, 10 niveles. Fuente: Autores. ....	100
Tabla 37. Tabla comparativa. Sector Villagrande - Ternera, 4 niveles. Fuente: Autores. .	101
Tabla 39. Tabla comparativa. Sector Pozón- Villa estrella, 4 niveles. Fuente: Autores. ...	103
Tabla 41. Ventajas y Desventajas de las Metodologías utilizadas. Fuente: Autores.....	107

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector laguito, carga 800 Kn. Fuente: Autores .....	117
Anexo 2. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Laguito, carga 800 Kn Fuente: Autores.....	117
Anexo 3. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Laguito, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	117
Anexo 4. Resultados capacidad última y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Laguito, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	117
Anexo 5. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Laguito, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	118
Anexo 6. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Laguito, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	118
Anexo 7. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Laguito, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	118
Anexo 8.Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Laguito- carga 4000 Kn. Fuente: Autores .....	118

Anexo 9. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Crespo, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	119
Anexo 10. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Crespo, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	119
Anexo 11. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Crespo, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	119
Anexo 12. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Crespo- carga 800 Kn.Fuente: Autores .....	119
Anexo 13. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Crespo, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	120
Anexo 14. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Crespo, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	120
Anexo 15. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Crespo, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	120
Anexo 16. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Crespo- carga 4000 Kn.Fuente: Autores .....	120
Anexo 17. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Castillogrande, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	121
Anexo 18. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Castillogrande, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	121
Anexo 19. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Castillogrande, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	121
Anexo 20. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Castillogrande- carga 800 Kn. Fuente: Autores .....	121
Anexo 21. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Castillogrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	122
Anexo 22. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Castillogrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	122
Anexo 23. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Castillogrande, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	122

Anexo 24. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Castillogrande- carga 4000 Kn. Fuente: Autores .....	122
Anexo 25. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Bocagrande, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	123
Anexo 26. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castell0 Sector Bocagrande, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	123
Anexo 27. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Bocagrande, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	123
Anexo 28. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Bocagrande- carga 800 Kn. Fuente: Autores.....	123
Anexo 29. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof Sector Bocagrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	124
Anexo 30. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Bocagrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	124
Anexo 31. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Bocagrande, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	124
Anexo 32. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Bocagrande- carga 4000 Kn. Fuente: Autores.....	124
Anexo 33. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Cabrero- Marbella, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	125
Anexo 34. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Cabrero- Marbella, carga 800 Kn Fuente: Autor .....	125
Anexo 35. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Cabrero- Marbella, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	125
Anexo 36. Resultados capacidad ultima y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Cabrero-Marbella, carga 800 kN. Fuente: Autor.....	125
Anexo 37. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Cabrero- Marbella, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	126
Anexo 38. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castellano. Sector Cabrero- Marbella, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	126

Anexo 39. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Cabrero-Marbella, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	126
Anexo 40. Resultados capacidad ultima y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Cabrero-Marbella, carga 4000 KN. Fuente: Autor.....	126
Anexo 41. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Centro, carga 800 Kn Fuente: Autor	127
Anexo 42. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Centro, carga 800 Kn Fuente: Autor	127
Anexo 43. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Centro, carga 800 kN. Fuente: Autor	127
Anexo 44. Resultados capacidad ultima y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Centro, carga 800 KN. Fuente: Autor	127
Anexo 45. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Manga, carga 800 Kn Fuente: Autor	128
Anexo 46. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Manga, carga 800 Kn Fuente: Autor	128
Anexo 47. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote. Sector Manga, carga 800 kN. Fuente: Autor	128
Anexo 48. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Manga, carga 800 kN. Fuente: Autor	128
Anexo 49. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof + Lambda. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor	129
Anexo 50. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof + Alfa. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor	129
Anexo 51. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor .....	129
Anexo 52. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Alfa. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor	129
Anexo 53. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote. Sector Manga, carga 4000 kN. Fuente: Autor	129

Anexo 54. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Manga, carga 4000 kN. Fuente: Autor 130

Anexo 55. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector Pie de la popa, carga 800 Kn Fuente: Autor 130

Anexo 56. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa, Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autor 130

Anexo 57. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda. Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autor..... 130

Anexo 58. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda. Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autor..... 130

Anexo 59. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Pie de la popa, carga 800 kN. Fuente: Autor..... 131

Anexo 60. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pie de la popa, carga 800 kN. Fuente: Autor..... 131

Anexo 61. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda, Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autor 131

Anexo 62. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa, Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autor 131

Anexo 63. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda, Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autor..... 131

Anexo 64. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Alfa. Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autor ..... 132

Anexo 65. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autor ..... 132

Anexo 66. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pie de la popa, carga 800 kN. Fuente: Autor..... 132

Anexo 67. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Calicanto- Villa rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor 132

Anexo 68. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Villa Rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor ..... 133

Anexo 69. Dimensiones minimas diseñadas por el programa Geo5. Fuente: Autores ..... 133



Anexo 70. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Calicanto-Villa rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	133
Anexo 71. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor	133
Anexo 72. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor	134
Anexo 73. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor	134
Anexo 74. Resultados de diseño por metodología Jambu +Alfa. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor	134
Anexo 75. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Calicanto- Villa rosita, carga 4000 kN. Fuente: Autor.....	134
Anexo 76. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Calicanto-Villa rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	135
Anexo 77. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Palmeras, carga 800 kN.Fuente: Autores	135
Anexo 78. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Palmeras, carga 800 kN. Fuente: Autores	135
Anexo 79. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Plameras, carga 800 kN. Fuente: Autor	135
Anexo 80. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	136
Anexo 81. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores	136
Anexo 82. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores	136
Anexo 83. Resultados de diseño por metodología Jambu + Alfa. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores	136
Anexo 84. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Calicanto – Villa rosita, carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	136

Anexo 86. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector San José, carga 800 kN. Fuente: Autores	137
Anexo 87. Resultados capacidad admisible y asentamiento (Geo5). Sector San Jose, carga 800 kN. Fuente: Autores	137
Anexo 88. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector San José de los campanos, carga 800 kN. Fuente: Autor .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo 89. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo 90. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores	138
Anexo 91. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores	138
Anexo 92. Resultados de diseño por metodología Jambu + Alfa. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores	138
Anexo 93. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector San José, Carga 4000 kN. Fuente: Autores	138
Anexo 94. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector San José de los campanos, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	139
Anexo 95. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autores	139
Anexo 96. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autores	139
Anexo 97. Dimensiones mínimas de diseño calculadas por el programa Geo5. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autores.....	139
Anexo 98. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Villagrande- Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autor.....	140
Anexo 99. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector San Villagrande – Ternera, carga 4000 kN.Fuente: Autores.....	140
Anexo 100. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector Villagrande – Ternera, carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	141

Anexo 101. Resultados de diseño por metodología Jambu + Alfa. Sector Villagrande – Ternera, carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	141
Anexo 102. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Villagrande – Ternera, Carga 4000 kN. Fuente: Autores .....	141
Anexo 103. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Villagrande- Ternera, carga 4000 kN. Fuente: Autor.....	142
Anexo 104. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Pozón – Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores	142
Anexo 105. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Pozón – Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores	142
Anexo 106. . Dimensiones mínimas de diseño calculadas por el programa. Sector Pozón – Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores	143
Anexo 107. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pozón – Villa Estrella, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	143
Anexo 108. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Rodeo, carga 800 kN. Fuente: Autores	143
Anexo 109. . Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Rodeo, carga 800 kN. Fuente; Autores	143
Anexo 110. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pozón – Villa Estrella, carga 4000 kN. Fuente: Autor .....	144

## RESUMEN

Este documento contiene un análisis comparativo de la determinación de capacidad de carga admisible y asentamiento en el diseño geotécnico de cimentaciones de una edificación de categoría media de acuerdo con la clasificación de las unidades de construcción impuesta por la NSR-10, en dos zonas con características geotécnicas similares identificadas en la ciudad de Cartagena por INGEOMINAS 2000, utilizando el software PLAXIS, Geo5 y los métodos analíticos tradicionales.

Los métodos analíticos tradicionales que se evalúan para las cimentaciones superficiales son Meyerhof, y Brinch-Hansen, para este último con ayuda del software Geo5 y para las profundas, la teoría de Meyerhof, Coyle y Castello, Método Alfa, Lambda, Jambu, Meyerhof y Método NAVFAC DM 7.2 apoyado en el Software Geo5. Para el método de elementos finitos se utiliza el programa PLAXIS. El análisis comparativo de capacidad de carga y asentamiento se realizó tanto para suelos arenosos (Zona1) como para suelos arcillosos (Zona 3A) debido a que los métodos teóricos varían considerablemente según se trabaje con uno u otro. Una vez se realizaron los modelos en el software y los cálculos con las ecuaciones teóricas se presentan cuadros comparativos para observar las diferencias y similitudes entre los métodos. Se obtuvo que el Método de Elementos Finitos presenta diferencia porcentual promedio en cuanto a capacidad de carga de 18% generalmente por encima del método de Meyerhof, con el programa Geo5 una diferencia porcentual promedio de 14% y de 23% con el método de Coyle y Castello. Para las cimentaciones superficiales, el Método de Elementos Finitos presenta una diferencia promedio en valores de capacidad de carga de 7% por debajo con el método de Meyerhof y 13% por debajo con los resultados obtenidos por el software Geo5.

**Palabras Claves:** Diseño de Cimentaciones, Elementos Finitos, Asentamiento, Capacidad de carga, Cimentaciones profundas, Cimentaciones superficiales, Software Geo5.

## ABSTRACT

This document contains a comparative analysis of the determination of permissible load capacity and settlement in the geotechnical design of foundations of a middle-class building according to the classification of construction units imposed by the NSR-10, in two areas with characteristics similar geotechnics identified in the city of Cartagena by INGEOMINAS 2000, using PLAXIS, Geo5 software and traditional analytical methods.

The traditional analytical methods that are evaluated for surface foundations are Meyerhof, and Brinch-Hansen, for the latter with the help of Geo5 software and for the deep ones, Meyerhof, Coyle and Castello's theory, Alpha, Lambda, Jambu, Meyerhof and NAVFAC DM 7.2 method supported by Geo5 Software. The PLAXIS program is used for the finite element method. The comparative analysis of load and settlement capacity was performed for both sandy soils (Zone1) and for clay soils (Zone 3A) because the theoretical methods vary considerably depending on whether one works or the other. Once the models were made in the software and the calculations with the theoretical equations, comparative tables are presented to observe the differences and similarities between the methods. It was obtained that the Finite Element Method presents an average percentage difference in terms of load capacity of 18% generally above the Meyerhof method, with the Geo5 program an average percentage difference of 14% and 23% with the Coyle method and Castello For surface foundations, the Finite Element Method has an average difference in load capacity values of 7% below with the Meyerhof method and 13% below with the results obtained by Geo5 software.

**Keywords:** Foundations Design, Finite Elements, Settlement, Load Capacity, Deep Foundations, Surface Foundations, Geo5 Software.

## INTRODUCCIÓN

Siendo las cimentaciones aquellas partes de la estructura que transmiten al terreno su propio peso y las cargas recibidas, deben ser dimensionadas con base en las características de terreno y de las cargas de la estructura, de modo que la estructura que soporta sea estable (Yepes Piqueras, 2016). Estas cimentaciones o apoyos son de distinto tipo de acuerdo con la utilidad que se busca y con el comportamiento natural del terreno (Montoya & Pinto Vega, 2010), en el diseño de toda cimentación se deben considerar tanto los estados límite de falla del suelo de soporte y de los elementos de la cimentación, como los estados límites de servicio. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, 2010)

La Ingeniería Geotécnica por ser una de las ramas más jóvenes de la Ingeniería Civil, sigue evolucionando activamente, es evidente que los problemas de los diseños geotécnicos se han ido complejizando con el paso de los años, debido a las dificultades y exigencias a las que estos están expuestos. El constante desarrollo de esta rama de la Ingeniería Civil ha permitido la aparición y modernización de nuevos y variados Métodos de Modelación de fenómenos reales y ha incrementado el uso de software en el diseño de cimentaciones (Velazquez, 2016).

El artículo “Modelamiento numérico en la resolución de problemas geotécnicos” (Cier, 2016) muestra una reseña sobre los avances presentados hasta la actualidad en el campo del modelamiento numérico en la resolución de problemas en Ingeniería Geotécnica, las dificultades a los que esta rama de la Ingeniería se enfrenta en la actualidad, y cómo es que el modelamiento numérico se ha convertido en una alternativa efectiva de solución ante problemas complejos en los proyectos de Geotecnia.

Cada ingeniero Geotecnista es libre de utilizar la metodología para diseño de cimentaciones que mejor le parezca, bien sea utilizando las teorías tradicionales o utilizando softwares basados en elementos finitos, pero ¿Qué tanto varía una metodología con respecto a otra?, como saber ¿Cuál de estas metodologías es la más eficiente y segura?; A partir de estos interrogantes surge la necesidad de realizar un análisis comparativo mediante las ecuaciones tradicionales y un software basado en elementos finitos con el fin de aumentar la seguridad y la objetividad. Al ser independientes los resultados que arrojan estos métodos y las variables que tienen en cuenta, confrontarlos y verificar que tan desfasados están los unos de

otros permite un avance en el diseño de cimentaciones y en la búsqueda de nuevas alternativas.

El presente proyecto, está enfocado a elaborar un análisis comparativo de los resultados que se obtengan en el cálculo de capacidad portante del suelo y deformaciones, para una unidad de construcción media, según la NSR-10 con niveles de construcción entre 4 y 10 niveles y cargas máximas de servicio en columnas entre 801 y 4000 kN, utilizando metodologías tradicionales y un software basado en elementos finitos (PLAXIS 3D). El estudio se realizó en dos extensas zonas, consideradas las zonas más críticas en el casco urbano de Cartagena, Zona Arenosa (**Zona I**) y Zona de Arcilla Expansiva (**Zona IIIA**).

PLAXIS 3D es un paquete de elementos finitos destinado al análisis tridimensional de la deformación y estabilidad en ingeniería geotécnica, este es un programa geotécnico 3D que ofrece geometría flexible e interoperable, simulación realista de etapas de construcción y un núcleo de cálculo confiable, lo que lo convierte en una solución completa para un análisis y diseño geotécnico. (Geotechpedia , 2012 )

Este proyecto de investigación “Análisis comparativo entre metodologías analíticas tradicionales y elementos finitos para el diseño geotécnico de cimentaciones” está enmarcado en la línea de investigación “Propiedades de los suelos, usos y aplicaciones”, perteneciente al grupo de investigación **GEOMAVIT** de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena, debido a que en el presente proyecto está basado en el estudio del programa PLAXIS 3D como modelador de diseño de cimentaciones y su comparación con los métodos analíticos tradicionales.

Por último, cabe resaltar que este trabajo es de mucha importancia en el campo profesional puesto que enriquece los conceptos y criterios para el diseño de cimentaciones, en este se presenta una investigación que a través de un informe detallado describe y analiza comparativamente la eficiencia de los diferentes métodos de diseño geotécnico aplicados al diseño de cimentaciones; así mismo, se comparan los fundamentos teóricos y variables que se utilizan para cada uno de estos métodos de diseño y permite un análisis más completo de interacción suelo – estructura.

## **1. MARCO DE REFERENCIA**

### **1.1. ESTADO DEL ARTE**

Conocer la historia, y los avances que se ha conseguido con los programas basados en elementos finitos en el campo de la ingeniería y en específico en la geotecnia, es fundamental para esta investigación ya que nos abre paso a conocer como estos han venido creciendo en cuento a su aplicación en situaciones particulares y cuáles son las desventajas que aún se pueden presentar, aparte de conocer sus avances en términos generales, es importante el estudio de sus fundamentos teóricos, debido a que muchas veces estos software son manipulados con gente hábil, pero inexperta, lo que puede llevar a conclusiones erróneas, en muchos casos.

El artículo “Modelamiento numérico en la resolución de problemas geotécnicos” muestra una reseña sobre los avances presentados hasta la actualidad en el campo del modelamiento numérico en la resolución de problemas en Ingeniería Geotécnica, las dificultades a los que esta rama de la Ingeniería se enfrenta la en la actualidad, y cómo es que el modelamiento numérico se ha convertido en una alternativa efectiva de solución ante problemas complejos en los proyectos de Geotecnia. (Cier, 2016)

Después de consultar la base de datos de la Universidad de Cartagena se encontró el artículo “Recomendaciones para la modelación de las cimentaciones sobre pilotes por Método de los elementos finitos” de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, en el cual se abordan algunas recomendaciones prácticas para la utilización de programas con base en el Método de los Elementos Finitos (MEF) que frecuentemente se utilizan para la modelación de deformaciones plásticas y fallas en cimentaciones sobre pilotes. Además, se exponen criterios de gran uso en la bibliografía internacional y las experiencias del autor en su aplicación para el caso de cimentaciones sobre pilotes. Se ejemplifica a través de comparaciones los resultados obtenidos por medio de la modelación con otros métodos, comprobándose la validez del modelo propuesto. (Ibañez Mora, 2012)



En el ámbito internacional se presentó una investigación de la Universidad Técnica Particular de Loja en Ecuador, que se basó en una comparación entre dos métodos de análisis para estabilidad de taludes, utilizando un software de apoyo. La primera metodología recurre a la teoría de equilibrio límite y la segunda, de comparación, elementos finitos. En el trabajo se calcularon factores de seguridad, que variaron de acuerdo con los escenarios planteados, tales como análisis estático y pseudoestático, con y sin inclusión de nivel freático. En esta investigación se concluyó que los resultados obtenidos por los métodos de equilibrio límite presentan coherencia en todas las consideraciones adoptadas, mostrando una reducción considerable en el factor de seguridad, mientras que para la teoría de los elementos finitos la presencia de nivel freático es determinante y se traduce en valores con dispersiones bajas. (González, 2017)

Este trabajo estuvo enfocado en un área de la geotécnica diferente al de diseño de cimentaciones, sin embargo, este proyecto trata una temática y metodología similar a la nuestra.

## **1.2.ANTECEDENTES**

Debido a la relevancia que han tenido los softwares en los últimos años, se han realizado varios estudios de análisis comparativos entre estos y los métodos analíticos.

En la universidad Industrial de Santander en la ciudad de Bucaramanga se han realizado varios trabajos acerca de las variaciones que puede tener un software basado en elementos finitos y las teorías analíticas tradicionales, realizando un análisis comparativo entre estos dos métodos.

Se encontraron dos trabajos enfocados en el campo de la Geotecnia y en el diseño de Cimentaciones, uno aplicado para recibir el título de maestría en geotecnia y otro para recibir el título de Ingeniero civil, en donde se realizó el análisis comparativo mediante teorías tradicionales y un software de elementos finitos.

La primera estudiaba la deformación de los suelos mediante las teorías tradicionales de Meyerhof, Vesic, Hansen y Brinch- Hansen y un software de elementos finitos, Plaxis 2D y 3D, para un caso de construcción de un muro en tierra armada en donde se presentan suelos arcillosos de compresibilidad media, plasticidad baja y presencia del nivel freático. (Remolina, 2016).

La segunda expone un análisis comparativo entre dos alternativas en el cálculo de asentamientos, una alternativa consiste en determinar los asentamientos mediante las ecuaciones teóricas, Terzagui, Meyerhof, Schmertmann y Peck- Hansen y la otra usando un software basado en elementos finitos, SIGMA/W. Este análisis comparativo se realizó para suelos arenosos y arcillosos. (Antolínez & Avila, 2013).

En ambos trabajos el objetivo es realizar una comparación entre algunos los métodos analíticos más utilizados y un programa basado en elementos finitos.

El primer trabajo obtuvo como resultado que, en las deformaciones elásticas, el método de elementos finitos se acercó más al valor real encontrado en campo con una diferencia porcentual del 36%. La diferencia entre los dos métodos fue de 8.5%.

En el segundo trabajo la comparación del software con las teorías se vio limitada debido a que el programa no tiene en cuenta algunos parámetros que las teorías si complementan como la profundidad del cimiento, consideran conveniente estudiar más a fondo el software con el fin de analizar mejor las condiciones de frontera del programa. Sin embargo, los resultados del programa se encuentran en un promedio entre las teorías existentes, siendo de esta forma un indicativo de aceptabilidad en el uso de soluciones de fundación.

El presente trabajo tiene como objetivo, igual que los trabajos descritos anteriormente, comparar las metodologías tradicionales con un programa basado en elementos finitos.

También, se encontró un trabajo de grado de la Universidad de Cartagena realizado por (Aguilar & Zuñiga, 2015), el cual tenía como objetivo hacer un análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas aledañas al cerro de la popa, casco urbano de Cartagena para determinar que método brinda mayor factor de seguridad y analizar ventajas y desventajas de cada método en cada una de las zonas estudiadas.

El estudio se llevó a cabo en zonas específicas del cerro de la Popa, que son: Lo Amador y su área de influencia, Diamante, Salto del Cabrón y San Francisco. Se obtuvo como resultado que para cada tipo de zona, había un método que presentaba mayor factor de seguridad, es decir, que para cada zona había un método que se adaptaba mejor a sus características.

En esta tesis se estudian los diferentes métodos analíticos para el diseño de cimentación, junto con el programa PLAXIS basado en elementos finitos, para una edificación tipo, nivel medio, en dos zonas de la Ciudad de Cartagena, donde se espera obtener un resultado muy parecido al de la tesis citada, donde en cada una de las diferentes zonas habrá un método que mejor se adapte a sus condiciones y características del Subsuelo.

## 1.3.MARCO TEÓRICO

Los factores que determinan el tipo de cimentación son: las cargas a las que estará sometida la estructura durante su vida útil, las condiciones del suelo y el procedimiento constructivo. Además, se debe definir cuál es el estrato más adecuado para soportar el peso de la estructura. (Rochel Awad, 1998)

### 1.3.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Las cimentaciones se clasifican según la profundidad del estrato al cual se transmite el peso de la estructura, cuando el estrato está próximo a la superficie se denominan cimentaciones superficiales. (Rochel Awad, 1998)

En las cimentaciones superficiales la estructura se apoya sobre estratos poco profundos que tienen suficiente capacidad de resistencia para soportar el peso de la estructura.

#### 1.3.1.1. CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA:

##### a) **Teoría de la capacidad de carga de Meyerhof.**

Meyerhof (1963) sugirió la forma siguiente de la ecuación general de la capacidad de carga. (Braja M Das)

$$qu = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{ys} F_{yd} F_{yi} \quad \text{Ecuación 1}$$

$B$  = Ancho de la Cimentación

$F_{cs}, F_{qs}, F_{ys}$  = Factores de formas

$F_{cd}, F_{qd}, F_{yd}$  = Factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{yi}$  = Factores de inclinación de la carga

$N_q, N_\gamma, N_c$  = Factores de capacidad de carga

Los factores de forma, profundidad, inclinación y capacidad de carga pueden ser consultados en el libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones. (Braja M Das)

### 1.3.1.2. ASENTAMIENTO

#### a) **Asentamiento elástico en arcillas:**

El asentamiento inmediato se expresa como:

$$S_e = \frac{Bq_o}{E_s} (1 + \mu_s^2) \gamma_r \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$E_s$  = Módulo de elasticidad de la arcilla

$q_o$  = Carga/ Area de la zapata

$\mu_s$  = Relación de Poisson del suelo

Las ecuaciones de asentamientos contienen parámetros elásticos  $E_s$  y  $\mu_s$ . Si no se tiene resultados de pruebas de laboratorio, se tiene que asumir. (Barboza, 2016)

El módulo de elasticidad de arcillas normalmente consolidadas se estima como

$$E_s = 250c \text{ a } 500c \quad \text{Ecuación 3}$$

Y para arcillas pre consolidadas como

$$E_s = 750c \text{ a } 1000c \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $c$  = cohesión no drenada del suelo de arcilla

### 1.3.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS

En las cimentaciones profundas el terreno firme no está próximo a la superficie, en este caso la cimentación se acostumbra a hacerla con elementos verticales conocidos por los nombres de pilotes y pilas, en este tipo de cimentación el peso del edificio se transmite a través del suelo blando hasta el estrato firme que se encuentra debajo de él.

#### 1.3.2.1. CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de soporte de carga última  $Q_u$  de un pilote se determina por la ecuación

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde

$Q_p$  = Capacidad de soporte de carga de la punta del pilote

$Q_s$  = Resistencia por fricción (fricción superficial) derivada de la interfaz suelo-pilote

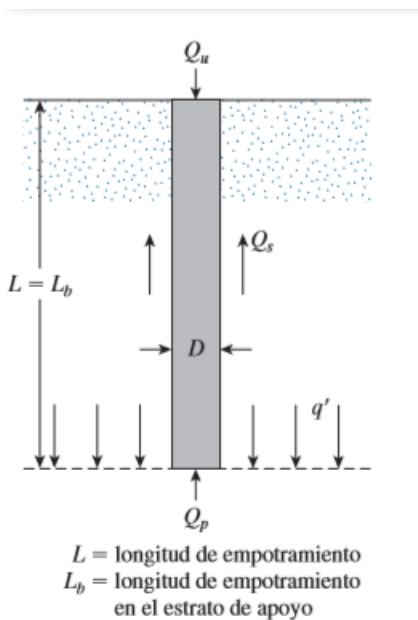


Ilustración 1. Capacidad de Soporte de carga ultima de un pilote. Fuente: (Braja M Das)

Existen varios métodos para estimar la capacidad de soporte de carga de la punta del pilote ( $Q_p$ ) y la resistencia por fricción (fricción superficial) ( $Q_s$ ), los cuales se describen a continuación.

**a) Método de Meyerhof: Estimación de  $Q_p$  (Arenas)**

Para pilotes en arena,

$$q_p = q' Nq \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Q_p = A_p q_p \quad \text{Ecuación 7}$$

$A_p$  = Área de la punta del pilote

$q_p$  = Resistencia unitaria de punta

$q$  = Esfuerzo vertical efectivo al nivel de la punta del pilote

$N_c, Nq$  = Factores de capacidad de carga

Sin embargo  $Q_p = A_p q' Nq \leq A_p q_l$

$$q_l \left( \frac{Kn}{m^2} \right) = 50 Nq * \tan \phi \quad \text{Ecuación 8}$$

La gráfica de variación de valores máximos de  $Nq$  y  $N_c$  con el ángulo de fricción del suelo  $\phi$  según Meyerhof se encuentra en la Figura 9.14 del libro (Braja M Das).

**b) Método de Coyle y Castello: Estimación de  $Q_p$  (Arenas)**

$$Q_p = A_p q' Nq \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

$q_p$  = Esfuerzo vertical efectivo en la punta del pilote

$Nq$  = Factor de capacidad de carga

La gráfica de variación de  $Nq$  con la relación  $L/D$  según Coyle y Castello se encuentra en la Figura 9.16 del libro (Braja M Das).

**c) Método de Meyerhof: Estimación de Qs (Arenas)**

La resistencia por fricción Qs se expresa como

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad \text{Ecuación 10}$$

La fricción unitaria superficial crece linealmente hasta una profundidad L', esta profundidad se considera entre 15 y 20 diámetros del pilote.

Se da una relación aproximada para f como sigue

Para  $z = 0$  a  $L$

$$f = K \sigma' \tan \delta \quad \text{Ecuación 11}$$

y para  $z = L'$  a  $L$

$$f = f_{z=L'} \quad \text{Ecuación 12}$$

$K$  = Coeficiente efectivo de la tierra

$\sigma'$  = Esfuerzo vertical efectivo a a profundidad bajo consideración

$\delta$  = Ángulo de fricción entre suelo y pilote

Tipo de pilote	$K$
Perforado	$\approx K_o = 1 - \text{sen } \phi$
Hincado, de bajo desplazamiento	$\approx K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_o = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$
Hincado, de alto desplazamiento	$\approx K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_o = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$

*Ilustración 2. Coeficiente efectivo de la tierra según el tipo de pilote. Fuente: Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Braja Das*



#### **d) Método de Coyle y Castello: Estimación de Qs (Arenas)**

Coyle y Castello (1981) propusieron que

$$Q_s = f_{prom} PL = (K\sigma' \tan\delta) PL \quad \text{Ecuación 13}$$

$\sigma'$  = Presión de sobrecarga efectiva promedio

$\delta$  = Ángulo de fricción entre suelo y pilote =  $0,8(\phi)$

$$Q_s = K\sigma' \tan(0,8\phi) PL \quad \text{Ecuación 14}$$

La grafica de variación de K con la relación L/D según Coyle y Castello se encuentra en la Figura 9.19 del libro (Braja M Das).

#### **e) Método de Meyerhof: Estimación de Qp (Arcilla)**

Para la condición  $\phi = 0$

$$Q_p = N_c * C_u * A_p \quad \text{Ecuación 15}$$

$N_c$  = Factor de capacidad de carga

$C_u$  = Cohesión no drenada

$A_p$  = Area del pilote

La grafica de variación del Factor de capacidad de carga se puede determinar en la Figura 9.14 del libro (Braja M Das). Para suelos cohesivos,  $N_c = 9$  según meyerhof

#### **f) Método de Jambu: Estimación de Qp (Arcilla)**

El método de Jambu utiliza los mismos parámetros para la estimación de capacidad en la punta del pilote, sin embargo, el factor de capacidad  $N_c$  se estima de manera diferente.

$$Q_p = N_c * C_u * A_p \quad \text{Ecuación 16}$$

El factor de capacidad de apoyo de Jambu se encuentra en la Figura 9.15 del libro (Braja M Das).

**g) Método Lambda ( $\lambda$ ): Estimación de Qs (Arcilla)**

$$Q_f = \sum f_{prom} * P * L \quad \text{Ecuación 17}$$

$$f_{prom} = \lambda(\sigma'_{prom} + 2C_u) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde,

$\sigma'_{prom}$  = Esfuerzo vertical efectivo medio por toda la longitud del pilote

$C_u$  = Resistencia cortante media no drenada

La variación de  $\lambda$  con la longitud de empotramiento de un pilote se encuentra en la Figura 9.20 del libro (Braja M Das).

**h) Método alfa ( $\alpha$ ): Estimación de Qs (Arcilla)**

$$Q_f = \sum f * P * \Delta L \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde,

$$f = \alpha * C_u \quad \text{Ecuación 20}$$

La variación del factor empírico de adhesión  $\alpha$  con la cohesión no drenada se encuentra en la figura 9.22 del libro (Braja M Das).

**1.3.2.2. ASENTAMIENTO**

El asentamiento de un pilote bajo una carga de trabajo  $Q_w$ , es causado por tres factores:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

$S$  = Asentamiento total del pilote

$S_1$  = Asentamiento elástico del pilote

$S_2$  = Asentamiento del pilote causado por la carga en la punta del pilote

$S_3$  = Asentamiento del pilote causado por la carga transmitida a lo largo del fuste

Si el material del pilote se supone elástico, la deformación del fuste se evalúa usando los principios fundamentales de la mecánica de materiales: (Barboza, 2016)

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + Q_{ws}) L}{A_p E_p} \quad \text{Ecuación 22}$$

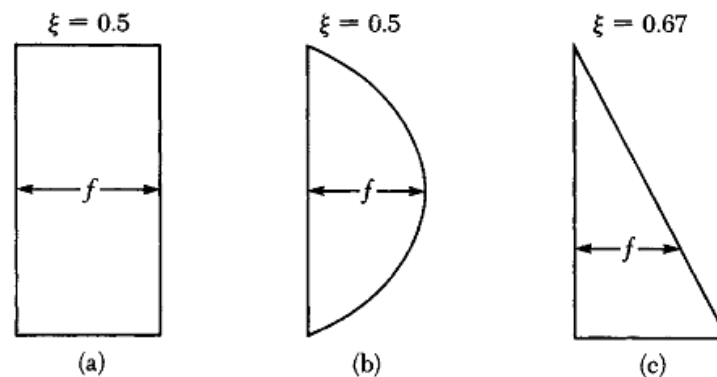
Donde:

$Q_{wp}$  = Carga en la punta del pilote bajo condición de carga de trabajo

$Q_{ws}$  = Carga por resistencia de fricción (superficial) bajo condición de carga de trabajo

$A_p$  = Área de la sección transversal del pilote

La magnitud de E dependerá de la distribución de la resistencia por fricción (superficial) unitaria a lo largo del fuste. (**Ilustración 3**). (Braja M Das)



*Ilustración 3. Varios tipos de distribución por fricción (superficial) unitaria a lo largo del fuste del pilote. Fuente: (Braja M Das)*

El asentamiento de un pilote causado por la carga en la punta se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$S_2 = \frac{q_p D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_p \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

$q_p$  = Resistencia última en la punta del pilote

$D$  = Ancho o diámetro del pilote

$E_s$  = Módulo de elasticidad del suelo

$\mu_s$  = Relación de Poisson

$I_p$  = Coeficiente empírico

El asentamiento del pilote causado por la carga transmitida a lo largo del fuste se puede calcular utilizando la siguiente expresión:

$$S_3 = \frac{Q_{fr}}{P_p L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_s \quad \text{Ecuación 24}$$

$Q_{fr}$  = Capacidad por fricción

$P_p$  = Perimetro del pilote

$L$  = Longitud del pilote

$I_s$  = Coeficiente empírico

### 1.3.3. MÉTODO SOFTWARE GEO5

#### 1.3.3.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES

##### a) Capacidad de carga

El método de análisis estándar utilizado por el software es el propuesto por Brinch Hansen (1961) es una recopilación de diferentes métodos de cálculo propuestos por diferentes autores, aunque básicamente parte de la ecuación de Terzaghi, en cuanto a formato de expresión, a la que le añade unos parámetros correctores de forma, profundidad e inclinación de la carga. (GICO UPC). La expresión de Brinch Hansen o expresión general para el cálculo de la presión de hundimiento es la siguiente:

$$P_h = c' S_c d_c i_c N_c + q S_q d_q i_q N_q + \frac{1}{2} \gamma B S_y d_y i_y N_y \quad \text{Ecuación 25}$$

$P_h$  = Presión de hundimiento en tensiones efectivas. Ésta es la máxima presión que puede soportar el suelo antes de llegar a rotura.

$s$  = Parámetro corrector de forma de la cimentación. Este parámetro tiene en cuenta que la cimentación pueda no ser corrida.

$d$  = Parámetro corrector de profundidad

$i$  = Parámetro corrector de inclinación

$N$  = Factores de capacidad de carga

Para el caso de suelos cohesivos en condiciones no drenadas, la expresión queda de la siguiente forma:

$$R_d = (\pi + 2)c_u S_c d_c i_c b_c + q \quad \text{Ecuación 26}$$

#### **b) Asentamientos (Modulo Edometrico)**

La ecuación para calcular la compresión sobre una capa de suelo  $i$ th debajo de la cimentación, teniendo el espesor  $h$ , surge de la definición del módulo de deformación. Si el valor del módulo edométrico no está disponible, es posible introducir el módulo de deformación y el programa lleva a cabo la transformación respectiva.

$$s_i = \sum \frac{\sigma_{z,i} \cdot h_i}{E_{od,i}} \quad \text{Ecuación 27}$$

### 1.3.3.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS (NAVFAC DM 7.2)

#### **a) Capacidad de carga**

Cálculo de la resistencia vertical de pilote según la publicación NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy 1984. Este análisis proporciona la resistencia en la base del pilote  $R_b$  y la resistencia en el eje del pilote  $R_s$ . (U.S. Department of the Navy, 1984)

La resistencia base del pilote para suelos no-cohesivos está dada por:

$$R_b = \sigma_{efb} \cdot N_q \cdot A_b \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde

$\sigma_{efb}$  = Tensión efectiva en la base del pilote

$N_q$  = Factor de capacidad portante

$A_b$  = es el Área de la base del pilote

A diferencia de los métodos explicados anteriormente, en esta metodología el valor referencial del factor de capacidad portante  $N_q$  es calculado por el programa, depende del ángulo de fricción del suelo y del tipo de pilote que se va a utilizar, como se muestra en la siguiente tabla.

**Factor de capacidad portante  $N_q$**

Ángulo de fricción interna $\phi$ [°]	26	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Factor capacidad portante $N_q$ para pilotes impulsados	10	15	21	24	29	35	42	50	62	77	86	120	145
Factor capacidad portante $N_q$ para pilotes perforados	5	8	10	12	14	17	21	25	30	38	43	60	72

*Ilustración 4. Factor de capacidad portante  $N_q$ . Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984.*

La resistencia base del pilote para suelos cohesivos está dada por:

$$R_b = 9 \cdot c_u \cdot A_b \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde

$c_u$  = Fuerza de corte en la base

$A_b$  = Área de la base del pilote

La resistencia en el eje del pilote para suelos no-cohesivos está dada por:

$$R_s = \sum_{j=1}^n K_j \cdot \sigma_{ef,j} \cdot tg \delta_j \cdot A_{s,j} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde

$K_j$  = Coeficiente de presión de tierra lateral en la capa, el cual es calculado por el programa

$\sigma_{ef,j}$  = Tensión efectiva del suelo en la capa

$\delta_j$  = Ángulo de fricción interna del pilote (entre el material del pilote y el suelo circundante en la capa)

$A_{s,j}$  = Área del eje del pilote en la capa

Los valores de referencia del ángulo de fricción entre el material del contorno del pilote y el suelo no-cohesivo circundante son listados en la siguiente tabla.

Ángulo de fricción en el pilote  $\delta$  [°]

Material del pilote	$\delta$ [°]
Pilotes de acero	20
Pilotes de madera	$0,75\varphi$
Pilotes de hormigón reforzados de acero	$0,75\varphi$

Donde:  $\varphi$  - Ángulo de fricción interna del suelo

*Ilustración 5. Ángulo de fricción en el pilote. Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984.*

Para suelos cohesivos la siguiente expresión mantiene:

$$R_s = \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot C_{u,j} \cdot A_{s,j} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde

$\alpha_j$  = Coeficiente de fricción interna en la capa

$C_{u,j}$  = Cohesión en la capa

$A_{s,j}$  Área del eje del pilote en la capa

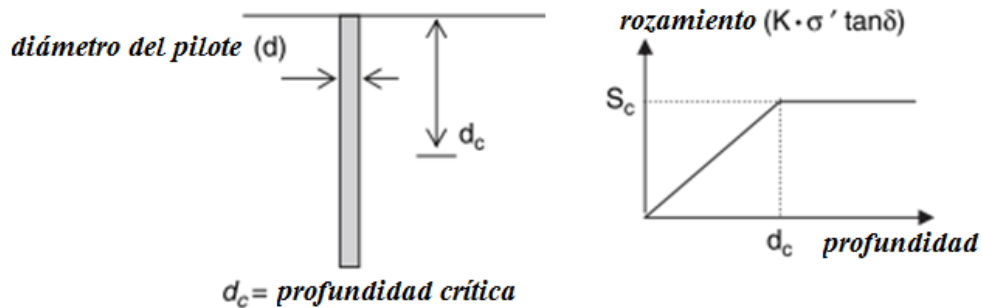
Los valores del coeficiente de adhesión que utiliza el programa varían de acuerdo con el material de los pilotes, la consistencia del suelo y la cohesión, están consignados en la siguiente tabla.

Material del pilote	Consistencia del suelo	Rango de cohesión $c_u [kN/m^2]$	Coefficiente de adhesión $\alpha [-]$
Pilote de madera y hormigón	Muy suave	0 - 12	0,00 - 1,00
	Suave	12 - 24	1,00 - 0,96
	Medio rígido	24 - 48	0,96 - 0,75
	Rígido	48 - 96	0,75 - 0,48
	Muy rígido	96 - 192	0,48 - 0,33
Pilotes de acero	Muy suave	0 - 12	0,00 - 1,00
	Suave	12 - 24	1,00 - 0,92
	Medio rígido	24 - 48	0,92 - 0,70
	Rígido	48 - 96	0,70 - 0,36
	Muy rígido	96 - 192	0,36 - 0,19

*Ilustración 6. Coeficiente de adhesión. Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984.*



Para suelos no-cohesivos el rozamiento no aumenta infinitamente con la profundidad, pero a partir de una cierta profundidad crítica adquiere un valor constante.



*Ilustración 7. Profundidad crítica. Fuente: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S Department of the Navy, 1984.*

Donde

$d_c$  = Profundidad crítica

$S_c$  = Rozamiento en la profundidad crítica

$d$  = Diámetro del pilote.

El coeficiente de profundidad crítica  $k_{dc}$  varía entre 15-20. La profundidad crítica viene dada por:

$$d_c = k_{dc} \cdot d \quad \text{Ecuación 32}$$

### b) Asentamientos (teoría lineal poulos)

El supuesto básico del análisis es la determinación de la carga en el eje de activación de resistencia  $R_{sy}$ . En este punto el eje de resistencia deja de aumentar, la futura carga se obtiene solo del pilote base. Esta fuerza está dada por la ecuación:

$$R_{sy} = \frac{R_s}{1 - \beta} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde

$R_s$  = Resistencia del eje del pilote

$\beta$  = Proporción de carga aplicada transferida al coeficiente del pilote base

La proporción de carga aplicada está dada por:

$$\beta = \beta_0 \cdot C_k \cdot C_b \cdot C_v \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde

$\beta_0$  = Proporción de la carga-base para pilote incompresible

$C_k$  = Factor correctivo de compresibilidad del pilote

$C_b$  = Factor correctivo por influencia del coeficiente de Poisson en suelo

$C_v$  = Factor correctivo por la rigidez del estrato portante

El valor correspondiente al asentamiento  $s_y$  en la activación del eje de resistencia  $R_{sy}$  está dado por:

$$s_y = \frac{I \cdot R_{sy}}{d \cdot E_s} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde

$I$  = Factor de influencia-asentamiento

$R_{sy}$  = Carga en la activación del eje de resistencia

$d$  = Diámetro del pilote

$E_s$  = Módulo secante del suelo a lo largo del eje del pilote

El Factor de influencia-asentamiento  $I$  esta dado por:

$$I = I_0 \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_v \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde

$I_0$  = Factor de influencia-asentamiento básico

$R_k$  = Factor correctivo por compresibilidad del pilote

$R_b$  = Factor correctivo por la capa de estrato portante

$R_v$  = Factor correctivo por coeficiente de Poisson del suelo

Finalmente, el **asentamiento límite general**  $s_{lim}$  viene dado por:

$$s_{lim} = \frac{I \cdot R_{bu}}{\beta \cdot d \cdot E_s} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde  $R_{bu}$  es la capacidad portante máxima del pilote base.

### 1.3.4. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

La simulación computacional se utiliza ampliamente en las empresas para hacer análisis y mejorar la calidad de los productos y proyectos. La mayoría de estos análisis se llevan a cabo mediante uso de softwares que utilizan el **Método de Elementos Finitos**, lo cual permite obtener respuestas para numerosos problemas de ingeniería. (Frias, 2004)

El método de elementos finitos funciona de la siguiente forma: La **geometría** de la pieza, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como “elementos”, que representan el dominio continuo del problema. La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo, al subdividirlo en problemas más simples, lo que permite a la computadora hacer las tareas con eficiencia. (Delgado Vargas , 1998)

El método propone que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño del problema. Como el número de elementos es limitado, son llamados de “elementos finitos” – palabra que da nombre al método. (Mirlisenna, 2016)

#### 1.3.4.1. SOFTWARE PLAXIS

Plaxis es un programa el cual está diseñado para simular problemas geotécnicos bidimensionales, esta herramienta emplea el método numérico de elementos finitos para la solución de estos problemas, este programa utiliza una interfaz de usuario muy gráfica la cual permite realizar rápidamente la geometría de los problemas. Al realizar esta geometría y asignar las respectivas propiedades de los suelos y condiciones de borde, Plaxis genera una malla de elementos finitos para la sección transversal del suelo del problema dibujado en la interfaz (Ochoa & Mojica, 2014)

Esta malla consiste en dividir en múltiples partes geométricas la estructura del problema dibujado sin modificar sus propiedades, ni su geometría, haciendo que las múltiples partes geométricas que se generan se conviertan en elementos los cuales van conectados entre sí mediante puntos llamados nodos. Para el cálculo de los resultados, Plaxis divide el problema en varias fases que el usuario define de acuerdo con los resultados que se desean obtener. En estas fases que el usuario define el nivel freático, la construcción de una zapata, la presión de poros, el análisis por consolidación, entre otros. (Ochoa & Mojica, 2014)

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Comparar los resultados de capacidad de carga admisible y asentamiento en el diseño geotécnico de cimentaciones de una edificación de categoría media de acuerdo a la NSR-10, en dos zonas con características geotécnicas similares en la ciudad de Cartagena, por medio del software PLAXIS y los métodos analíticos tradicionales, con el fin de definir ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos y realizar recomendaciones técnicas sobre la mejor alternativa de cimentación en estas zonas.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar y definir los parámetros en cada una de las zonas, con base en la caracterización del suelo realizada por INGEOMINAS, con el fin de garantizar un diseño geotécnico de cimentaciones apropiado que se ajuste a las condiciones del subsuelo.
- Determinar el tipo de cimentación apropiada que se ajuste a las condiciones del subsuelo en cada zona y realizar el diseño geotécnico, con el fin de dar recomendaciones técnicas sobre la mejor alternativa de cimentación en estas zonas.
- Determinar capacidad de carga admisible y asentamiento para cada uno de los modelos geológicos-geotécnicos obtenidos por los métodos tradicionales y el método de elementos finitos, con el fin de comparar los resultados obtenidos.
- Establecer ventajas y desventajas de las diferentes metodologías en el diseño geotécnico de cimentaciones, con el fin de identificar cuál de los métodos es el más adecuado en las zonas a estudiar, teniendo en cuenta condiciones geotécnicas del subsuelo.

### 3. ALCANCE

El proyecto incluye el diseño geotécnico de cimentaciones para una unidad tipo, nivel medio según la NSR-10 en dos zonas con características geotécnicas similares identificadas en la Ciudad de Cartagena por INGEOMINAS en el año 2000, teniendo en cuenta el régimen de carga y las condiciones geotécnicas del subsuelo, por medio de teorías analíticas tradicionales y el software PLAXIS basado en el método de elementos finitos.

Este proyecto trabaja con las características del suelo identificadas en el Informe de zonificación geotécnica en el casco urbano de Cartagena de indias por INGEOMINAS 2000, junto con los estudios de suelo recolectados de empresas geotécnicas en la Ciudad, para obtener los parámetros necesarios en el diseño geotécnico de las cimentaciones, debido a que no se realizan trabajos de campo para obtenerlos.

El proyecto se realizó dentro de las fechas establecidas por el programa de ingeniería civil de la universidad del Cartagena. Periodo 2019-1.

#### 3.1. DELIMITACIÓN DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN

Según la norma NSR-10, las unidades de construcción se clasifican en Baja, Media, Alta y Especial, según el número total de niveles y las cargas máximas de servicio. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, 2010)

**Tabla H.3.1-1**  
**Clasificación de las unidades de construcción por categorías**

<b>Categoría de la unidad de construcción</b>	<b>Según los niveles de construcción</b>	<b>Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)</b>
<b>Baja</b>	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
<b>Media</b>	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
<b>Alta</b>	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
<b>Especial</b>	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

*Ilustración 8. Clasificación de las unidades de Construcción por categorías. Fuente: Norma NSR-10.*

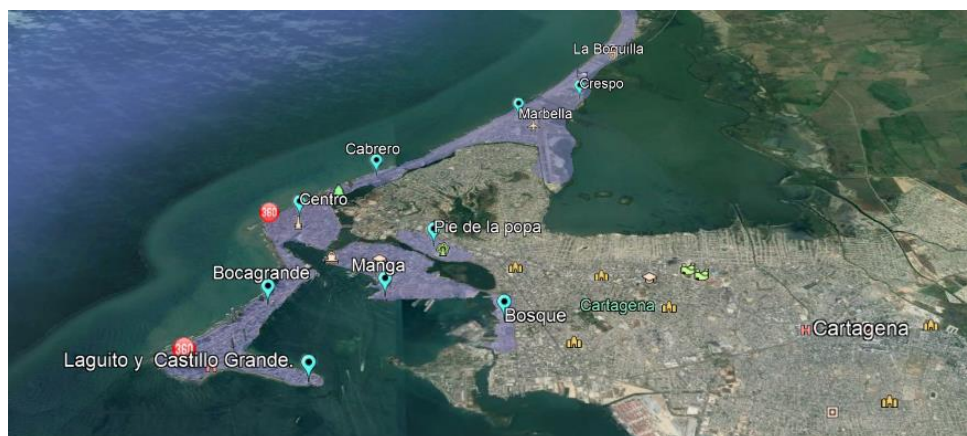
Este trabajo abarca la unidad de construcción media, entre 4 y 10 niveles, con cargas máximas de servicio en columnas entre 800 KN y 4000 KN. Se realiza el diseño de cimentaciones para el nivel mínimo (4 niveles) y el nivel máximo (10 niveles).

### 3.2. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

En el casco urbano de Cartagena se identificaron seis zonas con características geotécnicas similares según estudios publicados por INGEOMINAS 2000. El siguiente trabajo cubrirá dos extensas zonas, consideradas las zonas más críticas, Zona Arenosa (**Zona I**) y Zona de Arcilla Expansiva (**Zona IIIA**).

- **Zona I:**

Geológicamente, la Zona I corresponde a los depósitos cuaternarios de origen marino de tipo playas y playones que constituyen las barras y espigas donde actualmente se encuentran barrios como Castillogrande, Bocagrande, El Laguito, centro amurallado, El Cabrero, Marbella, Crespo, Manga, Pie de La Popa.



*Ilustración 9. Zona 1 de la Ciudad de Cartagena. Fuente: Google Earth*

- **Zona III**

La Zona III corresponde geológicamente a las arcillas producto de la meteorización de la Unidad Detrítica de la Popa. Para efecto de la caracterización geotécnica, esta zona se dividió en tres sectores (Zona IIIA, Zona IIIB, Zona IIIC). El proyecto no abarcará toda esta zona, se enfocará únicamente en la Zona IIIA.

- **Zona IIIA:**

Geológicamente, la Zona IIIA corresponde a los depósitos marino aluvial detectados en el casco urbano de Cartagena, constituido superficialmente, y hasta una profundidad de uno a tres m, por una arcilla limosa color pardo oscuro, de consistencia media a firme, altamente plástica y muy susceptible a cambios volumétricos (expansión, retracción).

A esta zona corresponden barrios como Ternera, San José de Los Campanos, Policarpa Salavarieta y algunos sectores al sur occidente y oriente del casco urbano.



*Ilustración 10. Zona IIIA de la Ciudad de Cartagena. Fuente: Google Earth*



### **3.3. DELIMITACIÓN DE METODOLOGÍA.**

Se comparan los resultados obtenidos en el diseño geotécnico de cimentaciones por medio de los métodos analíticos tradicionales y el software PLAXIS.

Los métodos analíticos tradicionales que se evalúan para las cimentaciones superficiales son Meyerhof, y Brinch-Hansen, para este último con ayuda del software Geo5 y para las profundas, la teoría de Meyerhof, Coyle y Castello, método Alfa, Lambda, Jambu y Método NAVFAC DM 7.2 apoyado en el Software Geo5. Para el método de elementos finitos se utiliza el programa PLAXIS.

### **3.4. RESULTADOS Y PRODUCTO FINAL A ENTREGAR**

El producto final a entregar es el análisis de resultados de las diferentes metodologías en el diseño geotécnico de cimentaciones (métodos analíticos tradicionales y el método de elementos finitos con apoyo del software PLAXIS 3D) mostrando la variabilidad de resultados arrojados por los diferentes métodos, y dar recomendaciones técnicas en las zonas a estudiar del casco urbano de la ciudad de Cartagena. Los resultados de esta investigación se entregan en una tabla comparativa.

### **3.5.EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES**

Este estudio se realiza únicamente en la zona I y zona IIIA de la ciudad de Cartagena, razón por la cual es válido solo para zonas que presentes características geotécnicas de subsuelo similares a las del presente trabajo. El diseño de cimentaciones será solo geotécnico, no se presentará diseño estructural de las zonas.

No se indagará en el fundamento del método de los elementos finitos, se tomará el programa PLAXIS como herramienta de ayuda para los resultados de esté.

## 4. METODOLOGÍA

El presente proyecto se desarrolló como una investigación mixta ya que se presentó como un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio para responder a un planteamiento del problema. Se enfocó específicamente en la triangulación, que es el tipo de investigación mixta en la que se realiza el análisis de un fenómeno por diferentes vías y abordajes y que busca la convergencia o corroboración de los resultados sobre el mismo. (Gomez, 2006)

Este proyecto constó de 3 etapas, la primera etapa consistió en la recolección de información secundaria, seguida de la determinación de parámetros y diseños de cimentaciones por las diferentes metodologías y, por último, análisis comparativo, conclusiones y recomendaciones.

### 4.1. ETAPA 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En esta etapa se realizó la recopilación de artículos, informes y trabajos con relación al proyecto que nos brindara un aporte importante a la investigación y que nos permitieran dar una idea de cómo se está trabajando el tema en la actualidad, además se analizaron las características geotécnicas del subsuelo de las zonas de estudios, identificadas por INGEOMINAS 2000 en el casco urbano de la Ciudad de Cartagena.

Se solicitaron, recopilaron y analizaron estudios geotécnicos que se realizaron sobre las zonas I y IIIA del casco urbano de la Ciudad de Cartagena, de donde se tomaron toda la información topográfica, geológica, geomorfológica y geotécnica. Estos estudios se solicitaron a empresas consultoras geotécnicas de la ciudad (Guilliam Barboza Miranda, Modesto Barrios Fontalvo, Antonio Marimon Medrano, EDURBE), se obtuvieron en total 274 sondeos en la zona I, y 192 sondeos en la zona IIIA.

Debido a que las zonas presentaron variaciones importantes en el perfil del subsuelo, se determinaron perfiles típicos por sectores, para trabajar con modelos geológico-geotécnicos, con características similares de subsuelo.

*Tabla 1. Sectores en la Zona1 y Zona 3A. Fuente: Autor*

<b>SECTORES DEFINIDOS</b>	
<b>ZONA 1</b>	<b>ZONA 3A</b>
Bocagrande	Palmeras
Crespo	Rodeo
Cabrero- Marbella	Tenera- Villa Grande
Pie de la popa	Calicanto- Villa rosita
Manga	San José de los campanos
Laguito	Pozón- Villa estrella
Centro	

#### **4.2.ETAPA 2: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES**

A partir de la información secundaria, se determinaron los parámetros necesarios para el diseño geotécnico de cimentaciones y el tipo de cimentación adecuada (Cimentación superficial o profunda) teniendo en cuenta el régimen de carga y las condiciones geotécnicas del subsuelo en cada una de las zonas.

Los parámetros determinados fueron:

- Nivel freático
- Ángulo de rozamiento interno o ángulo de fricción en caso de ser material granular.
- Cohesión del suelo en el caso de suelos cohesivos
- Peso específico del suelo
- Relación de vacíos
- Modelo de elasticidad
- Relación de Poisson del suelo

El ángulo de rozamiento interno, la cohesión del suelo, el peso específico del suelo, el peso específico saturado y el módulo de elasticidad del suelo, se hallaron por medio de las siguientes correlaciones:

- *Angulo de fricción para arenas ( $\phi$ )*

$$\phi = 27.1 + 0.3N_{cor} - 0.00054N_{cor}^2 \text{ (Peck, Hanson y Thornburn, 1974)} \quad \text{Ecuación 38}$$

- *Cohesión no drenada para arcillas ( $C_u$ )*

$$C_u \left( \frac{Kn}{m^2} \right) = 4.4 * N_{spt \text{ campo}} \text{ (Stroud 1974)} \quad \text{Ecuación 39}$$

- *Peso específico Arena*

$$\gamma_t \text{ Arena} \left( \frac{Ton}{m^3} \right) = 0.23 * \ln(N_{spt \text{ corr}}) + 1.18 \quad \text{Ecuación 40}$$

- *Peso específico Arcilla*

$$\gamma_t \text{ Arcilla} \left( \frac{Ton}{m^3} \right) = 0.16 * \ln(N_{spt \text{ corr}}) + 1.62 \quad \text{Ecuación 41}$$

- *Peso específico saturado para arcilla y arena*

$$\gamma_{sat}(ton/m^2) = 1.2 * \gamma_t \quad \text{Ecuación 42}$$

- *Módulo de elasticidad para arenas*

$$E_s(ton/m^2) = 76,6 * N_{corr} \quad \text{Ecuación 43}$$

Los parámetros obtenidos para cada sector se presentan en el **Punto 5.2** en las **Tablas número 3 – 16**.

Se realizó el diseño para un valor máximo, y mínimo de carga para una unidad de construcción media (4 a 10 niveles) para cada zona. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, 2010)

**Tabla H.3.1-1**  
**Clasificación de las unidades de construcción por categorías**

<b>Categoría de la unidad de construcción</b>	<b>Según los niveles de construcción</b>	<b>Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)</b>
<b>Baja</b>	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
<b>Media</b>	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
<b>Alta</b>	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
<b>Especial</b>	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

*Ilustración 11. Clasificación de las unidades de construcción por categorías. Fuente: Norma NSR-10*

Se determinó el tipo de cimentación adecuada según las condiciones del subsuelo y el régimen de carga.

#### **4.2.1. METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES EN LA ZONA I**

Para la zona 1, con cargas máximo de servicio en columnas de 800 kN y 4000 kN, se consideró que la cimentación adecuada es la cimentación profunda debido a que en es una zona donde predomina en los primeros estratos una arena de densidad suelta, por lo que el suelo no es capaz de resistir las cargas transmitidas para una unidad de construcción media. Para estas zonas se utilizaron las siguientes metodologías:

- **Método de Meyerhof para pilotes en arenas** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 a y c)
- **Método de Coyle y Castello para pilotes en arenas** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 b y d)

En los sectores de Manga y Pie de la popa se determinó un perfil de suelo estratificado, de Arena- Arcilla. El pilote para las condiciones de carga de 400 toneladas se llevó hasta el estrato de arcilla en ambos sectores y para una condición de 80 toneladas en el sector pie de la popa.

Para la capacidad portante en el bulbo del pilote se utilizaron los siguientes métodos:

- **Método de Meyerhof** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 e)
- **Método de Jambu** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 f)

Para la capacidad por fricción en arenas se utilizó:

- **Método de Meyerhof** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 c)

Y por último, para la capacidad por fricción en arcilla se estudiaron los métodos:

- **Método de Lambda** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 g)
- **Método de Alfa** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 h)

➤ **Método de NAVFAC DM 7.2 (Software Geo5)**

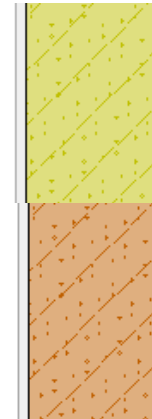
Con base a los diseños realizados por el metodo de Meyerhof y a partir de lo descrito en el **Punto 1.3.3.2.**, se calculó la resistencia del pilote de acuerdo al analisis **NAVFAC DM 7.2** utilizado por el software **Geo5**. Inicialmente se ingresaron los datos referentes a las características del subsuelo en la zona. A continuación se muestran los datos de entrada:

**Arena limosa suelta (SM)**

Peso unitario :	$\gamma$ =	16.80 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson :	$\nu$ =	0.40
Módulo de deformación :	$E_{def}$ =	6.90 MPa
Peso unitario de suelo saturado :	$\gamma_{sat}$ =	20.10 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción interna :	$\phi_{ef}$ =	29.00 °

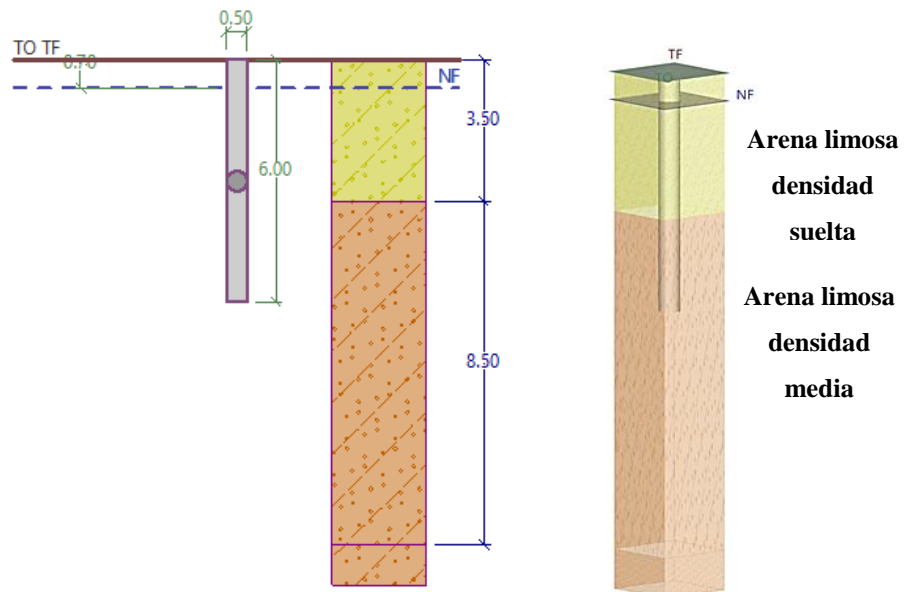
**Arena limosa media (SM)**

Peso unitario :	$\gamma$ =	18.40 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson :	$\nu$ =	0.40
Módulo de deformación :	$E_{def}$ =	14.01 MPa
Peso unitario de suelo saturado :	$\gamma_{sat}$ =	22.00 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción interna :	$\phi_{ef}$ =	31.00 °




*Ilustración 12. Datos de entrada especificaciones del subsuelo. Fuente: Autor*

Posteriormente se asignaron los tipos de suelo ingresados al perfil, las profundidades de los estratos y del nivel freático como se observa en la **Ilustración 13**. Se ingresa la carga asignada para el caso de edificación media de 4-10 niveles que varia de 80-400 toneladas según la NSR-10.



*Ilustración 13. Perfil generado por el software Geo5. Fuente: Autor.*

— Dimensiones básicas del pilote	
Tipo :	<input type="text" value="circular"/>
Diámetro :	d = <input type="text" value="0.50"/> [m]
Longitud :	l = <input type="text" value="6.00"/> [m]
	
— Ubicación del pilote	
Altura sobre terreno final (TF)	h = <input type="text" value="0.00"/> [m]
Prof. del terreno final (TO-TF) :	h <sub>z</sub> = <input type="text" value="0.00"/> [m]

*Ilustración 14. Dimensiones ubicación del pilote. Fuente: Autor*



En cuanto a las características del concreto para todos los casos se utilizaron los siguientes valores de peso específico de 24 kN/m<sup>3</sup>, resistencia a la compresión de 25 MPa y a partir de ahí el programa ingresa los valores de fuerza tensora, módulo de elasticidad y módulo de corte. Ya que no se realizaron los diseños estructurales, no se cambiaron los valores que el software coloca por defecto en las especificaciones de los refuerzos.

The screenshot shows the material specification window in Geo5. At the top, the unit weight of the structure is set to  $\gamma = 24.00$  [kN/m<sup>3</sup>]. Below this, there are three sections: Hormigón (Concrete), Acero (Steel), and Refuerzo transversal (Transverse reinforcement). Each section has 'Catálogo' and 'Personalizar' buttons. The Concrete section is selected, showing properties for C 25/30:  $f_{ck} = 25.00$  MPa,  $f_{ctm} = 2.60$  MPa,  $E_{cm} = 31000.00$  MPa, and  $G = 12917.00$  MPa. The Steel section shows B500 with  $f_{yk} = 500.00$  MPa. The Transverse reinforcement section also shows B500 with  $f_{yk} = 500.00$  MPa.

*Ilustración 15. Especificaciones de materiales en el Software Geo5. Fuente: Autor.*

Teniendo en cuenta todo lo anterior el programa arroja el Factor de capacidad portante ( $N_q$ ), el coeficiente de presión de tierra lateral en cada capa ( $K$ ), el ángulo de fricción interna del pilote ( $\delta$ ), la tensión efectiva del suelo en cada capa ( $\sigma$ ) y la resistencia superficial del pilote para cada capa, como se muestra en la siguiente tabla.

*Tabla 2. Datos de salida software Geo5. Fuente: Autor.*

Profundidad (m)	Espesor (m)	K (-)	$\delta$ (°)	$\sigma$ (kPa)	Rsi (kN)	$N_q$	$A_p$ (m <sup>2</sup> )
0.00	-	-	-	-	-	12.00	1.96 E-01
0.70	0.70	1.25	21.75	5.88	3.22		
3.50	2.80	1.25	21.75	25.90	56.72		
6.00	2.50	1.31	23.25	55.04	121.62		

Posteriormente el software verifica la capacidad portante del pilote para las condiciones de entrada, obteniendo como resultado lo que se muestra en la **Ilustración 16**.

### Verificación de la capacidad portante : NAVFAC DM 7.2

El análisis se lleva a cabo para el número de casos de carga 1. (Carga Nro. 1)

Factor de determinación de profundidad crítica  $k_{dc} = 20.00$

Verificación del pilote compresivo:

Capacidad portante superficial del pilote  $R_s = 181.56 \text{ kN}$

Capacidad portante del bulbo del pilote  $R_b = 165.03 \text{ kN}$

Capacidad portante del pilote  $R_c = 346.59 \text{ kN}$

Fuerza vertical definitiva  $V_d = 800.00 \text{ kN}$

*Ilustración 16. Datos de salida Software Geo5. Fuente: Autor*

El asentamiento se calculó por el programa mediante la Teoría Lineal (Poulos) descrita en el **Punto 1.3.3.2.b**, el programa halla todos los factores de corrección necesarios, y encuentra un asentamiento máximo, como se muestra a continuación.

#### Análisis de curva de asentamiento de carga - resultados parciales

Factor de corrección de pilote compresible  $C_k = 0.96$

Factor de corrección del coeficiente de Poisson  $C_v = 0.87$

Factor de corrección de rigidez de estrato rodamiento  $C_b = 1.88$

Proporción de carga-base de pilote incompresible  $\beta_0 = 0.09$

Coefficiente de transferencia de carga aplicada a un pilote base  $\beta = 0.15$

Influencia del coeficiente de asentamiento:

Básico-Dependiente en cociente  $l/d$   $I_0 = 0.13$

Coefficiente de influencia para pilote compresible  $R_k = 1.02$

Coefficiente de influencia para la profundidad finita de la capa sobre una base rígida  $R_h = 1.00$

Factor de corrección del coeficiente de Poisson  $R_v = 0.95$

#### Análisis de la curva de asentamiento de carga - resultados

Carga en el inicio de la movilización de la superficie de fricción  $R_{yu} = 213.12 \text{ kN}$

El asentamiento para la fuerza  $R_{yu}$   $s_y = 3.6 \text{ mm}$

Resistencia Total  $R_c = 346.59 \text{ kN}$

Asiento máximo  $s_{lim} = 22.4 \text{ mm}$

*Ilustración 17. Datos de salida Asentamiento software Geo5. Fuente: Autor*

#### **4.2.2. METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES EN LA ZONA IIIA**

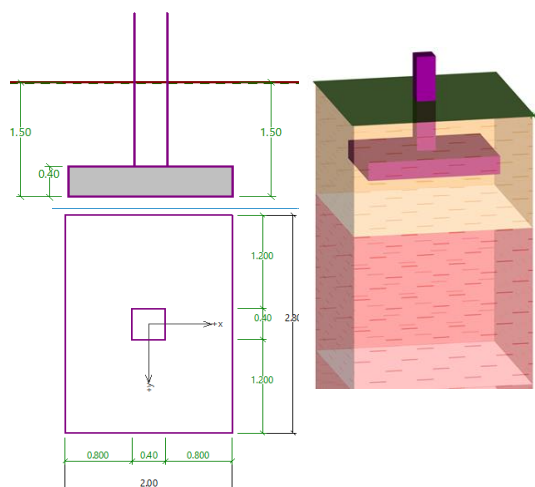
Para la zona IIIA, con cargas máximo de servicio en columnas de 800 kN se consideró que la cimentación adecuada es la cimentación superficial debido a que con este tipo de cimentación el suelo es capaz de recibir las cargas, en cuanto a las cargas máxima en columnas de 4000 KN no se utilizó el mismo tipo de cimentación debido a que para una carga de esta magnitud, una zapata daría dimensiones mayores a cuatro metros lo que la haría inmanejable. Por seguridad y mayor conveniencia se escogió que la cimentación adecuada, es la cimentación profunda.

Los métodos de diseño utilizados para esta zona con cargas máximo de servicio de 80 Ton son:

- **Método de Meyerhof** (Descrito en el Punto 1.3.1.1 a)
  
- **Método de Brinch-Hansen (Software Geo5)**

Los diseños de cimentacion superficial se realizaron tambien utilizando el software geo5, el cual trabaja la metodologia descrita en el **Punto 1.3.3.1 a**. El primer paso es ingresar el perfil geológico y los parámetros de suelo anteriormente calculados. Se utilizó el análisis de las condiciones no drenadas el cual se realiza para suelos cohesivos. Se estableció el tipo de cimentación, en este caso zapata centrada.

Se ingresaron las dimensiones correspondientes como: profundidad desde el terreno original, profundidad del fondo de la zapata, el espesor de la cimentación, como se muestra a en la **Ilustración 18**.



*Ilustración 18. Perfil generado por Software Geo5 para cimentaciones superficiales. Fuente: Autor.*

El software arroja los resultados de capacidad portante de la cimentación y la tensión extrema de contacto, la cual debe ser menor a la capacidad. A diferencia de los métodos analíticos trabaja con un factor de seguridad de 1.5.

#### **Verificación de la capacidad portante VERTICAL**

Forma de tensión de contacto : Rectángulo  
Caso de carga más desfavorable Nro. 1. (Carga Nro. 1)

Diseño de la capacidad portante de la cimentación  $R_d = 498.88$  kPa  
Tensión extrema de contacto  $\sigma = 184.51$  kPa

*Ilustración 19. Datos de salida para cimentaciones superficiales software Geo5. Fuente: Autor.*

Para el cálculo del asentamiento el software utiliza la teoría del **Modulo Edométrico** descrita en el **Punto 1.3.3.1 b**, también define si la cimentación es rígida o flexible, calcula el asentamiento de la cimentación y la profundidad de la zona de influencia, arroja resultados de máximas excentricidades de carga, sin embargo, en ninguno de los casos de estudio se trabaja con excentricidad. El cálculo del asentamiento incluye un coeficiente de reducción el cual considera el efecto del espesor de cimentación y refleja la influencia de la profundidad de la cimentación, lo que da resultados más realistas del asentamiento.

## Asentamiento y rotación de la cimentación - resultados

### Rigidez de cimentación:

Promedio de módulo de deformación  $E_{def} = 30.29$  MPa

La cimentación en la dirección longitudinal es rígida ( $k=8.19$ )

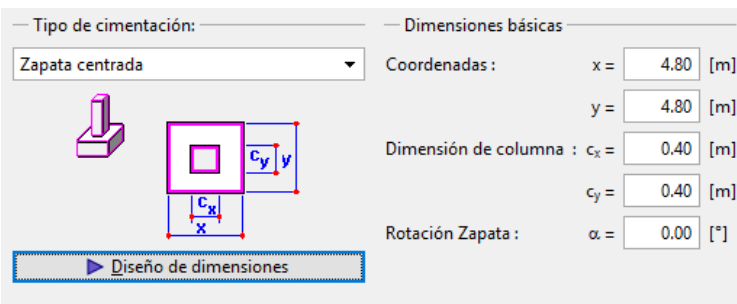
La cimentación en la dirección del ancho es rígida ( $k=2.98$ )

Asentamiento de la cimentación = 3.9 mm

Profundidad de la zona de influencia = 5.00 m

*Ilustración 20. Datos de salida asentamiento software Geo5. Fuente: Autor.*

El factor de seguridad con el que trabaja el programa puede ser modificado, para el caso de  $F_s = 3$ , en varios sectores no cumplía la capacidad portante de la cimentación, por lo que el programa determina las dimensiones mínimas de la cimentación teniendo en cuenta todos los factores previamente ingresados como se ve en la siguiente ilustración.



— Tipo de cimentación: Zapata centrada

— Dimensiones básicas

Coordenadas : x = 4.80 [m]  
y = 4.80 [m]

Dimensión de columna :  $c_x = 0.40$  [m]  
 $c_y = 0.40$  [m]

Rotación Zapata :  $\alpha = 0.00$  [°]

Diseño de dimensiones

*Ilustración 21. Diseño de dimensiones software Geo5. Fuente: Autor.*

Los métodos de diseño utilizados para esta zona con cargas máximo de servicio de 400 Ton:

Para la capacidad portante en el bulbo del pilote se utilizaron los siguientes métodos:

- **Método de Meyerhof** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 e)
- **Método de Jambu** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 f)

Para la capacidad por fricción en arcilla se estudiaros los métodos:

- **Método de Lambda** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 g)
- **Método de Alfa** (Explicado en el Punto 1.3.2.1 h)

### 4.2.3. METODOLOGÍA DE ELEMENTOS FINITOS (PLAXIS)

Inicialmente se establecieron los parámetros básicos del modelo, como las unidades, dimensiones del dibujo y profundidades de los estratos. Así mismo se añade el tipo de material y los parámetros del suelo como se ve en las ilustraciones a continuación.

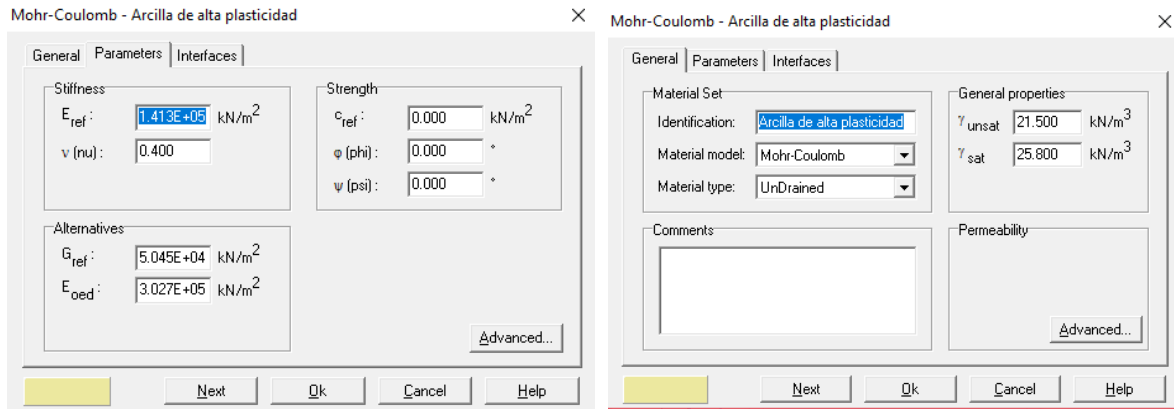


Ilustración 22. Parámetros de entrada software Plaxis. Fuente: Autores

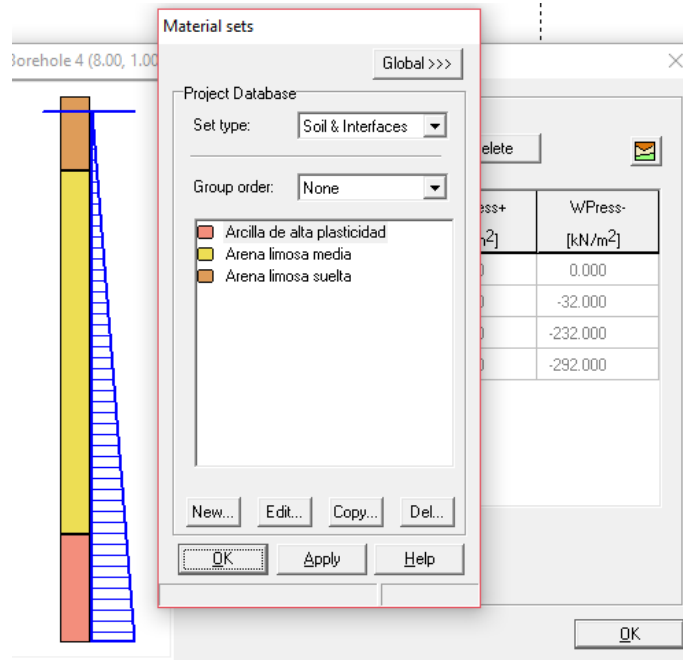
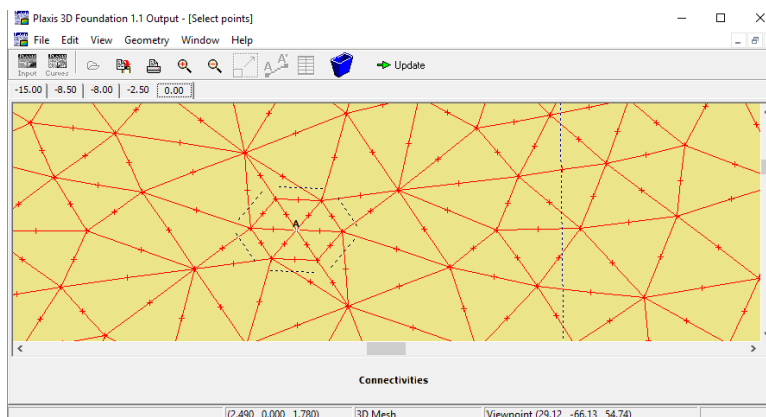


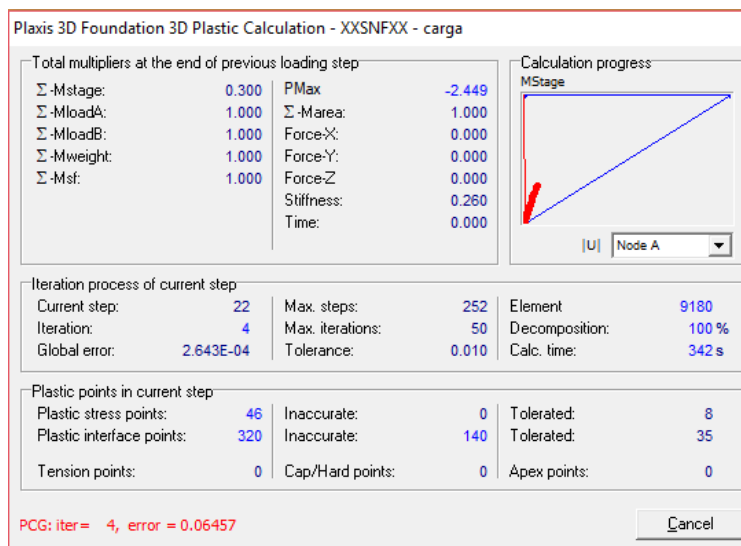
Ilustración 23. Asignación de suelos al perfil estratigráfico. Fuente: Autores

Para generar el modelo de elementos finitos el programa establece una malla de elementos que arroja valores tan exactos, dependiendo de que tanto se refine dicha malla. Como se observa en la **Ilustración 24** el dibujo realizado se divide en partes más pequeñas lo que permite al programa hacer los cálculos con eficiencia.



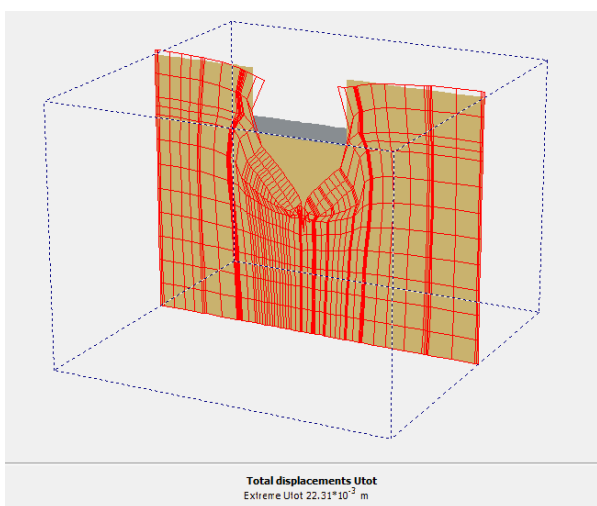
**Ilustración 24. Malla de elementos finitos generada. Fuente: Autores**

Después de la generación de un modelo de elementos finitos, se hace necesario definir un proceso de cálculo de PLAXIS el cual se divide también en fases. En este caso las de fases de cálculo fueron la simulación de la etapa de construcción de pilotes o zapatas, y la posterior activación de la carga máxima transmitida a la estructura. El procedimiento termina el cálculo cuando se alcanza el estado o el nivel de carga especificados o cuando se detecta rotura del suelo.

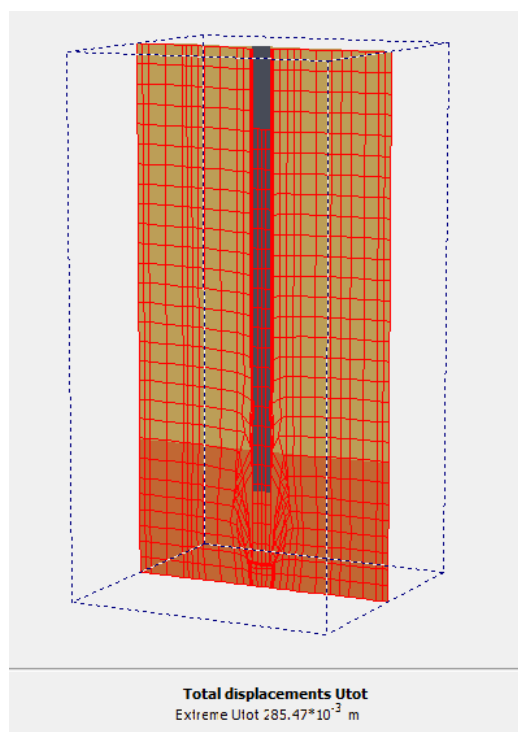


**Ilustración 25. Proceso de cálculo del Software Plaxis. Fuente: Autores**

El programa dura alrededor de cinco minutos en hacer las respectivas iteraciones utilizando su programación de cálculos para arrojar resultados donde se pueden encontrar datos de desplazamientos verticales, horizontales y totales en toda la interfaz del suelo que se asignó, también se pueden observar esfuerzos efectivos y totales en la interfaz del suelo como también la malla deformada que se produjo por los efectos de la carga horizontal y el pilote, entre otros. Estos resultados se pudieron observar en geometrías muy entendibles (**Ver Ilustraciones 26 y 27**), así como también resultados numéricos tabulados en las unidades que se deseen.



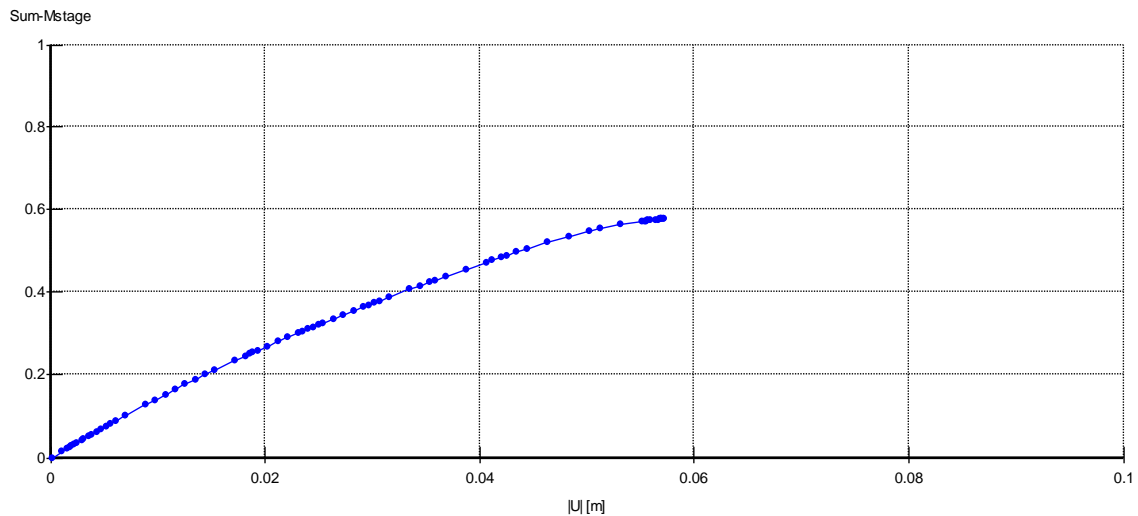
*Ilustración 27. Malla deformada caso cimentación superficial. Fuente: Autores*



*Ilustración 26. Malla deformada caso cimentación profunda. Fuente: Autores*

Como uno de los principales objetivos del trabajo de grado es analizar los asentamientos que se producen en el pilote por efecto de la carga aplicada, solo se enfocaron los análisis en los valores de desplazamientos verticales. Para determinar la carga última se generaron curvas de carga - asentamiento como las mostradas en la **Ilustración 28**.





*Ilustración 28. Curva de carga – asentamiento generada por el software Plaxis. Fuente: Autores*

### **4.3.ETAPA 3: ANÁLISIS COMPARATIVO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En esta etapa se realizó un análisis comparativo entre las diferentes metodologías de diseño utilizadas, las metodologías analíticas y se realizan recomendaciones técnicas sobre la mejor alternativa de cimentación en estas zonas.

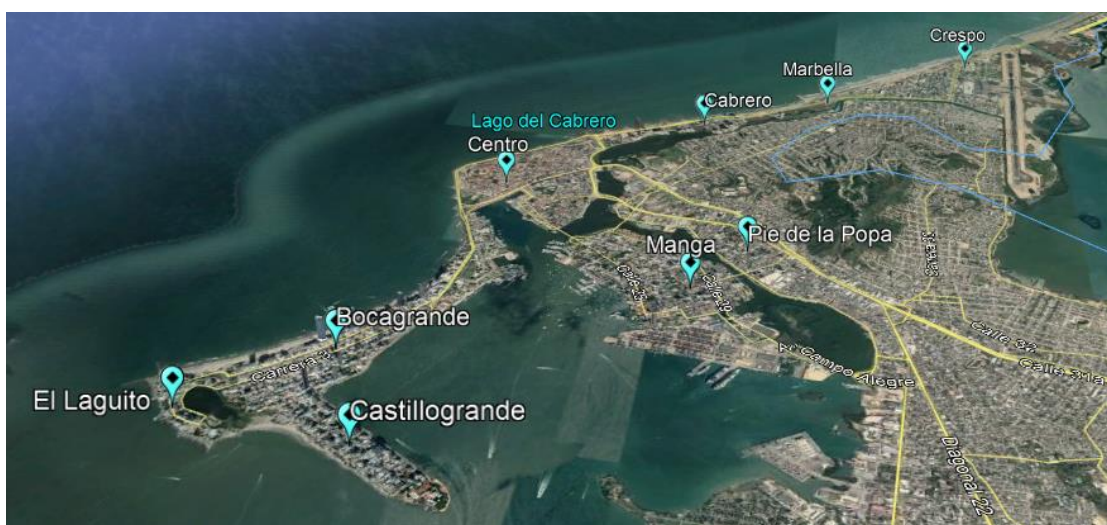
Se definirán ventajas y desventajas de cada una de las metodologías, se determinará cual guarda un mayor factor de seguridad y cual tiene en cuenta más variables al momento de realizar un diseño en particular, esto se presentará en un cuadro comparativo, donde se detallará de manera clara cada uno de estos puntos.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ETAPA 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

#### 5.1.1. ZONA I

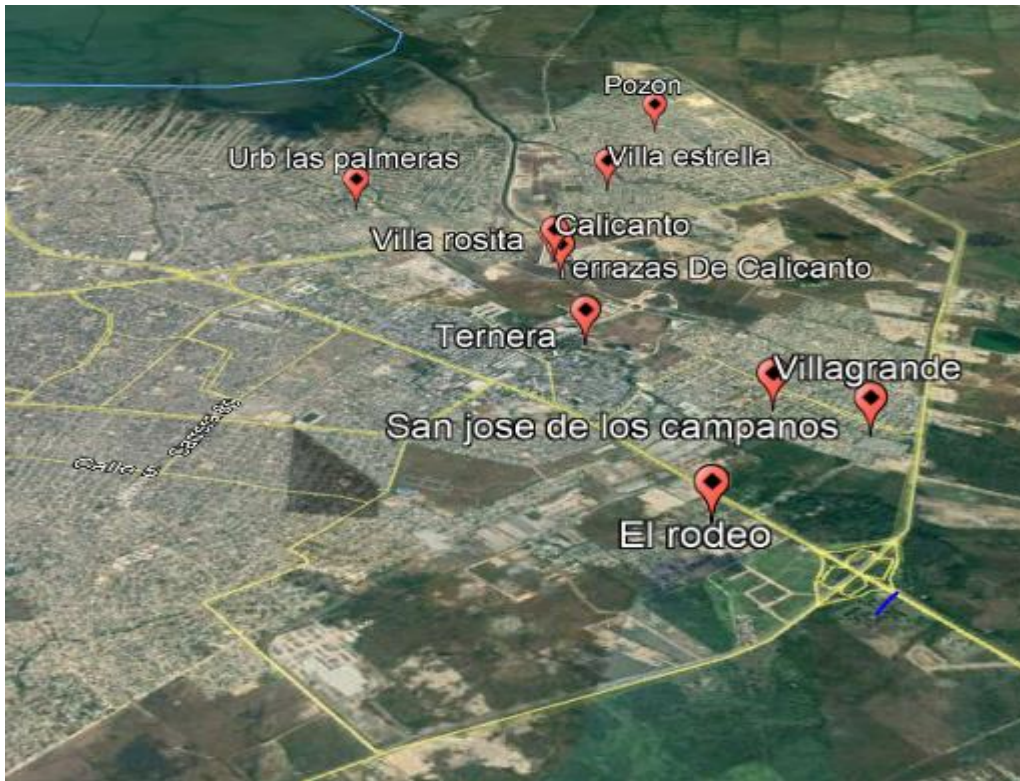
En esta etapa se recopilamos total 274 sondeos, distribuidos en los barrios Bocagrande, Cabrero, Castillogrande, Centro, Crespo, Laguito, Marbella, Manga y Pie de la popa, todos los anteriores pertenecientes a la Zona I. Los estudios de suelo fueron suministrados por los ingenieros Guilliam Barboza y Antonio Marimon en estas zonas.



*Ilustración 29. Subzonas (Zona I) escogidas para estudio. Fuente: Google maps*

#### 5.1.2. ZONA IIIA

En esta etapa se recopilamos total 192 sondeos, distribuidos en los barrios San José de los campanos, Rodeo, Ternera, Urbanización Villa rosita, Villa estrella, Villa Grande, Calicanto, Pozón, y Palmeras, todos los anteriores pertenecientes a la Zona IIIA. Los estudios de suelo fueron suministrados por los ingenieros Antonio Marimon, Modesto Barrios y la empresa de desarrollo urbano de bolívar EDURBE.



*Ilustración 30. Subzonas (Zona3A) escogidas. Fuente: Google maps*

## **5.2. ETAPA 2: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS**

### **5.2.1. ZONA 1**

Con base a los perfiles típicos obtenidos para cada sector de la Zona I, se determinaron los parámetros necesarios para el diseño geotécnico de cimentaciones. Los datos obtenidos se muestran en las tablas 3- 10.

### **5.2.2. ZONA 3A**

Con base a los perfiles típicos obtenidos para cada sector de la Zona 3, se determinaron los parámetros necesarios para el diseño geotécnico de cimentaciones. Los datos obtenidos se muestran en las tablas 11- 16.

Tabla 3. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Cabrero-Marbella. Fuente: Autores

SECTOR CABRERO - MARBELLA									
Profundidad (m)	Estrato	Numero de golpes		N.F (m)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción
1	ARENA MUY SUELTA	4	3	0,7	1,50	1,47	1,80	1,76	28
1,5		4			1,50		1,80		28
2		3			1,43		1,72		27
2,5		3			1,43		1,72		27
3	ARENA SUELTA	6	7		1,59	1,63	1,91	1,96	28
3,5		6			1,59		1,91		28
4		6			1,59		1,91		28
4,5		6			1,59		1,91		28
5		6			1,59		1,91		28
5,5		6			1,59		1,91		28
6		8			1,66		1,99		29
6,5		8			1,66		1,99		29
7		7			1,63		1,95		29
7,5		10			1,71		2,05		30
8	10	1,71	2,05		30				
8,5	10	1,71	2,05	30					
9	ARENA MEDIA	15	18	1,80	1,82	2,16	2,19	31	
9,5		15		1,80		2,16		31	
10		16		1,82		2,18		31	
10,5		16		1,82		2,18		31	
11		15		1,80		2,16		31	
11,5		15		1,80		2,16		31	
12		15		1,80		2,16		31	
12,5		15		1,80		2,16		31	
13		15		1,80		2,16		31	
13,5		19		1,86		2,23		32	
14	19	1,86	2,23	32					
14,5	19	1,86	2,23	32					
15	23	1,90	2,28	33					

Tabla 4. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Bocagrande. Fuente:Autores

SECTOR BOCAGRANDE											
Profundidad (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)		N.F (m)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción	Angulo de friccion prom
1	ARENA LIMOSA SUELTA A MEDIA	10	7	10	0,8	1,63	1,70	1,95	2,05	29	29
1,5		11	8			1,66		1,99		29	
2		13	9			1,69		2,02		29	
2,5		13	9			1,69		2,02		29	
3		16	12			1,75		2,10		30	
3,5		18	13			1,77		2,12		30	
4		17	12			1,75		2,10		30	
4,5	ARENA LIMOSA MEDIA	22	16	18		1,82	1,85	2,18	2,22	31	32
5		21	15			1,80		2,16		31	
5,5		23	17			1,83		2,20		32	
6		26	19			1,86		2,23		32	
6,5		29	21			1,88		2,26		33	
7		31	23			1,90		2,28		33	
7,5		32	24			1,91		2,29		33	
8		29	21		1,88	2,26		33			
8,5		27	20		1,87	2,24		32			
9		29	21		1,88	2,26		33			
9,5		24	18		1,84	2,21		32			
10		28	21		1,88	2,26		33			
10,5		26	19		1,86	2,23		32			
11		26	19		1,86	2,23		32			
11,5		28	21		1,88	2,26		33			
12		33	24		1,91	2,29		33			
12,5		24	18		1,84	2,21		32			
13		25	18		1,84	2,21		32			
13,5		24	18		1,84	2,21		32			
14		21	15		1,80	2,16		31			
14,5	23	17	1,83	2,20	32						
15	26	19	1,86	2,23	32						
15,5	24	18	1,84	2,21	32						
16	24	18	1,84	2,21	32						
16,5	25	18	1,84	2,21	32						
17	25	18	1,84	2,21	32						
17,5	21	15	1,80	2,16	31						
18	23	17	1,83	2,20	32						
18,5	22	16	1,82	2,18	31						
19	22	16	1,82	2,18	31						
19,5	25	18	1,84	2,21	32						
20	26	19	1,86	2,23	32						

Tabla 5. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Castillogrande. Fuente: Autores

SECTOR CASTILLOGRANDE								
Profundidad (m)	Estrato	Numero de Golpes (Corregido)	N.F	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción
1	ARENA LIMOSA SUELTA A MEDIA	8	1	1,66	1,66		2,01	29
1,5		8		1,66		1,99		29
2		6		1,59		1,91		28
2,5		6		1,59		1,91		28
3		9		1,69		2,02		29
3,5		10		1,71		2,05		30
4		9		1,69		2,02		29
4,5		11		1,73		2,08		30
5		10		1,71		2,05		30
5,5		10		1,71		2,05		30
6	ARENA LIMOSA MEDIA	13	1	1,77	1,77	2,12	2,13	30
6,5		15		1,80		2,16		31
7		15		1,80		2,16		31
7,5		11		1,73		2,08		30
8		11		1,73		2,08		30
8,5		13		1,77		2,12		30
9		13		1,77		2,12		30
9,5		15		1,80		2,16		31
10		13		1,77		2,12		30
10,5		14		1,79		2,14		31
11		11		1,73		2,08		30
11,5		11		1,73		2,08		30
12		13		1,77		2,12		30
12,5		13		1,77		2,12		30
13	15	1,80	2,16	31				
13,5	17	1,83	2,20	32				
14	ARENA LIMOSA MEDIA A COMPACTA	19	24	1,86	1,91	2,23	2,29	32
14,5		21		1,88		2,26		33
15		24		1,91		2,29		33
15,5		32		1,98		2,37		36

Tabla 6. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Crespo. Fuente: Autores

SECTOR CRESPO								
Profundidad (m)	Estrato	Numero de Golpes (Corregido)	N.F (m)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción
1	ARENA LIMOSA MUY SUELTA A SUELTA	3	1.5	1,43	1,51	1,86	1,87	27
1,5		4		1,50		1,86		28
2		5		1,55		1,86		28
2,5		6		1,59		1,91		28
3	ARENA LIMOSA MEDIA	15	1.5	1,80	1,88	2,16	2,26	31
3,5		16		1,82		2,18		31
4		16		1,82		2,18		31
4,5		19		1,86		2,23		32
5		19		1,86		2,23		32
5,5		19		1,86		2,23		32
6		21		1,88		2,26		33
6,5		22		1,89		2,27		33
7		24		1,91		2,29		33
7,5		26		1,93		2,32		34
8		26		1,93		2,32		34
8,5		27		1,94		2,33		34
9		28		1,95		2,34		35
9,5		27		1,94		2,33		34
10		25		1,92		2,30		34

Tabla 7. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Laguito. Fuente: Autores

SECTOR LAGUITO									
Profundidad (m)	Estrato	Numero de Golpes (Corregido)	N.F (m)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción	
1,0	ARENA MUY SUELTA A SUELTA	5	0,7	1,55	1,68	1,85	2,01	28	
1,5		9		1,69		2,03		29	
2,0		10		1,70		2,04		29	
2,5		10		1,70		2,04		29	
3,0		10		1,71		2,05		30	
3,5		11		1,73		2,07		30	
4,0	ARENA MEDIA	12		18	1,75	1,84	2,09	2,20	30
4,5		13			1,77		2,13		30
5,0		13			1,77		2,13		30
5,5		13			1,77		2,12		30
6,0		12			1,76		2,11		30
6,5		12			1,76		2,11		30
7,0		12			1,76		2,11		30
7,5		17			1,84		2,20		32
8,0		17			1,84		2,20		32
8,5		19			1,86		2,23		32
9,0		25			1,92		2,31		34
9,5		26			1,93		2,32		34
10,0	26	1,92	2,31	34					
10,5	24	1,91	2,30	34					
11,0	24	1,91	2,29	33					
11,5	23	1,90	2,28	33					
12,0	23	1,90	2,28	33					



Tabla 8. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Centro. Fuente: Autores

SECTOR CENTRO								
Profundidad (m)	Estrato	Numero de Golpes (Corregido)	N.F (m)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción
1	ARENA LIMOSA MUY SUELTA	2	2	1,34	1,34		1,68	27
1,5		2		1,34		1,61		27
2		2,5		1,39		1,67		27
2,5		3,4		1,46		1,75		28
3	ARENA LIMOSA MEDIA	7,6	13	1,65		1,98	2,16	29
3,5		7,7		1,65		1,98		29
4		7,8		1,65		1,98		29
4,5		9,2		1,69		2,03		29
5		10,3		1,72		2,06		30
5,5		9,9		1,71		2,05		30
6		12,5		1,76		2,11		30
6,5		11,9		1,75		2,10		30
7		12,6		1,76		2,12		30
7,5		12		1,75		2,10		30
8		11,9		1,75		2,10		30
8,5		11,8		1,75		2,10		30
9		16,7		1,83		2,19		31
9,5	15,8	1,81		2,18	31			
10	15,8	1,81		2,18	31			
10,5	19,8	1,87		2,24	32			
11	19,6	1,86		2,24	32			
11,5	19,6	1,86		2,24	32			
12	15,5	1,81		2,17	31			
12,5	15,5	1,81		2,17	31			
13	11,2	1,74		2,08	30			
13,5	15,5	1,81		2,17	31			

Tabla 9. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Pie de la Popa. Fuente: Autores

SECTOR PIE DE LA POPA										
Profundidad (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)	N.F (m)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción	Cohesión (ton/m2)
1	ARENA LIMOSA MUY SUELTA A SUELTA	2	1	3	0,6	1,18	1,43	1,42	1,72	27
1,5		3	2			1,34		1,61		27
2		3	2			1,34		1,61		27
2,5		4	3			1,43		1,72		28
3		6	4			1,50		1,80		28
3,5		6	4			1,50		1,80		28
4		6	4			1,50		1,80		28
4,5		4	3			1,43		1,72		28
5		4	3			1,43		1,72		28
5,5		4	3			1,43		1,72		28
6		4	3			1,43		1,72		28
6,5		5	3			1,43		1,72		28
7		5	3			1,43		1,72		28
7,5		ARCILLA LIMOSA CONSISTENCIA FIRME	7			5		6		0,6
8	7		5	1,88	2,25	3,08				
8,5	5		3	1,80	2,15	2,20				
9	7		5	1,88	2,25	3,08				
9,5	8		6	1,91	2,29	3,52				
10	8		6	1,91	2,29	3,52				
10,5	12		9	1,97	2,37	5,28				
11	10		7	1,93	2,32	4,40				
11,5	13		9	1,97	2,37	5,72				
12	13		9	1,97	2,37	5,72				
12,5	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CONSISTENCIA RESISTENTE	13	9	12	0,6	1,97	2,02	2,37	2,42	5,72
13		12	9			1,97		2,37		5,28
13,5		18	13			2,03		2,44		7,92
14		16	12			2,02		2,42		7,04
14,5		12	9			1,97		2,37		5,28
15		20	15			2,05		2,46		8,80
15,5		21	15			2,05		2,46		9,24
16		22	16			2,06		2,48		9,68
16,5	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CONSISTENCIA DURA	25	18	24	0,6	2,08	2,13	2,50	2,55	11,00
17		26	19			2,09		2,51		11,44
17,5		29	21			2,11		2,53		12,76
18		38	28			2,15		2,58		16,72
18,5		40	30			2,16		2,60		17,60
19	42	31	2,17	2,60	18,48					

Tabla 10. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Manga. Fuente: Autores

SECTOR MANGA											
Profundidad (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)		N.F (m)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Ángulo de fricción	Cohesión (ton/m2)
1	ARENA LIMOSA DE SUELTA A MEDIA	4,1	3	5,3	0,6	1,43	1,56	1,72	1,87	27	0
1,5		4,8	3			1,43		1,72		27	
2		5,4	4			1,50		1,80		28	
2,5		5,4	4			1,50		1,80		28	
3		5,8	4			1,50		1,80		28	
3,5		5,8	4			1,50		1,80		28	
4		5,8	4			1,50		1,80		28	
4,5		8,9	6			1,59		1,91		28	
5		9,0	6			1,59		1,91		28	
5,5		8,8	6			1,59		1,91		28	
6		7,7	5			1,55		1,86		28	
6,5		7,6	5			1,55		1,86		28	
7		7,5	5			1,55		1,86		28	
7,5		7,5	5			1,55		1,86		28	
8	7,6	5	1,55	1,86	28						
8,5	7,2	5	1,55	1,86	28						
9	7,5	5	1,55	1,86	28						
9,5	7,7	5	1,55	1,86	28						
10	8,0	5	1,55	1,86	28						
10,5	8,6	6	1,59	1,91	28						
11	7,8	5	1,55	1,86	28						
11,5	6,9	5	1,55	1,86	28						
12	11,2	8	1,66	1,99	29						
12,5	10,8	8	1,66	1,99	29						
13	11,9	8	1,66	1,99	29						
13,5	11,8	8	1,66	1,99	29						
14	10,3	7	1,63	1,95	29						
14,5	9,2	6	1,59	1,91	28						
15	ARCILLA LIMOSA DE CONSISTENCIA RESISTENTE	10,4	7	8,8	1,93	1,95	2,32	2,34	0	15,67	
15,5		8,7	6		1,91		2,29			13,73	
16		9,1	6		1,91		2,29			14,23	
16,5		10,0	7		1,93		2,32			15,22	
17		9,0	6		1,91		2,29			14,11	
17,5		9,6	7		1,93		2,32			14,75	
18		16,4	12		2,02		2,42			21,76	
18,5	16,8	12	2,02	2,42	22,11						
19	15,5	11	2,00	2,40	20,87						

Tabla 11. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector San José de los campanos. Fuente: Autores

SECTOR SAN JOSEDELOS CAMPANOS									
Profundidad (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Cohesión ton/m2	Cohesión prom ton/m2
1	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA FIRME	8	6	1,91	1,93	2,29	2,31	3,52	4,22
1,5		10	7	1,93		2,32		4,40	
2		10	7	1,93		2,32		4,40	
2,5		10	7	1,93		2,32		4,40	
3		10	7	1,93		2,32		4,40	
3,5	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA RESISTENTE	12	9	1,97	2,00	2,37	2,40	5,28	6,49
4		12	9	1,97		2,37		5,28	
4,5		12	9	1,97		2,37		5,28	
5		14	10	1,99		2,39		6,16	
5,5		14	10	1,99		2,39		6,16	
6		14	10	1,99		2,39		6,16	
6,5		12	9	1,97		2,37		5,28	
7		12	9	1,97		2,37		5,28	
7,5		12	9	1,97		2,37		5,28	
8		21	15	2,05		2,46		9,24	
8,5		21	15	2,05		2,46		9,24	
9	21	15	2,05	2,46	9,24				
9,5	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA DURA	27	20	2,10	2,10	2,52	2,52	11,88	11,88
10		27	20	2,10		2,52		11,88	

Tabla 12. Perfil típico y parámetros geotécnicos Sector Calicanto- Villa rosita. Fuente: Autores

SECTOR CALICANTO- VILLA ROSITA									
Prof (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)	Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Cohesión ton/m2	Cohesión prom ton/m2
1	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA FIRME	5	3	5	1,82	1,86	2,18	2,26	3,10
1,5		5	4		1,84		2,21		
2		7	5		1,89		2,27		
2,5		8	6		1,90		2,28		
3	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA RESISTENTE	10	8	11	1,95	2,01	2,34	2,41	6,71
3,5		12	9		1,97		2,37		
4		12	9		1,97		2,37		
4,5		12	9		1,97		2,37		
5		13	9		1,98		2,37		
5,5		13	9		1,98		2,37		
6		13	9		1,98		2,37		
6,5		14	11		2,00		2,40		
7		14	11		2,00		2,40		
7,5		14	11		2,00		2,40		
8		19	14		2,05		2,46		
8,5		19	14		2,05		2,46		
9		19	14		2,05		2,46		
9,5		20	15		2,05		2,46		
10	20	15	2,05	2,46					
10,5	20	15	2,05	2,46					
11	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD, CONSISTENCIA DURA	21	16	18	2,06	2,08	2,47	2,50	10,72
11,5		21	16		2,06		2,47		
12		21	16		2,06		2,47		
12,5		25	19		2,09		2,51		
13		25	19		2,09		2,51		
13,5		25	19		2,09		2,51		
14		27	20		2,10		2,52		
14,5		27	20		2,10		2,52		
15		27	20		2,10		2,52		

Tabla 13. Perfil típico y parámetros geotécnicos. Sector Pozón- Villa estrella. Fuente: Autores

POZON- VILLA ESTRELLA										
Profundidad(m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)		Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Cohesión ton/m2	Cohesión prom ton/m2
1	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA FIRME	8	6	5	1,91	1,89	2,29	2,27	3,52	3,12
1,5		8	6		1,91		2,29		3,52	
2		8	6		1,91		2,29		3,52	
2,5		6	5		1,86		2,23		2,64	
3		6	5		1,86		2,23		2,64	
3,5		6	5		1,86		2,23		2,64	
4		6	5		1,86		2,23		2,64	
4,5		8	6		1,91		2,29		3,52	
5		8	6		1,91		2,29		3,52	
5,5		7	5		1,89		2,26		3,08	
6		7	5		1,89		2,26		3,08	

Tabla 14. Perfil típico y parámetros geotécnicos sector Rodeo. Fuente: Autores

RODEO										
Profundidad (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)		Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Cohesión ton/m2	Cohesión prom ton/m2
1	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA RESISTENTE	11	8	9	1,96	1,98	2,35	2,37	4,84	5,98
1,5		11	8		1,95		2,34		4,84	
2		13	10		1,98		2,38		5,72	
2,5		16	12		2,01		2,42		6,89	
3	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA DURA	17	13	16	2,03	2,07	2,44	2,48	7,63	9,65
3,5		20	15		2,05		2,46		8,75	
4		20	15		2,05		2,47		8,85	
4,5		21	16		2,06		2,47		9,24	
5		24	18		2,08		2,50		10,61	
5,5		26	19		2,09		2,51		11,24	
6		26	19		2,09		2,51		11,24	

Tabla 15. Perfil típico y parámetros geotécnicos sector Ternera- Villa grande. Fuente: Autores

SECTOR TERNERA- VILLAGRANDE										
Profundidad (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)		Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Cohesión ton/m2	Cohesión prom ton/m2
1	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA FIRME	7	4	7	1,84	1,93	2,21	2,31	2,86	4,44
1,5		11	8		1,95		2,34		4,84	
2		11	8		1,95		2,34		4,84	
2,5		11	7		1,93		2,32		4,62	
3		11	7		1,93		2,32		4,62	
3,5		9	6		1,91		2,29		3,96	
4		9	6		1,91		2,29		3,96	
4,5		9	6		1,91		2,29		3,96	
5		12	8		1,95		2,34		5,06	
5,5		12	8		1,95		2,34		5,06	
6		12	8		1,95		2,34		5,06	
6,5	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA DURA	12	9	11	1,97	2,01	2,37	2,41	5,28	24.62
7		12	9		1,97		2,37		5,28	
7,5		12	9		1,97		2,37		5,28	
8		17	12		2,02		2,42		7,26	
8,5		17	12		2,02		2,42		7,26	
9		17	12		2,02		2,42		7,26	
9,5		20	14		2,04		2,45		8,58	
10		20	14		2,04		2,45		8,58	



Tabla 16. Perfil típico y parámetros geotécnicos sector Palmeras. Fuente: Autores

SECTOR PALMERAS										
Profundidad (m)	Estrato	Nspt	Numero de Golpes (Corregido)		Peso específico (ton/m3)	Peso específico prom (ton/m3)	Peso específico saturado (ton/m3)	Peso específico saturado prom (ton/m3)	Cohesión ton/m2	Cohesión prom ton/m2
1	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA FIRME	8	6	6	1.91	1.88	2.29	2.26	3.52	3.50
1.5		6	4		1.84		2.21		2.42	
2		6	4		1.84		2.21		2.42	
2.5		5	3		1.80		2.15		2.02	
3		5	3		1.80		2.15		2.02	
3.5		7	5		1.88		2.25		3.08	
4		7	5		1.88		2.25		3.08	
4.5		10	7		1.93		2.32		4.58	
5		12	8		1.95		2.34		5.10	
5.5		12	8		1.95		2.34		5.10	
6		12	8		1.95		2.34		5.10	
6.5	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CONSISTENCIA RESISTENTE	13	9	11	1.97	2.01	2.37	2.41	5.81	7.15
7		13	9		1.97		2.37		5.81	
7.5		13	9		1.97		2.37		5.81	
8		17	12		2.02		2.42		7.48	
8.5		17	12		2.02		2.42		7.48	
9		17	12		2.02		2.42		7.48	
9.5		20	14		2.04		2.45		8.65	
10		20	14		2.04		2.45		8.65	

### 5.3.ETAPA 2: DISEÑO DE CIMENTACIONES

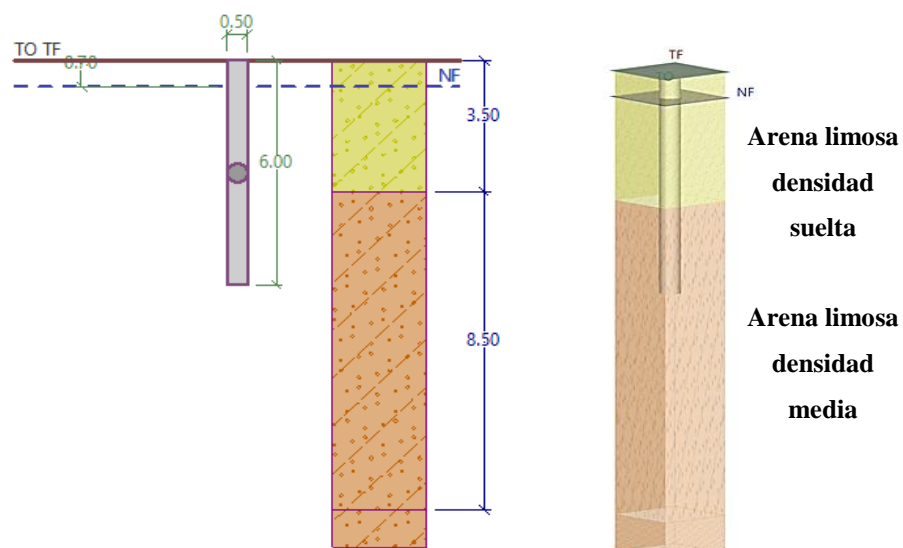
Los resultados específicos obtenidos por cada método de diseño se encuentran en los anexos. A continuación, se presentan las tablas de resumen para la realización del análisis comparativo.

### 5.4.ETAPA 3: ANÁLISIS COMPARATIVO

#### 5.4.1. ZONA 1

##### 5.4.1.1. SECTOR LAGUITO

###### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 kN)



*Ilustración 31. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Laguito, carga 800 kN. Fuente: Autores*

Tabla 17. Tabla comparativa. Sector Laguito, 4 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR LAGUITO- 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	6	0,5	18,2	1,4	5	2,5
Coyle y castello	6	0,5	25,5	2,1	4	2,5
Metodo Geo5	6	0,5	17,32	2,2	5	2
Plaxis 3D	6	0,5	17.3	0.7	5	2,5

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN)

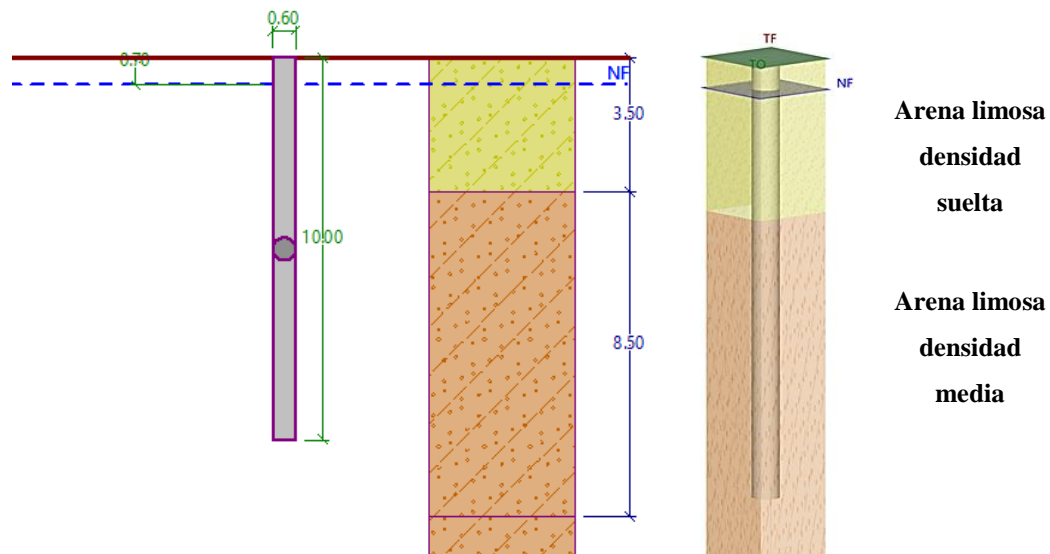


Ilustración 32. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Laguito carga 4000 kN. Fuente: Autores

Tabla 18. Tabla comparativa. Sector Laguito, 10 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR LAGUITO - 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	10	0,6	54,4	2,8	8	2,5
Coyle y castello	10	0,6	79,5	3,5	6	2,5
Método Geo5	10	0,6	50,8	4,8	8	2
Plaxis 3D	10	0,6	47,55	1,2	9	2,5

### 5.4.1.2.SECTOR CRESPO

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)

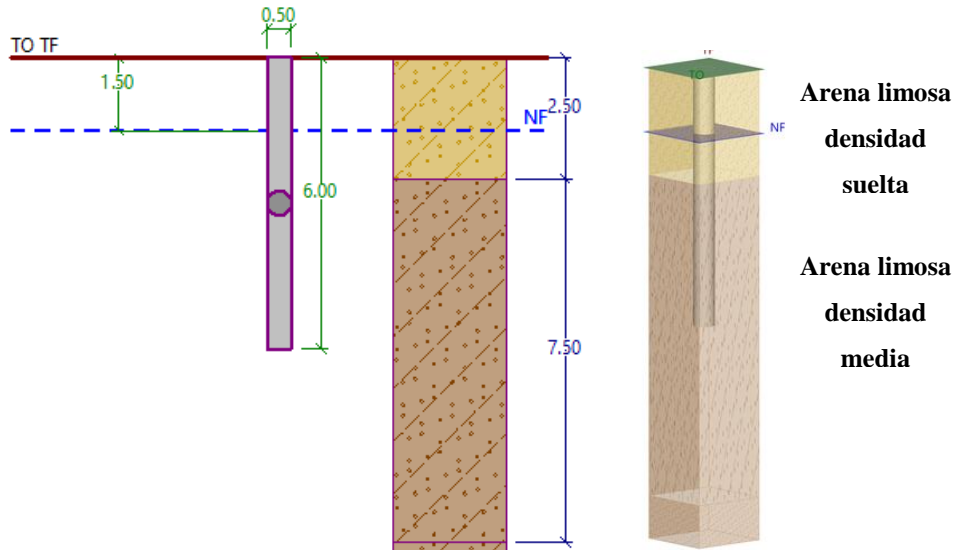
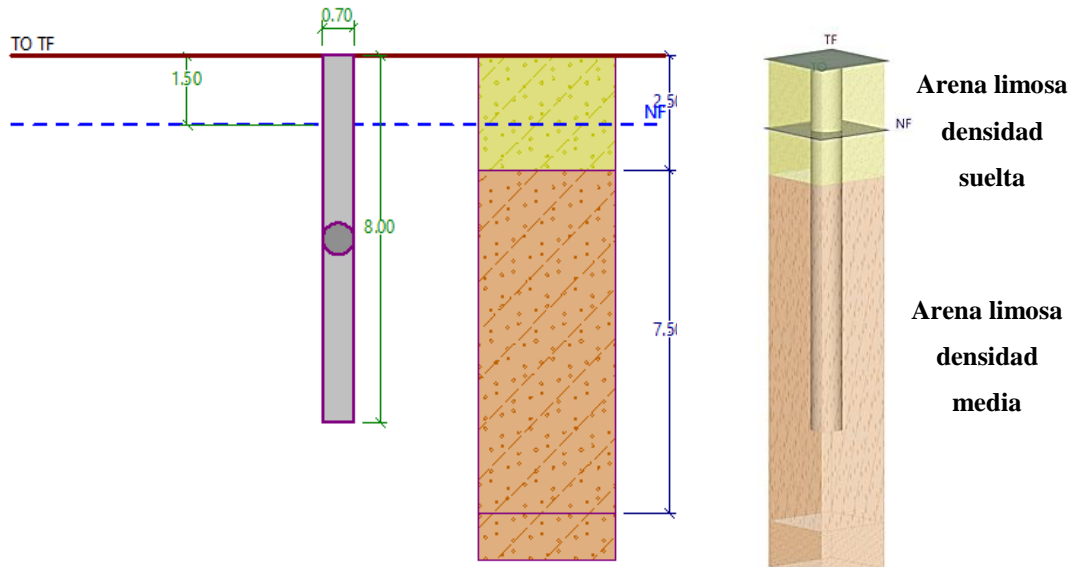


Ilustración 33. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Crespo carga 800 kN. Fuente: Autores

Tabla 19. Tabla comparativa. Sector Crespo, 4 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR CRESPO - 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diametro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	N° de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	6	0,5	21,1	1,3	4	2,5
Coyle y castello	6	0,5	29,5	1,5	3	2,5
Metodo Geo5	6	0,5	20,5	2,6	4	2
Plaxis 3D	6	0,5	26,8	1,35	3	2,5

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN)



*Ilustración 34. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Crespo carga 4000 kN. Fuente: Autores*

*Tabla 20. Tabla comparativa. Sector Crespo, 10 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR CRESPO - 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	8	0,7	46,9	2,7	9	2,5
Coyle y castello	8	0,7	66	3,7	7	2,5
Método Geo5	8	0,7	52,7	5,8	8	2
Plaxis 3D	8	0,7	60,9	2,2	7	2,5

### 5.4.1.3. SECTOR CASTILLOGRANDE

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)

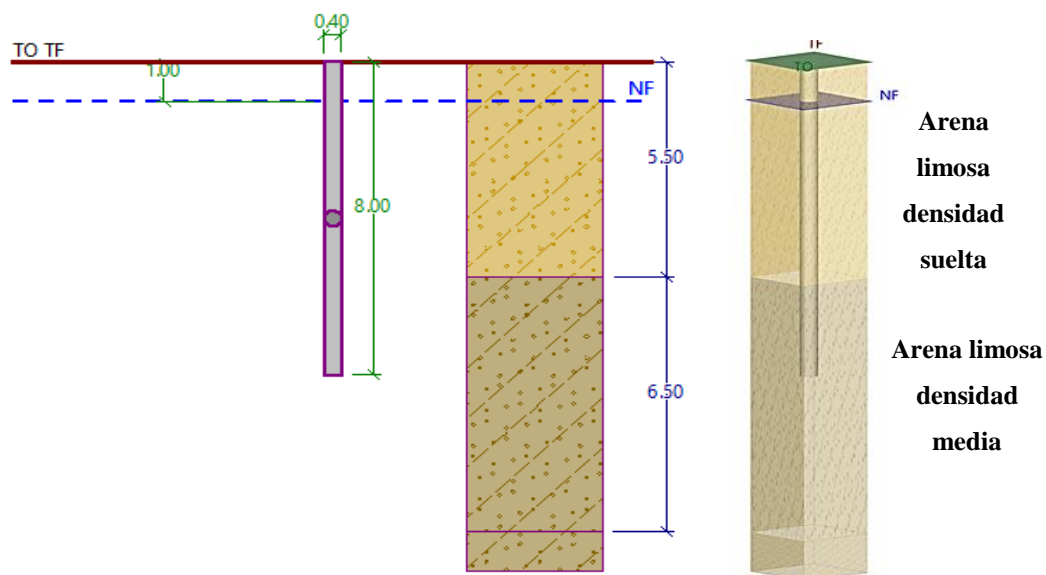


Ilustración 35. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Castillogrande carga 800 kN. Fuente: Autores

Tabla 21. Tabla comparativa. Sector Castillogrande, 4 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR CASTILLOGRANDE - 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	N° de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	8	0,4	16,33	1,6	5	2,5
Coyle y castello	8	0,4	23,78	1,9	4	2,5
Método Geo5	8	0,4	19,3	2,1	5	2
Plaxis 3D	8	0,4	15,95	0,6	6	2,5

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN)

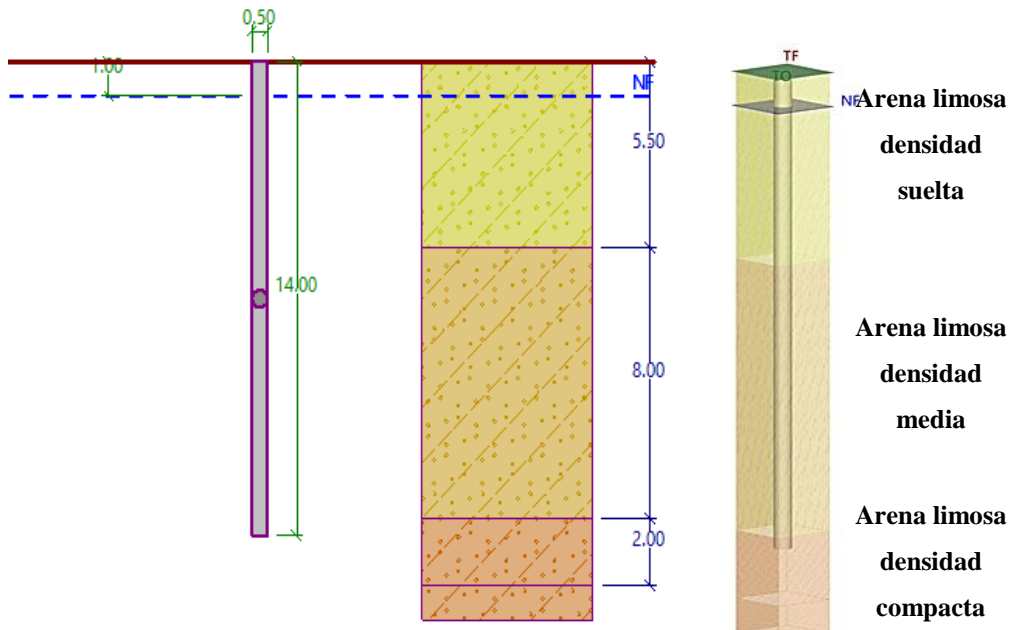


Ilustración 36. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Castillogrande carga 4000 kN. Fuente: Autores

Tabla 22. Tabla comparativa. Sector Castillogrande, 10 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR CASTILLOGRANDE - 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	14	0,5	55,7	2,3	8	2,5
Coyle y castello	14	0,5	94,3	3,4	5	2,5
Método Geo5	14	0,5	72,4	4,4	6	2
Plaxis 3D	14	0,5	91,3	2,6	5	2,5

#### 5.4.1.4. SECTOR CABRERO- MARBELLA

##### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 kN)

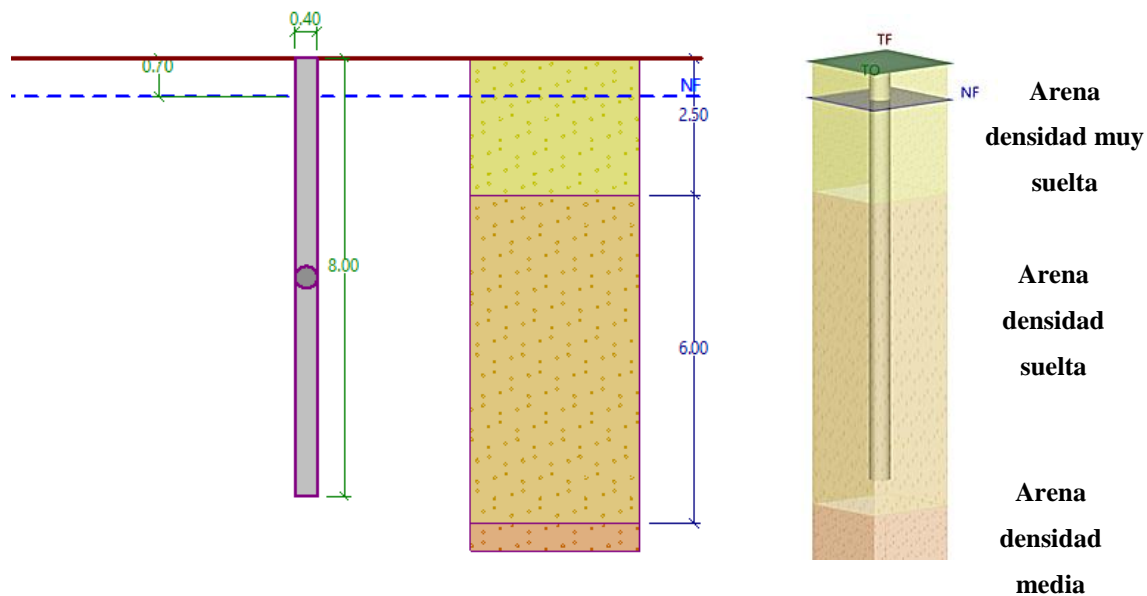


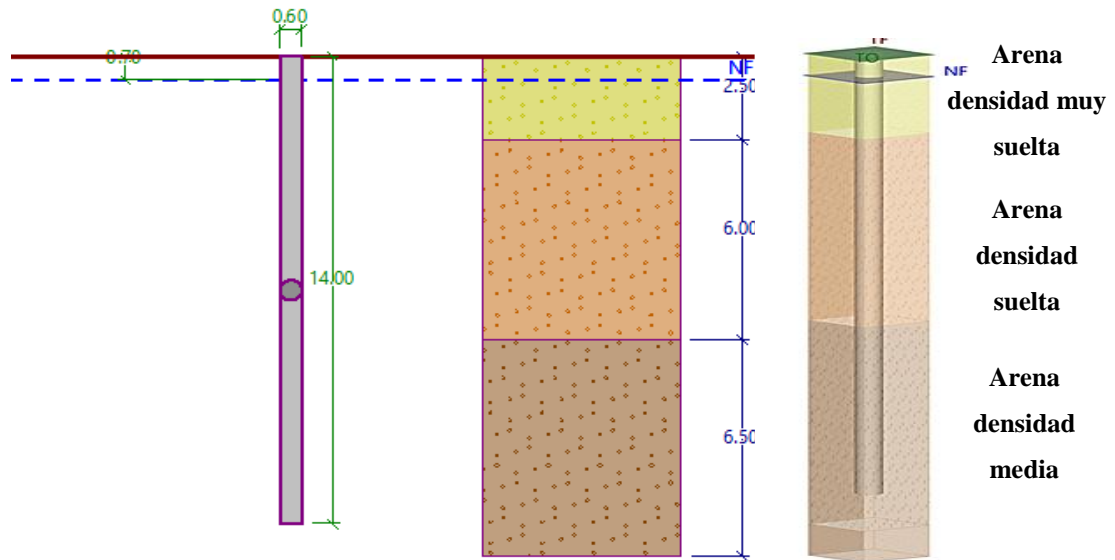
Ilustración 37. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Cabrero- Marbella e carga 800 kN. Fuente: Autores

Tabla 23. Tabla comparativa. Sector Cabrero- Marbella, 4 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR CABRERO-MARBELLA- 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	8	0,4	13,9	1,9	6	2,5
Coyle y castello	8	0,4	16,4	2,4	5	2,5
Método Geo5	8	0,4	14,76	1,48	6	2
Plaxis 3D	8	0,4	14,37	1,15	6	2,5



b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN)



*Ilustración 38. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Cabrero- Marbella e carga 4000 kN. Fuente: Autores*

*Tabla 24. Tabla comparativa. Sector Cabrero-Marbella, 10 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR CABRERO-MARBELLA - 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	14	0,6	47,9	2,9	9	2,5
Coyle y castello	14	0,6	78,6	5,0	6	2,5
Método Geo5	14	0,6	72,4	3,87	6	2
Plaxis 3D	14	0,6	85,4	2,7	5	2,5

### 5.4.1.5. SECTOR CENTRO

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)

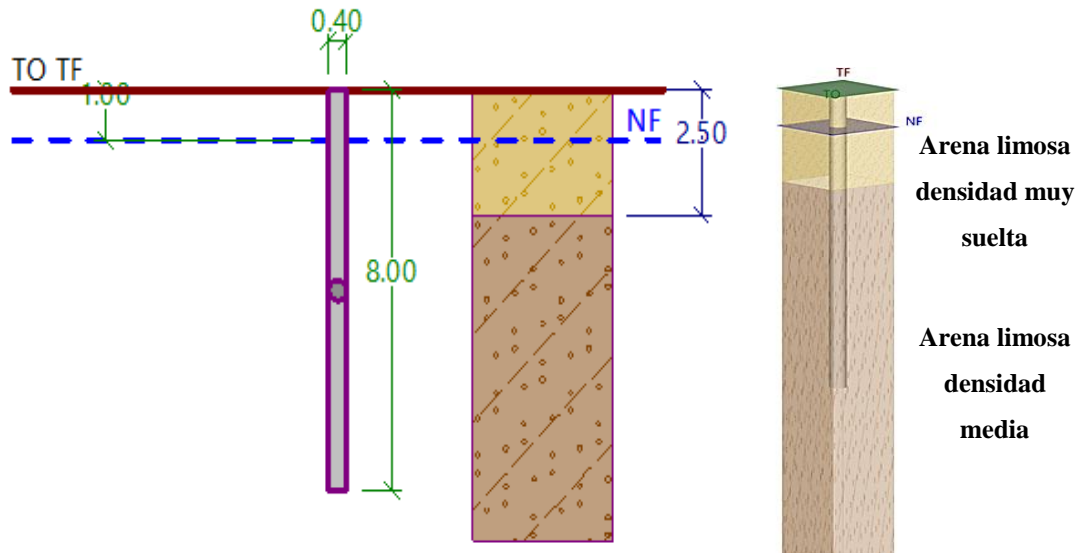


Ilustración 39. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Centro, carga 800 kN. Fuente: Autores

Tabla 25. Tabla comparativa. Sector Centro, 4 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR CENTRO - 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	8	0,4	15,2	2,0	6	2,5
Coyle y castello	8	0,4	16,7	2,5	5	2,5
Metodo Geo5	8	0,4	16,7	1,7	5	2
Plaxis 3D	8	0,4	17,60	1,0	5	2,5

### 5.4.1.6. SECTOR BOCAGRANDE

a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)

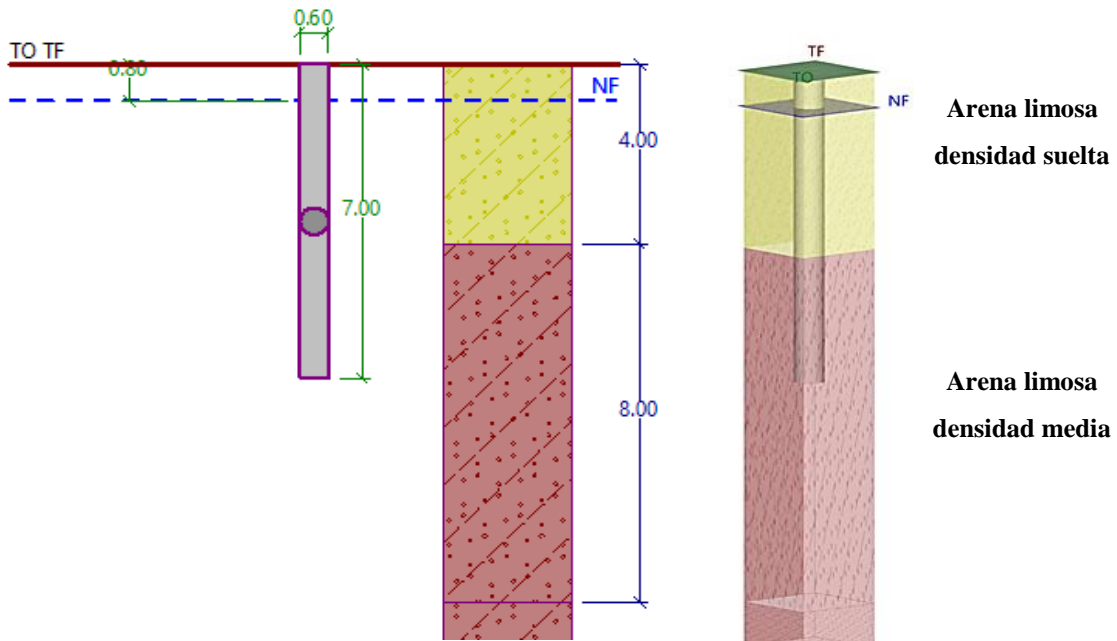


Ilustración 40. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Bocagrande carga 800 kN. Fuente: Autores

Tabla 26. Tabla comparativa. Sector Bocagrande, 4 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR BOCAGRANDE - 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	N° de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	7	0,6	29,9	1,6	3	2,5
Coyle y castello	7	0,6	43,5	2,4	2	2,5
Metodo Geo5	7	0,6	32,5	4	3	2
Plaxis 3D	7	0,6	23,65	0,6	4	2,5

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN

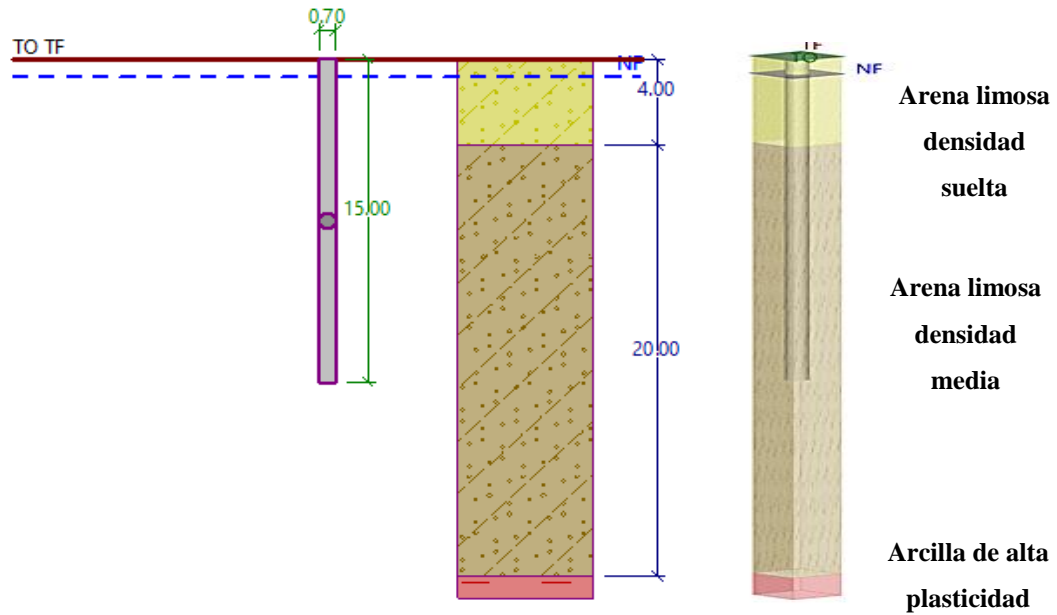


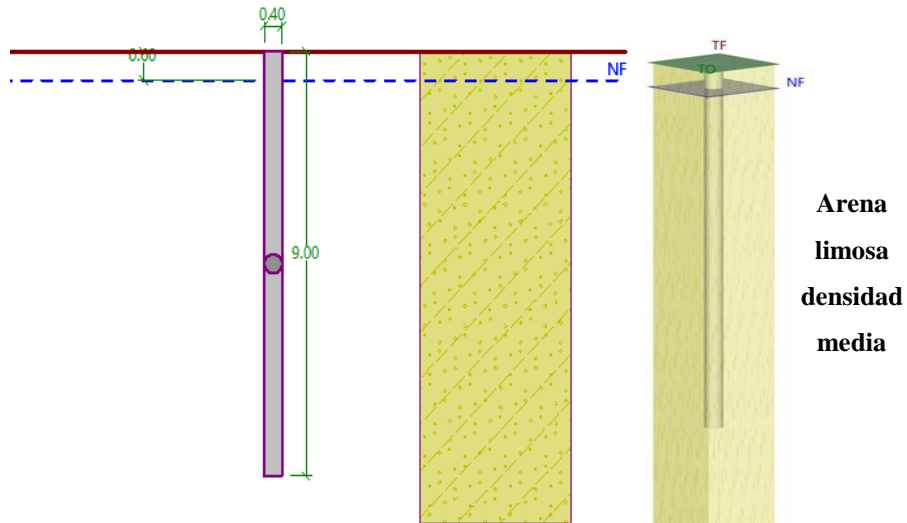
Ilustración 41. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Bocagrande carga 4000 kN. Fuente: Autores

Tabla 27. Tabla comparativa. Sector Bocagrande, 10 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR BOCAGRANDE - 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	15	0,7	76,67	1,7	6	2,5
Coyle y castello	15	0,7	152,83	4,7	3	2,5
Método Geo5	15	0,7	136,81	4,3	3	2
Plaxis 3D	15	0,7	92,64	1,6	5	2,5

### 5.4.1.7.SECTOR MANGA

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)



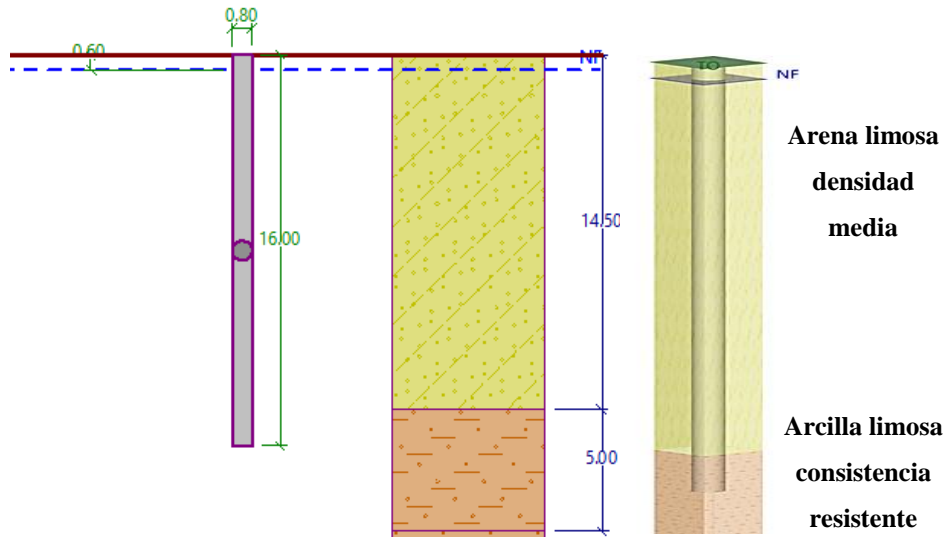
*Ilustración 42. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Manga, carga 800 kN.*

*Fuente: Autores*

*Tabla 28. Tabla comparativa. Sector Manga, 4 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR MANGA - 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diametro del pilote (m)	Capacidad Admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)	Nº de pilotes	Factor de seguridad
Meyerhof	9	0,4	13,8	1,9	6	2,5
Coyle y castello	9	0,4	16,3	2,5	5	2,5
Metodo Geo5	9	0,4	15,4	2,5	6	2
Plaxis 3D	9	0,4	14,35	1,4	6	2,5

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN)



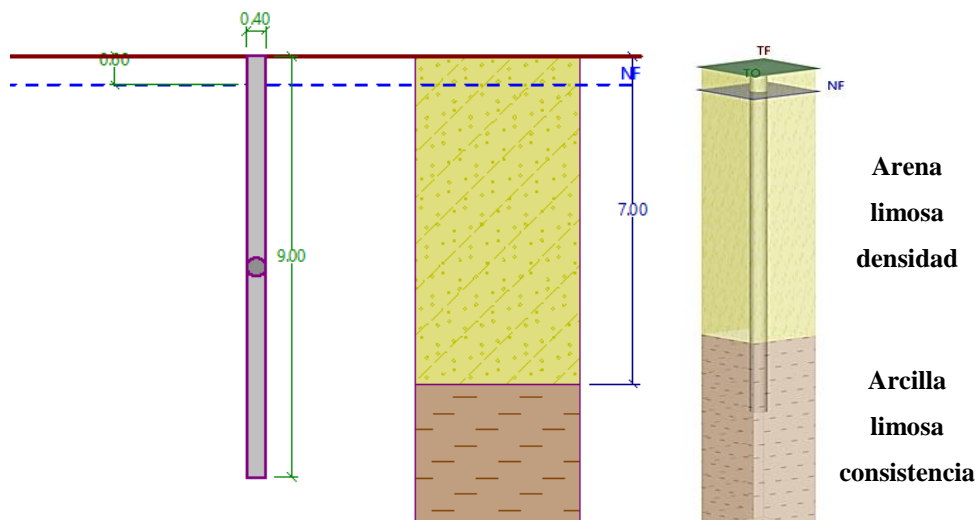
*Ilustración 43. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Manga, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

*Tabla 29. Tabla comparativa. Sector Manga, 10 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR MANGA- 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible	Asentamiento	N° de pilotes	Factor de seguridad
			Qadm (ton)	(cm)		
Meyerhof + lambda	16	0,8	72	1,45	6	2,5
Meyerhof + alfa	16	0,8	78,3	1,59	6	2,5
Jambu+Meyerhof+lambda	16	0,8	69,6	1,34	6	2,5
Jambu+Meyerhof+alfa	16	0,8	75,8	1,47	6	2,5
Método Geo5	16	0,8	78,3	1,14	6	2
Plaxis 3D	16	0,8	91,4	2,2	5	2,5

### 5.4.1.8. SECTOR PIE DE LA POPA

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 kN)

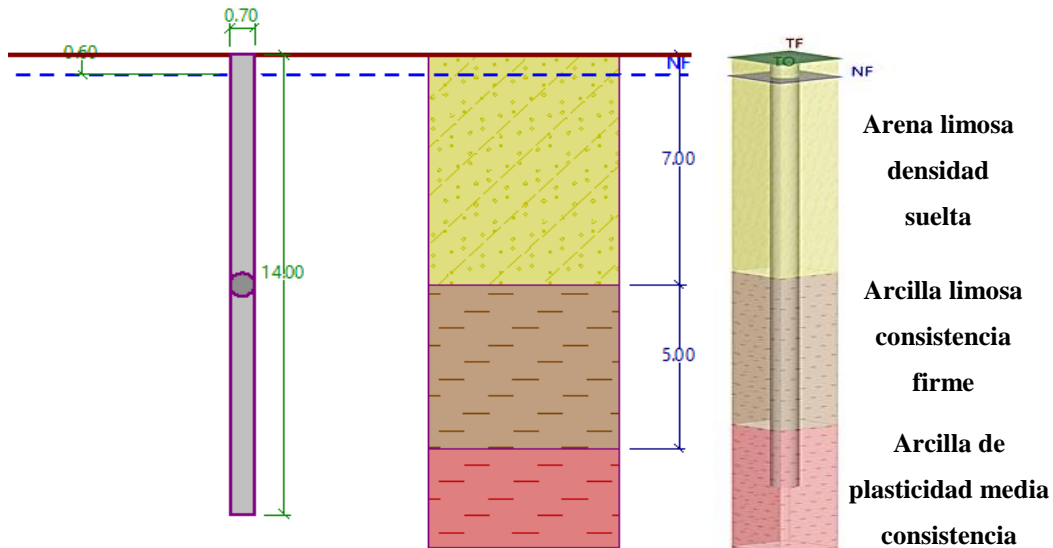


*Ilustración 44. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autores*

*Tabla 30. Tabla comparativa. Sector Pie de la popa, 4 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR PIE DE LA POPA- 4 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diametro del pilote (m)	Capacidad Admisible	Asentamiento	N° de pilotes	Factor de seguridad
			Qadm (ton)	(cm)		
Meyerhof + lambda	9	0,4	9,9	0,51	8	2,5
Meyerhof + alfa	9	0,4	14,3	0,77	6	2,5
Jambu+Meyerhof+lambda	9	0,4	9,3	0,49	9	2,5
Jambu+Meyerhof+alfa	9	0,4	13,7	0,75	6	2,5
Metodo Geo5	9	0,4	12,9	0,35	7	2
Plaxis 3D	9	0,4	19,32	0,8	5	2,5

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN



*Ilustración 45. Perfil del diseño de Cimentación Profunda. Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

*Tabla 31. Tabla comparativa. Sector Pie de la popa, 10 niveles. Fuente: Autores.*

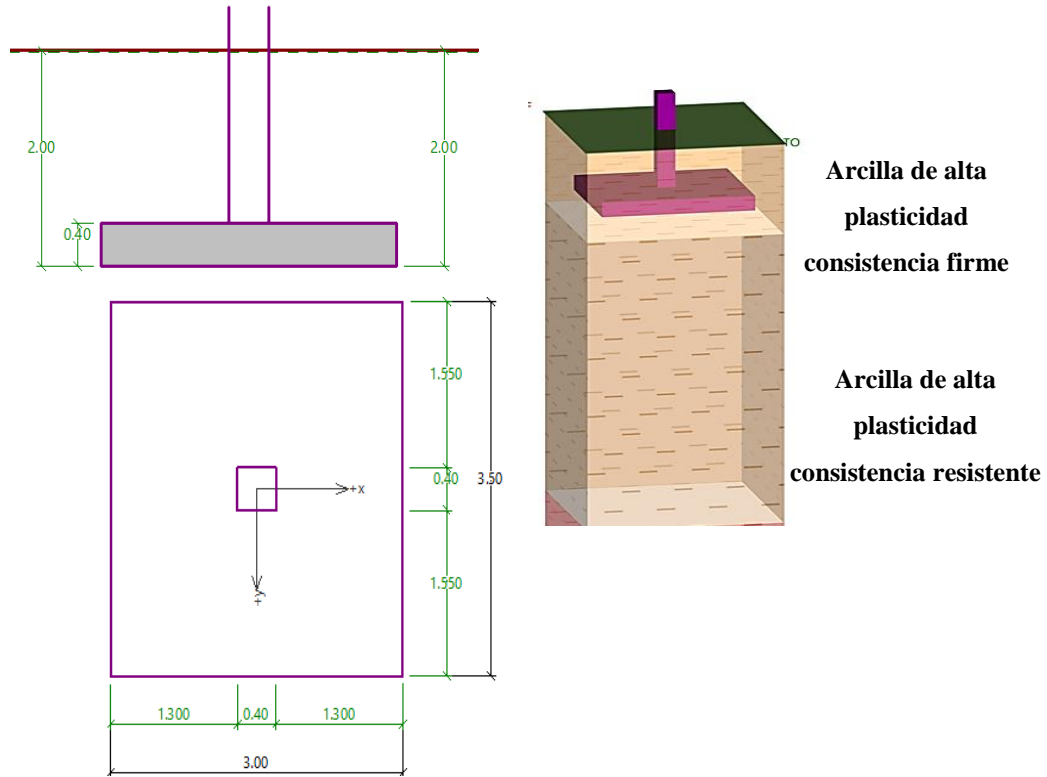
SECTOR PIE DE LA POPA- 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible	Asentamiento	N° de pilotes	Factor de seguridad
			Qadm (ton)	(cm)		
Meyerhof + lambda	14	0,7	45,2	1,7	9	2,5
Meyerhof + alfa	14	0,7	70,2	2,8	6	2,5
Jambu+Meyerhof+lambda	14	0,7	42,0	1,5	10	2,5
Jambu+Meyerhof+alfa	14	0,7	67,0	2,6	6	2,5
Método Geo5	14	0,7	55,,8	0,9	8	2
Plaxis 3D	14	0,7	71,88	1,3	6	2,5



## 5.4.2. ZONA 3

### 5.4.2.1. CALICANTO – VILLA ROSITA

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 kN)



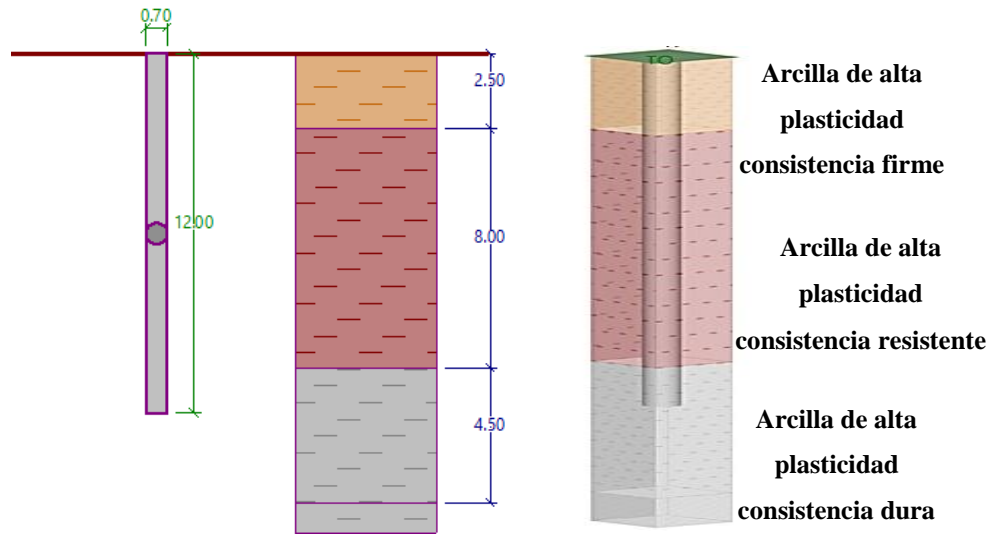
*Ilustración 46. Diseño cimentación superficial. Sector Calicanto-Villa Rosita, carga 800 kN.*

*Fuente: Autores.*

*Tabla 52. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Calicanto – Villa Rosita, carga 800 kN. Fuente: Autores*

SECTOR CALICANTO - VILLA ROSITA- 4 NIVELES						
METODO	B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)	Factor de seguridad
Meyerhof	3	3,5	2	7,82	1,5	3
Metodo Geo5	3	3,5	2	9	0,52	3
Plaxis 3D	3	3,5	2	8,47	0,85	3

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN)



*Ilustración 47. Perfil de diseño cimentación profunda. Sector Calicanto – Villa Rosita, carga 4000 kN. Fuente: Autores.*

*Tabla 33. Tabla comparativa. Sector calicanto- Villa rosita, 10 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR CALICANTO- VILLA ROSITA – 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible	Asentamiento	Nº de pilotes	Factor de seguridad
			Qadm (ton)	(cm)		
Meyerhof + lambda	12	0,7	112,6	1,58	4	2,5
Meyerhof + alfa	12	0,7	95,1	1,31	5	2,5
Jambu+lambda	12	0,7	108,6	1,46	4	2,5
Jamb+alfa	12	0,7	91,0	1,21	5	2,5
Método Geo5	12	0,7	80,19	3,32	5	2
Plaxis 3D	12	0,7	114,61	1,4	4	2,5

### 5.4.2.2. SAN JOSE DE LOS CAMPANOS

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)

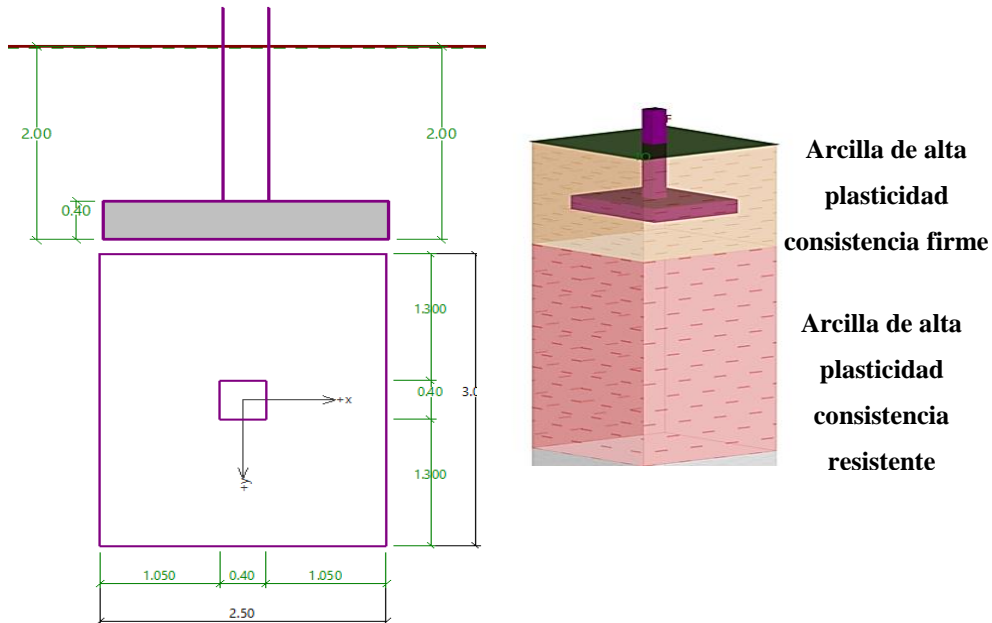
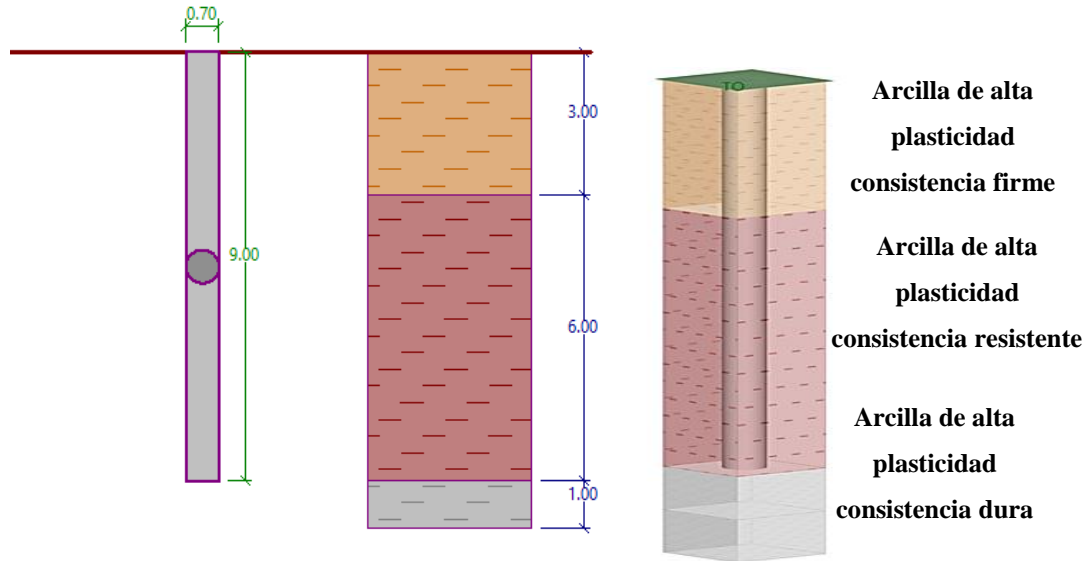


Ilustración 48. Diseño cimentación superficial. Sector San Jose, carga 800 kN. Fuente: Autores

Tabla 34. Tabla comparativa. Sector San Jose, 4 niveles. Fuente: Autores.

SECTOR SAN JOSE – 4 NIVELES						
METODO	B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo Admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)	Factor de seguridad
Meyerhof	2,5	3	2	12,02	1,5	3
Metodo Geo5	2,5	3	3	12,93	0,4	3
Plaxis 3D	2,3	3	2	10,67	0,7	3

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 KN)



*Ilustración 49. Perfil de diseño cimentación profunda. Sector San José, carga 4000 kN.*

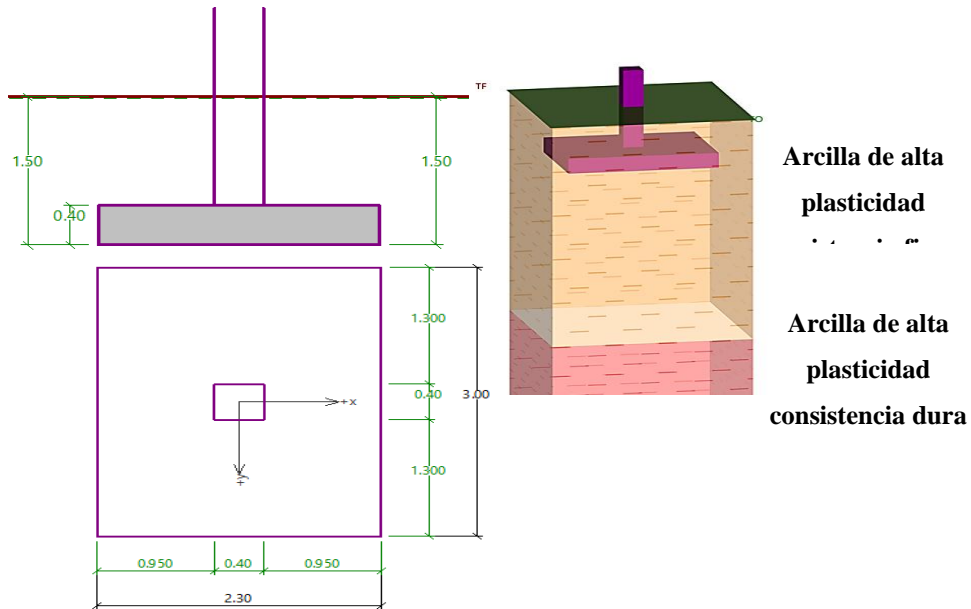
*Fuente: Autores*

*Tabla 35. Tabla comparativa. Sector San José, 10 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR SAN JOSE- 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible	Asentamiento	N° de pilotes	Factor de seguridad
			Qadm (ton)	(cm)		
Meyerhof + lambda	9	0,7	79,6	0,73	6	2,5
Meyerhof + alfa	9	0,7	74,1	0,67	6	2,5
Jambu+lambda	9	0,7	75,4	0,66	6	2,5
Jamb+alfa	9	0,7	69,9	0,61	6	2,5
Método Geo5	9	0,7	66,6	5,81	6	2
Plaxis 3D	9	0,7	99,8	1,1	4	2,5

### 5.4.2.3. VILLAGRANDE- TERNERA

a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)

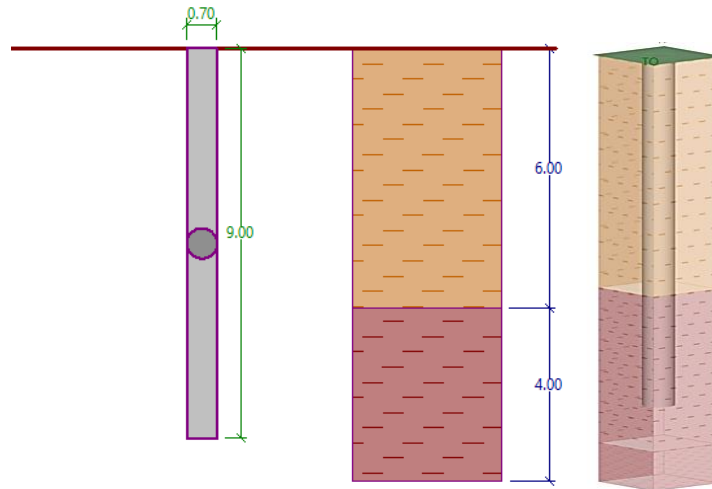


*Ilustración 50. Diseño cimentación superficial. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autores*

*Tabla 36. Tabla comparativa. Sector Villagrande - Ternera, 4 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR VILLAGRANDE- TERNERA (4 NIVELES)						
METODO	B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo Admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)	Factor de seguridad
Meyerhof	2,3	3	1,5	12,17	1,6	3
Metodo Geo5	2,3	3	1,5	10,44	0,6	3
Plaxis 3D	2,3	3	1,5	11,6	0,55	3

b) DISEÑO EDIFICACIÓN 10 NIVELES (CARGA MÁXIMA 4000 kN)



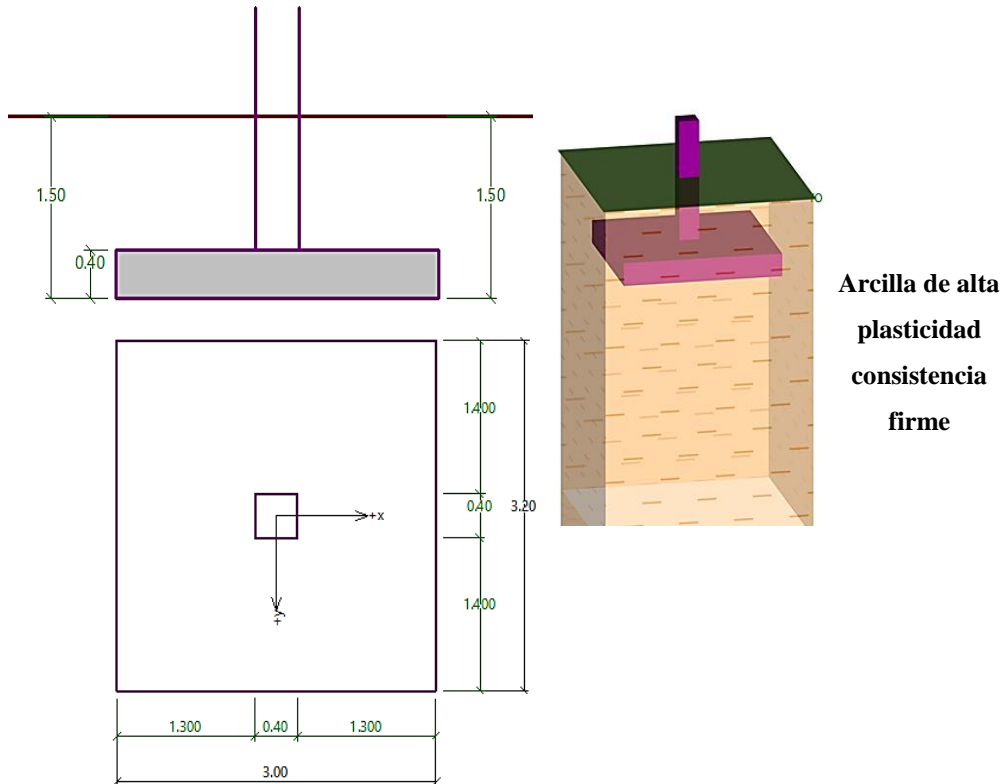
*Ilustración 51. Perfil de diseño cimentación profunda. Sector Villagrande - Ternera, carga 4000 kN.*

*Fuente: Autores*

VILLA GRANDE- TERNERA- 10 NIVELES						
METODO	Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad Admisible	Asentamiento	N° de pilotes	Factor de seguridad
			Qadm (ton)	(cm)		
Meyerhof + lambda	9	0,7	72,7	0,77	6	2,5
Meyerhof + alfa	9	0,7	71,0	0,75	6	2,5
Jambu+lambda	9	0,7	69,6	0,71	6	2,5
Jamb+alfa	9	0,7	67,9	0,69	6	2,5
Método Geo5	9	0,7	58,1	3,29	7	2
Plaxis 3D	9	0,7	86,35	1,0	5	2,5

#### 5.4.2.4. POZON- VILLA ESTRELLA

##### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)



*Ilustración 52. Diseño cimentación superficial. Sector Pozón - Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores*

*Tabla 37. Tabla comparativa. Sector Pozón- Villa estrella, 4 niveles. Fuente: Autores.*

SECTOR POZON VILLA ESTRELLA- 4 NIVELES						
METODO	B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo Admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)	Factor de seguridad
Meyerhof	3	3,2	1,5	8,69	1,6	3
Método Geo5	3	3,2	1,5	7,74	0,62	3
Plaxis 3D	3	3,2	1,5	8,33	1,3	3

### 5.4.2.5. RODEO

#### a) DISEÑO EDIFICACIÓN 4 NIVELES (CARGA MÁXIMA 800 KN)

##### a.2. Programa Geo5

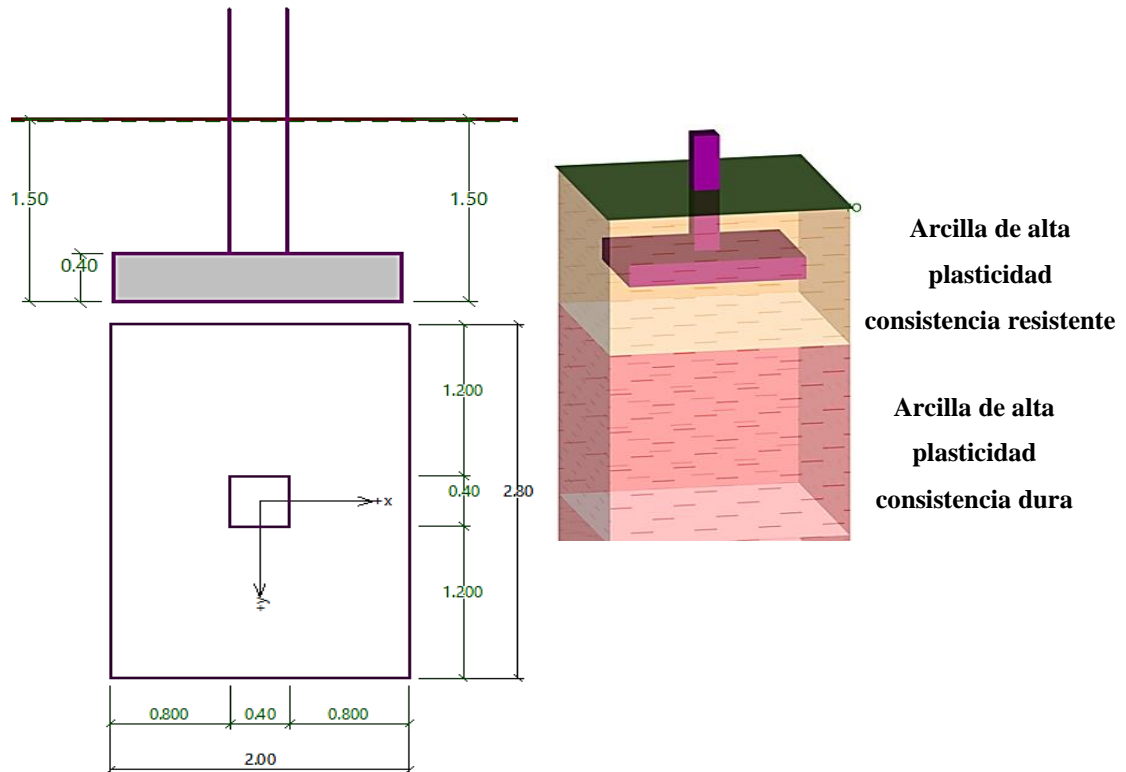


Ilustración 53. . Diseño cimentación superficial. Sector Rodeo, carga 800 kN. Fuente: Autores.

SECTOR RODEO						
METODO	B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)	Factor de seguridad
Meyerhof	2	2.8	1.5	14,91	1.0	3
Metodo Geo5	2	2.8	1.5	16,62	0.4	3
Plaxis 3D	2	2.8	1.5	14,28	1,2	3



### **5.5. ETAPA 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

De acuerdo con los estudios obtenidos se observó que en la zona 1 prevalece entre los 10 y los 30 metros arena limosa con presencia de caracuchas menudas y caracolejo. En algunos sectores se detectaron en los primeros 5 metros rastros de mangle en descomposición, con espesor variable entre 2 y 3 metros, en el sector donde más se presentó esta capa de mangle fue en Castillogrande.

Subyaciendo a este estrato se encuentra una arcilla de mediana a alta plasticidad de consistencia media firme. En el sector Pie de la popa fue detectada la arcilla a una menor profundidad que los demás sectores, esto puede ser motivo de la cercanía al cerro de La Popa.

En la zona 3A se observó una arcilla limosa de alta plasticidad, no se detectó nivel freático, la consistencia de la arcilla varía entre firme a dura.

La densidad de la arena y la consistencia de la arcilla varían considerablemente según los sectores, por lo tanto, los parámetros del suelo también, como se puede observar en las tablas de perfiles típicos y parámetros geotécnicos (Ver Tablas 3-16).

Después de realizar los diseños por las diferentes metodologías para pilotes en arena, podemos observar que la metodología para cimentaciones profundas de Meyerhof es la más conservadora, este tiene una restricción en la capacidad por punta, por lo que resulta mayor número de pilotes, pero menos asentamientos, lo contrario de la metodología de Coyle y Castello, éste al no tener ninguna restricción para la capacidad del bulbo del pilote arroja una capacidad admisible mucho mayor, lo que resulta en menos pilotes pero el asentamiento se incrementa. Con respecto al programa Geo5 presentó una diferencia promedio de 26% con Coyle, resultando este último con capacidades admisibles mayores. A su vez, presentó una diferencia promedio de 13% por debajo de las capacidades admisibles obtenidas por la metodología de Meyerhof. En cuanto a los asentamientos obtenidos por el Software se nota un aumento debido a que este es determinado con la carga última y no con la carga admisible como con las demás metodologías.

En cuanto a los suelos estratificados Arena- Arcilla, y Arcilla, no existe un método completo para el diseño de cimentaciones, es decir, los métodos para estimar la capacidad portante en el bulbo del pilote y la capacidad por fricción no son los mismos; Analizando los diferentes métodos pudimos

darnos cuenta que para la capacidad en el bulbo del pilote, la metodología de Jambu utiliza un factor de capacidad de carga menor que el de Meyerhof, lo que nos da una capacidad por punta menor. En cuanto a la capacidad por fricción, la resistencia unitaria por fricción del método Alfa solo tiene en cuenta la cohesión y un factor de adhesión que depende de la misma, en cambio, la resistencia unitaria por fricción en el método Lambda tiene en cuenta la cohesión, la presión efectiva, y un factor Lambda ( $\lambda$ ) que depende de la longitud de empotramiento del pilote.

Para suelos estratificados, Arena- Arcilla, la metodología alfa es la que da mayor capacidad de fricción en Arcilla, pero en un suelo únicamente Arcilloso, el método Lambda es en el que se presenta mayor capacidad por fricción, esto puede ser porque el método Alfa se realiza por estratos, y para el método Lambda se utiliza un promedio de cohesión y de esfuerzo efectivo. Para suelos estratificados las metodologías que presentaron mayor capacidad de carga admisible y asentamiento fueron la metodología de Meyerhof + Alfa y Jambu + Alfa, y para suelos arcillosos fueron Meyerhof + Lambda y Jambu + Lambda, con estos resultados nos podemos dar cuenta que para suelos estratificados Arena- Arcilla y suelos Arcillosos, la capacidad por fricción es mucho mayor a la capacidad por punta, por lo que la metodología que presente mayor capacidad por fricción, será la misma que tenga mayor capacidad portante.

Con referencia al software Geo5, en suelos Arcillosos, los valores de capacidad admisible se encuentran dentro de los rangos de las otras metodologías analíticas, sin embargo, los asentamientos arrojados por el programa son siempre mayores a los calculados analíticamente.

En el diseño de cimentaciones superficiales, para algunos resultados obtenidos por el software Geo5 las dimensiones previamente calculadas por los métodos no resistían la carga aplicada, por lo cual el programa calculó las dimensiones mínimas necesarias para estos casos como son los sectores Villagrande – Ternera y Pozon – Villa Estrella. Con referencia a los asentamientos calculados por el software son menores a los arrojados por los otros métodos en todos los casos.

Para todos los diseños tanto de cimentaciones profundas como superficiales los resultados por el método de elementos finitos se encuentran entre los rangos obtenidos por las otras metodologías lo que muestra una concordancia en los resultados, aunque generalmente presenta menores valores de asentamiento.

Tabla 38. Ventajas y Desventajas de las Metodologías utilizadas. Fuente: Autores

METODOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>Metodología de Meyerhof</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta una restricción para la capacidad por punta en arena, brindando mayor seguridad</li> <li>• La capacidad por fricción se realiza por estratos, permitiendo una mayor exactitud en los cálculos, solo para arenas.</li> <li>• Tiene en cuenta el tipo de pilote para hallar el coeficiente de presión lateral del suelo (K)</li> <li>• Presenta menores asentamientos en comparación con los demás métodos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcula mayor número de pilotes, lo que se traduce en una mayor inversión económica</li> <li>• Requiere de mucho tiempo para realizar el diseño y muchas pruebas</li> <li>• Muchos de los factores para diseñar se encuentran en gráficos que no brindan valores exactos.</li> </ul>
<i>Método de Jambu</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta menores asentamientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor capacidad portante del bulbo del pilote en arcillas, en comparación con el método de Meyerhof, por lo que se requiere mayor número de pilotes, lo que se traduce en un mayor costo.</li> <li>• Solo estudia la capacidad por punta del pilote, si se requiere la capacidad última del pilote, se utiliza otro método para hallar la capacidad por fricción.</li> </ul>

<i>Metodología de Coyle y Castello</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menor número de pilotes reduce el costo de la cimentación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No presenta restricciones de carga portante por punta, por lo que resultan asentamientos muy grandes</li> <li>Capacidad de fricción se realiza por promedio de todos los estratos (mayor error)</li> <li>Utiliza un coeficiente de presión lateral del suelo general para todos los tipos de pilote.</li> <li>Requiere de mucho tiempo para realizar el diseño y muchas pruebas</li> <li>Muchos de los factores para diseñar se encuentran en gráficos que no brindan valores exactos.</li> </ul>
<i>Método Lambda</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene en cuenta mayores factores para la determinación de la capacidad de fricción en arcillas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El procedimiento para determinar la capacidad portante por fricción es más complejo y toma mucho más tiempo.</li> <li>Solo estudia la capacidad por fricción del pilote, si se requiere la capacidad última del pilote, se utiliza otro método para hallar la capacidad por punta.</li> <li>Requiere de un factor Lambda que se encuentra en gráficos por lo que no brindan valores exactos.</li> </ul>
<i>Método Alfa</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El procedimiento para determinar la capacidad portante por fricción en arcilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solo estudia la capacidad por fricción del pilote, si se requiere la capacidad última del pilote, se</li> </ul>

<p>es más sencillo que los demás métodos</p>	<p>utiliza otro método para hallar la capacidad por punta.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de un factor alfa que se encuentra en gráficos por lo que no brindan valores exactos.</li> </ul>
<p><i>Método Programa Geo5</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil manejo, cuenta con guías para realizar los diseños.</li> <li>• Calcula valor exacto de los factores necesarios para los diseños con los datos introducidos</li> <li>• Se pueden evaluar varios tipos de diseño: permanente, sismo, transitoria.</li> <li>• Las condiciones del suelo o de carga se pueden variar fácilmente y obtener resultados inmediatos</li> <li>• El programa construye una curva de carga vs asentamiento, donde se puede ver la variación del asentamiento dependiendo de la carga</li> <li>• Requiere de menor tiempo con respecto a los otros métodos para realizar el diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El programa no presenta la capacidad admisible en los datos de salida.</li> <li>• El programa realiza el estudio para un solo pilote, por lo que en los datos de salida generalmente la capacidad ultima no cumple con el factor de seguridad</li> <li>• No calcula el número de pilotes necesarios para resistir la carga soportada</li> </ul>

*Método  
Programa  
Plaxis3D*

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se pueden ingresar las diferentes etapas constructivas y verificar la deformación en cada una de ellas</li> <li>• Presenta una gráfica de porcentaje de capacidad de carga vs deformaciones, y genera una tabla de datos que puede ser exportada a Excel para su estudio a fondo</li> <li>• De acuerdo con las tablas arrojadas, puedes estudiar la deformación con respecto las diferentes cargas y escoger la carga según el asentamiento deseado</li> <li>• Se pueden colocar diferentes puntos de análisis en la estructura para observar su comportamiento.</li> <li>• El programa además de la capacidad de carga, y deformaciones, este calcula, desplazamientos verticales, horizontales y totales en toda la interfaz del suelo que se asignó, también se pueden observar esfuerzos efectivos y totales en la interfaz del suelo como también la malla deformada que se produjo por los efectos de la carga horizontal y el pilote.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tener datos más exactos es necesario refinar la malla de elementos, lo que aumenta el tiempo de cálculo significativamente.</li> <li>• No cuenta con guías para realizar los diseños.</li> <li>• El programa no realiza diseños, es solo para verificar diferentes esfuerzos y deformaciones con un diseño previo</li> </ul>
--	--

## 6. CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis comparativo entre la metodología de elementos finitos, el software Geo5 y los métodos analíticos tradicionales, se presentan las siguientes conclusiones.

Con referencia a las variables utilizadas por cada una de las metodologías, se concluyó que los métodos analíticos no tienen en cuenta todos los factores para un diseño más exacto y acercado a la realidad como lo arroja el método de elementos finitos. Los métodos analíticos solo tienen en consideración el material del suelo principal, no trabajan con su composición completa, sino que reducen sus análisis a clasificar el suelo como Arenas o Arcillas.

El método de Elementos Finitos considera factores como los procesos constructivos, permite el estudio de la deformación y esfuerzos en distintos puntos del suelo o de la cimentación, y en general realiza un análisis más completo del comportamiento de la estructura con la carga aplicada. Se considera más conveniente según las características de las zonas en estudio, utilizar el método de elementos finitos como verificación del diseño realizado por un método analítico, de esta manera se tiene mayor confiabilidad y seguridad en los resultados.

En el caso de diseños para cimentaciones profundas, el método de elementos finitos presenta una diferencia porcentual promedio en cuanto a capacidad de carga de 18% generalmente por encima del método de Meyerhof, con el programa Geo5 una diferencia porcentual promedio de 14% y de 23% con el método de Coyle y Castello, ambos métodos generalmente por encima de Plaxis 3D. Para las cimentaciones superficiales, el método de elementos finitos presenta una diferencia promedio en valores de capacidad de carga de 7% por debajo con el método de Meyerhof y 13% por debajo con los resultados obtenidos por el software Geo5. El Método de Elementos Finitos estima valores de asentamiento generalmente menores a los calculados por los métodos analíticos y el programa Geo5.

Se concluye entonces que para todos los diseños tanto de cimentaciones profundas como superficiales los resultados por el método de elementos finitos se encuentran entre los rangos obtenidos por las otras metodologías lo que muestra una concordancia en los resultados, como se evidencia en las investigaciones realizadas por (Antolinez & Avila, 2013) expuestas en los antecedentes.

Para suelos estratificados las metodologías que presentaron mayor capacidad de carga admisible y asentamiento fueron la metodología de Meyerhof + Alfa y Jambu + Alfa, y para suelos arcillosos fueron Meyerhof + Lambda y Jambu + Lambda, esto se da porque la capacidad por fricción es mucho mayor a la capacidad por punta, por lo que la metodología que presente mayor capacidad por fricción, será la misma que tenga mayor capacidad portante. Para suelos arenosos, la metodología para cimentaciones profundas de Meyerhof es la más conservadora.

La investigación realiza un aporte a la rama de la Geotecnia, contribuyendo a que se aumente la seguridad y la objetividad en los diseños de Cimentaciones, rescatando las ventajas y desventajas que ofrecen cada uno de estos métodos y su utilidad.

Entre los resultados inesperados se encuentra que no se pudieron realizar los diseños de cimentaciones profundas para una edificación de 10 niveles en el Sector Centro, esto debido a la normatividad existente que prohíbe alterar el paisaje arquitectónico de esta zona. A su vez, se observó que en varios sectores como el Rodeo y Pozón – Villa Estrella no se encontraron estudios a profundidades mayores de seis metros por lo que se hizo imposible realizar el diseño de cimentación profunda al no tener la información necesaria.



## **7. RECOMENDACIONES**

El Método de Elementos Finitos al permitir determinar la interacción suelo – cimentación y conocer el comportamiento carga – desplazamiento, es una herramienta poderosa para el análisis de capacidad de carga, sin embargo, se recomienda garantizar la excelente calidad de los parámetros geotécnicos, la competencia en el manejo de la herramienta y la aplicación correcta de los modelos para que los resultados arrojados por el programa sean más exactos. Además, debido a la variación en los resultados se recomienda el uso de al menos dos métodos de cálculo de capacidad de carga para tener un posible rango de variación y con esto tener un mejor criterio para la definición del diseño.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Fine Civil Engineering Software. (s.f.). *Fine Software Geo 5*. Obtenido de <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/tomlinson-01/>
- Aguilar, O., & Zuñiga, C. (2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE LOS METODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE APLICADO A TALUDES O LADERAS ALEDAÑAS AL CERRO DE LA POPA, CASCO URBANO DE CARTAGENA*. Universidad de Cartagena , Cartagena.
- Antolinez, L., & Avila, J. (2013). *Analisis comprativo entre teorías usadas en el cálculo de asentamientos y un software basado en elementos finitos*. Universidad Industrial de Santander , Bucaramanga.
- Barboza, G. (2016). *Fundaciones Avanzadas* . Cartagena .
- Borselli, L. (2017). *GEOTECNIA I*. Facultad de Ingenieria, UASLP.
- Braja M Das. (s.f.). *Fundamentos de Ingenieria de Cimentaiones*.
- Camacho, J. C., & Romero, M. d. (2012). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS*. Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena.
- Castro, G., Daza, J., & Garcia, C. (2006). *ASENTAMIENTOS GENERADOS POR CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA DEL BARRIO SAN JOSE DE BAVARIA PERTENECIENTE A LA LOCALIDAD DE SUBA EN BOGOTA D.C*. UNIVERSIDAD DE LA SALLE , BOGOTA.
- Cier, R. (2016). El modelamiento numérico en la resolución de problemas geotécnicos. *CIVILIZATE*(8). Obtenido de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/viewFile/18632/18870>
- Delgado Vargas , M. (1998). *Interacción suelo estructura*. Santa fe de Bogota: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Frias, E. (2004). *Método de Elementos Finitos*. Departamento de Ingeniería Electrica UPC.

- Geotechpedia . (2012 ). Obtenido de <https://geotechpedia.com/Software/Show/242/PLAXIS-3D>
- GICO UPC. (s.f.). TEMA 4: CIMENTACIONES SUPERFICIALES. En U. P. CATALUÑA, *INGENIERIA GEOTECNICA* (págs. 16-18). Cataluña.
- Gomez, M. (2006). *Introducció a la metodologia de la investigació científica*.
- González, R. (2017). *Comparación de los metodos de equilibrio limite y elementos finitos aplicados a la estabilidad de taludes*. Loja.
- Herrera, F. (2006). *CIMENTACIONES SUPERFICIALES*.
- Ibañez Mora, L. O. (2012). Recommendations for the modeling of foundations on piles by finite element method. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 6( 2):2-7.
- Lee Dereske, M. (1990). *ETHICS OF USING COMPUTER SOFTWARE IN CIVIL ENGINEERING DESIGN*.
- Lopez, L., & Lopez, J. (1999). *Elementos de Construcción. Cimentaciones. Zapatas aisladas*. Castilla , España.
- Macias Loor, A., Carvajal Rivadeneira, D., Cobos Lucio , D., Fienco Sanchez , B., Peralta Delgado, J., & Zambrano Acosa , J. (2018). *MECANICA DE SUELOS, TOMO I*. Manabí, Ecuador : Área de Innovación y Desarrollo, S.L.
- Mirlisenna, G. (2016). *Introducción al Método de Elementos Finitos*. ESSS.
- Montoya, J., & Pinto Vega, F. (2010). *Cimentaciones* . Merida.
- Ochoa, J., & Mojica, C. (2014). *Análisis de los asentamientos por consolidación mediante herramientas computacionales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. (2010). En *Titulo H. Estudios Geotecnicos*. Bogota.
- Remolina, J. (2016). *Analisis comparativo de las deformaciones de los suelos mediante teorías tradicionales y software de elementos finitos*. Bucaramanga.

- Restrepo, I. C. (2010). *DISEÑO DE COLUMNAS EN CONCRETO UTILIZANDO LOS DIFERENTES SOFTWARES DE MERCADO Y EL DISEÑO MANUAL*. EAFIT, Medellin .
- Rochel Awad, R. (1998). *Hormigón Reforzado (Segunda parte)*.
- U.S. Department of the Navy. (1984). *NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures*.
- Velazquez, A. (2016). *Analisis de las filtraciones y la estabilidad de taludes en presas de tierra*. Santa Clara.
- Yepes Piqueras, V. (2016). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Valencia : Universidad politecnica de Valencia .

## 9. ANEXOS

### 9.1. DISEÑOS LAGUITO

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
6	0,5	34	10,3	44,3	18,2	5	1,4

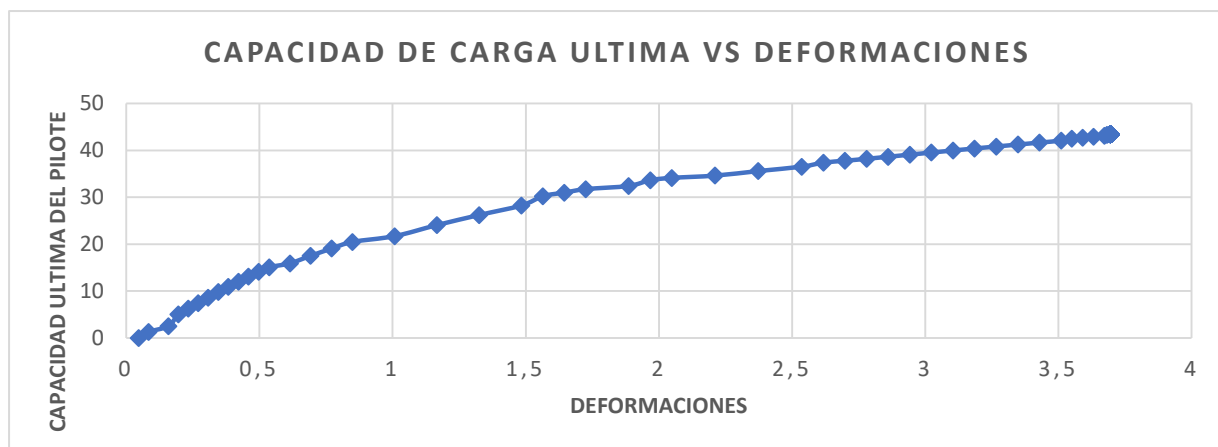
Anexo 1. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector laguito, carga 800 Kn. Fuente: Autores

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
6	0,5	41,3	17,7	59	25,5	4	2,1

Anexo 2. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Laguito, carga 800 Kn Fuente: Autores

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
181.56	165.03	346.59	2	173.295	22,4

Anexo 3. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Laguito, carga 800 kN. Fuente: Autor



Anexo 4. Resultados capacidad última y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Laguito, carga 800 kN. Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
10	0,6	95,36	33,95	129,3	54,42	8	2,8

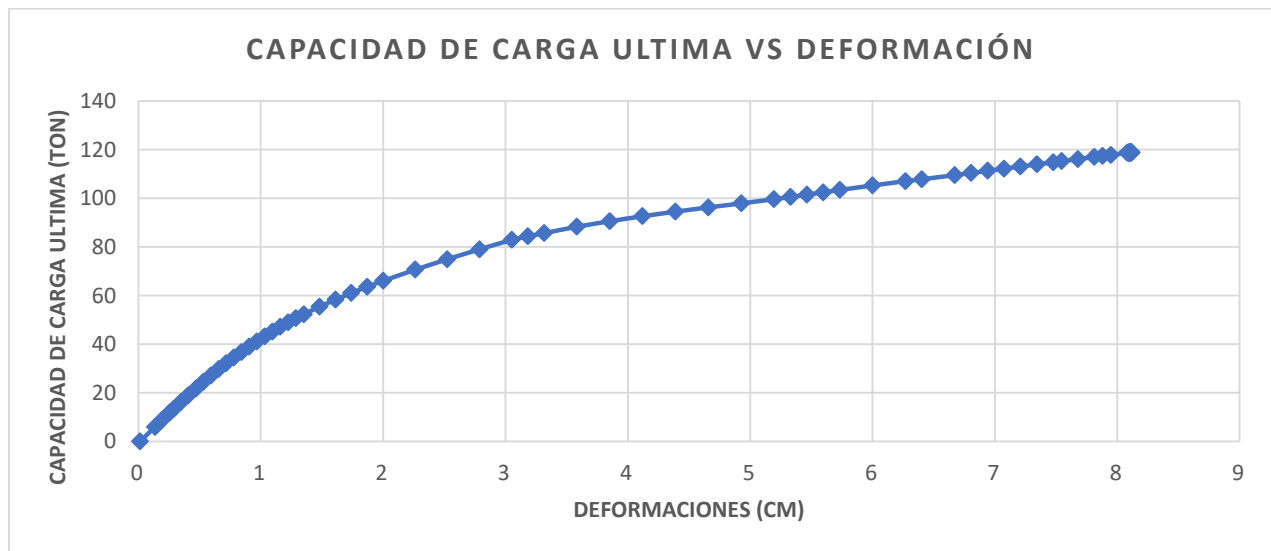
Anexo 5. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Laguito, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
10	0,6	134,8	51,9	186,7	79,52	6	3,5

Anexo 6. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Laguito, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
616.85	400.50	1017.35	2	508.67	28.6

Anexo 7. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Laguito, carga 4000 kN. Fuente: Autor



Anexo 8. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Laguito- carga 4000 Kn. Fuente:

Autores

## 9.2.DISEÑOS CRESPO

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
6	0,5	42,9	10,2	53,1	21,1	4	1,3

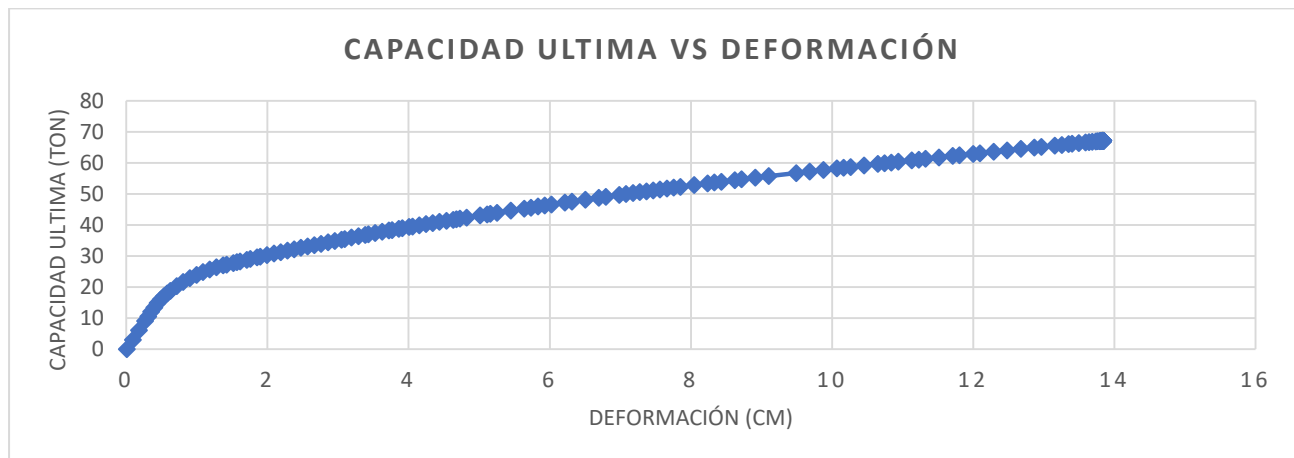
Anexo 9. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Crespo, carga 800 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
6	0,5	51,4	18,6	70	30	3	1,5

Anexo 10. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Crespo, carga 800 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim
204.26	205.89	410.15	2	205.07	26.2

Anexo 11. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Crespo, carga 800 kN. Fuente: Autor



Anexo 12. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Crespo- carga 800 Kn.Fuente: Autores

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,7	95,36	22,8	118,16	47	9	2,7

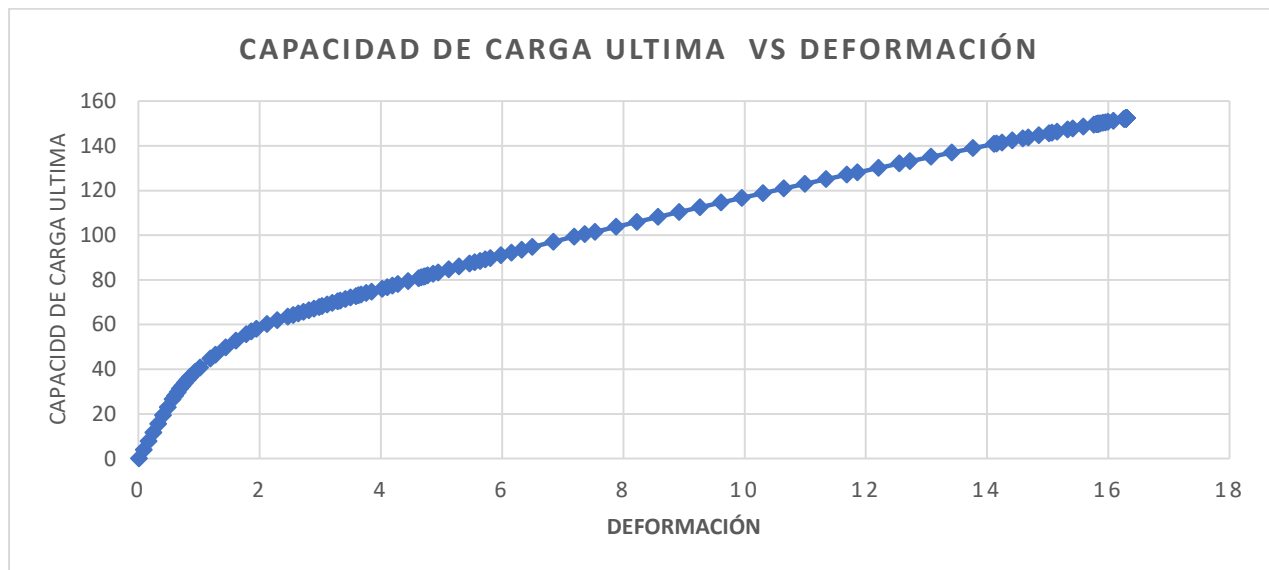
Anexo 13. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Crespo, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,7	127,32	35,44	162,76	66	7	3,7

Anexo 14. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Crespo, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
516.25	539.32	1055.57	2	527.78	58.1

Anexo 15. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Crespo, carga 4000 kN. Fuente: Autor



Anexo 16. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Crespo- carga 4000 Kn.Fuente:

Autores



### 9.3.DISEÑO CASTILLOGRANDE

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	21,7	13,6	35,3	16,3	5	1,72

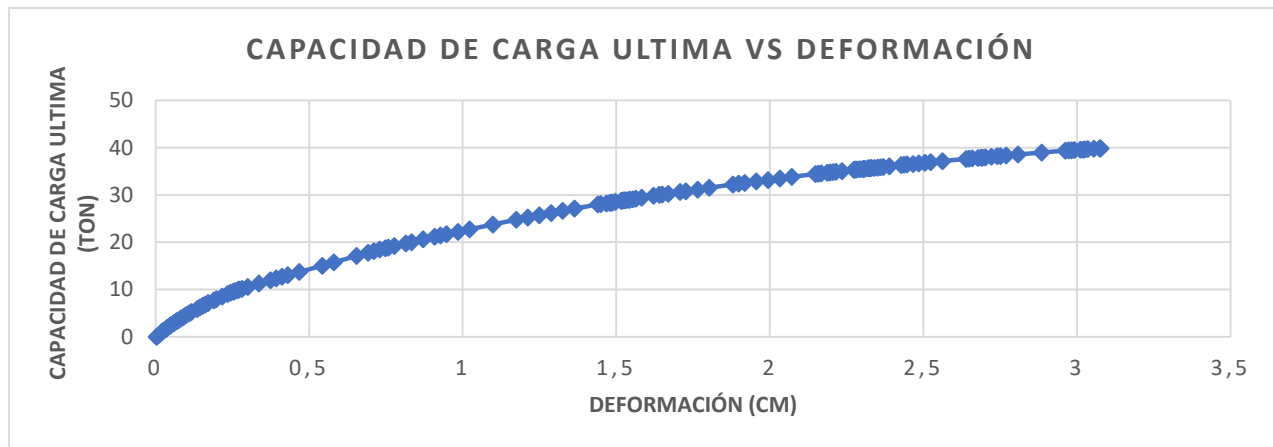
Anexo 17. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Castillogrande, carga 800 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	34	14,8	48,8	21,2	4	2,75

Anexo 18. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Castillogrande, carga 800 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim(mm)
243.06	113.60	387.39	2	193.70	21.3

Anexo 19. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Castillogrande, carga 800 kN. Fuente: Autor



Anexo 20. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Castillogrande- carga 800 Kn.

Fuente: Autores

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0,5	70,6	48,2	118,8	55,7	8	2,27

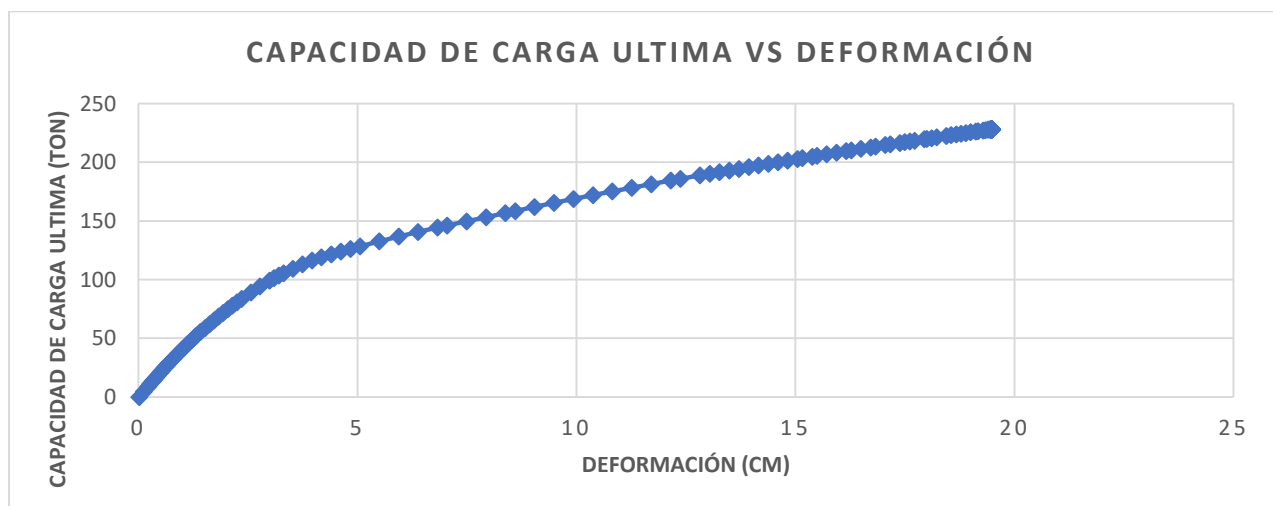
Anexo 21. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Castillogrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0,5	157	62,9	219,9	94,3	5	3,44

Anexo 22. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Castillogrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
899.68	547.59	1447.27	2	723.63	44.0

Anexo 23. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Castillogrande, carga 4000 kN. Fuente: Autor



Anexo 24. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Castillogrande- carga 4000 Kn.

Fuente: Autores

#### 9.4.DISEÑOS BOCAGRANDE

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
7	0,6	61,8	13,9	75,7	29,9	3	1,79

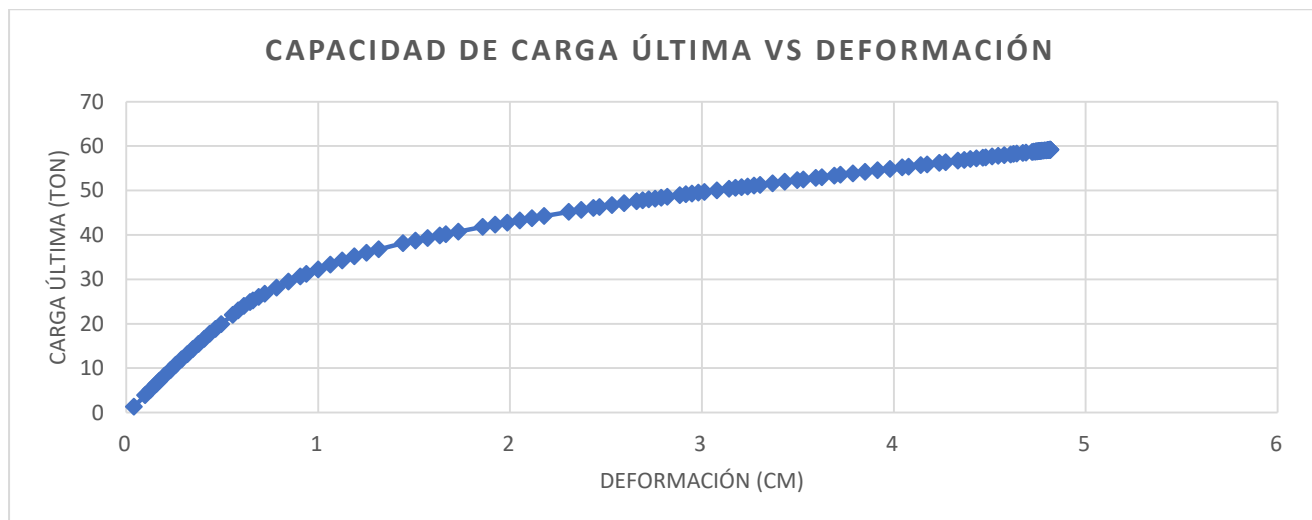
Anexo 25. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Bocagrande, carga 800 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
7	0,6	74,8	21,7	96,5	39,4	3	2,29

Anexo 26. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castell0 Sector Bocagrande, carga 800 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
318.05	331.71	649.76	2	324.88	40.6

Anexo 27. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Bocagrande, carga 800 kN. Fuente: Autor



Anexo 28. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Bocagrande- carga 800 Kn. Fuente:

Autores

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
15	0,7	69,3	80,3	149,6	76,6	6	1,65

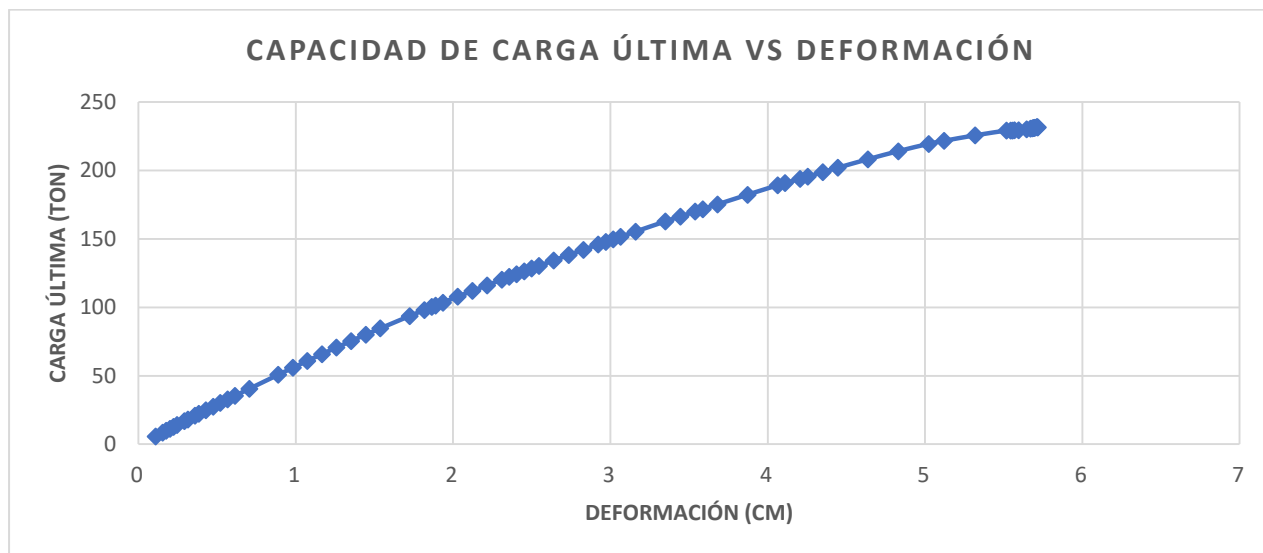
Anexo 29. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof Sector Bocagrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
15	0,7	233,2	112,6	345,8	152,8	3	4,75

Anexo 30. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Bocagrande, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
1758.93	977.35	2736.28	2	1368.14	43.6

Anexo 31. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Bocagrande, carga 4000 kN. Fuente: Autor



Anexo 32. Resultados de capacidad portante y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Bocagrande- carga 4000 Kn. Fuente: Autores

## 9.5.DISEÑOS CABRERO- MARBELLA

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	21,7	10	31,7	13,9	6	1,92

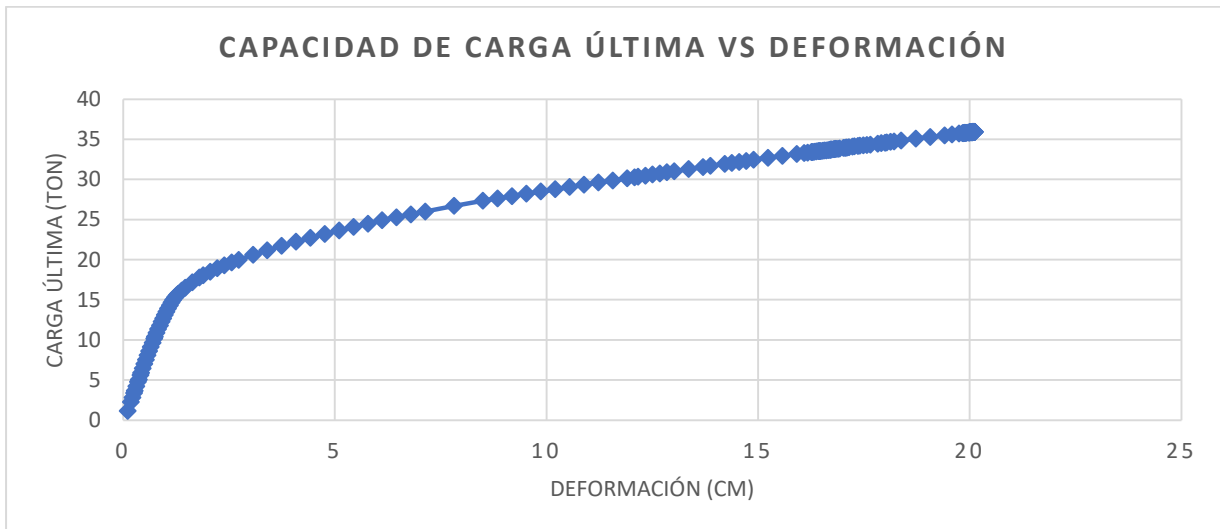
Anexo 33. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Cabrero- Marbella, carga 800 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	26,28	11,53	37,81	16,45	5	2,35

Anexo 34. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Cabrero- Marbella, carga 800 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim
182.17	77.18	259.35	2	129.67	129.67

Anexo 35. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Cabrero-Marbella, carga 800 kN. Fuente: Autor



Anexo 36. Resultados capacidad ultima y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Cabrero-Marbella, carga 800 kN. Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0,6	50,9	46,4	97,3	47,9	9	2,99

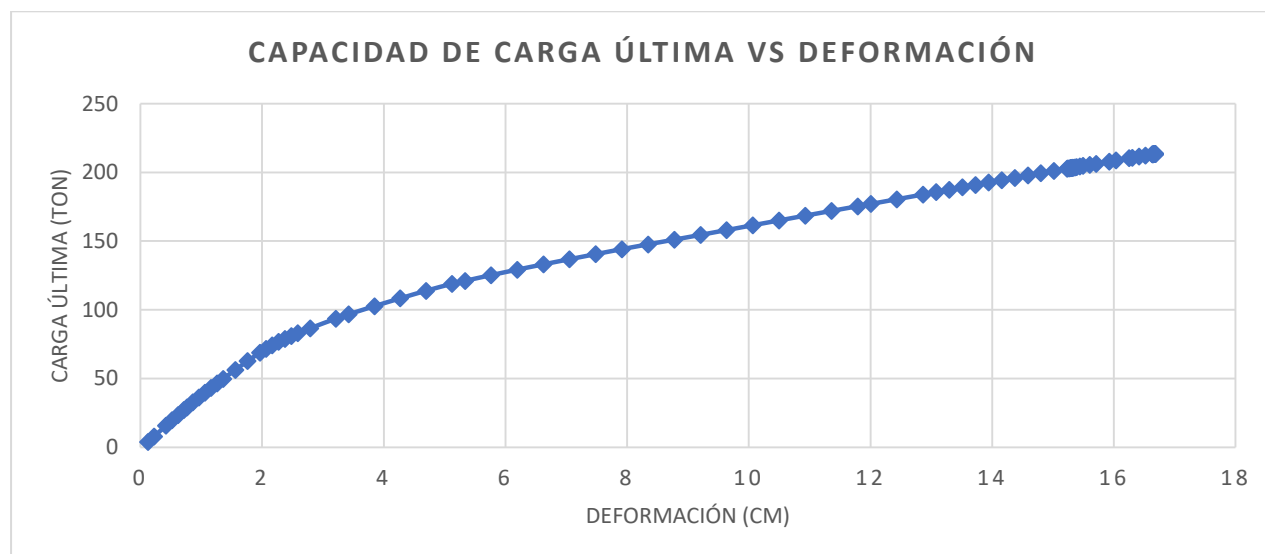
Anexo 37. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Cabrero- Marbella, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0,6	128,5	53,7	182,2	78,6	6	5,08

Anexo 38. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castellano. Sector Cabrero- Marbella, carga 4000 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
949.72	489.83	1448.54	2	724.27	38.7

Anexo 39. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Cabrero-Marbella, carga 4000 kN. Fuente: Autor



Anexo 40. Resultados capacidad ultima y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Cabrero-Marbella, carga 4000 KN. Fuente: Autor

## 9.6.DISEÑOS CENTRO

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	19,9	12,9	32,8	15,2	6	2,01

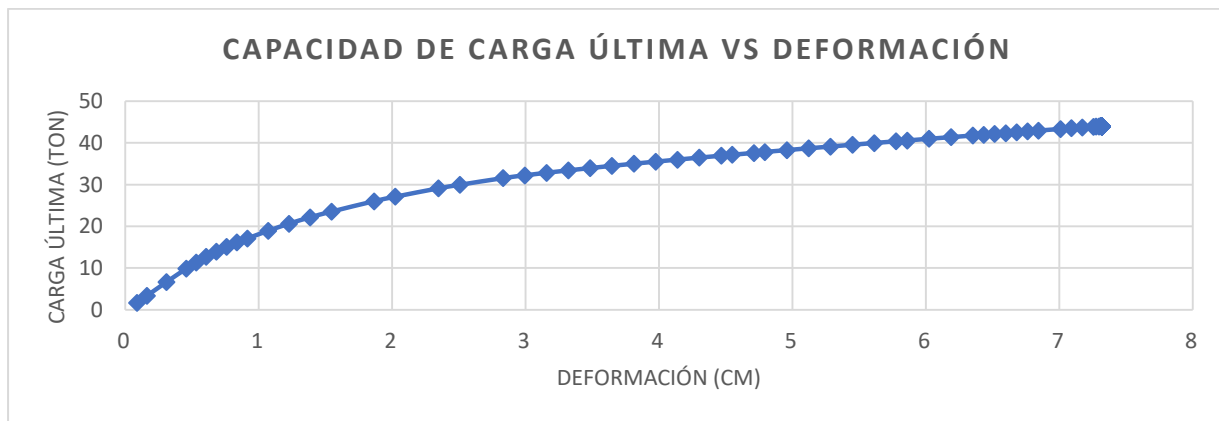
Anexo 41. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Centro, carga 800 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diametro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	32,8	8,7	41,5	16,7	5	2,55

Anexo 42. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castello. Sector Centro, carga 800 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
224.01	110.33	334.34	2	167.17	17.5

Anexo 43. Resultados capacidad portante y asentamiento del pilote. Sector Centro, carga 800 kN. Fuente: Autor



Anexo 44. Resultados capacidad ultima y asentamiento del pilote (Plaxis 3D). Sector Centro, carga 800 KN. Fuente: Autor

## 9.7.DISEÑOS MANGA

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	13.3	14	27.3	13.8	6	1.89

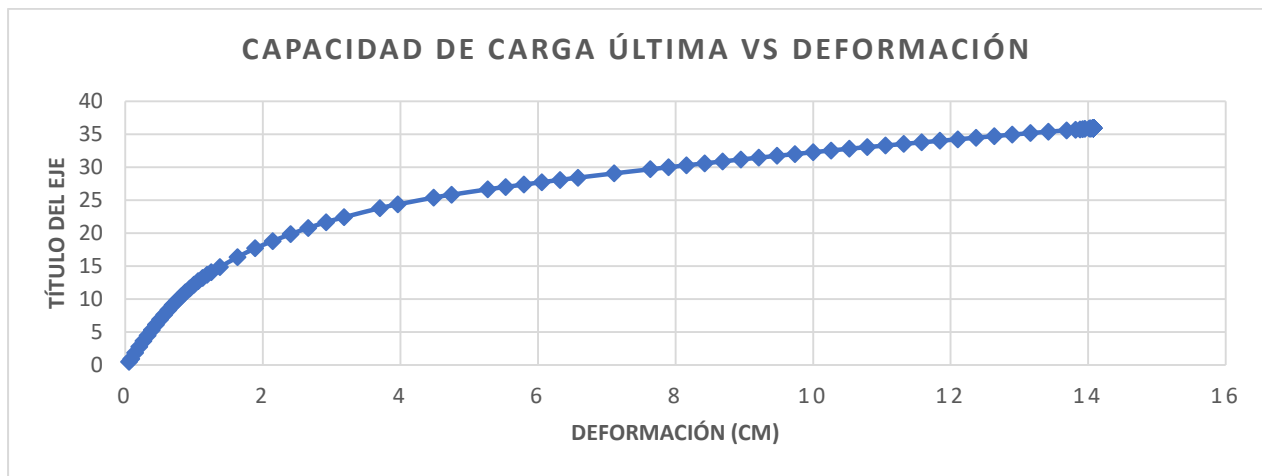
Anexo 45. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof. Sector Manga, carga 800 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diametro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
8	0,4	18.5	15.2	33.8	16.3	5	2.53

Anexo 46. Resultados de diseño por metodología de Coyle y Castillo. Sector Manga, carga 800 Kn Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
226.08	82.88	308.96	2	154.48	24.7

Anexo 47. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote. Sector Manga, carga 800 kN. Fuente: Autor



Anexo 48. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Manga, carga 800 kN. Fuente: Autor



Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
16	0.8	24.5	155.5	180	111.8	4	0.61

*Anexo 49. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof + Lambda. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor*

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
16	0.8	24.5	105.2	129.7	78.3	6	0.38

*Anexo 50. Resultados de diseño por metodología de Meyerhof + Alfa. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor*

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
16	0.8	17.09	155.5	172.6	109.3	4	0.44

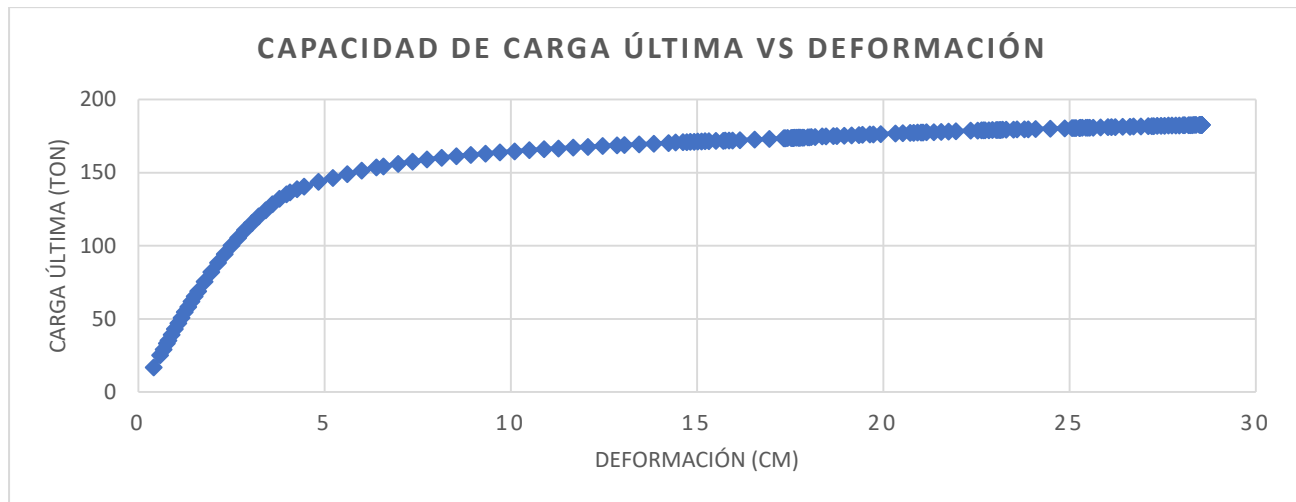
*Anexo 51. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor*

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
16	0.8	17.1	105.2	122.3	75.8	6	0.35

*Anexo 52. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Alfa. Sector Manga, carga 4000 Kn Fuente: Autor*

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
1332.82	233.43	1566.25	2	783.12	11.4

*Anexo 53. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote. Sector Manga, carga 4000 kN. Fuente: Autor*



Anexo 54. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Manga, carga 4000 kN. Fuente: Autor

### 9.8.DISEÑOS PIE DE LA POPA

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Ultima (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
9	0.4	9.3	21.7	31	17.6	5	0.63

Anexo 55. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector Pie de la popa, carga 800 Kn Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Ultima (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
9	0.4	9.3	18.9	28.2	15.7	6	0.59

Anexo 56. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa, Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Ultima (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
9	0.4	6.2	21.7	27.9	16.5	5	0.42

Anexo 57. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda. Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autor

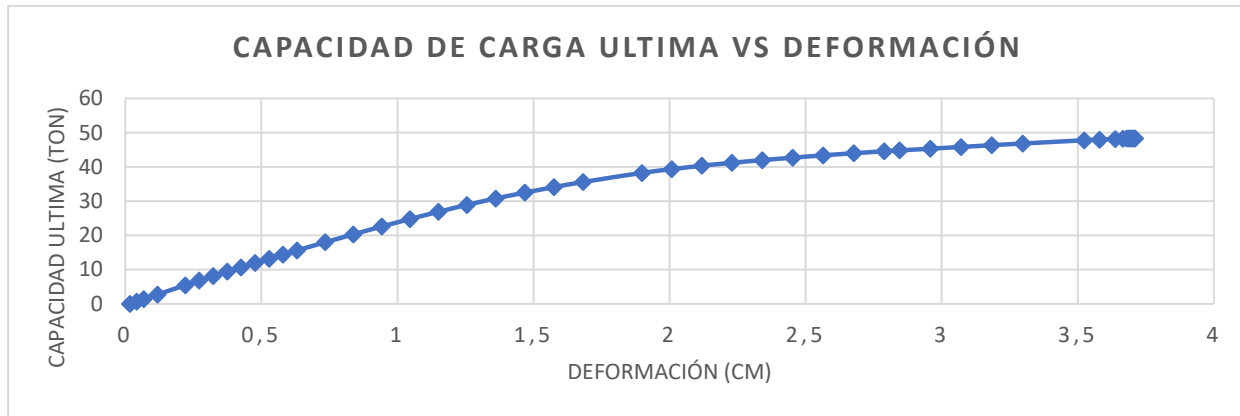
Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Ultima (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
9	0.4	6.2	18.9	25.1	14.7	6	0.4

Anexo 58. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda. Sector Pie de la Popa, carga 800 kN. Fuente: Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
213.05	44.79	257.83	2	128.91	3.5

Anexo 59. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Pie de la popa, carga 800 kN. Fuente:

Autor



Anexo 60. Resultados capacidad última y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pie de la popa, carga 800 kN. Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0.7	28.6	83.9	112.5	65.5	7	0.85

Anexo 61. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda, Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0.7	28.6	81.9	110.5	64.1	7	0.84

Anexo 62. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa, Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente: Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0.7	19.0	83.9	102.9	62.3	7	0.61

Anexo 63. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Lambda, Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente:

Autor

Longitud del pilote (m)	Diámetro del pilote (m)	Capacidad por punta (Ton)	Capacidad por fricción (Ton)	Capacidad Última (Ton)	Capacidad Admisible (Ton)	Numero de pilotes	Asentamiento (cm)
14	0.7	19.0	82.0	101.0	61	7	0.61

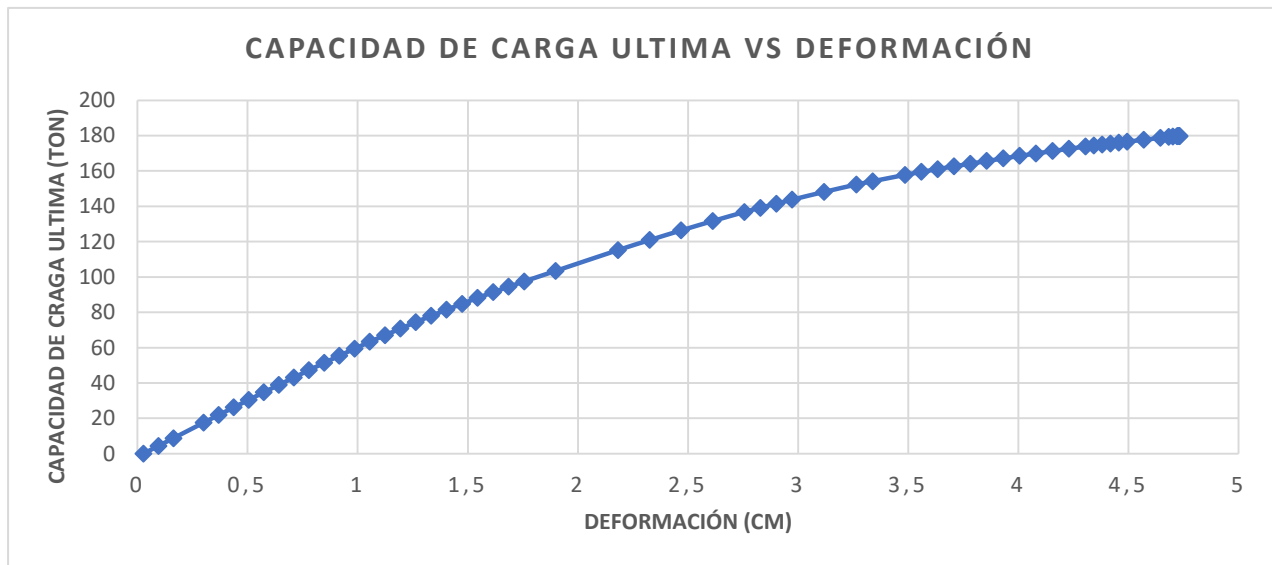
Anexo 64. Resultados de diseño por metodología Jambu + Meyerhof + Alfa. Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN. Fuente:

Autor

Rs (kN)	Rb (kN)	Rc (kN)	Fs	Radm (kN)	Slim (mm)
860.99	255.27	1116.26	2	558.13	9.3

Anexo 65. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Pie de la Popa, carga 4000 kN.

Fuente: Autor



Anexo 66. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pie de la popa, carga 800 kN. Fuente: Autor

### 9.9. DISEÑOS CALICANTO- VILLA ROSITA

B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo total qu (ton/m2)	Capacidad total Q (ton)	Capacidad admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)
8	9	2	22,04	1586,9	528,97	2,9

Anexo 67. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Calicanto- Villa rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor

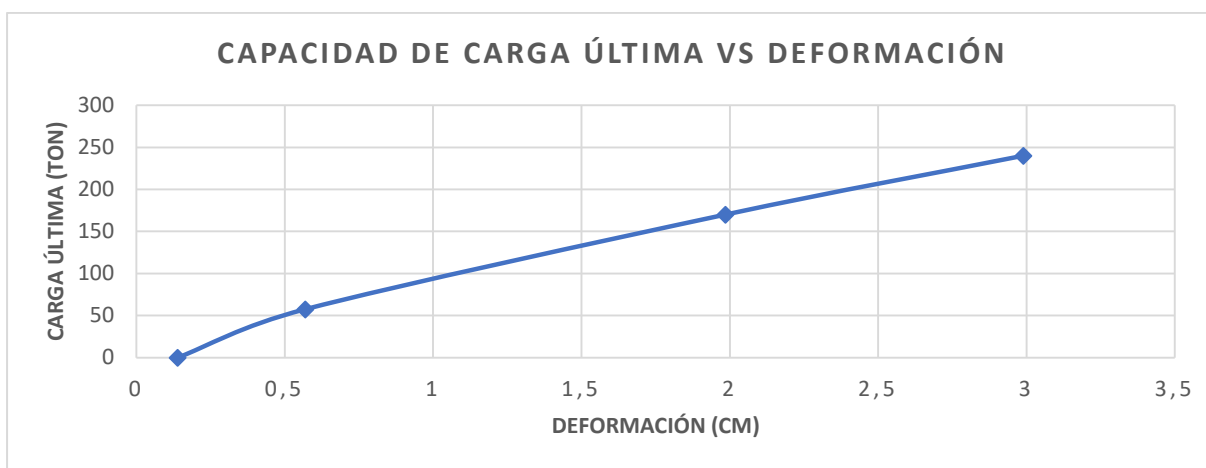
Capacidad portante vertical (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento de la cimentación (cm)	Prof. Zona de influencia (m)	Capacidad admisible de la cimentación (ton)	Factor de seguridad
23.23	0.62	4.8	148.67	1.5
			74.33	3

Anexo 68. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Villa Rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor

Para este caso no cumplió con el factor de seguridad de 3, por lo que el programa diseñó las dimensiones mínimas de la cimentación.

B (m)	L (m)	Capacidad portante (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad admisible (ton)	Factor de seguridad
4.8	4.8	23.16	177.86	3

Anexo 69. Dimensiones mínimas diseñadas por el programa Geo5. Fuente: Autores



Anexo 70. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Calicanto- Villa rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor

Método Meyerhof+ Lambda				
Capacidad por punta Qp (Ton)	Capacidad por fricción Qs (Ton)	Capacidad Ultima Qu (Ton)	Capacidad admisible Qadm (Ton)	Cantidad de pilotes
Meyerhof	Landa			
38,7	149,6	188,2	112,60	4

Anexo 71. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor

<b>Método Meyerhof+ Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Meyerhof	Alfa			
38,7	123,3	162,0	95,1	5

*Anexo 72. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor*

<b>Método Jambu+ Lambda</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Landa			
26,6	149,6	176,1	108,6	4

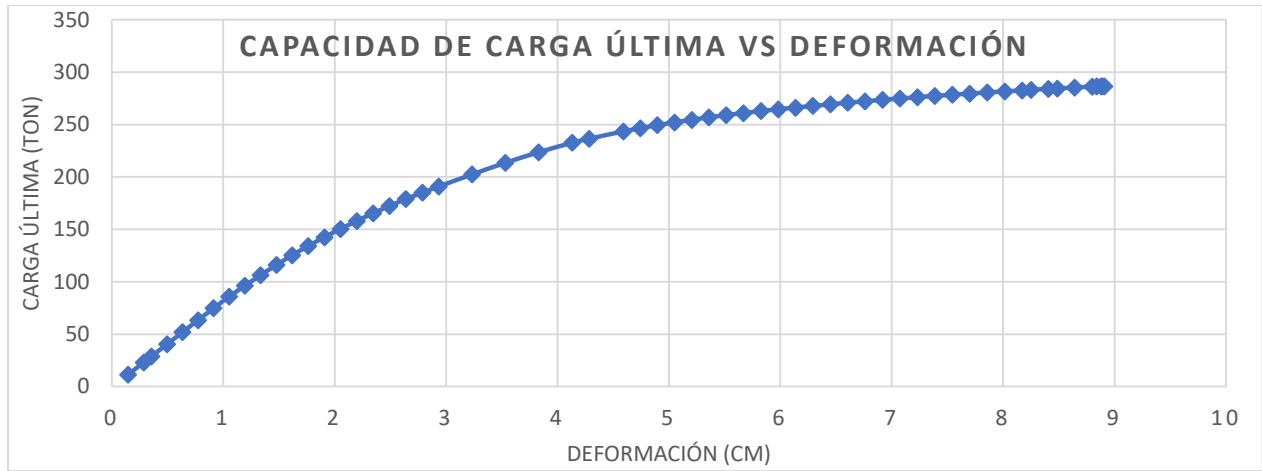
*Anexo 73. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor*

<b>Método Jambu +Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Alfa			
26,6	123,3	149,8	91,0	5

*Anexo 74. Resultados de diseño por metodología Jambu +Alfa. Sector Calicanto, carga 4000 Kn Fuente: Autor*

<b>Rs (kN)</b>	<b>Rb (kN)</b>	<b>Rc (kN)</b>	<b>Fs</b>	<b>Radm (kN)</b>	<b>Slim( mm)</b>
1232,6	371,3	1603,9	2	801,9	33,2

*Anexo 75. Resultados capacidad portante superficial y del bulbo del pilote (Geo5). Sector Calicanto- Villa rosita, carga 4000 kN. Fuente: Autor*



Anexo 76. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Calicanto- Villa rosita, carga 800 kN. Fuente: Autor

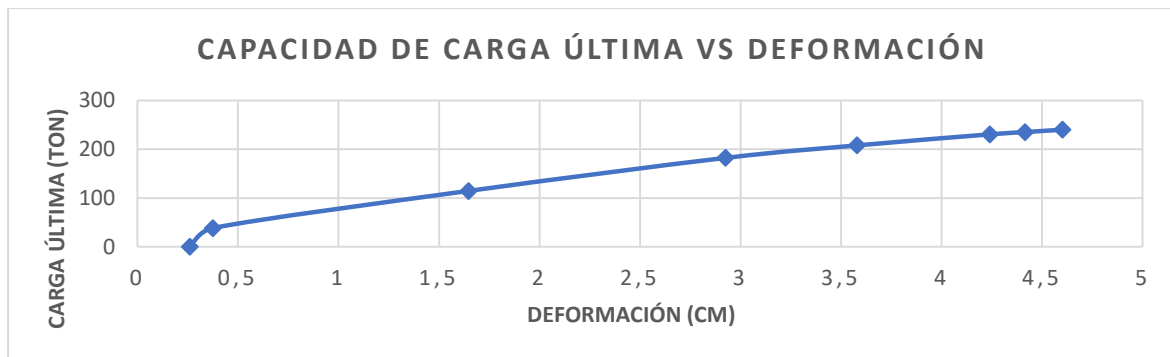
### 9.10. DISEÑOS PALMERAS

B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo total qu (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad total Q (ton)	Capacidad admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)
3	3	2	30,42	273,7	91,25	1,5

Anexo 77. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Palmeras, carga 800 kN. Fuente: Autores

Capacidad portante vertical (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento de la cimentación (cm)	Prof. Zona de influencia (m)	Capacidad admisible de la cimentación (ton)	Factor de seguridad
27.18	0.84	5.02	81.54	3
			163.08	1.5

Anexo 78. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Palmeras, carga 800 kN. Fuente: Autores



Anexo 79. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Plameras, carga 800 kN. Fuente: Autor

<b>Método Meyerhof+ Lambda</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Meyerhof	Lambda			
28,6	88,9	117,5	68,8	6

*Anexo 80. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Método Meyerhof+ Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Meyerhof	Alfa			
28,6	81,5	110,1	63,9	7

*Anexo 81. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Método Jambu+ Lambda</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Lambda			
19,1	88,9	107,97	65,6	7

*Anexo 82. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Metodo Jambu +Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Alfa			
19,1	81,5	100,6	60,7	7

*Anexo 83. Resultados de diseño por metodología Jambu + Alfa. Sector Palmeras, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Rs (kN)</b>	<b>Rb (kN)</b>	<b>Rc (kN)</b>	<b>Fs</b>	<b>Radm (kN)</b>	<b>Slim (mm)</b>
815.6	247.65	1063.24	2	531.62	28.6

*Anexo 84. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Calicanto – Villa rosita, carga 4000 kN. Fuente: Autores*



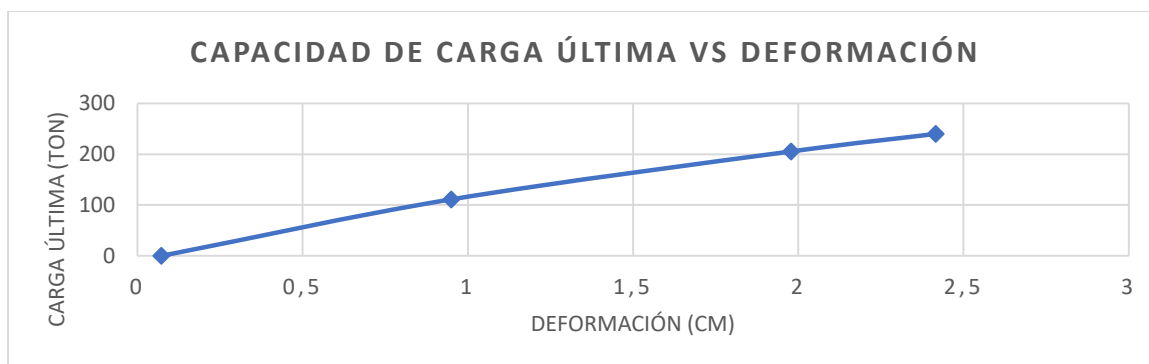
## 9.11. DISEÑOS SAN JOSE DE LOS CAMPANOS

B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo total qu (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad total Qp (ton)	Capacidad admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)
2,5	3	2	36,06	270,5	90,15	1,5

Anexo 85. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector San José, carga 800 kN. Fuente: Autores

Capacidad portante vertical (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento de la cimentación (cm)	Prof. Zona de influencia (m)	Capacidad admisible de la cimentación (ton)	Factor de seguridad
38.82	0.42	4.05	97.05	3
			194.1	1.5

Anexo 86. Resultados capacidad admisible y asentamiento (Geo5). Sector San Jose, carga 800 kN. Fuente: Autores



Anexo 87 Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector San José de los campanos, carga 800 kN.

Fuente: Autor

Método Meyerhof+ Lambda				
Capacidad por punta Qp (Ton)	Capacidad por fricción Qs (Ton)	Capacidad Última Qu (Ton)	Capacidad admisible Qadm (Ton)	Cantidad de pilotes
Meyerhof	Landa			
38,1	100,3	138,4	79,6	6

Anexo 88. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores

<b>Metodo Meyerhof+ Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por friccion Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Meyerhof	Alfa			
38,10	92,09	130,19	74,09	6

*Anexo 89. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Metodo Jambu+ Lambda</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por friccion Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Lambda			
25,40	100,33	125,73	75,36	6

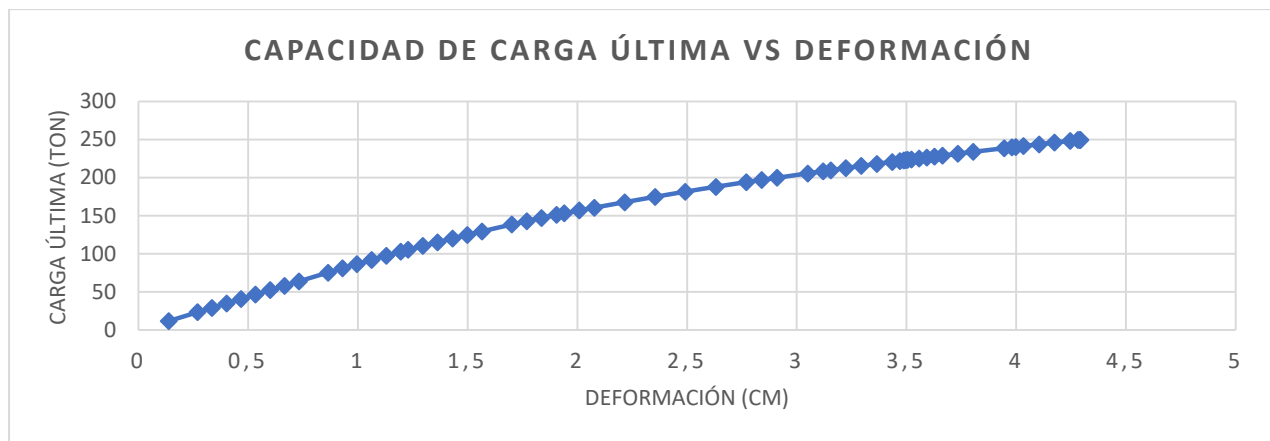
*Anexo 90. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Metodo Jambu +Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por friccion Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Alfa			
25,40	92,09	117,49	69,86	6

*Anexo 91. Resultados de diseño por metodología Jambu + Alfa. Sector San José, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Rs (kN)</b>	<b>Rb (kN)</b>	<b>Rc (kN)</b>	<b>Fs</b>	<b>Radm (kN)</b>	<b>Slim (mm)</b>
920.66	411.48	1332.14	2	666.07	58.1

*Anexo 92. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector San José, Carga 4000 kN. Fuente: Autores*



Anexo 93. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector San José de los campanos, carga 4000 kN.

Fuente: Autor

## 9.12. DISEÑOS VILLAGRANDE – TERNERA

B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo total $q_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad total Q (ton)	Capacidad admisible $Q_{adm}$ (ton)	Asentamiento (cm)
5	7	2	34,75	1216,3	405,44	1,4

Anexo 94. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autores

Capacidad portante vertical (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento de la cimentación (cm)	Prof. Zona de influencia (m)	Capacidad admisible de la cimentación (ton)	Factor de seguridad
31.35	0.6	5.08	72.10	3
			144.21	1.5

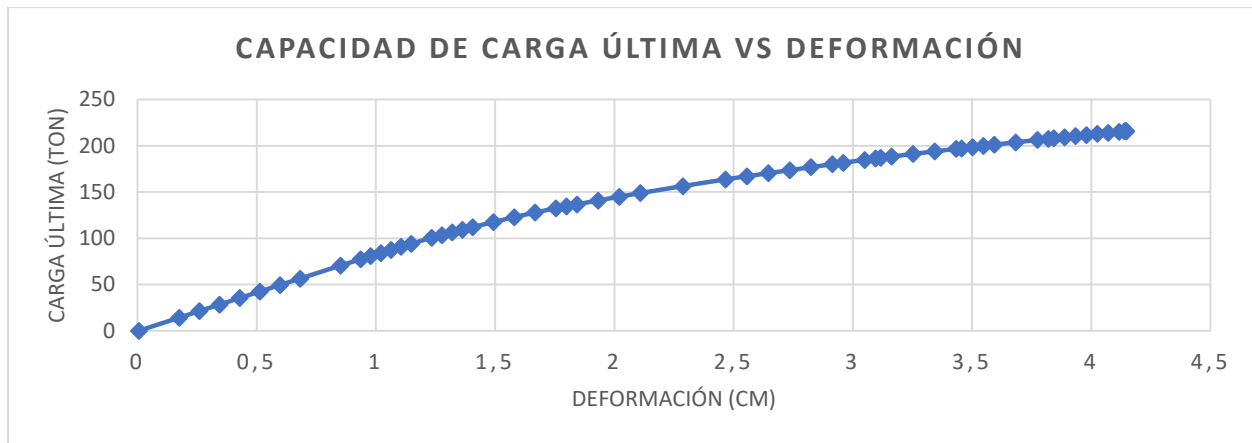
Anexo 95. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autores

Para este caso no cumplió con el factor de seguridad de 3, por lo que el programa diseñó las dimensiones mínimas de la cimentación.

B (m)	L (m)	Capacidad portante (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad admisible (ton)	Factor de seguridad
3.5	3.5	32.08	130.9	3

Anexo 96. Dimensiones mínimas de diseño calculadas por el programa Geo5. Sector Villagrande – Ternera, carga 800 kN.

Fuente: Autores



*Anexo 97. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Villagrande- Ternera, carga 800 kN. Fuente: Autor*

<b>Método Meyerhof+ Lambda</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Última Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Meyerhof	Lambda			
28,19	94,97	123,16	72,71	6

*Anexo 98. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Lambda. Sector Villagrande – Ternera, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Metodo Meyerhof+ Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por fricción Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Última Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Meyerhof	Alfa			
28,19	92,47	120,66	71,04	6

*Anexo 99. Resultados de diseño por metodología Meyerhof + Alfa. Sector San Villagrande – Ternera, carga 4000 kN. Fuente: Autores*

<b>Metodo Jambu+ Lambda</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por friccion Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Lambda			
18,80	94,97	113,76	69,58	6

*Anexo 100. Resultados de diseño por metodología Jambu + Lambda. Sector Villagrande – Ternera, carga 4000 kN. Fuente:*

*Autores*

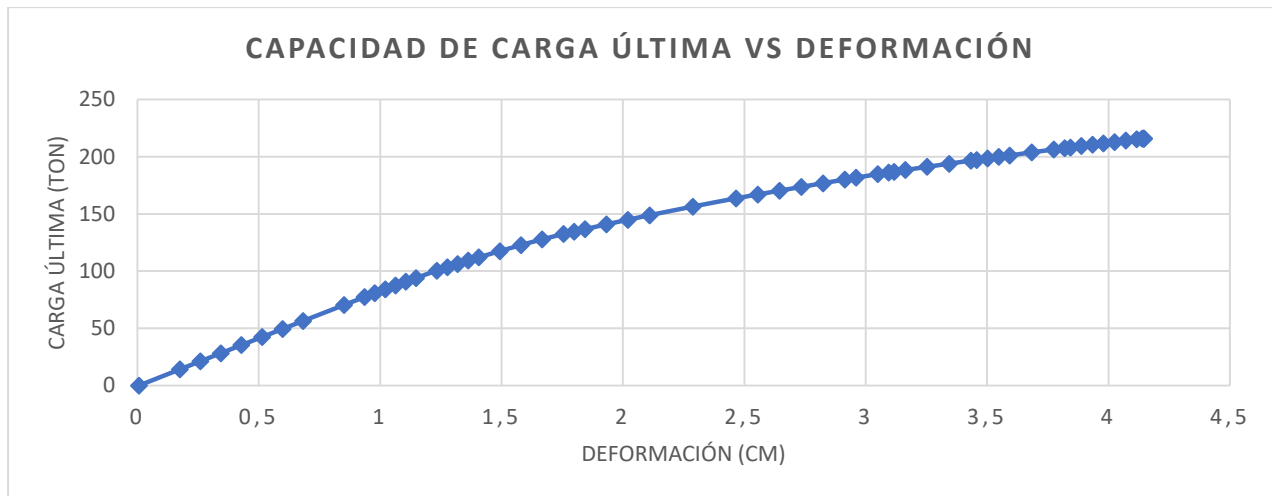
<b>Metodo Jambu +Alfa</b>				
<b>Capacidad por punta Qp (Ton)</b>	<b>Capacidad por friccion Qs (Ton)</b>	<b>Capacidad Ultima Qu (Ton)</b>	<b>Capacidad admisible Qadm (Ton)</b>	<b>Cantidad de pilotes</b>
Jambu	Alfa			
18,80	92,47	111,26	67,91	6

*Anexo 101. Resultados de diseño por metodología Jambu + Alfa. Sector Villagrande – Ternera, carga 4000 kN. Fuente:*

*Autores*

<b>Rs (kN)</b>	<b>Rb (kN)</b>	<b>Rc (kN)</b>	<b>Fs</b>	<b>Radm (kN)</b>	<b>Slim (mm)</b>
924.78	237.26	1162.04	2	581.02	32.9

*Anexo 102. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Villagrande – Ternera, Carga 4000 kN. Fuente: Autores*



*Anexo 103. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Villagrande- Ternera, carga 4000 kN.*

*Fuente: Autor*

### 9.13. DISEÑOS POZON- VILLA ESTRELLA

B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo total qu (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad total Q (ton)	Capacidad admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)
3	3,2	1,5	26,06	250,2	83,40	1,4

*Anexo 104. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Pozón – Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores*

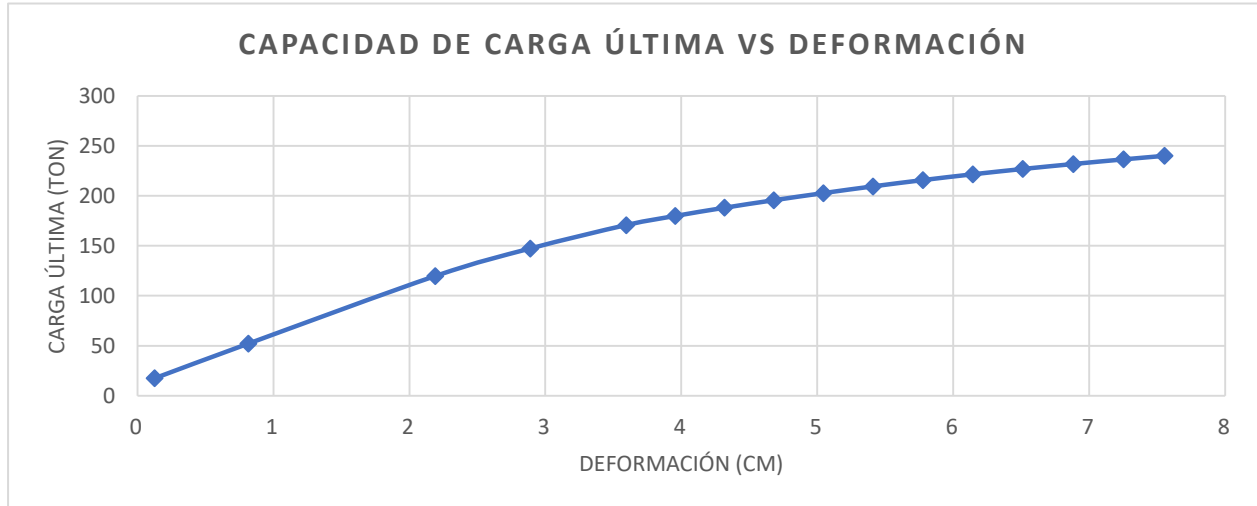
Capacidad portante vertical (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento de la cimentación (cm)	Prof. Zona de influencia (m)	Capacidad admisible de la cimentación (ton)	Factor de seguridad
23.23	0.62	4.8	148.67	1.5
			74.33	3

*Anexo 105. Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Pozón – Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores*

Para este caso no cumplió con el factor de seguridad de 3, por lo que el programa diseñó las dimensiones mínimas de la cimentación. .

B (m)	L (m)	Capacidad portante (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad admisible (ton)	Factor de seguridad
4.8	4.8	23.16	177.86	3

Anexo 106. . Dimensiones mínimas de diseño calculadas por el programa. Sector Pozón – Villa Estrella, carga 800 kN. Fuente: Autores



Anexo 107. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pozón – Villa Estrella, carga 4000 kN. Fuente: Autor

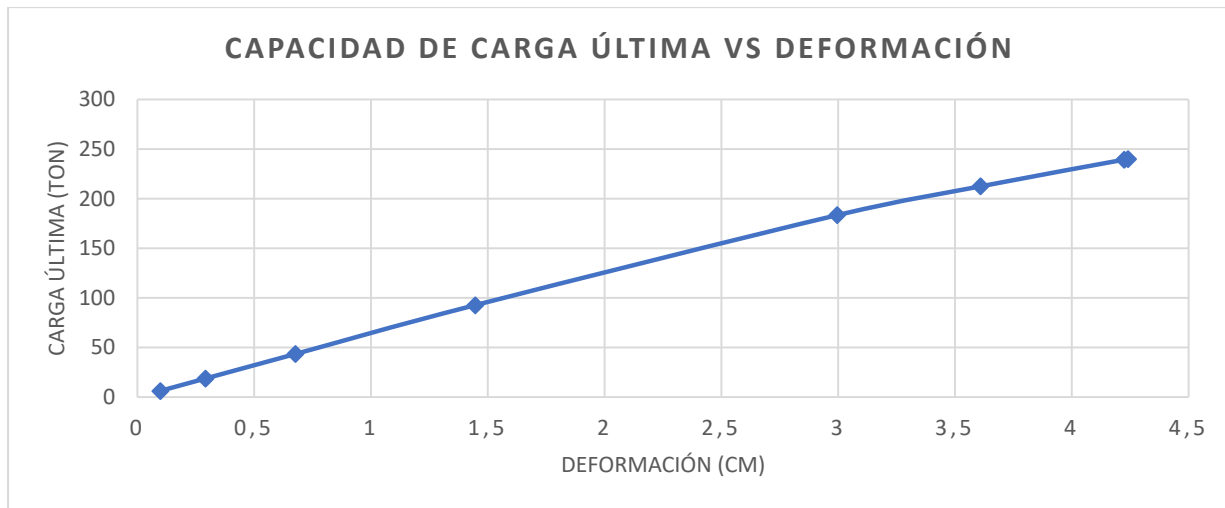
#### 9.14. DISEÑOS RODEO

B (m)	L (m)	DF (m)	Esfuerzo total qu (ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad total Q (ton)	Capacidad admisible Qadm (ton)	Asentamiento (cm)
5	6	2	42,99	1289,8	429,94	1,4

Anexo 108. Resultados de diseño por metodología Meyerhof. Sector Rodeo, carga 800 kN. Fuente: Autores

Capacidad portante vertical (ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento de la cimentación (cm)	Prof. Zona de influencia (m)	Capacidad admisible de la cimentación (ton)	Factor de seguridad
49.88	0.4	5	93.10	3
			186.24	1.5

Anexo 109. . Resultados capacidad admisible y asentamiento. Sector Rodeo, carga 800 kN. Fuente; Autores



*Anexo 110. Resultados capacidad ultima y del bulbo del pilote (Plaxis 3D). Sector Pozón – Villa Estrella, carga 4000 kN.*

*Fuente: Autor*