



CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 02 de agosto del 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Maria Alexandra Perdomo Tovar, con C.C. No. 1010148863,

Cesar Horacio Valencia Garrido, con C.C. No. 1003893773,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o titulado “Desarrollo y diseño de programa de software para el cálculo de capacidad portante de pilotes con metodologías analíticas y empíricas, usando como lenguaje de programación C#” presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de Ingenieros Civiles.

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN



SC 7384-1

SA-CERE 597528

OS-CER 597555

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

MARIA ALEXANDRA PERDOMO TOVAR

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

CESAR HORACIO VALENCIA GARRIDO

Firma:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: “Desarrollo y diseño de programa de software para el cálculo de capacidad portante de pilotes con metodologías analíticas y empíricas, usando como lenguaje de programación c#”

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Perdomo Tovar	Maria Alexandra
Valencia Garrido	Cesar Horacio

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gil Hernández	Jackson Andrés

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Romero Piñeros	Freddy Alirio

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingenieros Civiles

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva-Huila **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2024 **NÚMERO DE PÁGINAS:**124 Páginas

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X
 Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___
 Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Para leer el archivo de escrito de presentación se necesita un lector de PDF y para la lectura del código fuente del software es necesario instalar Visual Studio, ya para el programa este tiene su propio instalador el cual permite el funcionamiento de este después de instalado.

MATERIAL ANEXO:

- Documento de presentación de tesis
- Guía de instalación y manual de usuario
- Software (PilotAPP)

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

- Distinción Meritoria

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Capacidad portante</u>	<u>Bearing capacity</u>
2. <u>Desarrollo de software</u>	<u>Software development</u>
3. <u>Cimentaciones</u>	<u>Foundations</u>
4. <u>C#</u>	<u>C#</u>
5. <u>Pilotes</u>	<u>Piles</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente proyecto detalla el desarrollo de una herramienta de software que realiza el cálculo de capacidad portante de cimentaciones profundas (pilotes), haciendo uso de las metodologías analíticas y empíricas comúnmente utilizadas en el área de cimentaciones del programa de ingeniería civil de la Universidad Surcolombiana. Para la creación de la herramienta, este proyecto organizó las bases teóricas y técnicas tanto de la ingeniería civil como de desarrollo de software, donde se abarcan las metodologías en el área de



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN
DE BIBLIOTECAS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 4

cimentaciones, hasta la creación y validación del código en lenguaje C#, donde se evalúe como resultado final la efectividad del programa. Las bases teóricas utilizadas en este trabajo, se sustentan en metodologías analíticas y empíricas de diferentes autores (Meyerhof, Terzaghi, Vesic). La finalidad del proyecto fue generar un software digital de uso general en el área de geotecnia para cimentaciones profundas (pilotes) que calcule la capacidad portante, asentamientos elásticos para pilotes individuales, asentamientos por consolidación para grupos de pilotes y la eficiencia para estos; obteniendo como resultado final una herramienta digital tipo app para computadores, de fácil acceso, manejo y entendimiento, para los estudiantes y profesionales en el campo de la ingeniería civil.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This project details the development of a software tool that calculates the bearing capacity of deep foundations (piles), making use of the analytical and empirical methodologies commonly used in the area of foundations of the civil engineering program of the Universidad Surcolombiana. For the creation of the tool, this project organized the theoretical and technical bases of both civil engineering and software development, where the methodologies in the area of foundations are covered, up to the creation and validation of the code in the C# language, where the effectiveness of the program is evaluated as a final result. The theoretical bases used in this work are based on analytical and empirical methodologies of different authors (Meyerhof, Terzaghi, Vesic). The purpose of the project was to generate a digital software for general use in the area of geotechnics for deep foundations (piles) that calculates the bearing capacity, elastic settlements for individual piles, consolidation settlements for groups of piles and the efficiency for these; obtaining as a final result a digital tool for computers, of easy access, handling and understanding, for students and professionals in the field of civil engineering.

APROBACION DE LA TESIS “Desarrollo y diseño de programa de software para el cálculo de capacidad portante de pilotes con metodologías analíticas y empíricas, usando como lenguaje de programación c#”

Presidente Jurado: Jackson Andrés Gil Hernández

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN
DE BIBLIOTECAS**

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4

Nombre Jurado: Hernan Javier Castillo Ceron

Firma: _____

Nombre Jurado: Robinson Andrés Garzón Leiva

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

Desarrollo y diseño de programa de software para el cálculo de capacidad portante de pilotes con metodologías analíticas y empíricas, usando como lenguaje de programación C#

Development and design of a software program for the calculation of pile bearing capacity with analytical and empirical methodologies, using C# as programming language

Maria Alexandra Perdomo Tovar ^a y Cesar Horacio Valencia Garrido ^b,

RESUMEN: El presente proyecto detalla el desarrollo de una herramienta de software que realiza el cálculo de capacidad portante de cimentaciones profundas (pilotes), haciendo uso de las metodologías analíticas y empíricas comúnmente utilizadas en el área de cimentaciones del programa de ingeniería civil de la Universidad Surcolombiana. Para la creación de la herramienta, este proyecto organizó las bases teóricas y técnicas tanto de la ingeniería civil como de desarrollo de software, donde se abarcan las metodologías en el área de cimentaciones, hasta la creación y validación del código en lenguaje C#, donde se evalúe como resultado final la efectividad del programa. Las bases teóricas utilizadas en este trabajo, se sustentan en metodologías analíticas y empíricas de diferentes autores (Meyerhof, Terzaghi, Vesic). La finalidad del proyecto fue generar un software digital de uso general en el área de geotécnica para cimentaciones profundas (pilotes) que calcule la capacidad portante, asentamientos elásticos para pilotes individuales, asentamientos por consolidación para grupos de pilotes y la eficiencia para estos; obteniendo como resultado final una herramienta digital tipo app para computadores, de fácil acceso, manejo y entendimiento, para los estudiantes y profesionales en el campo de la ingeniería civil.

Palabras Clave: capacidad portante, desarrollo de software, cimentaciones, C#, pilotes

ABSTRACT: This project details the development of a software tool that calculates the bearing capacity of deep foundations (piles), making use of the analytical and empirical methodologies commonly used in the area of foundations of the civil engineering program of the Universidad Surcolombiana. For the creation of the tool, this project organized the theoretical and technical bases of both civil engineering and software development, where the methodologies in the area of foundations are covered, up to the creation and validation of the code in the C# language, where the effectiveness of the program is evaluated as a final result. The theoretical bases used in this work are based on analytical and empirical methodologies of different authors (Meyerhof, Terzaghi, Vesic). The purpose of the project was to generate a digital software for general use in the area of geotechnics for deep foundations (piles) that calculates the bearing capacity, elastic settlements for individual piles, consolidation settlements for groups of piles and the efficiency for these; obtaining as a final result a digital tool for computers, of easy access, handling and understanding, for students and professionals in the field of civil engineering.

Keywords: bearing capacity, software development, foundations, C#, piles.

^aEstudiante de pre-grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Surcolombiana

^bEstudiante de pre-grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Surcolombiana

1. Introducción

La cimentación es el elemento fundamental en la construcción de toda edificación, tiene como función la transferencia de cargas de la estructura al suelo (Peck et al., 2004), teniendo en cuenta que las cargas no deben sobrepasar la capacidad portante de este y que además los asentamientos que se generen no deben exceder los límites establecidos para la estabilidad de la edificación. Terzaghi (1936) en el primer congreso de mecánica de suelos en Harvard, indica que *“Si alguien desea interesarse con provecho en el campo de las cimentaciones, no solo debe conocer la teoría fundamental, los métodos de ensayo y una estimación de posibles errores, sino que precisa poseer además una experiencia que se adquiere mediante la práctica, por medio de las observaciones, en las obras”*. El reglamento colombiano de construcción sismo resistente “NSR-10” indica que toda edificación debe soportarse sobre el terreno en una forma adecuada para sus fines de diseño, construcción y funcionamiento, y que a estas a su vez se le deben diseñar empotrados a su base para que los esfuerzos se transmitan de forma adecuada a la cimentación. En la construcción, inicialmente se propone el diseño de cimentaciones superficiales donde estas reparten las cargas a través de sus elementos de apoyo sobre las superficies del terreno, ubicadas a poca profundidad; cuando este tipo de cimentaciones no garantiza la capacidad admisible de diseño, se deben plantear otras alternativas como el mejoramiento del suelo o el uso de cimentaciones profundas (Echevare, 1975), “el uso de pilotes es una de las técnicas más antiguas del hombre para superar las dificultades de la cimentación de estructuras en suelos blandos o de baja capacidad de soporte (Delgado, 2001). Antes del siglo XIX, el tipo de cimentación más común eran las zapatas continuas, y solo si el terreno era incapaz de soportar las presiones que ejercían las zapatas, se usaban pilotes” (Alva Hurtado, 2011). Tomando en cuenta la importancia del uso de pilotes como soporte para mega estructuras, es buena práctica de la ingeniería civil realizar el análisis para la determinación del número, dimensión

y la eficiencia necesaria para garantizar la funcionalidad de la cimentación de una edificación. (Ruiz, 2000) En el campo de la ingeniería a través de los años, se ha visto la adaptación de la tecnología en las diferentes ramas de trabajo, desarrollando distintas herramientas de software con el fin de obtener resultados de cálculos y diseños, optimizando los procesos de control y de construcción de obras (Cerquera & Blanco, 2020).

En tecnología según la revista Forbes(2023), Colombia es “el tercer receptor más grande de inversión de capital de riesgo, con un porcentaje de inversión de capital del 15 %, es un testimonio de su creciente ecosistema tecnológico”, donde se observa que en el país está progresando en áreas tecnológicas.

Werner Vogels (2023), director de tecnología de Amazon, también habla sobre el continuo progreso de la tecnologías en el mundo diciendo que avizora que la nube en los deportes, el mundo virtual, la energía renovable inteligente, la cadena de suministro y los chips con fines específicos redefinirán la manera en que vivimos, por eso, todo ámbito tendrá que acoplarse y sacar el máximo provecho de esta, ya que “De vez en cuando, una nueva tecnología, un antiguo problema y una gran idea se convierten en una innovación”(Dean Kamen, 2016). Con referencia a lo anterior, al incorporar la tecnología a la ingeniería enfocada en cimentaciones se han podido reflejar grandes cambios en el ámbito laboral y educativo (García et al, 2015), donde la optimización y aceleración de procesos reemplazarán aquellas metodologías antiguas de cálculo y de este modo se obtendrán resultados en menor tiempo; como arquetipo podemos ver diferentes herramientas digitales como: LPILE es programa de software y una de las soluciones más conocidas internacionalmente creada por la empresa Ensoft Inc., y se utiliza para el análisis de pilotes sometidos a cargas axiales, laterales y de momento; GEO5, utilizada principalmente para el cálculo de capacidad portante horizontal y vertical, haciendo uso de metodologías analíticas y numéricas; CPILOTE es un sencillo y potente programa, con enfoque educacional que realiza diversas comprobaciones geotécnicas y estructu-

rales sobre cimentaciones profundas tipo pilote; CY-PECAD es capaz de diseñar, calcular y dimensionar estructuras tipo pilotes en acero y en hormigón. Todos estos programas también le proporcionan al usuario, cálculos detallados y diagramas de capacidad de carga, asentamientos, deformaciones y otros aspectos relacionados con el comportamiento de pilotes para diferentes tipos de suelos y condiciones geotécnicas (Legarda et al, 2015). Por otra parte, en las aulas de clase también se han implementado herramientas tecnológicas para la formación académica encaminada a buscar la transformación del aprendizaje y calidad de enseñanza (Maggiño et al, 2006).

Por tales motivos se creó un programa de software (PilotAPP) para computador con el fin de apoyar, optimizar, agilizar cálculos de análisis de pilotes y grupos de pilotes, incluyendo funciones como el cálculo de la capacidad portante última, la capacidad portante por punta, por fuste, el cálculo de los asentamientos producidos y la eficiencia de grupo de estos, donde se implementaron metodologías propuestas por Terzaghi, Meyerhof y la metodología analítica, que al final podrán ser comparadas y analizadas. Todo esto para generar una herramienta que pueda servir de apoyo en el ámbito académico y profesional (Finalé & López, 2021).

2. Objetivos

Año tras año, se observó que los estudiantes buscan aprender sobre programas o aplicaciones que les ayuden a optimizar procesos de validación de cálculos y que al mismo tiempo expliquen las metodologías aplicadas; en la web se encuentran distintos programas enfocados en cálculos para diseñar cimentaciones (superficiales y profundas), pero no netamente se tratan de ellos, como ejemplo de estos programas están LPILE, CPILOTE, GEO5, entre otros, además de ser programas utilizados para el desarrollo de ejercicios de cimentaciones estos tienen en común que se debe pagar una licencia la cual en la mayoría de casos tiene un precio bastante elevado. Teniendo en cuenta lo an-

terior y buscando tener un impacto en los estudiantes de ingeniería civil de universidad Surcolombiana se planteó como objetivo desarrollar un software como herramienta digital para el cálculo de capacidad portante de cimentaciones profundas (pilotes) usando como lenguaje de programación C#; seleccionando los parámetros y métodos que se usarán como base para la herramienta digital; y así, realizar y validar un programa el cual sea capaz de determinar la capacidad y los asentamientos de pilotes mediante las metodologías propuestas por Terzaghi y Meyerhof. Además, crear un material (manual de usuario y video) el cual explica cada una de las funciones y comandos de la herramienta digital.

3. Marco teórico de las funciones de cálculo de PilotAPP

3.1. Método de Meyerhof

Este método se usa para calcular la capacidad (resistencia) por punta del pilote, teniendo en cuenta que en muchos estudios publicados se analiza la determinación de los valores de la capacidad de soporte de carga en la punta del pilote y la resistencia por fricción o fuste del pilote con Meyerhof (Das, 2012).

El método se resumen en los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se determina el área transversal del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este mismo. La fórmula para el área transversal de un círculo es la siguiente:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (1)$$

2. Luego se calcula el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote

$$\sigma v = \sum (y_{h_1} * z_1) + ((y_{h_1} - y_w) * z_1) + \dots \dots + (y_{h_n} * z_n) + ((y_{h_n} - y_w) * z_n) \quad (2)$$

3. Ahora se procede a encontrar la relación longitudinal de empotramiento/diámetro con la siguiente

gráfica para hallar la longitud de empotramiento mínima que debe cumplir el pilote para poder usar los factores N_c y N_q .

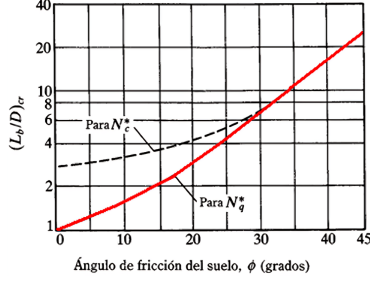


Figura 1: Variación de $(L_b/D)_{cr}$ con el ángulo de fricción del suelo (Tomado de Meyerhof, 1976)

- Se calcula la longitud de empotramiento mínima con la cual debe cumplir el pilote para poder usar la gráfica que determina los valores de los factores de N_c y N_q . (El factor i es el resultado de la relación longitud de empotramiento/diámetro)

$$L_b = i * D \quad (3)$$

$$L \geq L_b \quad (4)$$

3.1.1. Meyerhof

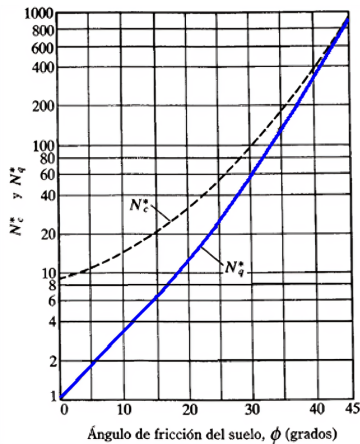


Figura 2: Variación de los valores máximos de N_c y N_q , con el ángulo de fricción del suelo ϕ (Tomado de Meyerhof, 1976)

- Si se cumple la condición de la ecuación 4, se ingresa a la gráfica de la figura 2 y se encuentran los valores de los factores de N_c y N_q , teniendo en cuenta el ángulo de fricción del suelo inmediatamente debajo de la punta.
- Después de obtener los valores de los factores N_c y N_q , se procede a calcular la carga vertical que soporta el pilote y también la carga vertical máxima que puede soportar el pilote.

$$q = N_q * \sigma v \quad (5)$$

$$q_{max} = 0,5 * N_q * P_a * \tan(\phi) \quad (6)$$

- Al obtener el valor de la carga vertical soportada por el pilote y la máxima, se evalúan según la siguiente condición.

$$q \leq q_{max} \quad (7)$$

- Cuando se cumple la condición, se usa la carga vertical que soporta el pilote para encontrar la resistencia que tiene el pilote por punta (ecuación 8) y si no se cumple la condición anterior, se debe usar la carga vertical máxima para hallar la resistencia del pilote por punta (ecuación 9). La fórmula de la resistencia por punta del pilote por el método de Meyerhof es la siguiente:

$$Q_p = A_p * (q + (N_c * C)) \quad (8)$$

$$Q_p = A_p * (q_{max} + (N_c * C)) \quad (9)$$

- Y para terminar se calcula la resistencia por punta admisible o permisible que puede tener el pilote teniendo en cuenta el factor de seguridad que se aplique.

$$Q_{p_{admissible}} = \frac{Q_p}{FS} \quad (10)$$

3.1.2. Promedios

- Si no se cumple la condición de la ecuación 4, se procede a aplicar el método de promedios, en el cual se halla la longitud activa y pasiva que están

involucradas en el pilote teniendo en cuenta el tipo de suelo con el que se trabaja, ya sean cohesivos o granulares.

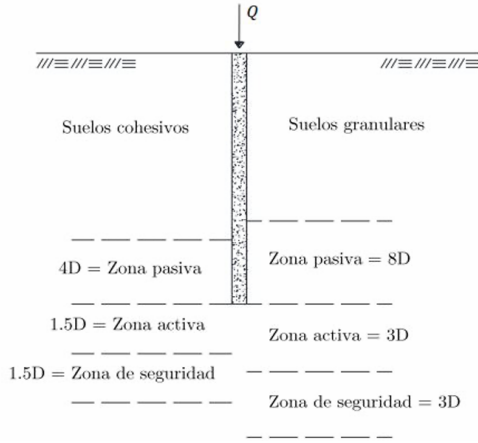


Figura 3: Longitud activa y pasiva en función al diámetro del pilote (Tomado de Gil Hernandez, 2021)

2. Luego de encontrar las longitudes activa y pasiva del terreno según su tipo, se procede a promediar los ángulos de fricción y las cohesiones de los estratos involucrados, teniendo en cuenta cada uno de los espesores de los estratos involucrados.

$$C_{prom} = \frac{\sum(C_1 * z_1) + \dots + (C_n * z_n)}{L_{activa} + L_{pasiva}} \quad (11)$$

$$\phi_{prom} = \frac{\sum(\phi_1 * z_1) + \dots + (\phi_n * z_n)}{L_{activa} + L_{pasiva}} \quad (12)$$

3. Con el ángulo de fricción y la cohesión promedio, se realizan cada uno de los pasos descritos en el proceso del método de Meyerhof.

3.2. Método de Terzaghi

En este método se calcula la capacidad (resistencia) por punta del pilote. Terzaghi fue el primero en presentar una teoría completa para evaluar la capacidad de carga última de cimentaciones aproximadamente superficiales (Das, 2012).

El método se resumen en los siguientes pasos:

1. Como primer paso, se determina el área transversal del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este mismo. La fórmula para el área transversal de un círculo es la siguiente:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (13)$$

2. Luego se calcula el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote

$$\sigma_v = \sum(y_{h_1} * z_1) + ((y_{h_1} - y_w) * z_1) + \dots \dots + (y_{h_n} * z_n) + ((y_{h_n} - y_w) * z_n) \quad (14)$$

3. Se definen los factores de forma y se determina el factor K_{py} teniendo en cuenta el ángulo de fricción del suelo,

$$S_c = 1,3$$

$$S_y = 0,6$$

$$S_q = 1,0$$

ϕ	K_{py}	ϕ	K_{py}
0	10.8	25	35
5	12.2	30	52
10	14.7	35	82
15	18.6	40	141
20	25.0	45	298
		50	800

Tabla 1: Valores K_{py} de acuerdo al ángulo de fricción (Tomado de Gil Hernández, 2021)

4. Con el factor K_{py} determinado se procede a calcular los valores de los factores de carga,

$$N_q = \frac{e^{2 * (\frac{3 * \pi}{4} - \frac{\phi_{radianes}}{2}) * \tan(\phi)}}{2 * \cos^2(45 + \frac{\phi}{2})} \quad (15)$$

$$N_y = \frac{\tan(\phi)}{2} * (\frac{K_{py}}{\cos^2(\phi)} - 1) \quad (16)$$

$$N_c = (N_q - 1) * \cot(\phi) \quad (17)$$

5. Después se procede a calcular la carga vertical que soporta el pilote y también la carga vertical última que puede soportar el pilote.

$$q = N_q * \sigma_v \quad (18)$$

$$q_{ult} = (C * N_c * S_c) + q + \left(\frac{y}{2} * N_y * S_y * D\right) \quad (19)$$

6. Al final, se calcula la resistencia por punta del pilote teniendo en cuenta la carga vertical última soportada por el pilote y también se calcula la resistencia por punta admisible, teniendo en cuenta el FS aplicado.

$$Q_p = A_p * q_{ult} \quad (20)$$

$$Q_{p_{admissible}} = \frac{Q_p}{FS} \quad (21)$$

3.3. Método Analítico

Este es un método usado para calcular la capacidad (resistencia) friccionante en el fuste del pilote para suelos heterogéneos y homogéneos, combinando el método α de arcillas y el método de cálculo de resistencia por fricción en arena, propuestos en el libro “Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones”. (Das, 2012). El método se resume en los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se determina el perímetro del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este mismo.
2. Ahora se calcula el valor de la longitud crítica, la cual determinará hasta qué punto aumentará y se convertirá en constante la resistencia por fricción del pilote.

$$L' = 15 * D \quad (22)$$

3. Luego, se obtiene el valor del factor empírico de adhesión alfa de la siguiente gráfica, teniendo en cuenta la cohesión de cada estrato que influye en el pilote.

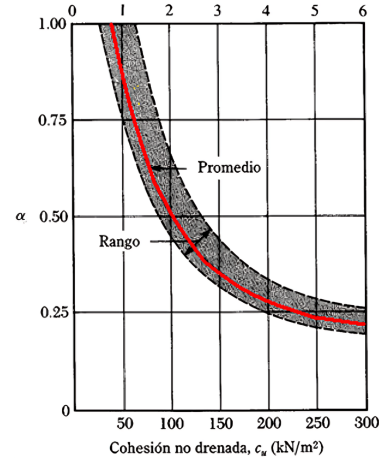


Figura 4: Variación de con la cohesión no drenada de una arcilla (Tomado de Das, 2001).

4. Se procede a hallar en cada estrato que afecta el fuste del pilote, el coeficiente efectivo de presión de tierra teniendo en cuenta el desplazamiento que tendrá el pilote, ya sea un desplazamiento bajo, alto o con ayuda de chorro de agua. *El programa permite usar las siguientes ecuaciones o ingresar el valor directamente.*

Para pilotes hincados o perforados con ayuda de chorro de agua:

$$K_o = 1 - \sin(\phi) \quad (23)$$

Para pilotes hincados de bajo desplazamiento :

$$K_o = 1 - \sin(\phi) \rightarrow K_o = 1,4 * (1 - \sin(\phi)) \quad (24)$$

Para pilotes hincados de alto desplazamiento :

$$K_o = 1 - \sin(\phi) \rightarrow K_o = 1,8 * (1 - \sin(\phi)) \quad (25)$$

5. Se determina ahora el valor del ángulo de fricción suelo-pilote (δ) usando el 80 % del ángulo de fricción de cada estrato que afecta el fuste del pilote.

$$\delta = 0,8 * \phi \quad (26)$$

6. Luego se calculan los esfuerzos verticales a la mitad de cada estrato involucrado en el fuste del pilote, teniendo en cuenta la longitud crítica, el nivel freático y la punta del pilote.

$$\sigma v = \sum (y_{h_1} * z_1) + ((y_{h_1} - y_w) * z_1) + \dots \quad (27)$$

$$\dots + (y_{h_n} * z_n) + ((y_{h_n} - y_w) * z_n)$$

7. Después de obtener cada esfuerzo vertical involucrado en el fuste del pilote teniendo en cuenta la longitud crítica, se procede a calcular cada una de las resistencias por fricción producidas por cada estrato, donde se usa la siguiente fórmula.

$$Q_s = K_o * \sigma v * \tan(\delta) * P * L_{estrato} \quad (28)$$

8. La $L_{estrato}$ hace referencia al espesor de cada estrato, ya sea su parte sumergida, húmeda, si son totalmente sumergidos o totalmente húmedos. Para el esfuerzo vertical en la punta se usaría la siguiente ecuación,

$$Q_s = K_o * \sigma v * \tan(\delta) * P * (L - L') \quad (29)$$

9. Luego de hallar cada resistencia por fricción del pilote para cada caso presentado en cada estrato, se realiza una sumatoria para encontrar la resistencia por fricción total del pilote y por último se calcula la resistencia por fricción admisible del pilote teniendo en cuenta el factor de seguridad (FS) aplicado.

$$\sum Q_s = (Q_{s_1} + Q_{ss_1} + Q_{sns_1} + Q_{sp_1}) + \dots \quad (30)$$

$$\dots + (Q_{s_n} + Q_{ss_n} + Q_{sns_n} + Q_{sp_n})$$

$$Q_{p_{admisible}} = \frac{\sum Q_s}{FS} \quad (31)$$

3.4. Eficiencia de pilotes

La eficiencia de pilotes es un proceso que permite calcular el rendimiento que tiene un pilote con respecto a un grupo de pilotes teniendo en cuenta la carga que soportan. Con los datos de resistencia individual, grupal y el número de pilotes se determina la eficiencia con la siguiente ecuación:

$$n_e = \frac{Q_{total.gp}}{(Q_{p_{admisible}} + Q_{s_{admisible}}) * \#pilotes} \quad (32)$$

3.5. Bulbo de influencia

Es la zona del terreno que se ve mayormente afectada por la cimentación y, además, la zona que más influye y colabora en la capacidad portante del pilote.

3.5.1. Bulbo de influencia para pilotes individuales

Para los pilotes individuales, el bulbo de influencia es el siguiente:

$$Z_{bulbo} = 2 * D \quad (33)$$

3.5.2. Bulbo de influencia para grupo de pilotes

1. Inicialmente, se calcula el valor de B'_g y de L'_g , teniendo en cuenta las medidas del cabezal del pilote.

$$B'_g = \frac{B_g}{2} \quad (34)$$

$$L'_g = \frac{L_g}{2} \quad (35)$$

2. Luego se supone una longitud a la cual llegará el bulbo de influencia, donde el programa por defecto usa el valor de 1m para la longitud del bulbo de influencia, para así entrar en un ciclo de iteraciones, mediante factores que van modificando el valor de la longitud del bulbo de influencia, hasta encontrar un factor de influencia individual de 0,025 y un factor de influencia total de 0,1.

$$m = \frac{B'_g}{Z_{bulbo}} \quad (36)$$

$$n = \frac{L'_g}{Z_{bulbo}} \quad (37)$$

3. Ahora se hace una evaluación para saber qué fórmula de influencia individual usar.

$$(m^2 + n^2 + 1) > (m^2 * n^2)$$

4. Si se cumple esta condición, se usará la siguiente fórmula para el factor de influencia individual

$$I_{ind} = \frac{1}{4 * \pi} * \dots * \left(\frac{2 * m * n * \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 + (m^2 * n^2)} * \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \dots \tan^{-1} \left(\frac{2 * m * n * \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - (m^2 * n^2)} \right) \right) = 0,25 \quad (38)$$

Si no se cumple la condición, la fórmula es la siguiente y se le agregaría un pi.

$$I_{ind} = \frac{1}{4 * \pi} * \dots * \left(\frac{2 * m * n * \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 + (m^2 * n^2)} * \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \dots \tan^{-1} \left(\frac{2 * m * n * \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - (m^2 * n^2)} \right) + \pi \right) = 0,25 \quad (39)$$

Para luego hallar el factor de influencia total

$$I_{total} = 4 * I_{ind} = 0,1 \quad (40)$$

5. Cuando los factores de influencia cumplan con sus valores meta, se encuentra la longitud del bulbo de influencia que tiene el grupo de pilotes y se procede a encontrar el esfuerzo inicial y el diferencial del bulbo de influencia.

$$q_o = \frac{Q_{in}}{B_g * L_g} \quad (41)$$

$$\Delta \sigma = q_o * I_{total} \quad (42)$$

3.6. Asentamientos Elásticos

El cálculo de asentamientos elásticos para pilotes individuales se resumen en los siguientes pasos:

1. Como primer paso, con los datos ingresados en el programa, se calcula la resistencia unitaria por punta del pilote y también se calcula el valor del perímetro del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este.

$$q_p = \frac{Q_P}{A_p} \quad (43)$$

2. Luego, se halla el valor del factor de influencia para el fuste con la siguiente fórmula y toma el valor del factor de influencia para la punta con un valor de 0,85.

$$I_{ws} = 2 + (0,35 * \sqrt{\frac{L}{D}}) \quad (44)$$

$$I_{wp} = 0,85$$

3. Al tener todos los valores anteriores, se procede a calcular los tres tipos de asentamientos elásticos que existen, los cuales son:

1) El asentamiento elástico producido por el mismo pilote, aplicando los principios de la mecánica de materiales.

2) El asentamiento elástico ocasionado por la carga soportada en la punta del pilote.

3) El asentamiento elástico ocasionado por la carga soportada en el fuste del pilote.

Las fórmulas que se usan para hallar cada uno de estos asentamientos son las siguientes:

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_p + (\xi * Q_s)) * L}{A_p * E_p} \quad (45)$$

$$S_{e(2)} = \frac{q_p * D}{E_s} * (1 - \mu_s^2) * I_{wp} \quad (46)$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_s}{P * L} \right) * \frac{D}{E_s} * (1 - \mu_s^2) * I_{ws} \quad (47)$$

4. Por último, para obtener el asentamiento elástico total del pilote, lo que se hace es sumar cada uno de los tres asentamientos expuestos anteriormente.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (48)$$

3.7. Asentamientos por Consolidación

El cálculo de asentamientos por consolidación para grupos de pilotes se resumen en los siguientes pasos:

1. Inicialmente se calcula la profundidad a la que la carga se transmite al suelo y desde la cual se empezará a desarrollar el bulbo de influencia para grupos de pilotes, es decir a $(2/3) * L$
2. Luego se calcula el incremento de esfuerzo efectivo causado en la mitad de cada estrato del suelo por la carga Q , con la siguiente fórmula. Se debe tener en cuenta que Z_i hace referencia a la longitud del bulbo de influencia:

$$\Delta\sigma'_i = \frac{Q_g}{(B_g + Z_i) * (L_g + Z_i)} \quad (49)$$

3. A continuación, se calcula el esfuerzo vertical que se produce a partir de la distancia de $(2/3)*L$ hasta el z de desarrollo del bulbo de influencia, donde se halla el esfuerzo a la mitad de todos los estratos que estén en la longitud del bulbo de influencia.

$$\sigma_v = \sum (y_{h_1} * z_1) + ((y_{h_1} - y_w) * z_1) + \dots \quad (50)$$

$$\dots + (y_{h_n} * z_n) + ((y_{h_n} - y_w) * z_n)$$

4. Luego, se halla el asentamiento por consolidación para cada estrato en consideración. Se debe tener en cuenta que el valor de H_c en la fórmula corresponde al espesor del bulbo de influencia en el estrato que le corresponda.

$$S_{cestrato} = \left(\frac{C_c + H_c}{1 + e_o} \right) * \dots \quad (51)$$

$$\dots * \left(\log \left(\frac{\sigma_{vcestrato} + \Delta\sigma'_i}{\sigma_{vcestrato}} \right) \right)$$

5. Finalmente se suman los asentamientos calculados para cada estrato afectado y se obtiene el asentamiento total causado por la carga aplicada en el grupo de pilotes.

$$\Delta S_{c(g)} = \sum S_{cestratos} \quad (52)$$

4. Diseño del Software

La herramienta computacional PilotAPP resuelve de manera interactiva cinco problemas de cimentaciones profundas (pilotes) para los estudiantes de ingeniería civil, como es el cálculo de la resistencia por punta, por fricción en el fuste, la eficiencia, el bulbo de influencia, los asentamientos elásticos (pilotes individuales) y por consolidación (grupos de pilotes).

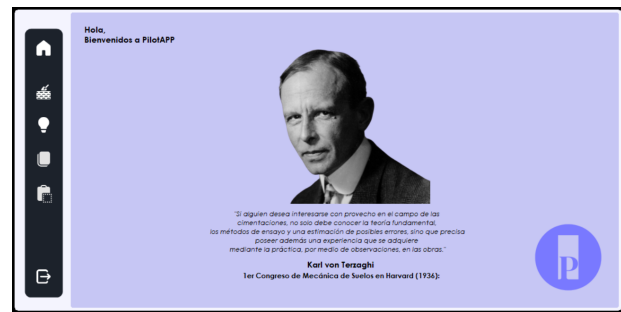


Figura 5: Interfaz principal de PilotAPP

4.1. Estructura de la herramienta

PilotAPP se estructura en tres partes partes: pre-proceso, solución y post-proceso. En el pre-proceso se escoge la función que se quiera usar y se cargan los datos de entrada del problema, en la solución se lanza el código de programación de cálculo que resuelve el problema, y en el post-proceso se presentan los resultados de los cálculos (Pallaraes M, Rocío M & Rodriguez C, Wilson, 2006, p. 61).

1. **Pre-proceso:** Función de cálculo y entrada de datos.

- **Funciones:** Este espacio de trabajo generado por el botón funciones, contiene cada una de las funciones de cálculo que tiene el usuario a su disposición para usar.



Figura 6: Funciones de cálculo de PilotAPP

- **Entrada de datos:** Al seleccionar la función de cálculo deseada, esta despliega un espacio de trabajo nuevo en el cual se encuentran los diferentes módulos para la entrada de datos, como lo son los datos del pilote, del suelo (general) y los estratos. Además, este espacio de trabajo tendrá una ventana gráfica en la que se observa una representación de los datos ingresados.

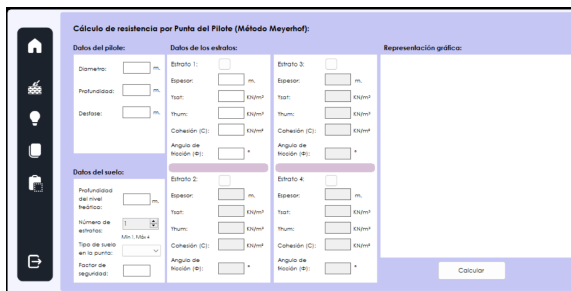


Figura 7: Interfaz de la función de cálculo de resistencia por punta (Método Meyerhof)

2. **Solución:** Código de programación del cálculo.

- **Calcular:** Al presionar el botón calcular de la función de cálculo seleccionada, el software ejecuta el código de programación usado para esa función, teniendo en cuenta cada uno de los datos ingresados del problema y abrirá ventana nueva en la cual se entregan los resultados obtenidos.

```

ASO 5
(znf >= zr 55 znf < (z1 + z2 + z3))

if (znf >= z1)
{
  if (znf >= (z1 + z2))
  {
    if (znf <= df)
    else
    {
      //Sub-caso 4
      ev1 = z1 * yh1;
      ev2 = z2 * yh2;
      evns3 = ((df - z1 - z2) * yh3) + (((znf - df) / 2) * (yh3)) +
      evs3 = ((znf - z1 - z2) * yh3) + (((z1 + z2 + z3 - znf) / 2) *
      qsn3 = ((c3 * alfa3) + (evns3 * ko3 * (Math.Tan(delta3 * (Pi /
      qss3 = ((c3 * alfa3) + (evs3 * ko3 * (Math.Tan(delta3 * (Pi /
      Console.WriteLine("El esfuerzo vertical en el estrato 1: " + e
      Console.WriteLine("El esfuerzo vertical en el estrato 2: " + e
      Console.WriteLine("El esfuerzo vertical en la parte del pilote
      Console.WriteLine("El carga admisible en la parte no sumergida de
      Console.WriteLine("El carga admisible en la parte sumergida de
    }
  }
}

```

Figura 8: Sección del código fuente de programación

Resultados del Cálculo de resistencia por punta del Pilote (Método Meyerhof):

- Se determina el área transversal del pilote
- El área transversal del pilote es de: m²
- Se procede a calcular el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote
- El esfuerzo vertical de la punta del pilote es de: KN/m²
- Se encuentra la relación de empalmamiento-diámetro, teniendo en cuenta las gráficas del manual, para determinar si se pueden aplicar los factores de Nq y Nq
- La relación de longitud de empalmamiento-diámetro para usar Nq es de:
- La relación de longitud de empalmamiento-diámetro para usar Nq es de:
- Se verifica ahora cuál es la longitud de empalmamiento mínima que debe tener el pilote para poder usar los factores de Nq y Nq
- La longitud de empalmamiento mínima para usar Nq es de: m
- La longitud de empalmamiento mínima para usar Nq es de: m
- La longitud de empalmamiento del pilote es de: m
- Como la longitud de empalmamiento del pilote es mayor a la longitud de empalmamiento mínima para usar Nq y Nq, se procede a encontrar los valores de Nq y Nq de la tabla que se muestra en el manual
- Nq :
- Nq :

Figura 9: Ventana de resultados

- Con los factores y el esfuerzo vertical en la punta del pilote, se calcula el valor de la carga vertical (q) que soporta el pilote y la carga vertical máxima que puede soportar el pilote
- Carga vertical (q): KN/m²
- Presión atmosférica (Pa): KN/m²
- Carga vertical máxima (qmáx): KN/m²
- Como la carga vertical (q) es menor a la carga vertical máxima (qmáx) que puede soportar el pilote, entonces, para el cálculo de la resistencia por punta del pilote se usa la carga vertical del pilote
- Resistencia por punta del pilote es de (Q): KN
- Resistencia admisible por punta del pilote es de (Qadm): KN

Figura 10: Ventana de resultados

3. Postproceso: Presentación de los resultados.

- **Reporte de cálculos:** el botón de guardar de la ventana de resultados permite al usuario generar un archivo en formato de texto (.txt) donde se muestra cada uno de los resultados obtenidos por la función usada.

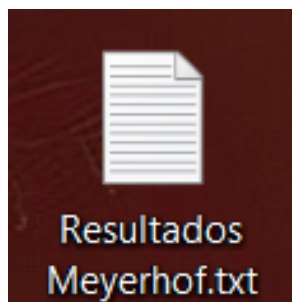


Figura 11: Proceso del reporte de cálculos (archivo .txt)

4.2. Uso de la herramienta

A continuación, se realiza un ejercicio del libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) para la validación de la función de cálculo de resistencia por punta (método de Meyerhof) de PilotAPP.

- Título:** Capítulo 11: Cimentaciones con Pilotes (Ejemplo 11.2)
- Referencia:** Das, Braja M. (2012), *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.[p. 566]
- Descripción:** Considere un pilote de tubo (punta de hincada plana: consulte la figura 11.2d) que tiene un diámetro exterior de 406 mm. La longitud de empotramiento del pilote en arcilla estratificada saturada es de 30 m. *El nivel freático se ubica a una profundidad de 5 m desde la superficie del terreno.* Los siguientes son los detalles del subsuelo:

<i>Profundidad desde la superficie del terreno (m)</i>	<i>Peso específico saturado (gamma) (kN/m³)</i>	<i>Cu (kN/m²)</i>
0-5	18	30
5-10	18	30
10-30	19.6	100

Tabla 2: Datos del suelo. Fuente: Das, Braja M. (2012), *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.

1. Para calcular la resistencia por punta del pilote se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_p = A_p * q_p = A_p * (C' * N_c + q' * N_q) \quad (8)$$

En donde el segundo termino se convierte en 0 kN/m² debido a que el suelo no tiene ángulo de fricción, además por este motivo y debido a que se encuentra empotrado en solo un estrato el valor del factor de carga N_c es 9.

$$Q_p = A_p * C' * 9$$

2. Finalmente se aplica la formula anterior, como la punta del pilote está apoyada en arcilla con una cohesión de 100 kN/m², por lo tanto,

$$Q_p = 9 * 100 \frac{kN}{m^2} * \left(\frac{\pi * 0,406^2}{4} \right)$$

$$Q_p = 116,516 \text{ kN}$$

5. Comparación de resultados

En la tabla 3 se presenta la comparación entre la solución de referencia (Das, 2012) y el software PilotAPP. La variación de resultados es mínima y puede ser característica de la divergencia que existe entre los grados de precisión usados en ambos procesos.

<i>Parámetros a evaluar</i>	<i>Solución aportada por el ejemplo 11.02</i>	<i>Solución aportada por PilotAPP</i>
Área		
transversal del pilote (m^2)	0.1294	0.129
Factor N_c	9	9
Factor N_q	1	1
Resistencia por punta del pilote (kN)	116.5	116.516

Tabla 3: Comparación de resultados obtenidos por el libro y el programa. Fuente: Elaboración

$$\% \text{ error} = \frac{|116,516 - 116,5|}{116,5} * 100 \%$$

$$\% \text{ error} = 0,0137 \%$$

6. Conclusiones y recomendaciones

Finalmente se ha desarrollado un programa de software para el cálculo de la Capacidad portante de pilotes con metodologías analíticas y empíricas que podrá ser utilizado para optimizar procesos de cálculos extensos en el área de cimentaciones, además, permite al usuario visualizar una ilustración de la estratificación del suelo y poder generar un reporte escrito con los resultados obtenidos en un archivo txt.

Teniendo en cuenta que el programa se creó con los procedimientos expuestos en las referencias bibliográficas, se recomienda que la función de cálculo de “resistencia por punta (Método Terzaghi)” se use en suelos granulares o heterogéneos, y no en suelos homogéneamente cohesivos ya que las formulas que se emplean en el método son directamente dependientes del ángulo de fricción que se digita en cada estrato de suelo. También se recomienda tener en cuenta que el programa tiene la limitación de solo trabajar con pilotes de forma circular.

Referencias

- Alva Hurtado, Jorge E. (2011), *Diseño de Cimentaciones*. Lima-Perú: Guzlop Editoras.
- Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, AIS (2010), *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente”NSR-10”*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Cerquera Niño, P. A., & Blanco Reyes, M. F. (2020). *Aplicativo en calculadora TI-NSPIRE CX CAS, para el análisis de cimentaciones profundas tipo pilotes*. Universidad de Pamplona (Diciembre del 2019).
- Das, Braja M. (2012), *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Das, Braja M. (2001), *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. México, D.F: Editorial Thomson editores, Cuarta edición.
- Delgado V, Manuel (2001), *Ingeniería de fundaciones. Fundamentos e introducción al análisis geotécnico*. Editorial Colombiana de Ingeniería.
- De los Santos Finalé, M. V., & López, R. V. P. (2021). *La educación en ciencia, tecnología y sociedad para la formación investigativa del Ingeniero Civil*. Sapientiae, 7(1), 94-105.
- Echave Mercado, R. (1975), *Cimentación por pilotes. Fichas Fundación MUSAAT: ISSN 2340-7573*.
- Forbes Staff (01 de septiembre del 2023), *Colombia es el tercer país que más se destaca en la transformación digital de América Latina, indica reporte*. Forbes. Disponible en: <https://forbes.co/2023/09/01/tecnologia/colombia-es-el-tercer-pais-que-mas-se-destaca-en-la-transformacion-digital-de-america-latina-indica-reporte>.
- Legarda A, Andres F & Medina P, Luis O (2015). *Aplicación de cimentaciones profundas de suelos cohesivos en la Sabana de la ciudad de Bogota*

- D.C. *Proyecto para optar a título de ingeniero civil*. Universidad Piloto de Colombia.
- García, C. M., Domínguez, C. Y., & Ruiz, C. M. (2015). *Enseñar con tecnologías digitales en la Universidad*. Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación, (45), **117-124**.
- Gil Hernández, Jackson Andrés. (2021), *Material de apoyo dado en las clases del curso de Cimentaciones*. Neiva-Huila.
- Maguiño, M. A. G., Romero, S., Lozano, R. A. R., & Mendocilla, G. F. G. (2020), Tecnología en el proceso educativo:nuevos escenarios. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 25(92), **1809-1823**.
- Sorvino, Chloe (09 de junio del 2016), *One Of America's Most Successful Inventors Dean Kamen Talks Segway, Clean Water And Robotics*. Forbes. Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/chloesorvino/2016/06/09/dean-kamen-inventor-success-segway-water-purification-toyota/?sh=4524e126555e>
- Pallares Muñoz, Myriam Rocío; Rodríguez Calderón, Wilson (Diciembre de 2006), Diseño de un software educativo para el análisis de educativo para el análisis de sistemas hidráulicos a presión en ingeniería civil. *Revista Ingeniería e Investigación Vol. 26 No.3*, 58-66.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (2004), *Ingeniería de cimentaciones*. México. Editorial Limusa S.A. De C.V.
- Ruiz, J. C. (2000), *Cálculo de estructuras de cimentación*. España, Madrid: INTEMAC EDICIONES, Cuarta edición.
- Vogels, Werner (2023), *Werner Vogels' Tech Predictions for 2023 and Beyonds*. AWS.

A: Anexo: Validaciones realizadas para el software PilotAPP

Caso 1: Cálculo de resistencia por punta (Método de Meyerhof)

A continuación, se realizará el ejemplo 11.2 del libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) para la validación de la función de “cálculo de resistencia por punta (método de Meyerhof)” del programa.

Considere un pilote de tubo que tiene un diámetro exterior de 406 mm. La longitud de empotramiento del pilote en arcilla estratificada saturada es de 30 m. Los siguientes son los detalles del subsuelo:El nivel freático se ubica a una profundidad de 5 m desde la superficie del terreno.

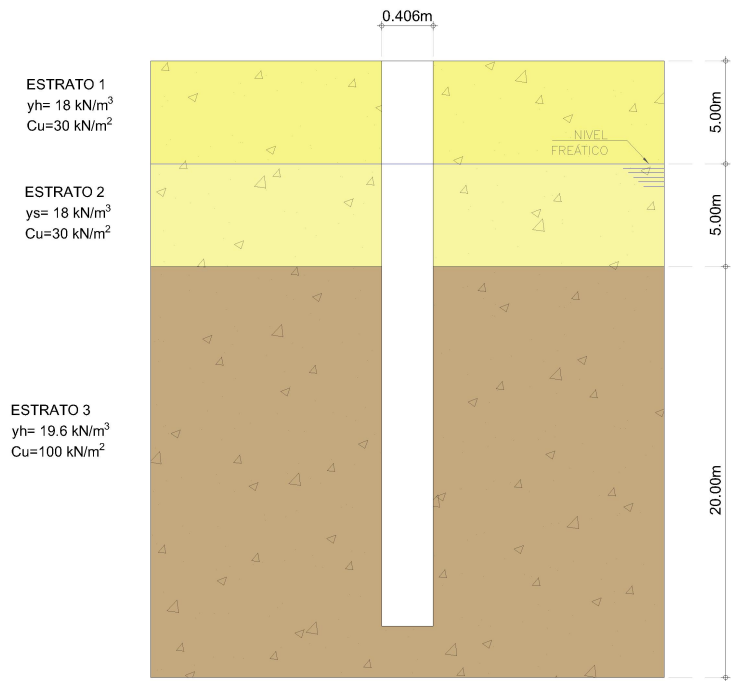


Figura 12: Ilustración del caso 1. Elaboración propio

<i>Profundidad desde la superficie del terreno (m)</i>	<i>Peso específico saturado (gamma) (kN/m³)</i>	<i>Cu (kN/m²)</i>
0-5	18	30
5-10	18	30
10-30	19.6	100

Tabla 4: Datos del suelo. Fuente: Das, Braja M. (2012), *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.

Solución caso 1

Paso 1: Para calcular la resistencia por punta se tiene la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p * q_p \\ &= A_p * (C' * N_c + q' * N_q) \\ &= A_p * (C' * N_c + 0) \end{aligned}$$

En donde el segundo termino se convierte en 0 kN/m^2 debido a que el suelo no tiene ángulo de fricción, además por este motivo y debido a que se encuentra empotrado en solo un estrato el valor del factor de carga N_c es 9.

$$Q_p = A_p * C' * 9$$

La punta del pilote está apoyada en arcilla con una cohesión de 100 kN/m^2 , por lo tanto,

$$Q_p = 9 * 100kN/m^2 * \left(\frac{\pi \times (0,406)^2}{4} \right) = 116,516kN$$

Resultados del Cálculo de resistencia por punta del Pilote (Método Meyerhof):

1. Se determina el área transversal del pilote

- El área transversal del pilote es de: m²

2. Se procede a calcular el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote

- El esfuerzo vertical de la punta del pilote es de: KN/m²

3. Se encuentra la relación de empotramiento-diámetro, teniendo en cuenta las gráficas del manual, para determinar si se pueden aplicar los factores de N_q y N_q

- La relación de longitud de empotramiento-diámetro para usar N_q es de:

- La relación de longitud de empotramiento-diámetro para usar N_q es de:

4. Se verifica ahora cuál es la longitud de empotramiento mínima que debe tener el pilote para poder usar los factores de N_q y N_q

- La longitud de empotramiento mínima para usar N_q es de: m

- La longitud de empotramiento mínima para usar N_q es de: m

- La longitud de empotramiento del pilote es de: m

5. Como la longitud de empotramiento del pilote es mayor a la longitud de empotramiento mínima para usar N_q y N_q se procede a encontrar los valores de N_q y N_q de la tabla que se muestra en el manual

- N_q :

- N_q :

6. Teniendo los factores y el esfuerzo vertical en la punta del pilote, se calcula el valor de la carga vertical (q) que soporta el pilote y la carga vertical máxima que puede soportar el pilote

- Carga vertical (q): KN/m²

- Presión atmosférica (Pa): KN/m²

- Carga vertical máxima (q_{máx}): KN/m²

7. Como la carga vertical (q) es mayor a la carga vertical máxima (q_{máx}) que puede soportar el pilote, entonces para el cálculo de la resistencia por punta del pilote se usa la carga vertical máxima que puede soportar el pilote

- Resistencia por punta del pilote es de (Q): KN

- Resistencia admisible por punta del pilote es de (Q_{adm}): KN




Figura 14: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 1. Elaboración propia

Resultados de PilotAPP

Los resultados obtenidos anteriormente se comparan con los datos obtenidos del Libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) y se concluye lo siguiente:

<i>Parámetros</i>	<i>Ejemplo 11.2 (Das,2012)</i>	<i>PilotAPP</i>
Área transversal del pilote (m^2)	0.1294	0.129
Factor N_c	9	9
Factor N_q	1	1
Resistencia por punta del pilote (kN)	116.5	116.516
	% Diferencia	0.0137

Tabla 5: Comparación de resultados obtenidos por el libro y el programa. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla anterior el porcentaje de diferencia es mínimo debido a que el uso de decimales es mayor en PilotAPP que los que toma el libro.

Caso 2: Cálculo de resistencia por punta (Método de Terzaghi)

A continuación, se realizará el ejemplo 11.2 del libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) para la validación de la función de “cálculo de resistencia por punta (método de Terzaghi)” del programa.

Considere un pilote de tubo que tiene un diámetro exterior de 406 mm. La longitud de empotramiento del pilote en arcilla estratificada saturada es de 30 m. Los siguientes son los detalles del subsuelo: El nivel freático se ubica a una profundidad de 5 m desde la superficie del terreno.

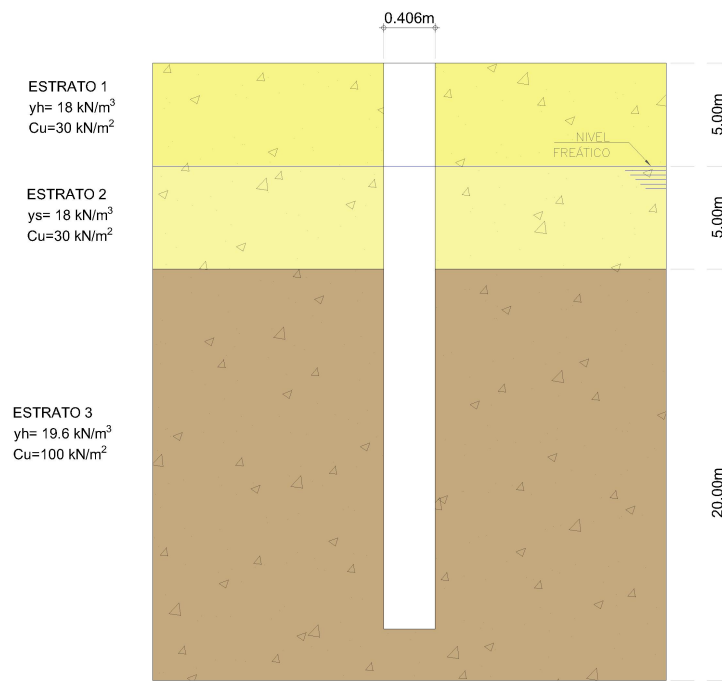


Figura 15: Ilustración del caso 1. Elaboración propio

<i>Profundidad desde la superficie del terreno (m)</i>	<i>Peso específico saturado (gamma) (kN/m³)</i>	<i>C_u (kN/m²)</i>
0-5	18	30
5-10	18	30
10-30	19.6	100

Tabla 6: Datos del suelo. Fuente: Das, Braja M. (2012), *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.

Solución caso 2

Paso 1: Teniendo cada uno de los datos iniciales primeramente lo que hacemos es encontrar el área del pilote la cual sería la siguiente:

$$\begin{aligned} A_p &= (\pi * D^2)/4 \\ &= (\frac{\pi \times (0,406)^2}{4}) \\ &= 0,129m^2 \end{aligned}$$

Paso 2: Se procede ahora a calcular la carga que es aplicada por el suelo que se encuentra encima de la punta del pilote,

$$\begin{aligned} q &= ((y_{s1}) * z_1) + ((y_{s2} - y_w) * z_2) + ((y_{s3} - y_w) * z_3) \\ &= ((18) * 5) + ((18 - 9,81) * 5) + ((19,6 - 9,81) * 20) \\ &= 326,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Paso 3: Teniendo en cuenta que son arcillas el ángulo de fricción es de 0° , entonces el factor K_{py} tendrá el siguiente valor y se calcularán los factores de carga, porque los factores de forma están definidos por la forma circular del pilote,

$$K_{py} = 10,8$$

Factores de forma:

$$S_c = 1,3$$

$$S_y = 0,6$$

$$S_q = 1$$

Factores de carga:

$$N_q = \frac{e^{2 * (\frac{3 * \pi}{4} - \frac{\phi_{radianes}}{2}) * \tan(\phi)}}{2 * \cos^2(45 + \frac{\phi}{2})}$$

$$N_q = \frac{e^{2 * (\frac{3 * \pi}{4} - \frac{0}{2}) * \tan(0)}}{2 * \cos^2(45 + \frac{0}{2})} = 1$$

$$N_y = \frac{\tan(\phi)}{2} * (\frac{K_{py}}{\cos^2(\phi)} - 1)$$

$$N_y = \frac{\tan(0)}{2} * (\frac{10,38}{\cos^2(0)} - 1) = 0$$

$$N_c = (N_q - 1) * \cot(\phi)$$

$$N_c = (1 - 1) * \cot(0) = 0$$

Paso 4: Por último, se calcula la carga última y la resistencia por punta aplicando el método de Terzaghi,

$$q_{ult} = (C * N_c * S_c) + (q * N_q * S_q) + (1/2 * \gamma * N_\gamma * S_\gamma * D)$$

$$q_{ult} = (100 * 0 * 1,3) + (326,75 * 1 * 1) + (1/2 * 19,6 * 0 * 0,6 * 0,406) = 326,75 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = q_{ult} * A_p$$

$$Q = 326,75 * 0,129 = 42,302 \text{ kN}$$

Resultados del Cálculo de resistencia por punta del Pilote (Método Terzaghi):

- Se determina el área transversal del pilote
 - El área transversal del pilote es de: m²
- Se procede a calcular el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote
 - El esfuerzo vertical de la punta del pilote es de: KN/m²
- Como se trabaja con pilotes circulares, los factores de forma que se usan para este método son los siguientes
 - β_a :
 - β_y :
 - β_q :
- Ahora se procede a encontrar el valor del factor K_{py} teniendo en cuenta el ángulo de fricción del suelo en el que se encuentra la punta del pilote y la tabla del manual.
 - K_{py} :
- Teniendo el valor de K_{py} , se procede a reemplazar este en cada una de las fórmulas definidas en el manual para encontrar los valores de los factores de N_a , N_y y N_q
 - N_a :
 - N_y :
 - N_q :
- Teniendo los factores y el esfuerzo vertical en la punta del pilote, se calcula el valor de la carga vertical (q) que soporta el pilote y la carga vertical última que soporta el pilote
 - Carga vertical (q): KN/m²
 - Carga vertical última (q_{ult}): KN/m²
- Ahora se calcula la resistencia por punta que va a tener el pilote y su resistencia admisible teniendo en cuenta el factor de seguridad.
 - Resistencia por punta del pilote es de (Q): KN
 - Resistencia admisible por punta del pilote es de (Q_{adm}): KN




Figura 17: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 2. Elaboración propia

Resultados de PilotAPP

Los resultados obtenidos anteriormente se comparan con los datos obtenidos del Libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) y se concluye lo siguiente:

<i>Parámetros</i>	<i>Ejemplo 11.5 (Das,2012)</i>	<i>PilotAPP</i>
Área transversal del pilote (m^2)	0.1294	0.129
Resistencia por punta del pilote (kN)	116.5	42.302
	% Diferencia	63.68

Tabla 7: Comparación de resultados obtenidos por el libro y el programa. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla anterior el porcentaje de diferencia es amplio debido a que el método de Terzaghi trabaja mejor con suelos heterogéneos y suelos granulares, debido a que la mayoría de sus fórmulas para los factores de carga dependen directamente del ángulo friccionante del suelo.

Caso 3: Cálculo de resistencia por fuste (Método de Analítico)

A continuación, se realizará el ejemplo 11.5 del libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) para la validación de la función de “cálculo de resistencia por fuste (método de Analítico)” del programa.

Considere un pilote de concreto de 15 m de longitud con una sección transversal de 0.45 x 0.45 m completamente empotrado en arena. Para la arena, se tiene: peso específico, $\gamma=17 \text{ kN/m}^3$ y ángulo de fricción del suelo $\phi=35^\circ$. Estime la resistencia por fricción Q_s . Utilice $K=1,3$ y $\delta'=0,8\phi$

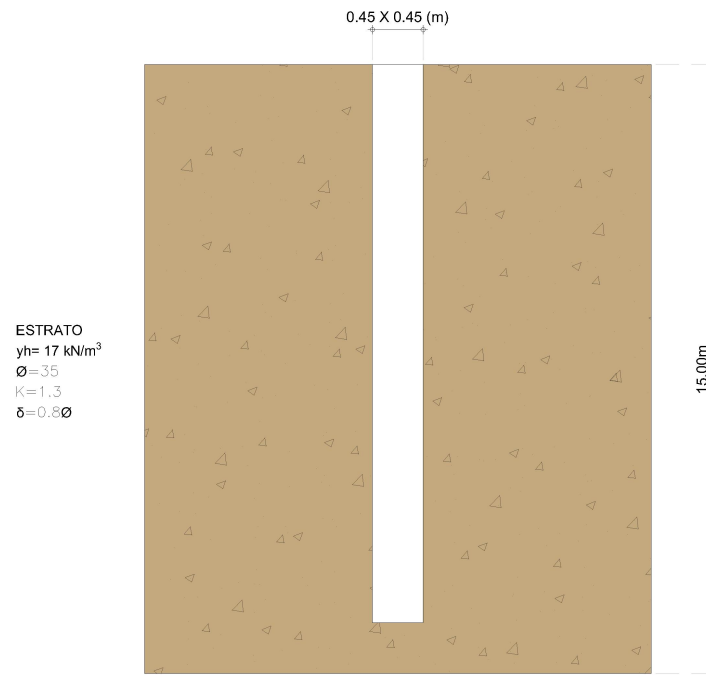


Figura 18: Ilustración del caso 1. Elaboración propio

<i>Parámetros del ejemplo 11.5 (Das, 2012)</i>	<i>Valores</i>
Longitud (m)	15
Peso específico del suelo (kN/m^3)	17
Ángulo de fricción	35
Factor K	1.3
Factor δ	$0.8 \cdot \phi$

Tabla 8: Datos del ejemplo. Fuente: Das, Braja M. (2012), *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.

Solución caso 3

Paso 1: se calcula la longitud critica en donde la fricción superficial se vuelve constante,

$$L' = 15D = 15 * (0,45\text{m}) = 6,75\text{m}$$

Paso 2: se determina el valor del esfuerzo vertical a la mitad de la longitud critica del pilote, entonces:

$$\sigma'_s = \frac{(6,75m)}{2 * 17kN/m^3} = 57,375 \text{ kN}/m^2$$

Para calcular la resistencia por fuste se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_s = \pi * D * L' * (C * \alpha + \sigma'_s * K * \tan(\delta))$$

Solucionando los paréntesis y convirtiendo el primer término debido a que la cohesión tiene un valor de 0,

$$\begin{aligned} q_s &= (0 + \sigma'_s * K * \tan(\delta)) \\ &= 57,375kN/m^2 * 1,3 * (\tan(0,8 \times 35)) \\ &= 39,659 \text{ kN}/m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \pi * D * L' * q_s \\ &= \pi * 0,45m * 6,75m * 39,659kN/m^2 \\ &= 378,449 \text{ kN} \end{aligned}$$

Paso 3: se calcula la resistencia entre la punta del pilote y la longitud critica,

$$\sigma'_{sp} = 6,75m * 17kN/m^3 = 114,75 \text{ kN}/m^2$$

$$\begin{aligned} q_{sp} &= \sigma'_p * k * \tan(\delta') \\ &= 114,75kN/m^2 * 1,3 * (\tan(0,8 \times 35)) \\ &= 79,317kN/m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{sp} &= \pi * D * (L - L') * qp \\ &= \pi * 0,45m * (15 - 6,75) * 79,317kN/m^2 \\ &= 925,096 \text{ kN} \end{aligned}$$

Paso 4: Finalmente se determina la resistencia por fuste final

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_s + Q_{sp} \\ &= 378,449kN + 925,096kN = 1303,545kN \end{aligned}$$

Cálculo de resistencia por Fuste del Pilote (Método Analítico):

Datos del pilote:

Díametro: m.

Profundidad: m.

Desfase: m.

Datos de los estratos:

Estrato	Color	Epesor (m)	Ysat (KN/m^3)	Thum (KN/m^3)	Cohesión (C) (KN/m^2)	Angulo de fricción (Φ) ($^\circ$)	Factor K
1	■	1.6	16	17	17	35	1.3
2	■						
3	■						
4	■						

Datos del suelo:

Profundidad del nivel freático: m.

Número de estratos: (Min 1, Máx 4)

Factor de seguridad:

Tipo de desplazamiento suelo/pilote (K ó Ko):

Factor Ka: ? (Min 1, Máx 1.8)

Representación gráfica:

El diagrama muestra una sección transversal de un pilote vertical (gris) insertado en el suelo (rojo). El suelo está dividido en cuatro estratos horizontales de diferentes colores: rojo (superior), azul, verde y naranja (inferior). Las dimensiones de cada estrato se indican en la tabla adjunta.

Figura 19: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 3. Elaboración propia

Resultados del Cálculo de resistencia por fuste del Pilote (Método Analítico):

1. Se determina el perímetro del pilote

- El Perímetro del pilote es de: m

2. Ahora se calcula el valor de longitud crítica la cual determinará hasta que punto aumentará y se convertirá en constante la resistencia por fricción del pilote

- Longitud crítica (L') : m

3. Luego se obtiene el valor del factor alfa de la gráfica del manual, teniendo en cuenta la cohesión de cada estrato que influye en pilote

- Alfa del estrato 1 (a): - Alfa del estrato 3 (a):

- Alfa del estrato 2 (a): - Alfa del estrato 4 (a):

4. Se procede a hallar el coeficiente efectivo de presión de tierra teniendo en cuenta el desplazamiento que tendrá el pilote

- Ko del estrato 1: - Ko del estrato 3:

- Ko del estrato 2: - Ko del estrato 4:

5. Se determina también el valor del ángulo de fricción suelo-pilote usando el 80% del ángulo de fricción del estrato

- δ del estrato 1: - δ del estrato 3:

- δ del estrato 2: - δ del estrato 4:

6. Se calcula la resistencia por fricción unitaria de cada estrato involucrado en el pilote y se obtiene la resistencia por fricción en el fuste que aporta cada estrato teniendo en cuenta la fórmula del manual

6.1. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 1 :

- Qs : KN - Qsns (parte no sumergida): KN

- Qss (parte sumergida) : KN - Qsp (en la punta) : KN

6.2. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 2 :

- Qs : KN - Qsns (parte no sumergida): KN

- Qss (parte sumergida) : KN - Qsp (en la punta) : KN

6.3. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 3 :

- Qs : KN - Qsns (parte no sumergida): KN

- Qss (parte sumergida) : KN - Qsp (en la punta) : KN

6.4. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 4 :

- Qs : KN - Qsns (parte no sumergida): KN

- Qss (parte sumergida) : KN - Qsp (en la punta) : KN

7. Luego se suma cada valor de resistencia por fricción en el fuste para obtener la resistencia por fricción en el fuste del pilote y se halla la admisible teniendo en cuenta el factor de seguridad:

- Resistencia por fricción en el fuste del pilote es de (Q): KN

- Resistencia admisible por fricción en el fuste del pilote es de (Qadm): KN

NOTA: Las casillas de color rojo, indican que ese estrato no aporta a la resistencia por fricción al fuste del pilote

Figura 20: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 3. Elaboración propia

Resultados de PilotAPP

Los resultados obtenidos anteriormente se comparan con los datos obtenidos del Libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) y se concluye lo siguiente:

<i>Parámetros</i>	<i>Ejemplo 11.5 (Das, 2012)</i>	<i>PilotAPP</i>
Perímetro (m)	1.8	1.414
Longitud crítica (m)	6.75	6.75
Resistencia por fricción en la longitud crítica Q_s (kN)	481.75	378.448
Resistencia por fricción en la punta Q_{sp} (kN)	1177.75	925.096
Resistencia por fricción total en el fuste Q_s (kN)	1659	1303.544
	% Diferencia	21.42

Tabla 9: Comparación de resultados obtenidos por el libro y el programa. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla anterior el porcentaje de diferencia es amplio debido a que el método de Analítico de PilotAPP solo trabaja con pilotes circulares, entonces al ejemplo del libro trabajar con un pilote cuadrado arroja esta diferencia, pero si se modifica el área y perímetro en el código fuente del programa usando un pilote circular la diferencia se reduce al 0.02 %

Caso 4: Cálculo de eficiencia

A continuación, se realizará un ejercicio del curso de cimentaciones de la Universidad Surcolombiana (Gil Hernandez, 2021) para la validación de la función de “cálculo de eficiencia” del programa. Encontrar la eficiencia del grupo de pilotes el cual tiene los siguientes parámetros

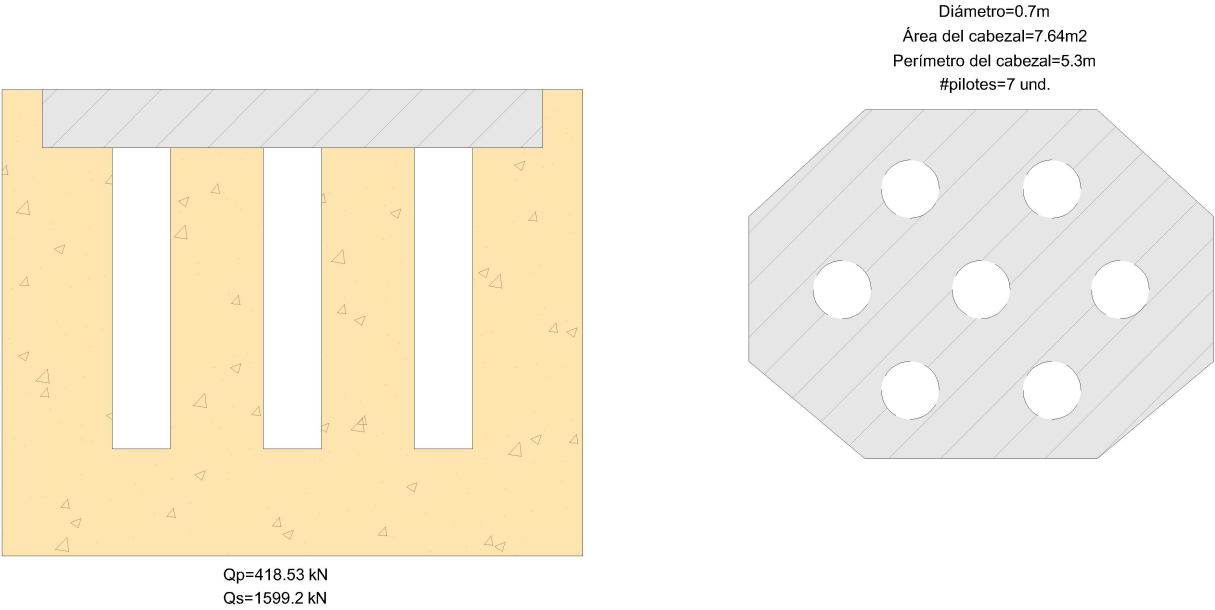


Figura 21: Ilustración del caso 4. Elaboración propio

<i>Parámetros del ejemplo eficiencia (Gil Hernández,2021)</i>	<i>Valores</i>
Diámetro pilotes (m)	0.7
Área del cabezal m ²	7.64
Perímetro del cabezal (m)	5.3
#pilotes (und)	7
Resistencia por punta c/u pilotes (kN)	418.53
Resistencia por fuste c/u pilotes (kN)	1599.2

Tabla 10: Datos del ejemplo. Fuente: Gil Hernández, Jackson A. (2021), *Material de apoyo dado en las clases del curso de Cimentaciones.*

Solución caso 4

Paso 1: Primeramente, se calcula el valor de la resistencia por punta y por fricción en el fuste del pilote. Donde la resistencia por punta del grupo de pilotes es de:

$$\begin{aligned}
 Q_{p_{gp}} &= \frac{Q_p * Acabezal}{\frac{(\pi * D^2)}{4}} \\
 &= \frac{418,53 * 7,64}{\frac{(\pi * 0,7^2)}{4}} \\
 &= 8308,717 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{p_{gp} \text{ admisible}} &= \frac{Q_{p_{gp}}}{FS} \\
 &= \frac{8308,717}{3} \\
 &= 2769,572 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Y la resistencia por fricción en el fuste del grupo de pilotes es de:

$$\begin{aligned}
 Q_{s_{gp}} &= \frac{Q_s * Acabezal}{\pi * D} \\
 &= \frac{1599,2 * 5,3}{\pi * 0,7} \\
 &= 3854,169 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{s_{gp} \text{ admisible}} &= \frac{Q_{s_{gp}}}{FS} \\
 &= \frac{3854,169}{3} \\
 &= 1284,723 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Paso 2: Ahora se calcula la resistencia total admisible del grupo de pilotes

$$\begin{aligned}
 Q_{gp \text{ admisible}} &= Q_{s_{gp} \text{ admisible}} + Q_{p_{gp} \text{ admisible}} \\
 &= 2769,572 + 1284,723 \\
 &= 4054,295 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Paso 3: Por último, se calcula la eficiencia del grupo de pilotes con la siguiente formula,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Q_{gp \text{ admisible}}}{((Q_p + Q_s) * \#pilotes)} \\
 &= \frac{4054,295}{418,53 + 1599,2 * 7} \\
 &= 0,861 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cálculo de Eficiencia de pilotes:

Datos iniciales

Diamétero del pilote (individual):	0.7	m.
Área del cabezal:	7.64	m².
Perímetro del cabezal:	5.3	m.
Número de pilotes:	7	und.
Resistencia total por punta (individual):	418.53	KN.
Resistencia total por fuste (individual):	1599.2	KN.
Factor de seguridad:	3	

Calcular

Figura 22: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 4. Elaboración propia

Resultados del cálculo de la Eficiencia de pilotes:

1. Calculamos la resistencia por Punta del grupo de pilotes

- Resistencia por Punta del grupo de pilotes : 8308.717 KN

- Resistencia admisible por Punta del grupo de pilotes : 2769.572 KN

2. Calculamos la resistencia por fricción del fuste del grupo de pilotes

- Resistencia por fricción del Fuste del grupo de pilotes : 3854.169 KN

- Resistencia admisible por fricción del Fuste del grupo de pilotes : 1284.723 KN

3. Sumamos la resistencia admisible por punta y de la fricción del fuste del grupo del pilotes

- Resistencia total del grupo de pilotes : 4054.295 KN

4. Teniendo en cuenta tanto la resistencia de punta y fuste del pilote individual, como el del grupo de pilotes, se halla la eficiencia que tiene el grupo de pilotes

- Eficiencia del grupo de pilotes (n) : 0.861



Figura 23: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 4. Elaboración propia

Resultados de PilotAPP

Los resultados obtenidos anteriormente se comparan con los datos obtenidos en el curso de cimentaciones de la Universidad Surcolombiana (Gil Hernandez, 2021).

<i>Parámetros</i>	<i>Ejercicio del curso de cimentaciones (Gil Hernandez, 2021)</i>	<i>PilotAPP</i>
Q_{pgp}	8305.29	8308.717
Q_{sgp}	2768.43	2769.572
$Q_{pgp \text{ admisible}}$	3868.08	3854.169
$Q_{sgp \text{ admisible}}$	1289.36	1284.723
$Q_{gp \text{ admisible}}$	4057.79	4054.295
n	0.86	0.861
	% Diferencia	0.1163

Tabla 11: Comparación de resultados obtenidos en el curso de cimentaciones y el programa. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla anterior el porcentaje de diferencia es mínimo debido a que el uso de decimales es mayor en PilotAPP que los tomados en el curso de cimentaciones.

Caso 5: Cálculo de Bulbo de influencia

A continuación, se realizará un ejercicio del curso de cimentaciones de la Universidad Surcolombiana (Gil Hernandez, 2021) para la validación de la función de “cálculo de bulbo de influencia” del programa.

Determine la profundidad del bulbo de influencia del grupo de pilotes el cual tiene los siguientes parámetros.

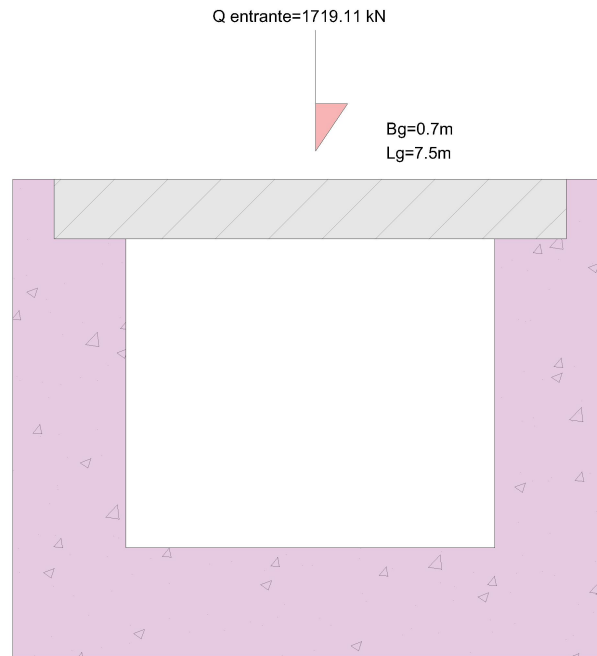


Figura 24: Ilustración del caso 5. Elaboración propio

Solución caso 5

Paso 1: Se calcula Bg' y Lg' donde,

$$\begin{aligned} Bg' &= \frac{Bg}{2} \\ &= \frac{0,7}{2} \\ &= 0,35m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lg' &= \frac{Bg}{2} \\ &= \frac{7,5}{2} \\ &= 3,75m \end{aligned}$$

Teniendo ya Bg' y Lg' , el programa entra en un proceso iterativo suponiendo una profundidad de 1m a la que podrá llegar el bulbo de influencia, luego de iterar varias veces garantizará la profundidad donde se disipan

el 90 % de los esfuerzos iniciales.

$$\begin{aligned} m &= \frac{Bg'}{Z_{encontrada}} \\ &= \frac{0,35}{3,88} \\ &= 0,09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{Lg'}{Z_{encontrada}} \\ &= \frac{3,75}{3,88} \\ &= 0,966 \end{aligned}$$

Luego de tener m y n se comprueba que formula usar para la Influencia a esa profundidad supuesta:

$$m^2 * n^2 = 0,008$$

$$m^2 + n^2 + 1 = 1,942$$

$$m^2 + n^2 + 1 > m^2 * n^2$$

Entonces se usa la formula normal para hallar la influencia de esa profundidad supuesta reemplazamos m y n en I; y se encuentra:

$$I_{ind} = \frac{1}{4 * \pi} * \left(\frac{2 * m * n * \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 + (m^2 * n^2)} * \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \left(\frac{2 * m * n * \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - (m^2 * n^2)} \right) \right) = 0,25$$

$$I_{individual} = 0,025$$

$$I_{total} = I_{individual} * 4 = 0,1$$

Teniendo en cuenta nuestro I se halla qo y la diferencia de esfuerzo a esa profundidad:

$$\begin{aligned} q_o &= \frac{Q}{B_g * L_g} \\ &= \frac{1719,11kN}{0,7m * 7,5m} \\ &= 327,45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta q_o &= q_o * I_{total} \\ &= 327,45 * 0,1 \\ &= 32,745 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Cálculo de Bulbo de influencia de pilotes:

Datos iniciales

Bulbo de influencia como: Grupo de pilotes ▼

Carga vertical entrante al cabezal: KN.

Datos para grupo de pilotes

Lado Bg del cabezal: m.

Lado Lg del cabezal: m.

Datos para pilotes individuales

Diámetro: m.

Calcular

Figura 25: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 5. Elaboración propia

Resultados del cálculo del Bulbo de influencia de grupo de pilotes:

1. Hay que tener en cuenta que se supone el valor de una profundidad la cual tendrá por defecto el valor de 1 m, para luego calcular el valor de B_g' y L_g' , los cuales son los valores de la mitad de los lados del cabezal del grupo de pilotes

- B_g' : 0.35 m

- L_g' : 3.75 m

2. Luego de varias interacciones se encontrará la profundidad del bulbo de influencia que alcanzará el grupo de pilotes, que garantizará el valor deseado para la influencia individual y total

- Profundidad del bulbo de influencia (z) : 3.88 m

3. Con los valores de B_g' , L_g' y la profundidad del bulbo de influencia se procede a encontrar los valores de los factores m y n

- m : 0.09

- n : 0.966

4. Ahora calculamos los valores de la influencia individual y la influencia total

- influencia individual (debe ser 0,025) : 0.025

- influencia total (debe ser 0,1) : 0.1

5. Se halla el valor del esfuerzo inicial del grupo de pilotes

- Esfuerzo inicial (q_0) : 327.45 KN/m²

6. Se calcula el valor del diferencial del esfuerzo a la profundidad z encontrada

- Diferencial del esfuerzo inicial (Δq_0) : 32.745 KN/m²



Figura 26: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 5. Elaboración propia

Resultados de PilotAPP

Los resultados obtenidos anteriormente se comparan con los datos obtenidos en el curso de cimentaciones de la Universidad Surcolombiana (Gil Hernandez, 2021).

<i>Parámetros a evaluar</i>	<i>Ejercicio del Curso de Cimentaciones (Gil Hernandez, 2021)</i>	<i>Solución por PilotAPP</i>
Bg'(m)	0.35	0.35
Lg'(m)	3.75	3.75
m	0.09	0.09
n	0.966	0.966
Profundidad del bulbo de influencia (m)	3.88	3.88
Esfuerzo inicial (kN/m^2)	327.45	327.45
Diferencial del esfuerzo inicial	32.745	32.745
	% Diferencia	0.001

Tabla 12: Comparación de resultados obtenidos en el curso de cimentaciones y el programa. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla anterior el porcentaje de diferencia es mínimo debido a que el uso de decimales son mayores en PilotAPP que los que tomaron en el curso de cimentaciones.

Caso 6: Cálculo de asentamiento Elástico (Pilotes individuales)

A continuación, se realizará el ejemplo 11.10 del libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) para la validación de la función de “cálculo de asentamiento Elástico (Pilotes individuales)” del programa.

La carga de trabajo permisible sobre un pilote de concreto pre-esforzado de 21 m de longitud que se hincó en arena es de 502 kN. El pilote tiene forma octagonal con $D = 356\text{ mm}$. La resistencia superficial soporta 350 kN de la carga permisible y la punta soporta el resto. Utilice $E_p = 21 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$, $E_s = 25 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$, $\mu_s = 0.35$, $\xi = 0.62$. Determine el asentamiento del pilote.

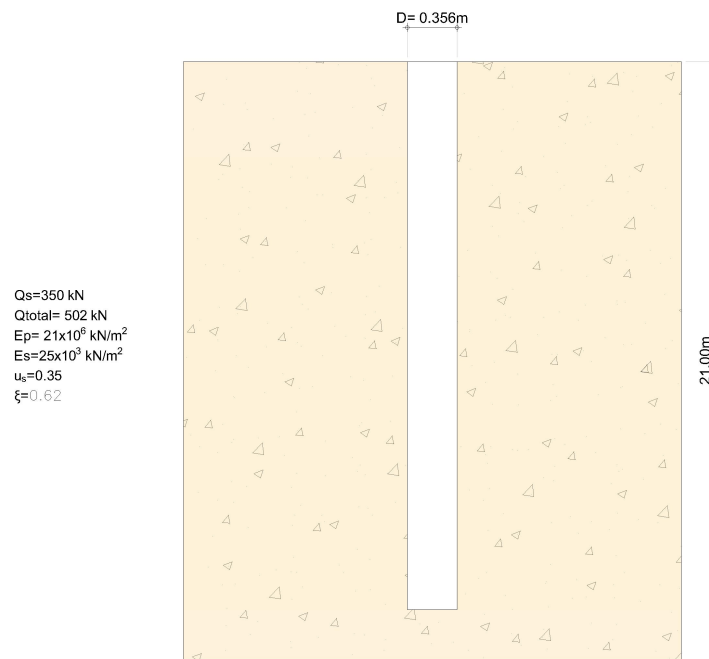


Figura 27: Ilustración del caso 6. Elaboración propio

Solución caso 6

Paso 1: Se calcula el asentamiento elástico del pilote:

$$Q_p = 502 - 350 = 152 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
S_{e(1)} &= \frac{(Q_p + (\xi * Q_s)) * L}{A_p * E_p} \\
&= \frac{(152 + (0,62 * 350)) * 21}{0,0955 * 21 * 10^6} \\
&= 0,004 \text{ m}
\end{aligned}$$

Paso 2: Luego se calcula el asentamiento elástico del pilote causado por la carga puntual (en la punta):

$$\begin{aligned}
S_{e(2)} &= \frac{q_p * D}{E_s} * (1 - \mu_s^2) * I_{wp} \\
S_{e(2)} &= \frac{\frac{152}{0,0955} * 0,356}{25 * 10^3} * (1 - 0,35^2) * 0,85 = 0,016 \text{ m}
\end{aligned}$$

Paso 3: Ahora se calcula el asentamiento elástico del pilote causado por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote:

$$\begin{aligned}
S_{e(3)} &= \left(\frac{Q_s}{P * L} \right) * \frac{D}{E_s} * (1 - \mu_s^2) * I_{ws} \\
I_{ws} &= 2 + 0,35 * \sqrt{\frac{L}{D}} \\
&= 2 + 0,35 * \sqrt{\frac{21}{0,356}} \\
&= 4,688
\end{aligned}$$

Dando como resultado:

$$S_{e(3)} = \left(\frac{350}{1,118 * 21} \right) * \frac{0,356}{25 * 10^3} * (1 - 0,35^2) * 4,688 = 0,001 \text{ m}$$

Paso 4: Por último, se calcula el asentamiento total del pilote:

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} = 0,004 + 0,016 + 0,001 = 0,021 \text{ m}$$



Cálculo del Asentamientos elásticos (Pilotes Individual):

Datos del pilote:

Diametro:

0.356

m.

Profundidad:

21

m.

Desfase:

0

m.

Módulo de Elasticidad:

21000000

KN/m²

Resistencia por Punta (Individual) :

152

KN.

Resistencia por Fuste(Individual) :

350

KN.

Distribución de la resistencia (β) por fricción superficial:

0.62

Entre 0.5 y 0.87

Relación de poisson (νs):

0.35

Datos del suelo:

Número de estratos:

1

Min 1, Máx 4

Datos de los estratos:

Estrato 1:

☒

Espesor:

22

m.

Modulo de elasticidad:

25000

KN/m²

Estrato 2:

☐

Espesor:

m.

Modulo de elasticidad:

KN/m²

Estrato 3:

☐

Espesor:

m.

Modulo de elasticidad:

KN/m²

Estrato 4:

☐

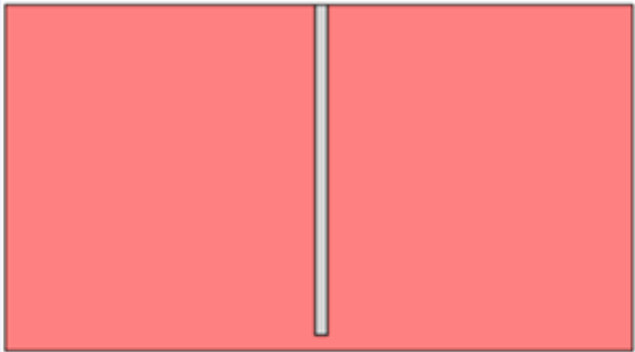
Espesor:

m.

Modulo de elasticidad:

KN/m²

Representación gráfica:



Calcular

Figura 28: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 6. Elaboración propia

Resultados del cálculo de Asentamiento Elásticos (Pilotes individuales):

- Se determina la resistencia unitaria por punta que tiene el pilote, tomando la resistencia por punta entre el área de la sección transversal del pilote
 - Resistencia unitaria por punta (q_p) : KN/m^2
- Luego, se encuentra el perímetro que tiene el pilote
 - Perímetro pilote: m
- Se toma en cuenta el valor del factor de influencia para la punta (I_{wp}), el cual es de aproximadamente 0.85 y se calcula el valor del factor de influencia para el fuste (I_{ws})
 - Factor de influencia para el fuste (I_{ws}): - Factor de influencia del punta (I_{wp}):
- Después, se calcula el asentamiento elástico producido por el mismo pilote, aplicando los principios de la mecánica de materiales
 - Asentamiento elástico por pilote (s_{e1}): m
- Ahora, se calcula el asentamiento elástico ocasionado por la carga soportada en la punta del pilote
 - Asentamiento elástico por la punta del pilote (s_{e2}): m
- Y por último, se calcula el asentamiento elástico causado por la carga soportada por el fuste del pilote
 - Asentamiento elástico por el fuste del pilote (s_{e3}): m
- Teniendo en cuenta cada uno de los asentamientos elásticos encontrados tanto por el pilote mismo, como por punta y fuste, se realiza la sumatoria de estos tres asentamientos, dando como resultado el asentamiento elástico total que sufrirá el pilote
 - Asentamiento elástico total (s_e): m




Figura 29: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 6. Elaboración propia

Resultados de PilotAPP

Los resultados obtenidos anteriormente se comparan con los datos obtenidos del Libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012).

<i>Parámetros a evaluar</i>	<i>Ejemplo 11.10 (Das, 2012)</i>	<i>Solución por PilotAPP</i>
Asentamiento elástico del pilote S_{e1} (m)	0.00353	0.004
Asentamiento elástico por punta del pilote S_{e2} (m)	0.0155	0.016
Asentamiento elástico a lo largo del fuste del pilote S_{e3} (m)	0.00084	0.001
Asentamiento elástico total del pilote S_e (m)	0.01969	0.021
	% Diferencia	6.653

Tabla 13: Comparación de resultados obtenidos por el libro y el programa. Fuente: Elaboración

Como se puede ver en la tabla anterior el porcentaje de diferencia es amplio debido a que el asentamiento por consolidación de PilotAPP solo trabaja con pilotes circulares, entonces al ejemplo del libro trabajar con un pilote octagonal arroja esta diferencia, pero si se modifica el área en el código fuente del programa usando un pilote circular la diferencia se reduce al 0.01 %

Caso 7: Cálculo de asentamiento por Consolidación (Grupo de pilotes)

A continuación, se realizará el ejemplo 11.20 del libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012) para la validación de la función de “cálculo de asentamiento por Consolidación (Grupo de pilotes)” del programa.

En la figura 17 se muestra un grupo de pilotes en arcilla. Determine el asentamiento por consolidación de los pilotes. Todas las arcillas están normalmente consolidadas.

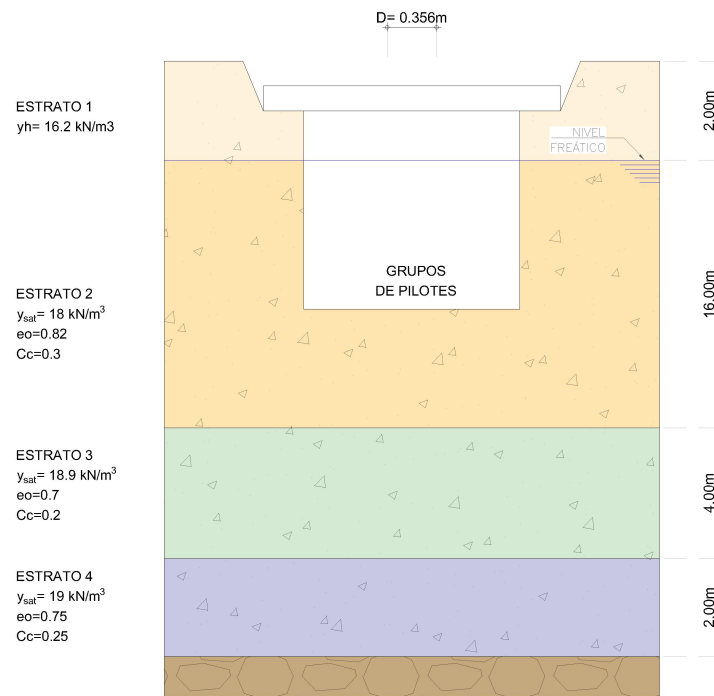


Figura 30: Ilustración del caso 7. Elaboración propio

Solución caso 7

Paso 1: Teniendo cada uno de los datos iniciales, e infiriendo uno de la imagen donde la profundidad a la que llega el bulbo de influencia es de 13m se procede primeramente a realizar el cálculo de la profundidad a la cual se da el inicio del bulbo de influencia.

$$\frac{2 * L}{3} = \frac{2 * 15m}{3} = 10 \text{ m}$$

Paso 2: Luego se procede a calcular el diferencial del esfuerzo efectivo, el esfuerzo vertical a la mitad del espesor y el asentamiento por consolidación de cada estrato que se ve afectado por el espesor o longitud del bulbo de influencia.

- **Estrato 1:** El estrato al estar antes de la profundidad inicial del bulbo de influencia, no sufre asentamientos por consolidación.

$$S_{c1} = 0m$$

- Estrato 2: El procedimiento es el siguiente. Se calcula el diferencial del esfuerzo efectivo del estrato afectado por el bulbo de influencia es decir los 7 m de este estrato los cuales son afectados.

$$\Delta\sigma'_2 = \frac{Q_g}{(B_g + Z_i) * (L_g + Z_i)}$$

$$\Delta\sigma'_2 = \frac{2000}{(2,2 + \frac{7}{2}) * (3,3 + \frac{7}{2})} = 51,6 \frac{kN}{m^2}$$

Luego se calcula el esfuerzo vertical a la mitad de la longitud del estrato afectada por el bulbo de influencia,

$$\sigma v'_2 = (y_{h1} * z_1) + ((y_{s2} - y_w) * (\frac{z_1 + z_2 - (\frac{2*L}{3}) - df}{2} + (\frac{2 * L}{3}) + df))$$

$$\sigma v'_2 = (16,2 * 2) + ((18 - 9,81) * (\frac{2 + 16 - (10) - 1}{2} + (10) + 1)) = 134,775 \frac{kN}{m^2}$$

Al obtener los resultados anteriores se procede a encontrar el asentamiento por consolidación que ocurre en este estrato (H hace referencia a longitud o espesor del estrato que está siendo afectada por el bulbo de influencia).

$$S_{c2} = (\frac{C_{c2} + H_{c2}}{1 + e_{o2}}) * (\log(\frac{\sigma v_2 + \Delta\sigma'_2}{\sigma v_2}))$$

$$S_{c2} = (\frac{0,3 * 7}{1 + 0,82}) * (\log(\frac{134,775 + 51,6}{134,775})) = 0,162 m$$

$$S_{c2} = 162 mm$$

Estrato 3: El procedimiento para este es el mismo que se usa para el estrato 2 y se obtendría lo siguiente: Se calcula el diferencial del esfuerzo efectivo del estrato afectado por el bulbo de influencia es decir los 4 m de este estrato los cuales son afectados.

$$\Delta\sigma'_3 = \frac{2000}{(2,2 + \frac{4}{2}) * (3,3 + \frac{4}{2})} = 14,518 \frac{kN}{m^2}$$

Luego se calcula el esfuerzo vertical a la mitad de la longitud del estrato afectada por el bulbo de influencia,

$$\sigma v'_3 = (y_{h1} * z_1) + ((y_{s2} - y_w) * z_2) + ((y_{s3} - y_w * (\frac{z_3}{2})))$$

$$\sigma v'_3 = (16,2 * 2) + ((18 - 9,81) * 16) + ((18,9 - 9,81) * \frac{4}{2}) = 181,62 \frac{kN}{m^2}$$

Al obtener los resultados anteriores se procede a encontrar el asentamiento por consolidación que ocurre en este estrato (H hace referencia a longitud o espesor del estrato que está siendo afectada por el bulbo de influencia).

$$S_{c_3} = \left(\frac{0,2 * 4}{1 + 0,7} \right) * \left(\log \left(\frac{181,62 + 14,518}{181,62} \right) \right) = 0,016 \text{ m}$$

$$S_{c_3} = 16 \text{ mm}$$

Estrato 4: El procedimiento para este es el mismo que se usa para el estrato 2 y 3. Se calcula el diferencial del esfuerzo efectivo del estrato afectado por el bulbo de influencia es decir los 2 m de este estrato los cuales son afectados.

$$\Delta\sigma'_4 = \frac{2000}{(2,2 + \frac{2}{2}) * (3,3 + \frac{2}{2})} = 9,206 \frac{kN}{m^2}$$

Luego se calcula el esfuerzo vertical a la mitad de la longitud del estrato afectada por el bulbo de influencia,

$$\sigma v'_4 = (y_{h_1} * z_1) + ((y_{s_2} - y_w) * z_2) + ((y_{s_3} - y_w) * z_3) + ((y_{s_4} - y_w) * \frac{z_4}{2})$$

$$\sigma v'_4 = (16,2 * 2) + ((18 - 9,81) * 16) + ((18,9 - 9,81) * 4) + ((19 - 9,81) * \frac{2}{2}) = 208,99 \frac{kN}{m^2}$$

Al obtener los resultados anteriores se procede a encontrar el asentamiento por consolidación que ocurre en este estrato (H hace referencia a longitud o espesor del estrato que está siendo afectada por el bulbo de influencia).

$$S_{c_4} = \left(\frac{0,25 * 2}{1 + 0,75} \right) * \left(\log \left(\frac{208,99 + 9,206}{208,99} \right) \right) = 0,005 \text{ m}$$

$$S_{c_4} = 5 \text{ mm}$$

Paso 5: Por último, se calcula el asentamiento por consolidación total provocado por la carga que resiste el grupo de pilotes.

$$\begin{aligned} S_c &= S_{c1} + S_{c2} + S_{c3} + S_{c4} \\ &= 0 + 0,162 + 0,016 + 0,005 = 0,184 \text{ m} \end{aligned}$$

$$S_c = 184 \text{ mm}$$

Resultados del cálculo de Asentamiento por Consolidación (Grupo de pilotes):

1. Se determina la profundidad a la cual empieza a afectar el bulbo de influencia, la cual es a 2/3 de la longitud del pilote

- 2/3 de L: m

2. Luego se calcula el incremento en el esfuerzo efectivo causado en la mitad de cada estrato de suelo por la carga vertical que llega al cabesal del grupo de pilotes y su misma forma

- Esfuerzo efectivo en el estrato 1 ($\Delta\sigma$):	0 KN/m ²	- Esfuerzo efectivo en el estrato 3 ($\Delta\sigma$):	14.518 KN/m ²
- Esfuerzo efectivo en el estrato 2 ($\Delta\sigma$):	51.6 KN/m ²	- Esfuerzo efectivo en el estrato 4 ($\Delta\sigma$):	9.206 KN/m ²

3. Para después determinar el esfuerzo vertical a la mitad de cada estrato, teniendo en cuenta la distancia a la que finaliza el efecto del bulbo de influencia

- Esfuerzo vertical en el estrato 1 (σ):	0 KN/m ²	- Esfuerzo vertical en el estrato 3 (σ):	181.62 KN/m ²
- Esfuerzo vertical en el estrato 2 (σ):	134.775 KN/m ²	- Esfuerzo vertical en el estrato 4 (σ):	208.99 KN/m ²

4. Se calcula el asentamiento por consolidación en cada estrato

- Asentamiento por consolidación en el estrato 1 (s_c):	0 m	- Asentamiento por consolidación en el estrato 3 (s_c):	0.016 m
- Asentamiento por consolidación en el estrato 2 (s_c):	0.162 m	- Asentamiento por consolidación en el estrato 4 (s_c):	0.005 m

5. Por último se suma cada asentamiento por consolidación de cada estrato y se obtiene el asentamiento por consolidación total

- Asentamiento por consolidación total (S_c): m

NOTA: Las casillas de color rojo, indican que ese estrato no aporta al asentamiento por consolidación




Figura 32: Ilustración de la interfaz de PilotAPP para el caso 7. Elaboración propia

Resultados de PilotAPP

Los resultados obtenidos anteriormente se comparan con los datos obtenidos del Libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones” (Das, 2012).

<i>Parámetros a evaluar</i>	<i>Ejemplo 11.20 (Das, 2012)</i>	<i>Solución por PilotAPP</i>
Asentamiento por consolidación en el estrato 1 S_{c1} (mm)	0	0
Asentamiento por consolidación en el estrato 2 S_{c2} (mm)	162.4	162
Asentamiento por consolidación en el estrato 3 S_{c3} (mm)	15.7	16
Asentamiento por consolidación en el estrato 4 S_{c4} (mm)	5.4	5
Asentamiento por consolidación total S_c (mm)	183.5	184
% Diferencia		0.2725

Tabla 14: Comparación de resultados obtenidos por el libro y el programa. Fuente: Elaboración

Como se puede ver en la tabla anterior el porcentaje de diferencia es mínimo debido a que el uso de decimales son mayores en PilotAPP que los que toma el libro.

B: Anexo: Guía de instalación y Manual para PilotAPP



Guía de instalación de PilotAPP

PRESENTADO POR:

Maria Alexandra Perdomo Tovar

Cesar Horacio Valencia Garrido

Ing. Jackson Andres Gil Hernandez, MEng

Ing Sist. Freddy Alirio Romero Piñeros

P

Te presentamos el programa PilotAPP



PilotAPP es un programa de software para el cálculo de capacidad portante de pilotes con metodologías analíticas y empíricas, usando como lenguaje de programación C#. Este guía de instalación se elabora con el objetivo de brindar una ayuda al usuario final sobre el como instalar el programa, desinstalarlo y todo el procedimiento que se debe realizar.

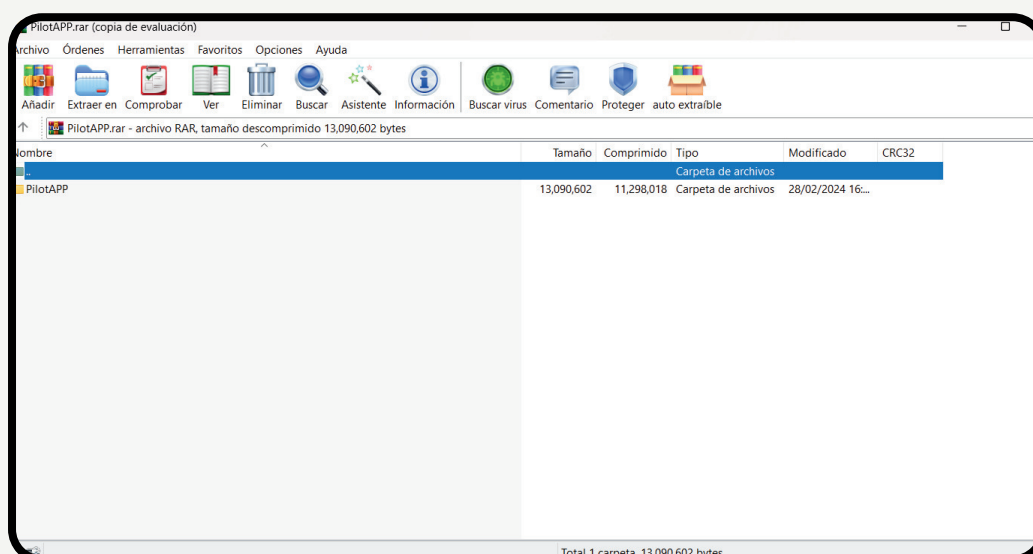
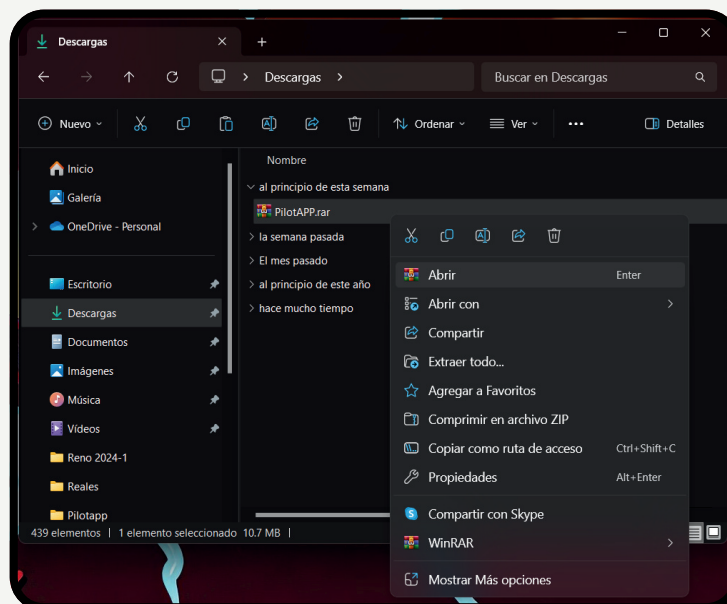
Instalación del programa

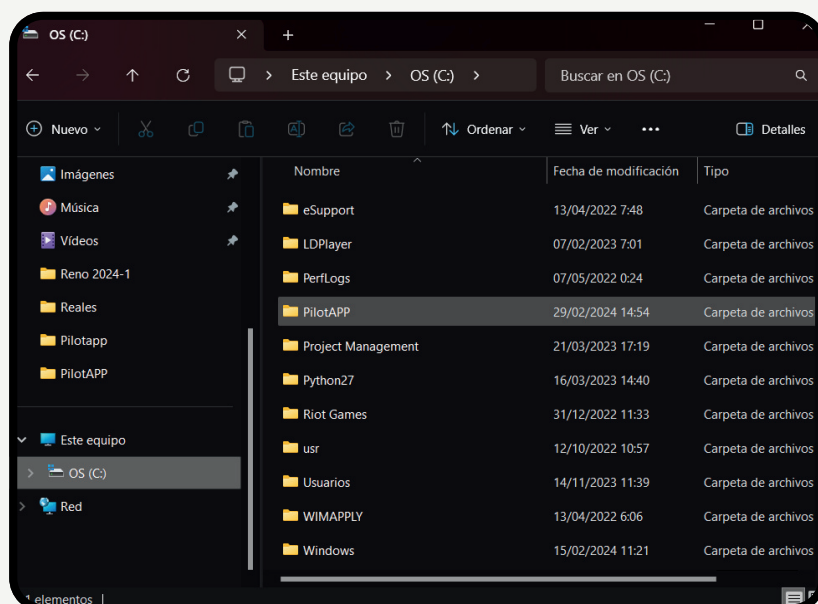
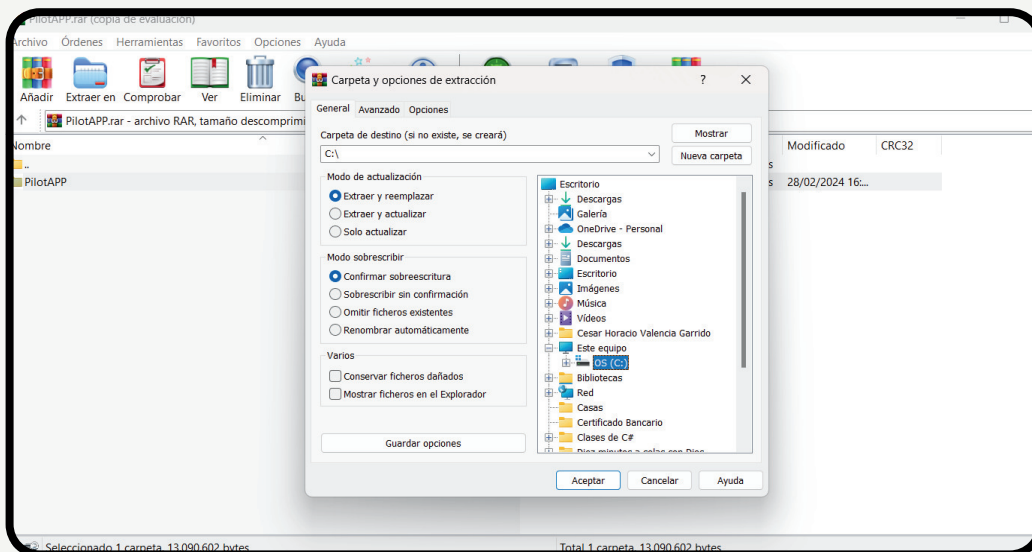
A continuación te presentamos el paso a paso del proceso que se deberá llevar a cabo para poder instalar el programa de software PilotAPP:



Paso 1:

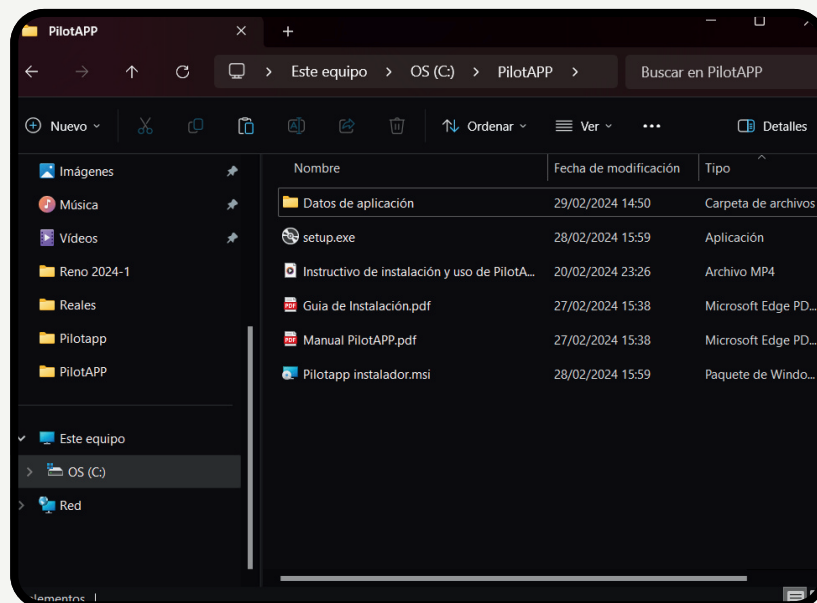
Se debe abrir el RAR de la aplicación y luego extraer la carpeta nombrada "PilotAPP" en el "Disco local (C:)"





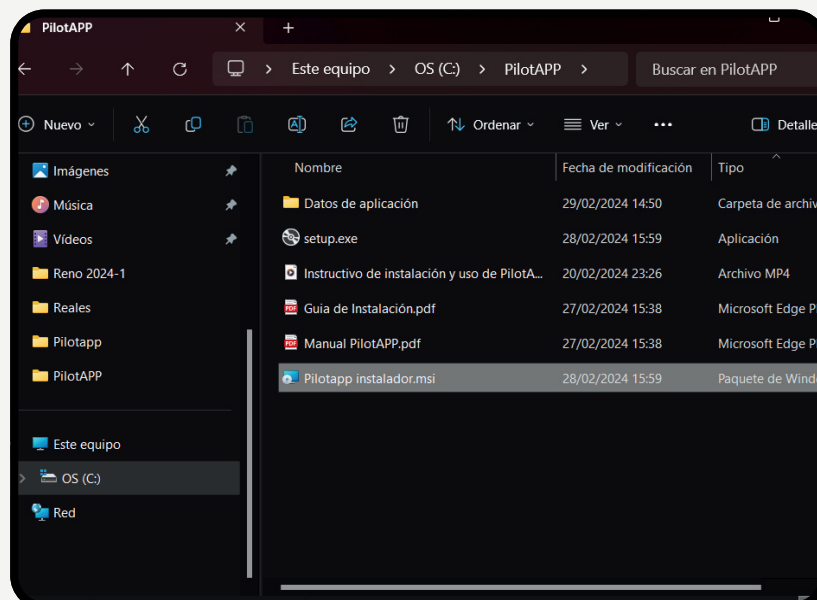
Paso 2:

Luego, se debe abrir la carpeta "PilotAPP" recién extraída en el "Disco local (C:)". Al abrir esta carpeta se encontrará: el manual de la aplicación, una carpeta llamada "Datos de aplicación", el instalador del programa de software con el nombre de "Pilotapp instalador", el setup de este, un video de uso e instalación y la guía de instalación del programa de software.



Paso 3:

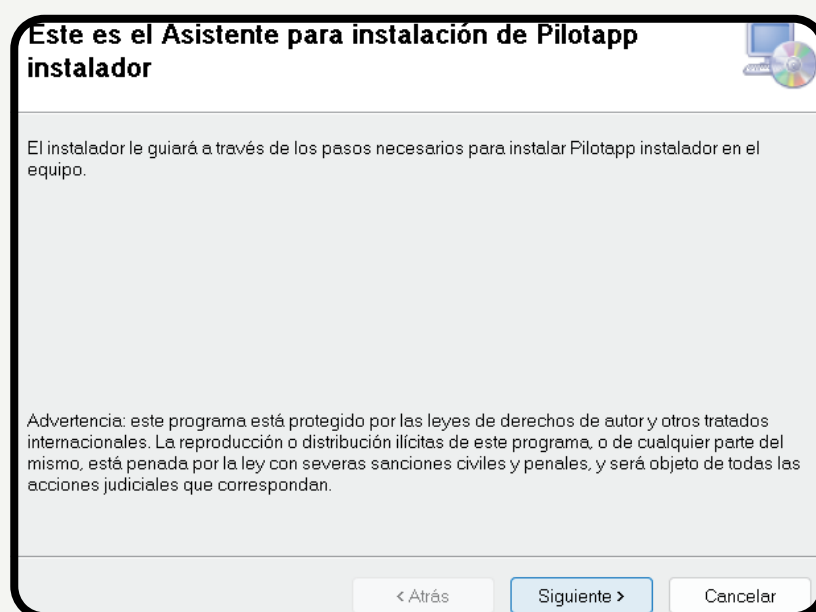
Se procede a abrir el instalador del programa de software "Pilotapp instalador" el cual desplegará una ventana de instalación de archivo.





Paso 4:

En la ventana de instalación de archivo, el primer paso es dar en **"Siguiente >"**, luego presionar el botón de **"Examinar"** y buscar la carpeta llamada "Datos de aplicación", que se encuentra en el "Disco local (C:)" en la carpeta extraída en el **Paso 1**. Luego de seleccionar la carpeta de "Datos de aplicación" como destino para instalar la aplicación, se presiona el botón de **"Siguiente >"** y en la siguiente ventana que aparece también se presiona **"Siguiente >"**, luego se presiona **"Sí"** al aviso de windows y luego el botón de **"Cerrar"**.



Seleccionar carpeta de instalación



El instalador instalará Pilotapp instalador en la siguiente carpeta.

Para instalarlo en esta carpeta haga clic en "Siguiente". Para instalarlo en una carpeta distinta haga clic en "Examinar".

Carpeta:

C:\Program Files (x86)\anng_08@hotmail.com\Pilotapp instalador\

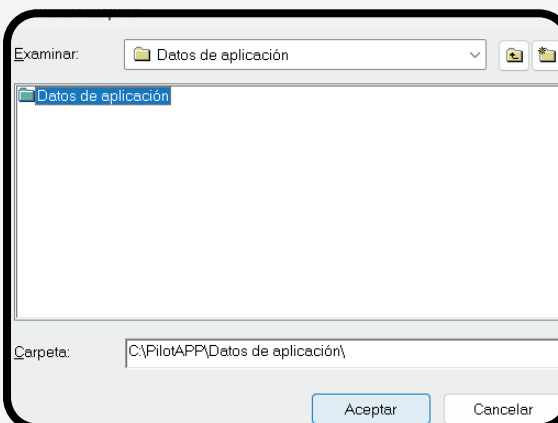
Examinar...

Espacio en disco...

Instalar Pilotapp instalador sólo para este usuario o para todos los usuarios de este equipo:

☐ Para todos los usuarios

☒ Sólo para este usuario



Seleccionar carpeta de instalación



El instalador instalará Pilotapp instalador en la siguiente carpeta.

Para instalarlo en esta carpeta haga clic en "Siguiente". Para instalarlo en una carpeta distinta haga clic en "Examinar".

Carpeta:

C:\PilotAPP\Datos de aplicación\

Examinar...

Espacio en disco...

Instalar Pilotapp instalador sólo para este usuario o para todos los usuarios de este equipo:

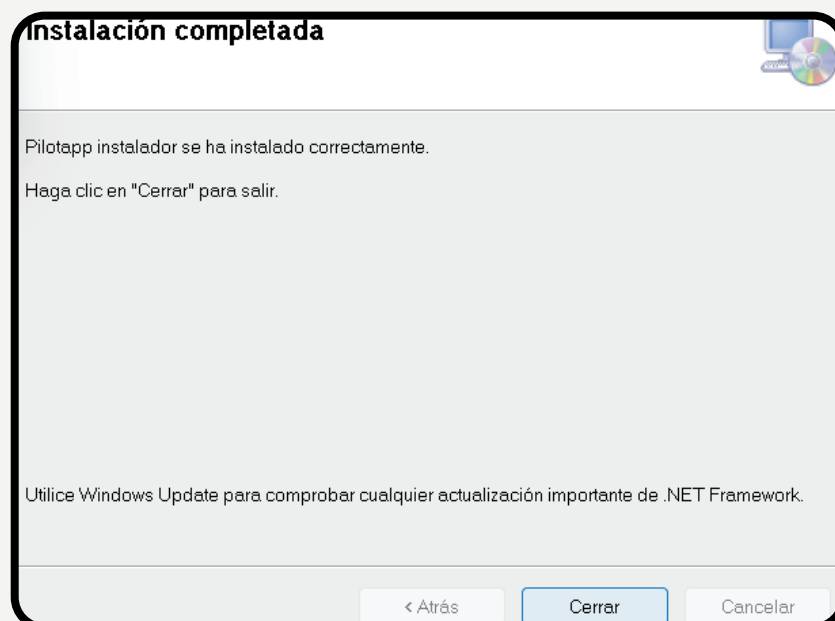
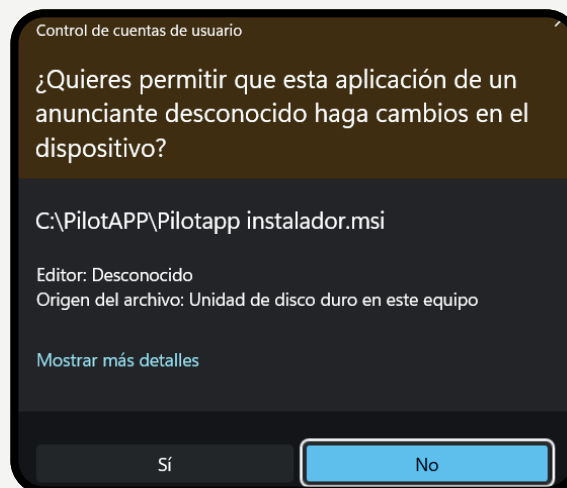
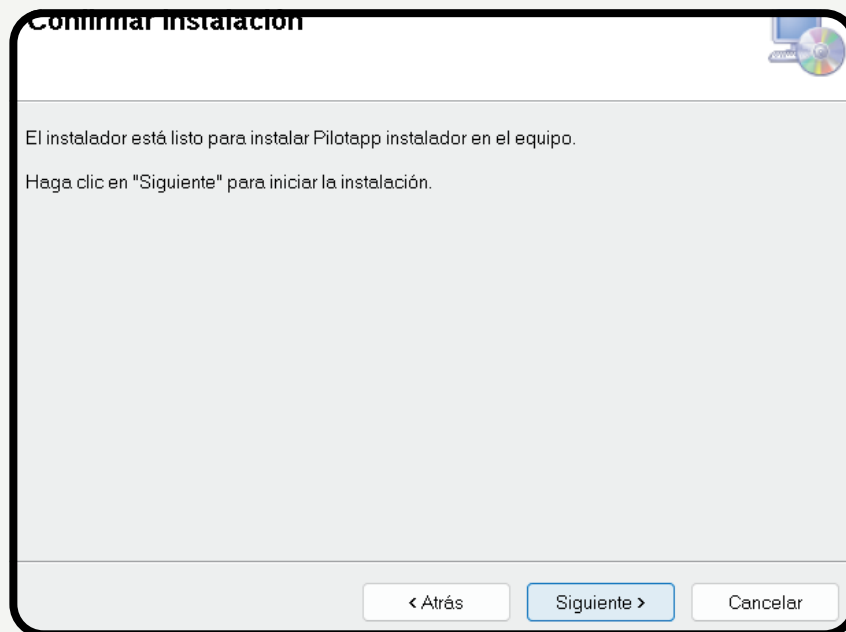
☐ Para todos los usuarios

☒ Sólo para este usuario

< Atrás

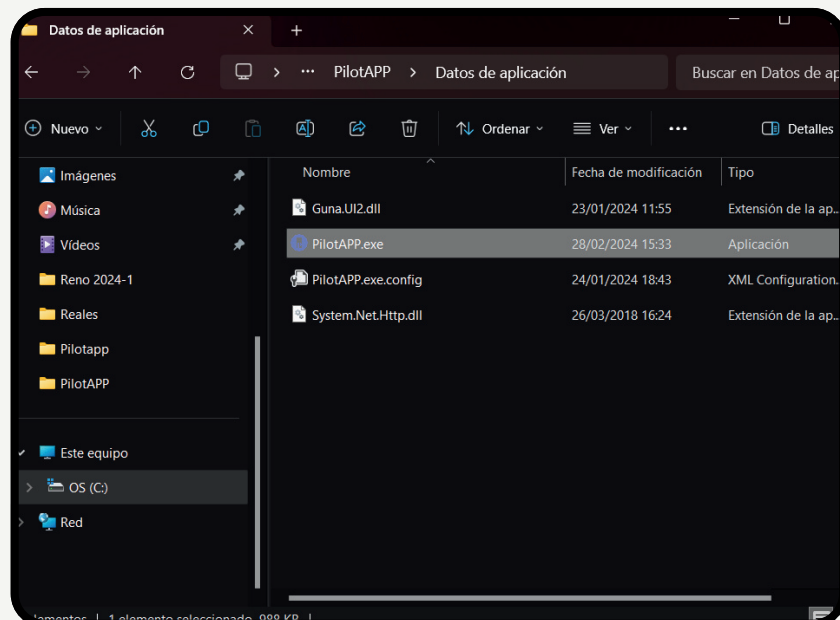
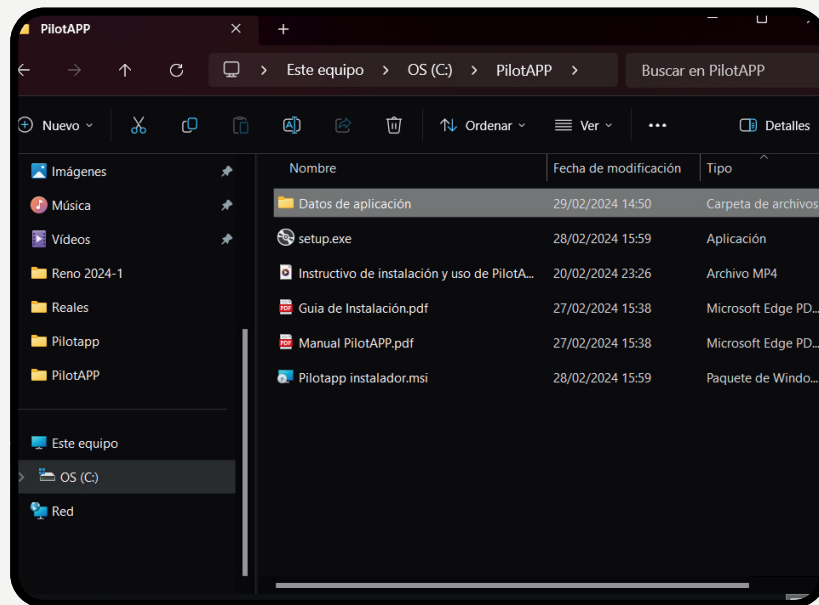
Siguiente >

Cancelar



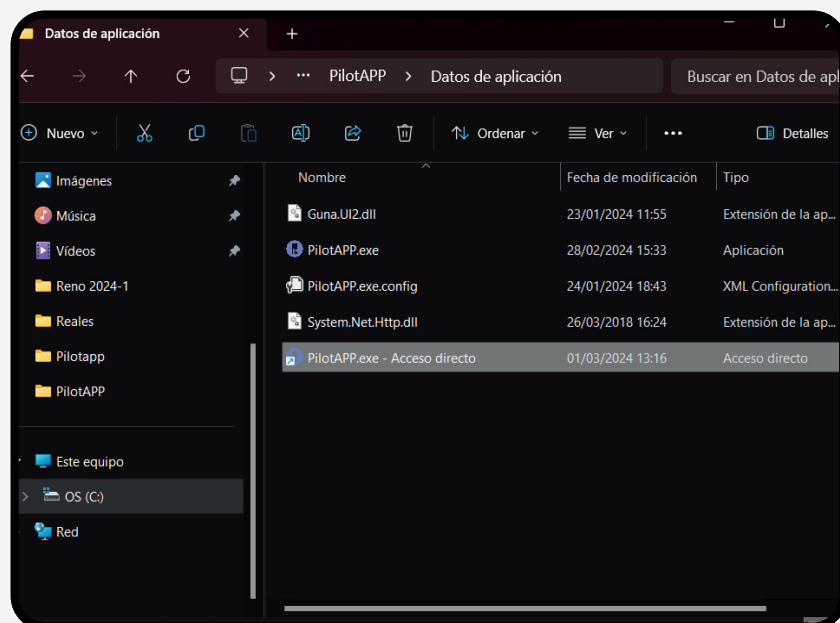
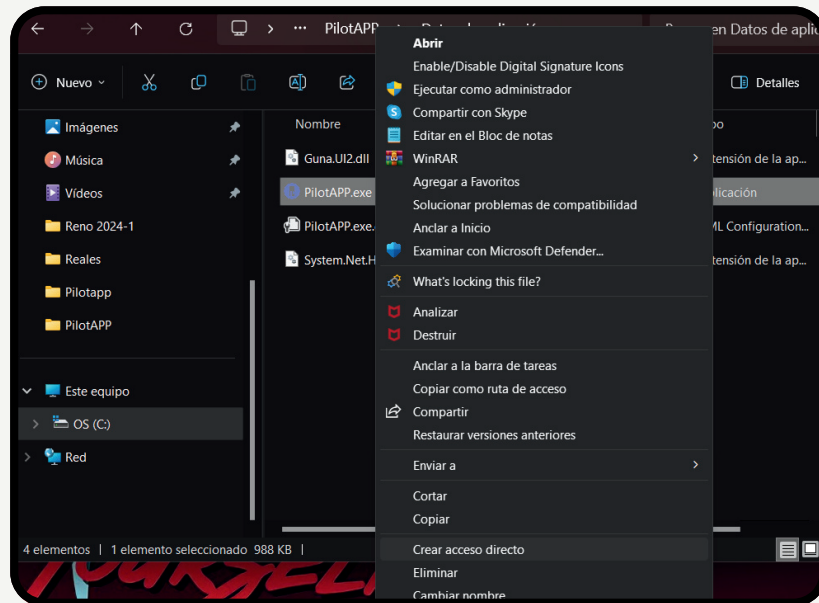
Paso 5:

Al completarse la instalación se debe dirigir a la carpeta "Datos de aplicación" donde se encontrarán archivos del programa y el programa nombrado "PilotAPP.exe"



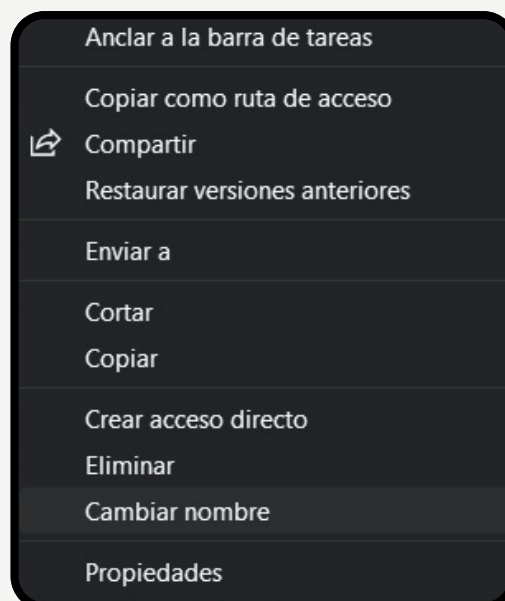
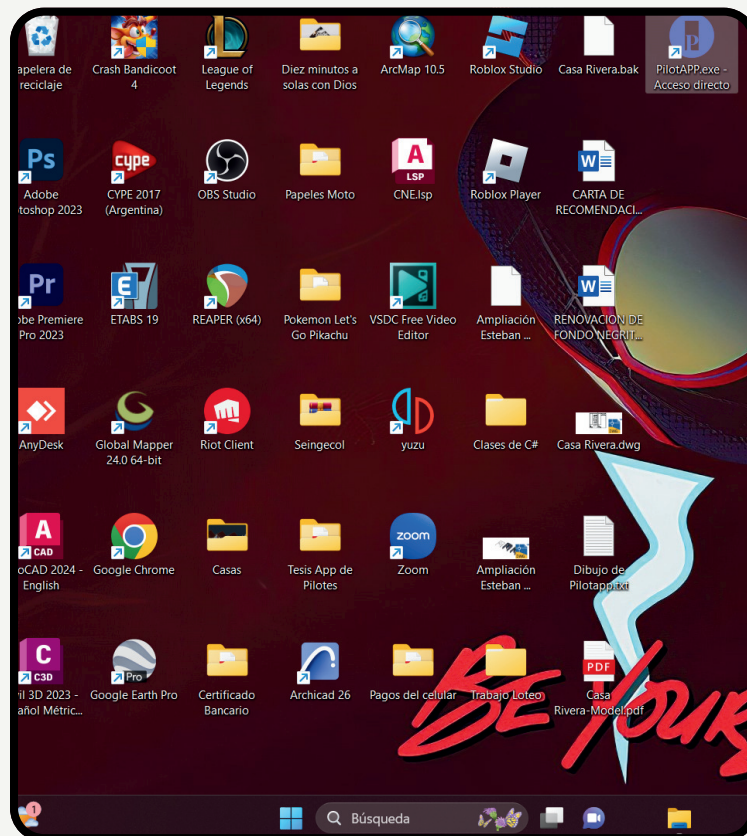
Paso 6:

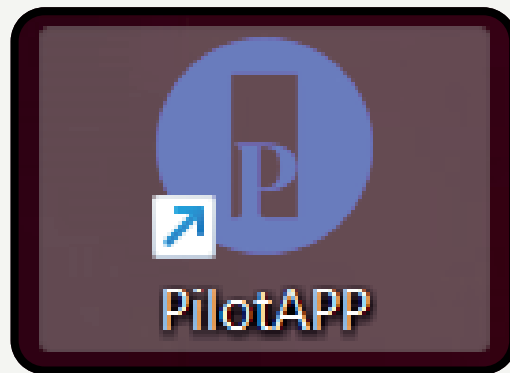
Después se presionará clic derecho en "PilotAPP.exe" y en la lista de opciones que aparece, se presiona la opción que dice "Crear acceso directo" y aparecerá inmediatamente un acceso directo del programa llamado "PilotAPP.exe-Acceso directo"



Paso 7:

Por último el archivo del programa "PilotAPP.exe-Acceso directo" lo movemos al escritorio del computador, se le presiona clic derecho sobre este, se renombra y se le pone "PilotAPP" y quedó lista la aplicación para su funcionamiento y ubicada tanto en el escritorio del computador como en la dirección del [Paso 2](#).



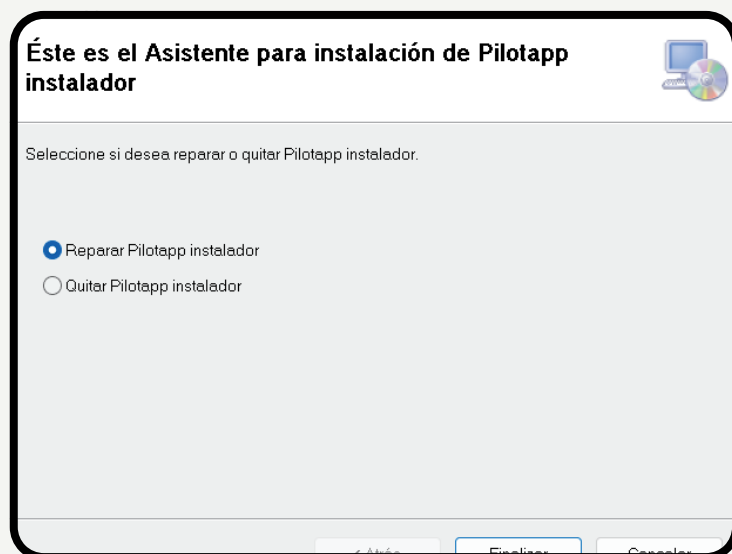
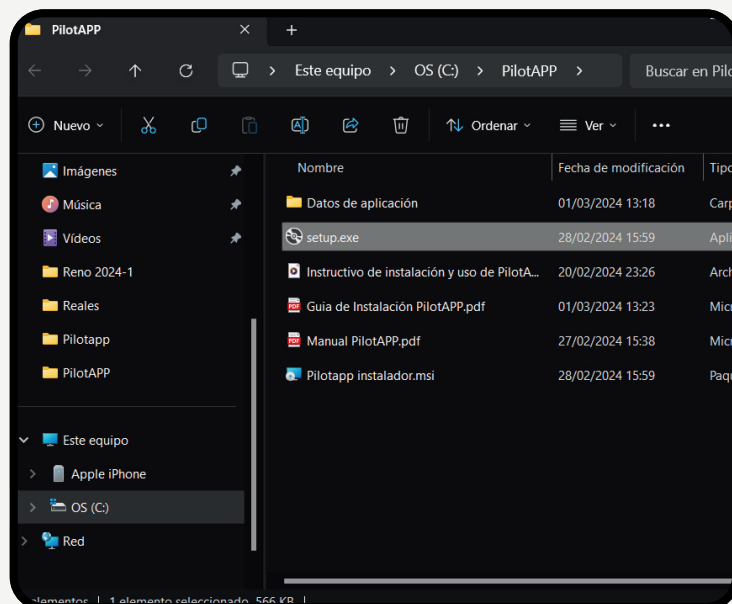


Desinstalación del programa

A continuación te presentamos el paso a paso del proceso que se deberá llevar a cabo para poder desinstalar el programa de software PilotAPP:

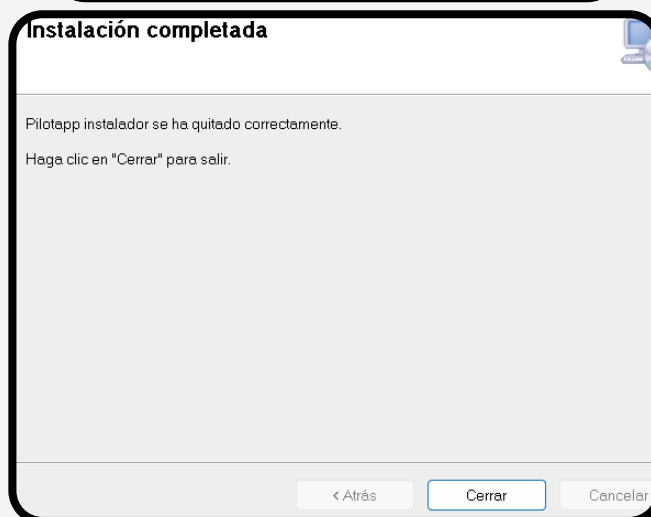
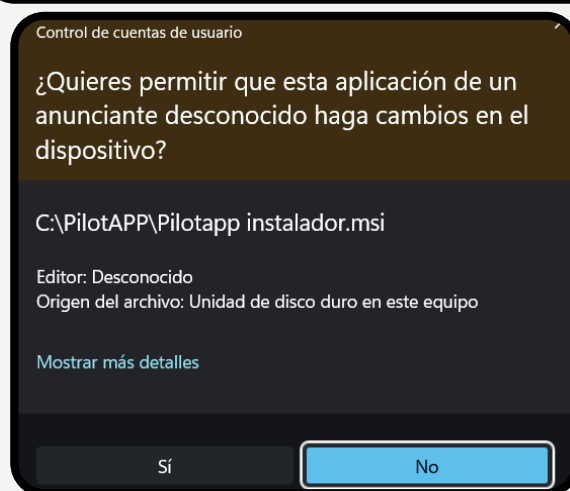
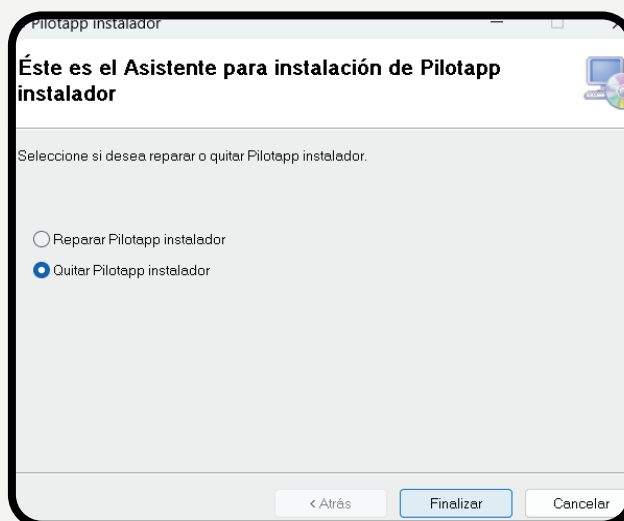
Paso 1:

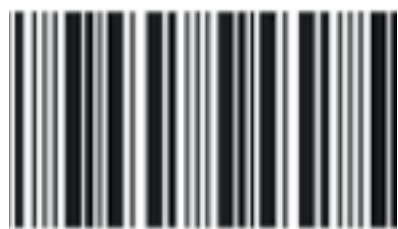
Se debe dirigir a la carpeta "PilotAPP" guardada en el "Disco local (C:)" y presionar doble clic izquierdo sobre el archivo llamado "setup.exe"



Paso 2:

En la ventana del setup que se abre, se verifica que esté marcada la opción "quitar PilotAPP", se presiona el botón **"Finalizar"**, luego en la ventana de windows que se abre se presiona **"Sí"** y después se presiona el botón de **"Cerrar"** el cual indicará que la aplicación se desinstaló con éxito.





P



Manual de usuario de PilotAPP

PRESENTADO POR:

Maria Alexandra Perdomo Tovar

Cesar Horacio Valencia Garrido

Ing. Jackson Andres Gil Hernandez, MEng

Ing Sist. Freddy Alirio Romero Piñeros

P

Índice

01. Funcionamiento

- 1 Reconocimiento
- 2 Apertura de programa
- 3 Espacio de Trabajo
- 4 Botones Principales
- 5 Botón Home
- 6 Botón Ayuda
- 7 Botón Salir
- 8 Botón Copiar
- 9 Botón Pegar
- 10 Botón Funciones

02. Funciones de Cálculo

- 1 Botón Método Meyerhof
- 2 Botón Método Terzaghi
- 3 Botón Método Analítico
- 4 Botón Eficiencia/Bulbo de Influencia
- 5 Botón Asentamiento Elástico
- 6 Botón Asentamiento por Consolidación

03. Procesos

- 1 Definición de variables
- 2 Método Meyerhof
- 3 Método Terzaghi
- 4 Método Analítico
- 5 Cálculo Eficiencia
- 6 Cálculo Bulbo de Influencia
- 7 Cálculo de asentamiento Elástico
- 8 Cálculo asentamiento por Consolidación

Te presentamos el programa PilotAPP



PilotAPP es un programa de software para el cálculo de capacidad portante de pilotes con metodologías analíticas y empíricas, usando como lenguaje de programación C#. Este manual de usuario se elabora con el objetivo de brindar una ayuda al usuario final sobre el conocimiento y uso del programa, donde se explicará cómo navegar en la aplicación, el funcionamiento de esta con imágenes ilustrativas y el proceso que internamente está llevando cada función del programa.

01. Funciona – miento

P

En esta sección se explica desde el inicio cómo es el funcionamiento del programa de software PilotAPP, cuáles son las funcionalidades de los botones, la ubicación de cada uno de estos, las sugerencias especiales que tienen y cada detalle de este programa.

IMPORTANTE: Verificar que el computador lea como decimal el PUNTO y como separador de mil la COMA

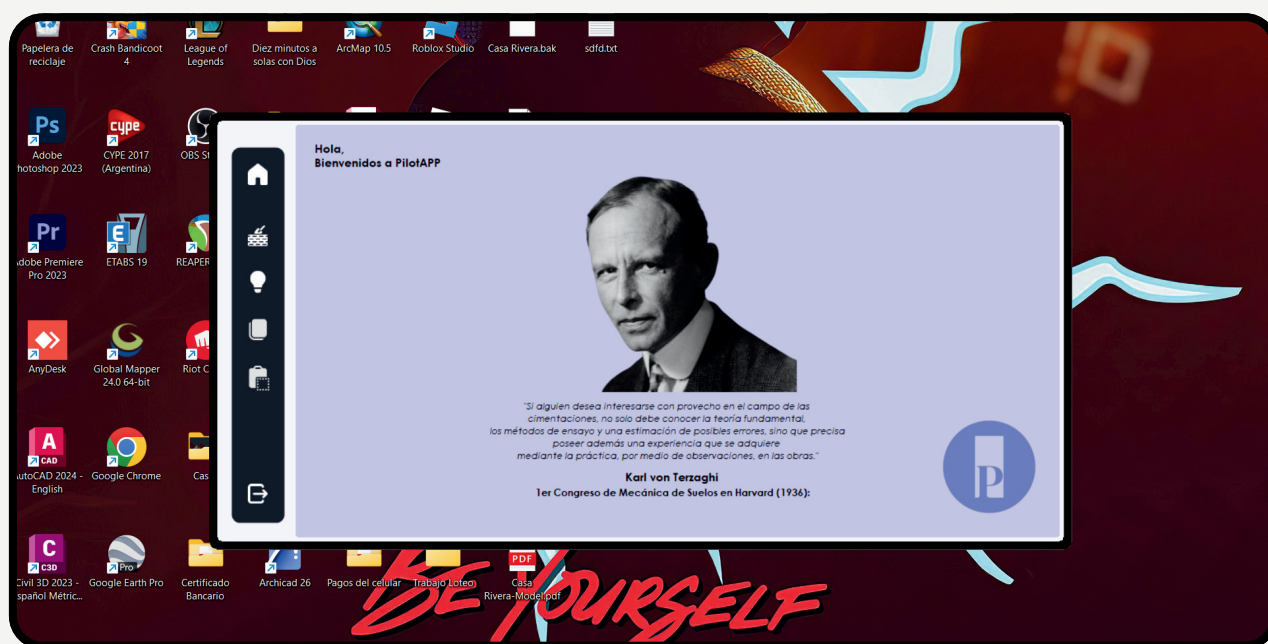
Reconocimiento

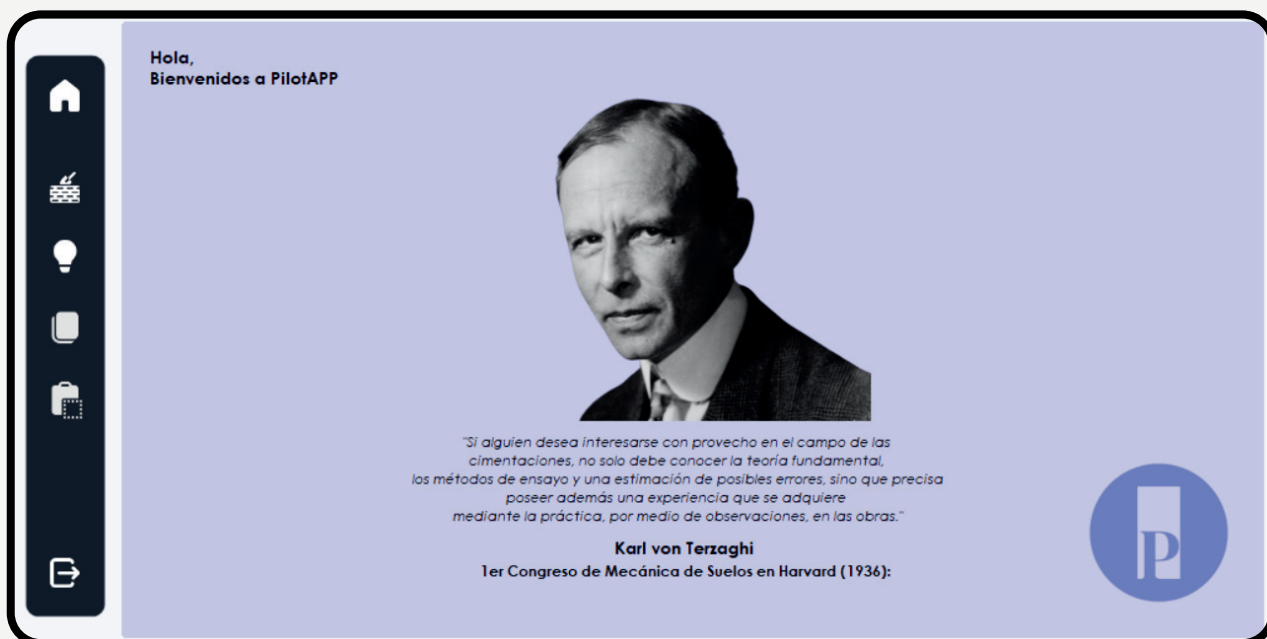
Para reconocer el programa de software después de su debida instalación en el escritorio, se debe acudir al icono de acceso directo en el escritorio con la siguiente imagen:



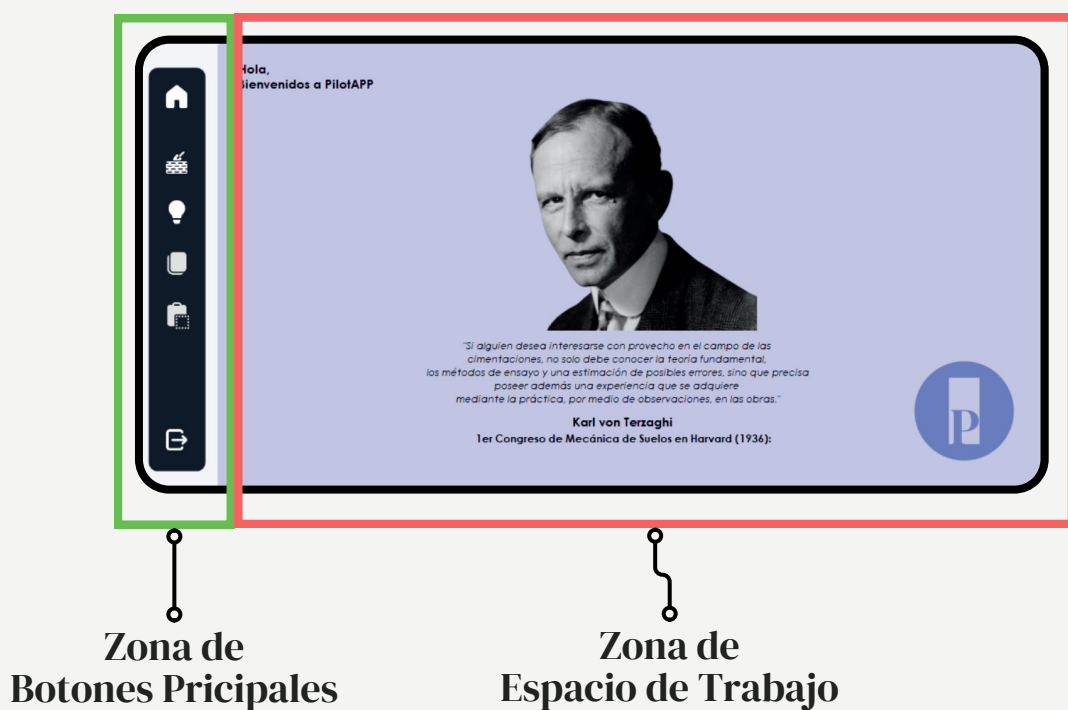
Apertura del programa

Al darle doble clic en el acceso directo del programa ubicado en el escritorio del computador, se abrirá el programa en su ventana de inicio





Al aparecer la ventana de inicio del programa, se presentarán dos zonas, las cuales son la zona de botones principales y la zona de espacio de trabajo.



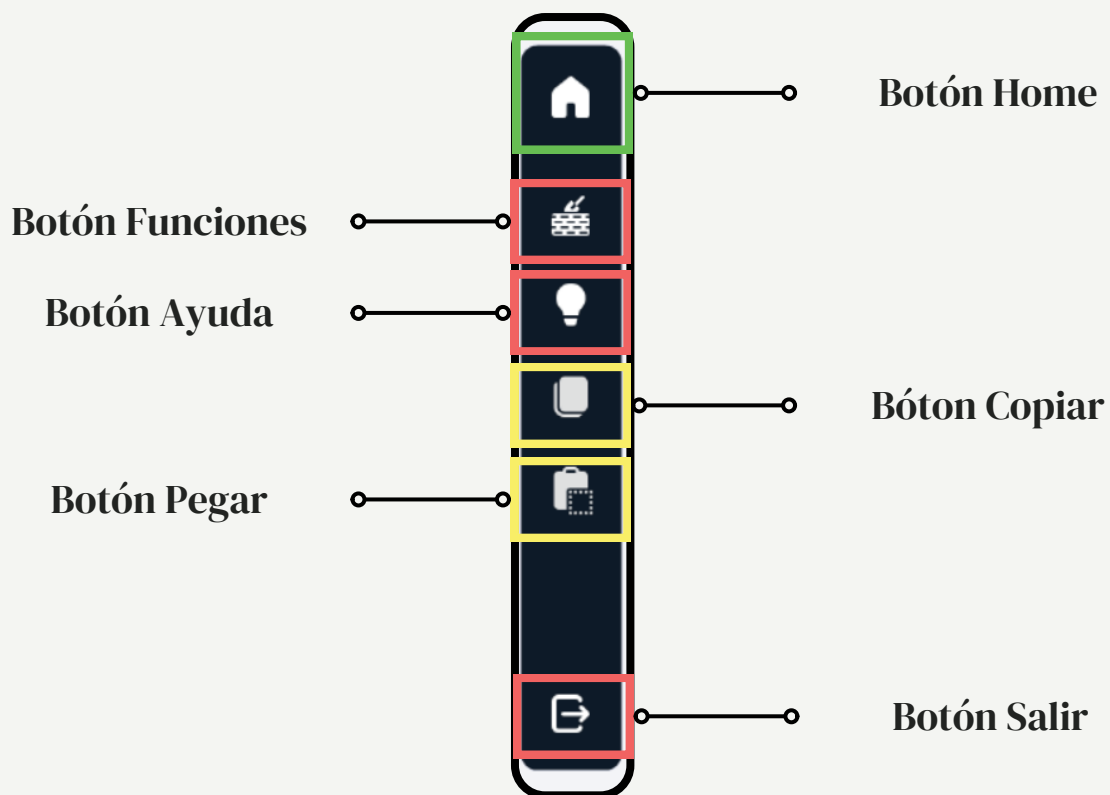
Espacio de Trabajo:

La zona "Espacio de Trabajo", como lo indica su nombre, es el espacio donde se van a ver reflejadas la mayoría de las funciones del programa. En esta área van a quedar ubicados cada uno de los recuadros en blanco para la entrada de datos de algún ejercicio o caso presentado.

Botones Principales:

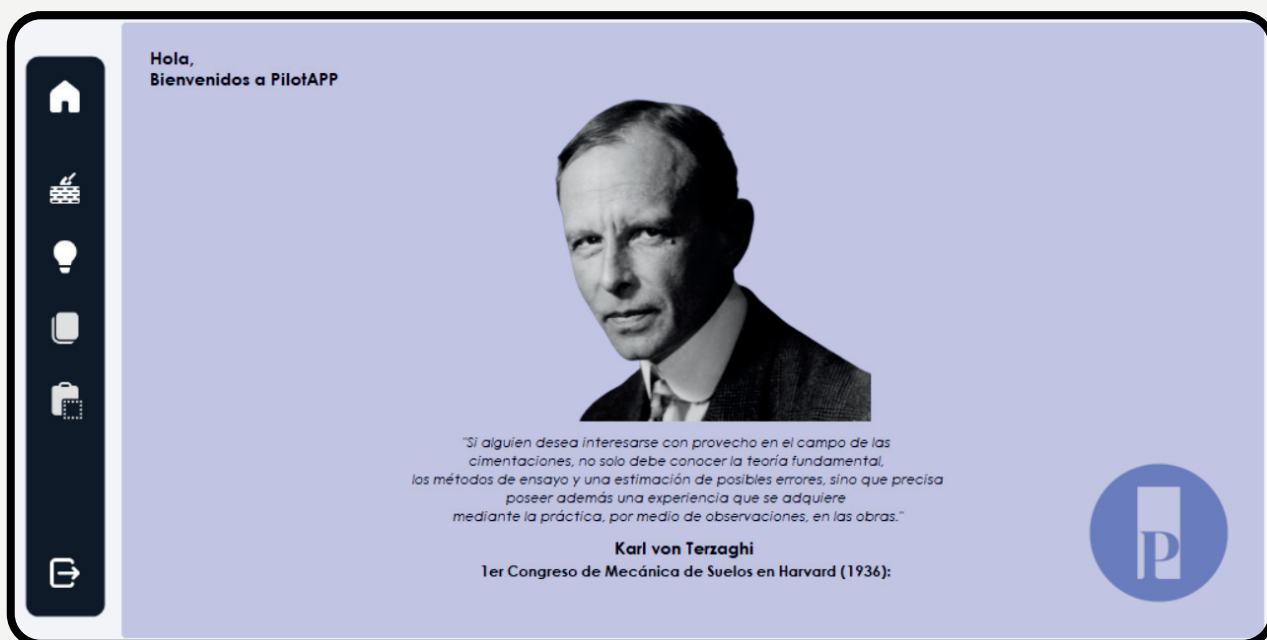
La zona "Botones Principales" es el lugar donde se ubicarán los botones principales que darán funcionamiento al programa. En este grupo de botones principales tenemos los siguientes botones:

- Botón Home
- Botón Ayuda
- Botón Salir
- Botón Copiar
- Botón Pegar
- Botón Funciones



Botón Home

El botón home o botón inicio, se caracteriza por tener una casa, se ubica en la zona de botones principales y tiene la funcionalidad de volver al espacio de trabajo a su forma inicial o por defecto, que es lo que nos encontramos al recién abrir el programa.



Botón Ayuda

El botón de ayuda se identifica con el icono de un bombillo, se ubica en la zona de botones principales y tiene la funcionalidad de abrir externamente el pdf del manual del usuario del programa PilotAPP, en el cual se explicará el correcto uso de la aplicación y los procesos que se llevan a cabo dentro de ella.





Botón Salir

El botón de salir se identifica con el icono de un rectángulo con una flecha hacia fuera de él, se ubica en la zona de botones principales y tiene la funcionalidad de cerrar el programa por completo.

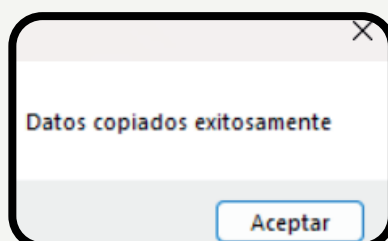


Botón Copiar

El botón copiar, se identifica con el icono de una hoja sobre otra, se ubica en la zona de botones principales y tiene la funcionalidad de copiar los datos de los métodos de cálculo de resistencia por punta y por fuste que expondrán más adelante. Este botón por defecto estará desactivado, pero cuando se ingrese a algunos de estos métodos se activará.



Al presionar el botón de copiar, se desplegará una ventana de mensaje como la siguiente que indicará que los datos del método usado se han copiado exitosamente.

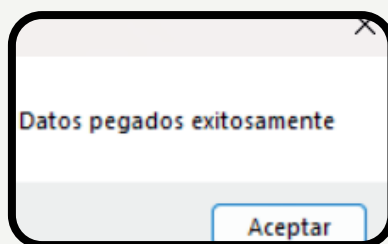


Botón Pegar

El botón pegar se identifica con el icono de una carpeta con un cuadro vacío, se ubica en la zona de botones principales y tiene la funcionalidad de pegar los datos copiados en los métodos de cálculo de resistencia por punta y por fuste que expondrán más adelante. Este botón por defecto estará desactivado, pero cuando se ingrese a algunos de estos métodos, se activará.



Al presionar el botón de copiar, se desplegará una ventana de mensaje como la siguiente que indicará que los datos del método usado se han copiado exitosamente.

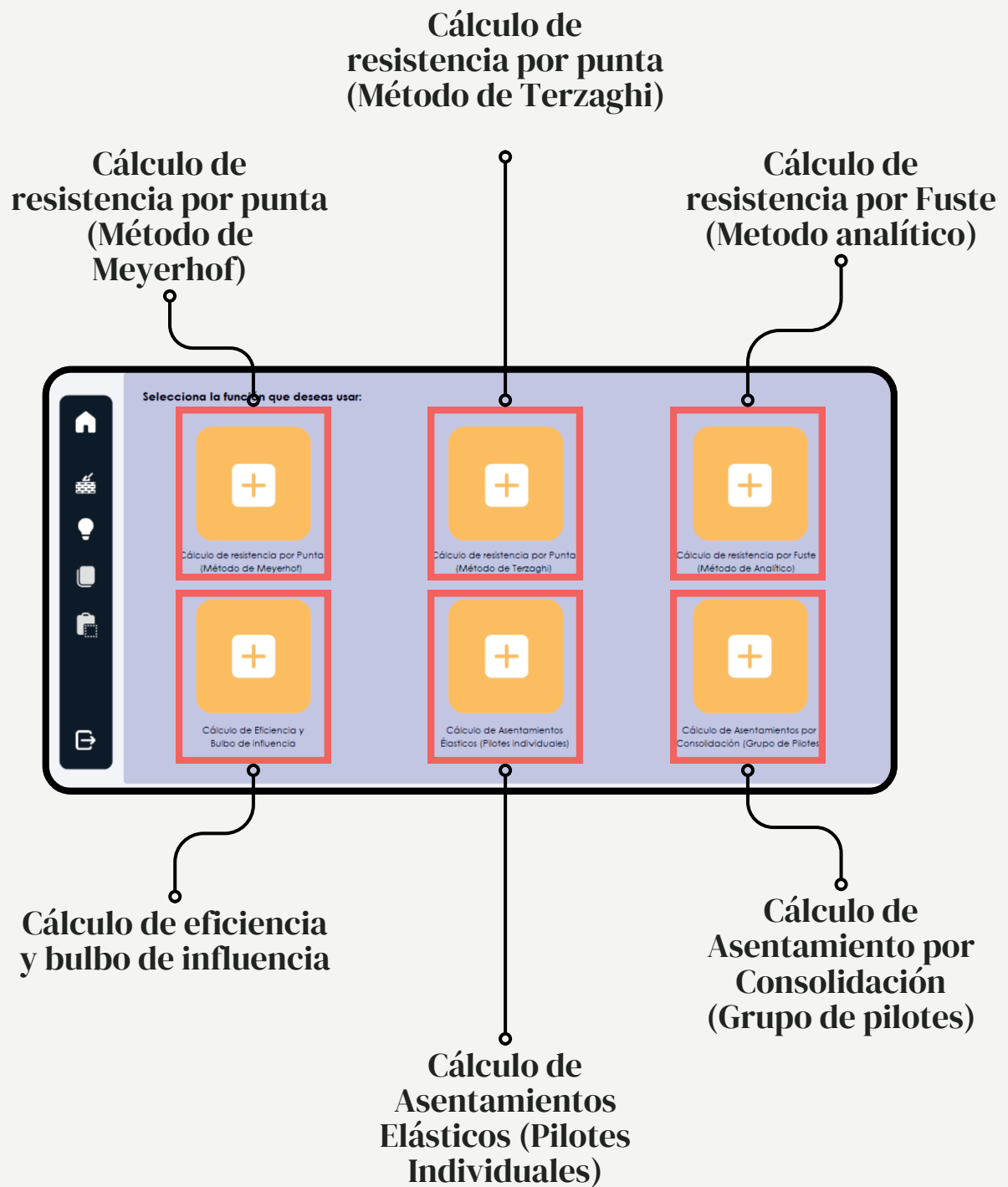


Botón Funciones

El botón de funciones, se identifica con el icono de una pala insertada en un suelo, se ubica en la zona de botones principales y tiene el objetivo de mostrar en el espacio de trabajo cada una de las funcionalidades de cálculo que tiene el programa como lo son:

- Cálculo de resistencia por punta (Método de Meyerhof)
- Cálculo de resistencia por punta (Método de Terzaghi)
- Cálculo de resistencia por fuste (Método analítico)
- Cálculo de eficiencia y bulbo de influencia
- Cálculo de asentamiento elástico (Pilotes individuales)
- Cálculo de asentamiento por consolidación (Grupo de pilotes)





02. Funciones de cálculo

P

En esta sección se explica cada uno de los botones de funciones de cálculo creados en el espacio de trabajo, generados por el **botón de funciones**. Para pasar de una función a otra, primero hay que presionar el botón de funciones y luego seleccionar el botón de la función de cálculo requerida.



Botón Método Meyerhof

Cálculo de resistencia por punta (Método de Meyerhof)

El botón para esta funcionalidad de cálculo se encuentra ubicado en la **primera columna y primera fila** del espacio de trabajo anteriormente mostrado. Al presionar clic en el botón de cálculo de resistencia por punta (Método de Meyerhof), el espacio de trabajo se tornará de la siguiente forma.

Datos del pilote:		Datos de los estratos:		Representación gráfica:	
Diametro:	m.	Estrato 1:	☐	Estrato 3:	☐
Profundidad:	m.	Espesor:	m.	Espesor:	m.
Desfase:	m.	Ysat:	KN/m ²	Ysat:	KN/m ²
		Thum:	KN/m ²	Thum:	KN/m ²
		Cohesión (C):	KN/m ²	Cohesión (C):	KN/m ²
		Angulo de fricción (Φ):	°	Angulo de fricción (Φ):	°
Datos del suelo:		Estrato 2:		Estrato 4:	
Profundidad del nivel freático:	m.	Espesor:	m.	Espesor:	m.
Número de estratos:	Min 1, Máx 4	Ysat:	KN/m ²	Ysat:	KN/m ²
Tipo de suelo en la punta:		Thum:	KN/m ²	Thum:	KN/m ²
Factor de seguridad:		Cohesión (C):	KN/m ²	Cohesión (C):	KN/m ²
		Angulo de fricción (Φ):	°	Angulo de fricción (Φ):	°

Calcular

La explicación del espacio de trabajo creado es la siguiente:

Cálculo de resistencia por Punta del Pilote (Método Meyerhof):

Datos del pilote:

Díametro: m.

Profundidad: m.

Desfase: m.

Datos del suelo:

Profundidad del nivel freático: m.

Número de estratos: Min 1, Máx 4

Tipo de suelo en la punta:

Factor de seguridad:

Datos de los estratos:

Estrato 1:

Espesor: m.

Ysat: KN/m³

Yhum: KN/m³

Cohesión (C): KN/m²

Angulo de fricción (Φ): °

Estrato 2:

Espesor: m.

Ysat: KN/m³

Yhum: KN/m³

Cohesión (C): KN/m²

Angulo de fricción (Φ): °

Estrato 3:

Espesor: m.

Ysat: KN/m³

Yhum: KN/m³

Cohesión (C): KN/m²

Angulo de fricción (Φ): °

Estrato 4:

Espesor: m.

Ysat: KN/m³

Yhum: KN/m³

Cohesión (C): KN/m²

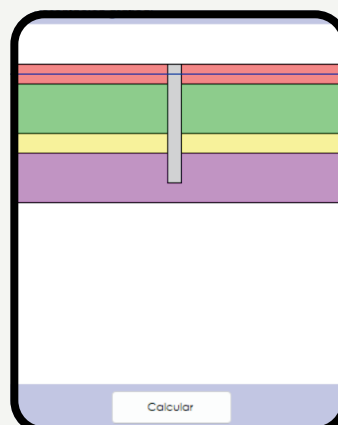
Angulo de fricción (Φ): °

Representación gráfica:

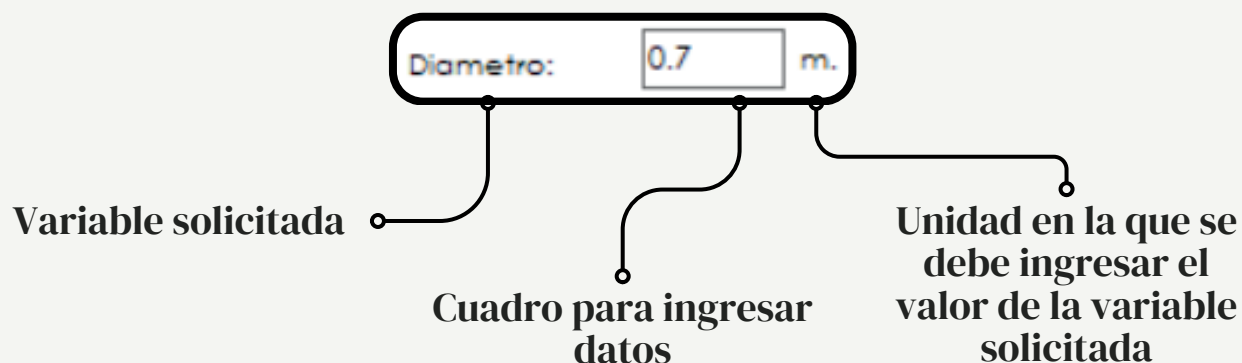
Espacio de ingreso de Datos iniciales

Espacio del gráfico ilustrativo de los datos iniciales

En el espacio del gráfico ilustrativo de los datos iniciales, se creará una representación de los datos del pilote, el nivel freático del suelo, el número de estratos y el espesor de cada uno de estos.

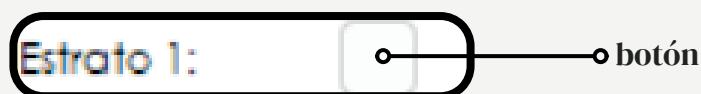


En el espacio de ingreso de datos iniciales encontraremos 3 grupos de datos que serán los datos del pilote, los datos del suelo y los datos de los estratos. Cada uno de los datos que se solicitarán contienen lo siguiente:

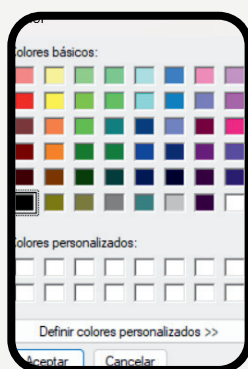


Cada una de las variables solicitadas debe ser ingresada correctamente en la unidad que se pide para que no haya errores en los cálculos del programa. En el espacio de datos a ingresar hay botones con funciones especiales como los son los siguientes:

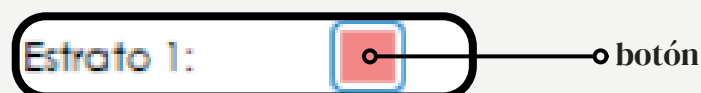
Botón color de estrato



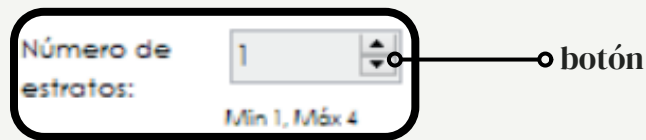
Al presionar el botón "color de estrato" como se indica en la representación anterior, este desplegará un cuadro de diálogo con diferentes colores a elegir.



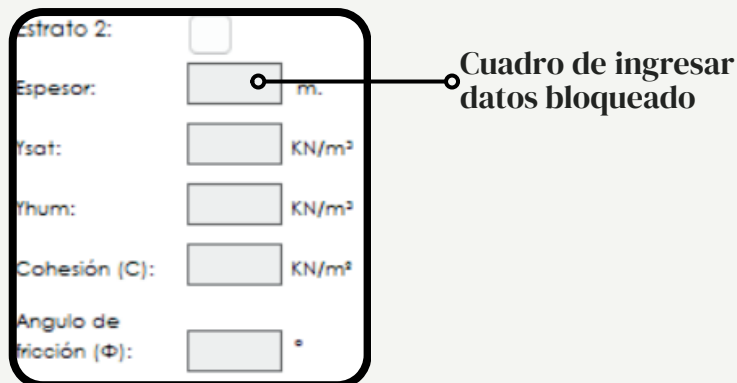
Al elegir un color, se presiona aceptar y automáticamente el botón de color tomará el color que se seleccionó al igual que el estrato en la representación gráfica (siempre y cuando ya esté registrado su valor de espesor).



Botón número de estratos



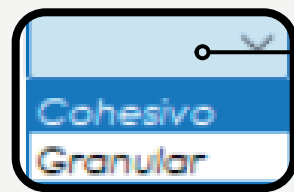
Este botón determinará el número de estratos que se tendrán en cuenta tanto para la representación como para el cálculo del método. Al presionar el botón con la flecha que está apuntando hacia arriba, aumentará el número de estratos hasta un máximo de 4 y se desbloquearán cada uno de los cuadros para ingresar datos de los estratos correspondientes, es decir, si el número de estratos está en 2, los cuadros para ingresar datos del estrato 1 y 2 estarán desbloqueados y los del 3 y 4 estarán bloqueados. Al presionar el botón con la flecha que está apuntando hacia abajo, disminuirá el número de estratos hasta un mínimo de 1 estrato que es el que está por defecto, limpiando y bloqueando los cuadros para ingresar datos de los números superiores al que se marque en el número de estratos. Los cuadros se tornarán grises al estar bloqueados.



Botón “tipo de suelo en la punta”

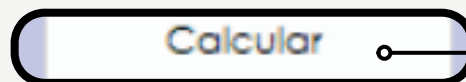


Este botón te permite seleccionar o ubicar qué tipo de suelo se encuentra en la punta del pilote, ya sea de tipo cohesivo o granular. Al presionarlo, desplegará una lista con estas dos opciones anteriores y me permitirá elegir una de ellas, las cuales determinarán un factor a la hora de procesar los datos en el programa.



Listado de opciones con los tipos de suelo en la punta

Botón Calcular



botón

Este botón da paso a todo el proceso de cálculo del programa, aplicando la metodología de Meyerhof a los datos iniciales ingresados. Luego de haber llenado cada uno de los cuadros en blanco, seleccionar el número de estratos, el color de los estratos y el tipo de suelo en la punta, se procede a presionar este botón. Se desplegará una ventana nueva, que será el cuadro de respuestas donde se entregarán cada una de las respuestas por el programa y el procedimiento que este realizó para llegar a estas.

Resultados del Cálculo de resistencia por punta del Pilote (Método Meyerhof):

- Se determina el área transversal del pilote
- El área transversal del pilote es de: m²
- Se procede a calcular el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote
- El esfuerzo vertical de la punta del pilote es de: KN/m²
- Se encuentra la relación de empotramiento-diámetro, teniendo en cuenta las gráficas del manual, para determinar si se pueden aplicar los factores de N_a y N_q
- La relación de longitud de empotramiento-diámetro para usar N_a es de:
- La relación de longitud de empotramiento-diámetro para usar N_q es de:
- Se verifica ahora cuál es la longitud de empotramiento mínima que debe tener el pilote para poder usar los factores de N_a y N_q
- La longitud de empotramiento mínima para usar N_a es de: m
- La longitud de empotramiento mínima para usar N_q es de: m
- La longitud de empotramiento del pilote es de: m
- Como la longitud de empotramiento del pilote es mayor a la longitud de empotramiento mínima para usar N_a y N_q , se procede a encontrar los valores de N_a y N_q de la tabla que se muestra en el manual
- N_a :
- N_q :
- Teniendo los factores y el esfuerzo vertical en la punta del pilote, se calcula el valor de la carga vertical (q) que soporta el pilote y la carga vertical máxima que puede soportar el pilote
- Carga vertical (q): KN/m²
- Presión atmosférica (P_a): KN/m²
- Carga vertical máxima ($q_{máx}$): KN/m²
- Como la carga vertical (q) es menor a la carga vertical máxima ($q_{máx}$) que puede soportar el pilote, entonces, para el cálculo de la resistencia por punta del pilote se usa la carga vertical del pilote
- Resistencia por punta del pilote es de (Q): KN
- Resistencia admisible por punta del pilote es de (Q_{adm}): KN

El cuadro de respuestas que se despliega, tiene dos botones en la parte inferior izquierda de la pantalla con los siguientes iconos y sus funciones son: el de la izquierda cumple con cerrar el cuadro de respuestas y el de la derecha cumple con guardar en un archivo .txt los resultados del cuadro de respuestas.

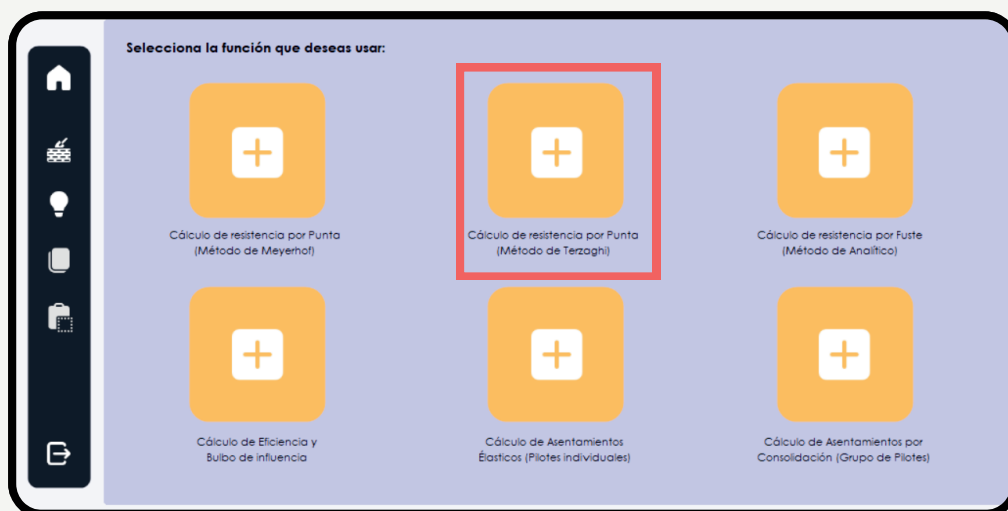


Cabe recomendar que los valores ingresados en los datos iniciales deben estar correctamente ingresados, teniendo en cuenta las unidades que se piden de cada variable.

Botón Método Terzaghi

Cálculo de resistencia por punta (Método de Terzaghi)

El botón para esta funcionalidad de cálculo se encuentra ubicado en la **segunda columna y primera fila** del espacio de trabajo generado por el botón de funciones. Al hacer clic en el botón de cálculo de resistencia por punta (Método de Terzaghi), el espacio de trabajo se tornará de la siguiente forma.



Cálculo de resistencia por Punta del Pilote (Método Terzaghi):

Datos del pilote:		Datos de los estratos:		Representación gráfica:
Dámetro: m.	Profundidad: m.	Desfase: m.		
Datos del suelo:				
Profundidad del nivel freático: m.	Número de estratos: (Min 1, Máx 4)	Factor de seguridad:		
Estrato 1:		Estrato 2:	Estrato 3:	
Profundidad: m.	Ysat: KN/m²	Profundidad: m.	Profundidad: m.	
Yhum: KN/m²	Cohesión (C): KN/m²	Ysat: KN/m²	Ysat: KN/m²	
Angulo de fricción (Φ): °		Yhum: KN/m²	Yhum: KN/m²	
		Cohesión (C): KN/m²	Cohesión (C): KN/m²	
		Angulo de fricción (Φ): °	Angulo de fricción (Φ): °	
Estrato 4:				
Profundidad: m.	Ysat: KN/m²	Profundidad: m.	Ysat: KN/m²	
Yhum: KN/m²	Cohesión (C): KN/m²	Yhum: KN/m²	Yhum: KN/m²	
Angulo de fricción (Φ): °		Cohesión (C): KN/m²	Angulo de fricción (Φ): °	

Calcular

Espacio de ingreso de Datos iniciales

Espacio de gráfico ilustrativo de los datos iniciales

Primeramente, cada una de las variables solicitadas debe ser ingresada correctamente en la unidad que se pide para que no haya errores en los cálculos del programa. En el espacio de datos a ingresar, hay botones con funciones especiales como se ve en el **"Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)"**

- Botón color de estrato
- Botón número de estratos
- Botón Calcular

Luego de llenar cada uno de los cuadros en blanco con los datos iniciales de las variables del cálculo, seleccionar el número de estratos y los colores de cada uno de estos, se procede a presionar el **botón Calcular**, para que el programa procese los datos registrados y despliegue una ventana nueva, que será el cuadro de respuestas donde se entregarán cada una de las respuestas por el programa y el procedimiento que este realizó para llegar a estas.

Resultados del Cálculo de resistencia por punta del Pilote (Método Terzaghi):

1. Se determina el área transversal del pilote
- El área transversal del pilote es de: m²

2. Se procede a calcular el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote
- El esfuerzo vertical de la punta del pilote es de: KN/m²

3. Como se trabaja con pilotes circulares, los factores de forma que se usan para este método son los siguientes
- S_α :
- S_y :
- S_q :

4. Ahora se procede a encontrar el valor del factor K_{py} teniendo en cuenta el ángulo de fricción del suelo en el que se encuentra la punta del pilote y la tabla del manual.
- K_{py} :

5. Teniendo el valor de K_{py} , se procede a reemplazar este en cada una de las fórmulas definidas en el manual para encontrar los valores de los factores de N_α , N_y y N_q
- N_α :
- N_y :
- N_q :

6. Teniendo los factores y el esfuerzo vertical en la punta del pilote, se calcula el valor de la carga vertical (q) que soporta el pilote y la carga vertical última que soporta el pilote
- Carga vertical (q): KN/m²
- Carga vertical última (q_{ult}): KN/m²

7. Ahora se calcula la resistencia por punta que va a tener el pilote y su resistencia admisible teniendo en cuenta el factor de seguridad.
- Resistencia por punta del pilote es de (Q): KN
- Resistencia admisible por punta del pilote es de (Q_{adm}): KN

El cuadro de respuestas que se despliega, así como en el **"Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)"**, tiene los botones de cerrar el cuadro de respuestas y de guardar el cuadro de respuestas.

Botón Método Analítico

Cálculo de resistencia por fuste (Método Analítico)

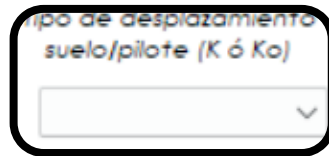
El botón para esta funcionalidad de cálculo se encuentra ubicado en la **tercera columna y primera fila** del espacio de trabajo generado por el botón de funciones. Al presionar clic en el botón de cálculo de resistencia por punta (Método de Terzaghi), el espacio de trabajo se tornará de la siguiente forma.



Espacio de ingreso
de Datos iniciales

Espacio del gráfico
ilustrativo de los
datos iniciales

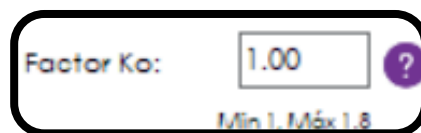
Botón “tipo de desplazamiento pilote/suelo”



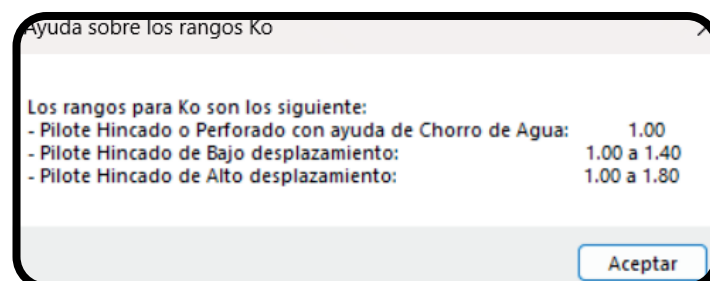
Este botón te permite seleccionar o ubicar qué tipo de desplazamiento suelo/pilote que se va a tener en cuenta, ya sea de tipo Automático (Ko) o Manual (K). Al presionarlo, desplegará una lista con estas dos opciones anteriores y me permitirá elegir una de ellas, las cuales determinarán unas formulas a la hora de procesar los datos en el programa.



Cuando el tipo de desplazamiento que va a tener el pilote en el suelo sea Automático (Ko) se usará este cuadro de texto.



A la derecha del cuadro de texto, se encuentra un botón de ayuda que, al presionarlo, desplegará un mensaje en la pantalla explicando los rangos de los valores de acuerdo al tipo de desplazamiento, ya sea en suelos hincados "con ayuda de chorro de agua", hincados de "bajo desplazamiento" o hincados de "alto desplazamiento"



Cuando el tipo de desplazamiento que va a tener el pilote en el suelo sea Manual (K) se usará cada uno de los cuadro de texto. que aparece en los datos de cada estrato.

Factor K:

Cabe recordar que cada una de las variables solicitadas debe ser ingresada correctamente en la unidad que se pide para que no haya errores en los cálculos del programa. En el espacio de datos a ingresar aparecen botones iguales a los que se ven en el "**Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)**"

- Botón color de estrato
- Botón número de estratos
- Botón Calcular

Luego de llenar cada uno de los cuadros en blanco con los datos iniciales de las variables del cálculo, seleccionar el tipo de desplazamiento pilote/suelo, el número de estratos y los colores de cada uno de estos, se procede a presionar el **botón Calcular** (el cual solo se activará cuando se seleccione un tipo de desplazamiento suelo/pilote), para que el programa procese los datos registrados y despliegue una ventana nueva, que será el cuadro de respuestas donde se entregarán cada una de las respuestas por el programa y el procedimiento que este realizó para llegar a estas.

Resultados del Cálculo de resistencia por fuste del Pilote (Método Analítico):

1. Se determina el perímetro del pilote
- El Perímetro del pilote es de: 0 m

2. Ahora se calcula el valor de longitud crítica la cual determinará hasta que punto aumentará y se convertirá en constante la resistencia por fricción del pilote
- Longitud crítica (L): 0 m

3. Luego se obtiene el valor del factor alfa de la gráfica del manual, teniendo en cuenta la cohesión de cada estrato que influye en pilote
- Alfa del estrato 1 (a): 1 - Alfa del estrato 3 (a): 1
- Alfa del estrato 2 (a): 1 - Alfa del estrato 4 (a): 1

4. Se procede a hallar el coeficiente efectivo de presión de tierra teniendo en cuenta el desplazamiento que tendrá el pilote
- Ka del estrato 1: 0 - Ka del estrato 3: 0
- Ka del estrato 2: 0 - Ka del estrato 4: 0

5. Se determina también el valor del ángulo de fricción suelo-pilote usando el 80% del ángulo de fricción del estrato
- δ del estrato 1: 0 - δ del estrato 3: 0
- δ del estrato 2: 0 - δ del estrato 4: 0

6. Se calcula la resistencia por fricción unitaria de cada estrato involucrado en el pilote y se obtiene la resistencia por fricción en el fuste que aporta cada estrato teniendo en cuenta la fórmula del manual

6.1. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 1:
- Qs: 0 KN - Qs (parte no sumergida): 0
- Qss (parte sumergida): 0 KN - Qsp (en la punta): 0 KN

6.2. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 2:
- Qs: 0 KN - Qs (parte no sumergida): 0
- Qss (parte sumergida): 0 KN - Qsp (en la punta): 0 KN

6.3. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 3:
- Qs: 0 KN - Qs (parte no sumergida): 0
- Qss (parte sumergida): 0 KN - Qsp (en la punta): 0 KN

6.4. Valores de resistencia por fricción en el fuste del estrato 4:
- Qs: 0 KN - Qs (parte no sumergida): 0
- Qss (parte sumergida): 0 KN - Qsp (en la punta): 0 KN

7. Luego se suma cada valor de resistencia por fricción en el fuste para obtener la resistencia por fricción en el fuste del pilote y se halla la admisible teniendo en cuenta el factor de seguridad:
- Resistencia por fricción en el fuste del pilote es de (Q): 0 KN
- Resistencia admisible por fricción en el fuste del pilote es de (Qadm): NaN KN

NOTA: Las casillas de color rojo, indican que ese estrato no aporta a la resistencia por fricción al fuste del pilote

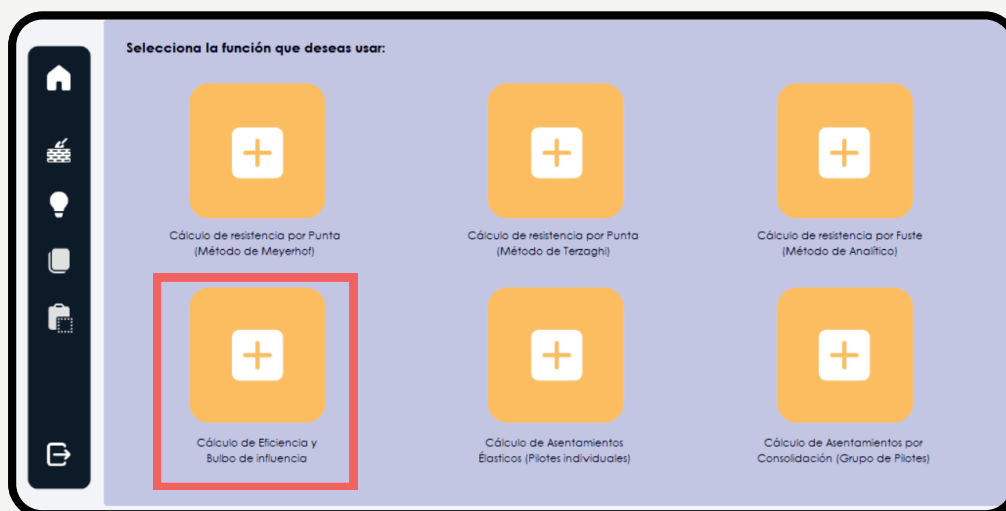
El cuadro de respuestas que se despliega tiene una NOTA de color rojo, la cual indica lo siguiente: *"Las casillas de color rojo indican que ese estrato no aporta a la resistencia por fricción al fuste del pilote"*.

El cuadro de respuestas que se despliega, así como en el "**Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)**", tiene los botones para cerrar el cuadro de respuestas y guardar el cuadro de respuestas.

Botón Eficiencia/Bulbo de influencia

Cálculo de Eficiencia y Bulbo de influencia

El botón para esta funcionalidad de cálculo se encuentra ubicado en la **primera columna y segunda fila** del espacio de trabajo generado por el botón de funciones. Al presionar clic en el botón de cálculo de eficiencia y bulbo de influencia, el espacio de trabajo se tornará de la siguiente forma.

Two side-by-side screenshots of data input forms. The left form is titled "Cálculo de Eficiencia de pilotes:" and contains a section "Datos iniciales" with input fields for: "Diámetro del pilote (individual):" (m.), "Área del cabezal:" (m.), "Perímetro del cabezal:" (m.), "Número de pilotes:" (und.), "Resistencia total por punta (individual):" (KN), "Resistencia total por fuste (individual):" (KN), and "Factor de seguridad:". A "Calcular" button is at the bottom. The right form is titled "Cálculo de Bulbo de influencia de pilotes:" and contains a section "Datos iniciales" with a dropdown for "Bulbo de influencia como:", an input for "Carga vertical entrante al cabezal:" (KN), and two sections: "Datos para grupo de pilotes" with inputs for "Lado Bg del cabezal:" (m.) and "Lado Lg del cabezal:" (m.), and "Datos para pilotes individuales" with an input for "Diámetro:" (m.). A "Calcular" button is at the bottom. Red rectangular borders highlight the input areas in both forms.

Espacio de ingreso
de Datos iniciales
para eficiencia de
pilotes

Espacio de ingreso
de Datos iniciales
para bulbo de
influencia de pilotes

Eficiencia

Para el cálculo de la **eficiencia de pilotes**, el procedimiento es llenar cada uno de los cuadros en blanco, teniendo en cuenta la variable que se pide, el valor numérico de esa variable, y la unidad en la que se solicita, luego se presiona el botón de calcular desplegando el siguiente cuadro de respuestas.

Resultados del cálculo de la Eficiencia de pilotes:

1. Calculamos la resistencia por Punta del grupo de pilotes
- Resistencia por Punta del grupo de pilotes : NaN KN
- Resistencia admisible por Punta del grupo de pilotes : NaN KN
2. Calculamos la resistencia por fricción del fuste del grupo de pilotes
- Resistencia por fricción del Fuste del grupo de pilotes : NaN KN
- Resistencia admisible por fricción del Fuste del grupo de pilotes : NaN KN
3. Sumamos la resistencia admisible por punta y de la fricción del fuste del grupo del pilotes
- Resistencia total del grupo de pilotes : NaN KN
4. Teniendo en cuenta tanto la resistencia de punta y fuste del pilote individual, como el del grupo de pilotes, se halla la eficiencia que tiene el grupo de pilotes
- Eficiencia del grupo de pilotes (n) : NaN

← Save

El cuadro de respuestas que se despliega, así como en el "**Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)**", tiene los botones de cerrar el cuadro de respuestas y de guardar el cuadro de respuestas.

Bulbo de influencia

Para el cálculo del **bulbo de influencia**, se debe seguir el siguiente procedimiento:

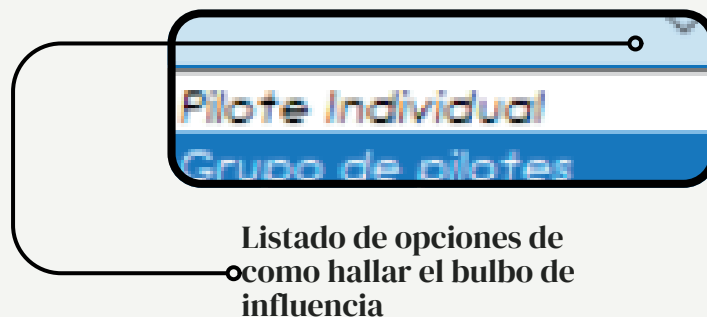
El primer botón que se debe presionar es el de "Bulbo de influencia como", el cual arrojará una lista con dos opciones en la que se debe elegir cómo se quiere hallar el bulbo de influencia, ya sea como un pilote individual o como un grupo de pilotes.

Botón "Bulbo de influencia como"

Bulbo de influencia como: [dropdown arrow]

botón

Luego de escoger alguna de las dos opciones, los cuadros para ingresar los datos se habilitarán según el caso seleccionado por el usuario para poder empezar a diligenciar los datos.



Cuando se seleccione la opción de pilote individual, se desbloqueará solo el espacio de los datos para los pilotes individuales y se activará el botón de calcular.

Datos iniciales

Bulbo de influencia como: Pilote Individual

Carga vertical entrante al cabezal: KN.

Datos para grupo de pilotos

Lado Bg del cabezal: m.

Lado Lg del cabezal: m.

Datos para pilotes individuales

Diametro: m.

Calcular

Cuando se seleccione la opción de grupos de pilotes, se desbloqueará solo el espacio de los datos para los grupos de pilotes, pero todavía no se activará el botón de calcular, el cual solo se activará después de que los cuadros de las variables Lado Bg y Lg del cabezal estén llenos con un valor mayor a 0 metros.

Datos iniciales

Bulbo de influencia como: Grupo de pilotos

Carga vertical entrante al cabezal: KN.

Datos para grupo de pilotos

Lado Bg del cabezal: m.

Lado Lg del cabezal: m.

Datos para pilotes individuales

Diametro: m.

Calcular

Al presionar el botón "calcular", se desplegará un cuadro de respuestas según el tipo de bulbo de influencia que se quiere hallar, ya sea para pilotes individuales o grupos de pilotes.

Resultados del cálculo del Bulbo de influencia de grupo de pilotes:

1. Hay que tener en cuenta que se supone el valor de una profundidad la cual tendrá por defecto el valor de 1 m, para luego calcular el valor de B_g y L_g , los cuales son los valores de la mitad de los lados del cabezal del grupo de pilotes

- B_g : 0.5 m
- L_g : 0.5 m

2. Luego de varias interacciones se encontrará la profundidad del bulbo de influencia que alcanzará el grupo de pilotes, que garantizará el valor deseado para la influencia individual y total

- Profundidad del bulbo de influencia (z) : 2.086 m

3. Con los valores de B_g , L_g y la profundidad del bulbo de influencia se procede a encontrar los valores de los factores m y n

- m : 0.24
- n : 0.24

4. Ahora calculamos los valores de la influencia individual y la influencia total

- Influencia individual (debe ser 0.025) : 0.025
- Influencia total (debe ser 0.1) : 0.1

5. Se halla el valor del esfuerzo inicial del grupo de pilotes

- Esfuerzo inicial (q_0) : 0 KN/m²

6. Se calcula el valor del diferencial del esfuerzo a la profundidad z encontrada

- Diferencial del esfuerzo inicial (Δq_0) : 0 KN/m²

← 

Cuadro de respuestas
para grupo de pilotes

Resultados del cálculo del Bulbo de influencia de pilotes (individuales):

1. Calculamos el bulbo de influencia el cual es dos veces el diámetro de un pilote individual

- Profundidad del bulbo de influencia (z) : 0 m

← 

Cuadro de respuestas
para pilotes individuales

El cuadro de respuestas que se despliega, así como en el "**Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)**", tiene los botones para cerrar el cuadro de respuestas y guardar el cuadro de respuestas.

Botón Asentamiento Elástico

Cálculo de Asentamientos Elásticos (Pilotes Individuales)

El botón para esta funcionalidad de cálculo se encuentra ubicado en la **segunda columna y segunda fila** del espacio de trabajo generado por el botón de funciones. Al presionar clic en el botón, el espacio de trabajo se tornará de la siguiente forma.

A screenshot of the "Cálculo de Asentamientos elásticos (Pilotes Individual)" form. The form is divided into three main sections: "Datos del pilote:", "Datos de los estratos:", and "Representación gráfica:". The "Datos del pilote:" section includes input fields for Diameter (m), Profundidad (m), Desfase (m), Módulo de Elasticidad (KN/m²), Resistencia por Punta (Individual) (KN), Resistencia por Fuste (Individual) (KN), Distribución de la resistencia (δ) por fricción superficial (Entre 0.5 y 0.67), and Relación de poisson (μ). The "Datos de los estratos:" section includes input fields for Estrato 1, 2, 3, and 4, each with checkboxes for selection and input fields for Espesor (m) and Módulo de elasticidad (KN/m²). The "Representación gráfica:" section is a large empty box for the graphical representation of the data. A "Calcular" button is located at the bottom right. A dark sidebar on the left contains icons for home, functions, help, documents, and settings. A red rectangular border highlights the "Datos del pilote:" and "Datos de los estratos:" sections.

Espacio de ingreso de Datos iniciales

Espacio del gráfico ilustrativo de los datos iniciales

Primeramente, cada una de las variables solicitadas debe ser ingresada correctamente en la unidad que se pide para que no haya errores en los cálculos del programa. En el espacio de datos a ingresar, hay botones con funciones especiales como se ve en el "**Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)**".

- Botón color de estrato
- Botón número de estratos
- Botón Calcular

Luego de llenar cada uno de los cuadros en blanco con los datos iniciales de las variables del cálculo, seleccionar el número de estratos y los colores de cada uno de estos, se procede a presionar el **botón Calcular**, para que el programa procese los datos registrados y despliegue una ventana nueva, que será el cuadro de respuestas donde se entregarán cada una de las respuestas por el programa y el procedimiento que este realizó para llegar a estas.

Resultados del cálculo de Asentamiento Elástico (Pilotes individuales):

1. Se determina la resistencia unitaria por punta que tiene el pilote, tomando la resistencia por punta entre el área de la sección transversal del pilote
- Resistencia unitaria por punta (qp) : NaN KN/m²

2. Luego, se encuentra el perímetro que tiene el pilote
- Perímetro pilote: 0 m

3. Se toma en cuenta el valor del factor de influencia para la punta (Iwp), el cual es de aproximadamente 0.85 y se calcula el valor del factor de influencia para el fuste (Iws)
- Factor de influencia para el fuste (Iws): NaN - Factor de influencia del punta (Iwp): 0.85

4. Después, se calcula el asentamiento elástico producido por el mismo pilote, aplicando los principios de la mecánica de materiales
- Asentamiento elástico por pilote (se1): NaN m

5. Ahora, se calcula el asentamiento elástico ocasionado por la carga soportada en la punta del pilote
- Asentamiento elástico por la punta del pilote (se2): NaN m

6. Y por último, se calcula el asentamiento elástico causado por la carga soportada por el fuste del pilote
- Asentamiento elástico por el fuste del pilote (se3): NaN m

7. Teniendo en cuenta cada uno de los asentamientos elásticos encontrados tanto por el pilote mismo, como por punta y fuste, se realiza la sumatoria de estos tres asentamientos, dando como resultado el asentamiento elástico total que sufrirá el pilote
- Asentamiento elástico total (Se): NaN m

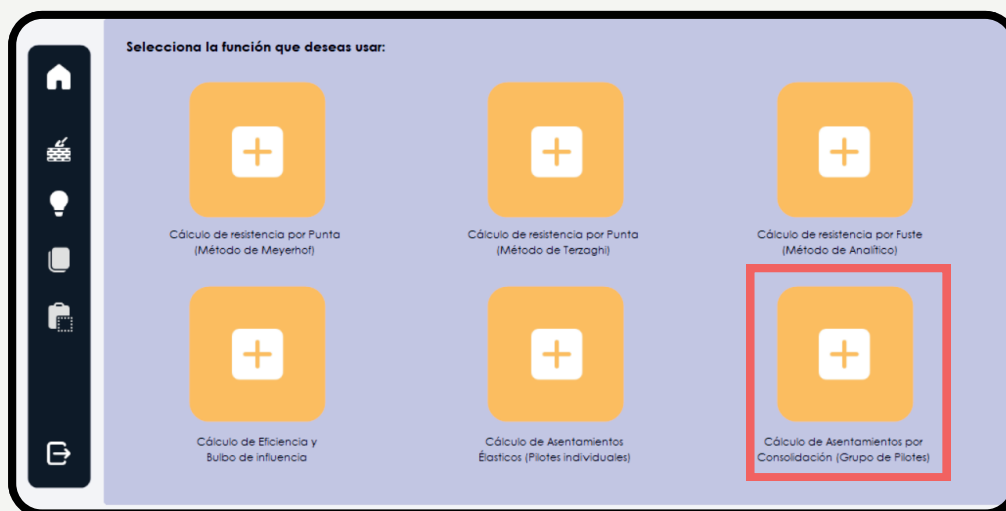
 

El cuadro de respuestas que se despliega, así como en el "**Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)**", tiene los botones de cerrar el cuadro de respuestas y de guardar el cuadro de respuestas.

Botón Asentamiento por Consolidación

Cálculo de Asentamientos por Consolidación (Grupo de Pilotes)

El botón para esta funcionalidad de cálculo se encuentra ubicado en la **tercera columna y segunda fila** del espacio de trabajo generado por el botón de funciones. Al presionar clic en el botón, el espacio de trabajo se tornará de la siguiente forma.



Cálculo del Asentamientos por consolidación (Grupo de Pilotes):

Datos del pilote:	Datos de los estratos:		Datos de los estratos:
Profundidad: m.	Estrato 1: ☐	Estrato 3: ☐	
Desfase: m.	Espesor: m.	Espesor: m.	
Profundidad de Bulbo de influencia: m.	Ysat: KN/m ³	Ysat: KN/m ³	
Lado Bg del cabezal: m.	Yhum: KN/m ³	Yhum: KN/m ³	
Lado Lg del cabezal: m.	Co:	Co:	
Carga vertical entrante: KN.	Relación de vacíos (eo):	Relación de vacíos (eo):	
Datos del suelo:			
Número de estratos: Min 1, Máx 4	Estrato 2: ☐	Estrato 4: ☐	
Profundidad del nivel freático: m.	Espesor: m.	Espesor: m.	
	Ysat: KN/m ³	Ysat: KN/m ³	
	Yhum: KN/m ³	Yhum: KN/m ³	
	Co:	Co:	
	Relación de vacíos (eo):	Relación de vacíos (eo):	

Calcular

Espacio de ingreso de Datos iniciales

Espacio del gráfico ilustrativo de los datos iniciales

Primeramente, cada una de las variables solicitadas debe ser ingresada correctamente en la unidad que se pide para que no haya errores en los cálculos del programa. En el espacio de datos a ingresar, hay botones con funciones especiales como se ve en el **"Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)"**.

- Botón color de estrato
- Botón número de estratos
- Botón Calcular

Luego de llenar cada uno de los cuadros en blanco con los datos iniciales de las variables del cálculo, seleccionar el número de estratos y los colores de cada uno de estos, se procede a presionar el **botón Calcular**, para que el programa procese los datos registrados y despliegue una ventana nueva, que será el cuadro de respuestas donde se entregarán cada una de las respuestas por el programa y el procedimiento que este realizó para llegar a estas.

Resultados del cálculo de Asentamiento por Consolidación (Grupo de pilotes):

1. Se determina la profundidad a la cual empieza a afectar el bulbo de influencia, la cual es a 2/3 de la longitud del pilote

- 2/3 de L: 0 m

2. Luego se calcula el incremento en el esfuerzo efectivo causado en la mitad de cada estrato de suelo por la carga vertical que llega al cabezal del grupo de pilotes y su misma forma

- Esfuerzo efectivo en el estrato 1 ($\Delta\sigma$): 0 KN/m²

- Esfuerzo efectivo en el estrato 2 ($\Delta\sigma$): 0 KN/m²

- Esfuerzo efectivo en el estrato 3 ($\Delta\sigma$): 0 KN/m²

- Esfuerzo efectivo en el estrato 4 ($\Delta\sigma$): NaN KN/m²

3. Para después determinar el esfuerzo vertical a la mitad de cada estrato, teniendo en cuenta la distancia a la que finaliza el efecto del bulbo de influencia

- Esfuerzo vertical en el estrato 1 (σ): 0 KN/m²

- Esfuerzo vertical en el estrato 2 (σ): 0 KN/m²

- Esfuerzo vertical en el estrato 3 (σ): 0 KN/m²

- Esfuerzo vertical en el estrato 4 (σ): 0 KN/m²

4. Se calcula el asentamiento por consolidación en cada estrato

- Asentamiento por consolidación en el estrato 1 (s_o): 0 m

- Asentamiento por consolidación en el estrato 2 (s_o): 0 m

- Asentamiento por consolidación en el estrato 3 (s_o): 0 m

- Asentamiento por consolidación en el estrato 4 (s_o): NaN m

5. Por último se suma cada asentamiento por consolidación de cada estrato y se obtiene el asentamiento por consolidación total

- Asentamiento por consolidación total (s_o): NaN m

NOTA: Las casillas de color rojo, indican que ese estrato no aporta al asentamiento por consolidación

El cuadro de respuestas que se despliega, tiene una NOTA de color rojo la cual indica lo siguiente: *"Las casillas de color rojo indican que ese estrato no aporta al asentamiento por consolidación"*.

El cuadro de respuestas que se despliega, así como en el **"Cálculo de resistencia por punta (Meyerhof)"**, tiene los botones de cerrar el cuadro de respuestas y de guardar el cuadro de respuestas.

03. Procesos

P

En esta sección de procesos, se explica cuál es el procedimiento que usa el programa, teniendo en cuenta las variables, factores y fórmulas que usa el programa para llegar a la respuesta de cada una de las funcionalidades que tiene.

Definición de Variables

A_p = Área transversal del pilote

$A_{cabezal}$ = Área del cabezal del grupo de pilotes

B_g = Ancho del cabezal del grupo de pilotes

C = Cohesión del suelo

C_c = Índice de compresión del suelo

$C_{promedio}$ = Cohesión promedio el suelo de acuerdo a la longitud activa y pasiva del pilote

D = Diámetro del pilote

e_o = Relación de vacíos inicial del estrato (Antes de la construcción)

E_p = Módulo de elasticidad del material del pilote

E_s = Módulo de elasticidad del suelo

$ev(\sigma)$ = Esfuerzo vertical efectivo

$ev(sumergido)$ = Esfuerzo vertical sumergido

FS = Factor de seguridad del suelo

H_c = Espesor bulbo de influencia en el estrato a consideración

I_{ind} = Factor de influencia individual

I_{total} = Factor de influencia total

I_{ws} = Factor de influencia para el fuste del pilote

I_{wp} = Factor de influencia para la punta del pilote

K_o = Coeficiente de presión de reposo = K_i

K_{py} = Factor determinante del factor de carga

L_{activa} = Longitud activa en el suelo de acuerdo a la influencia del pilote

L_b = Longitud de empotramiento del pilote

L_g = Longitud de la sección del grupo de pilotes

L = Longitud del pilote

L_{pasiva} = Longitud pasiva en el suelo de acuerdo a la influencia del pilote

L' = Longitud crítica en donde la resistencia por fricción se vuelve constante

m = Factor para hallar el valor del factor de influencia individual y total

n = Factor para hallar el valor del factor de influencia individual y total

n_e = Eficiencia del grupo de pilotes

N_c, N_g, N_y = Factores de capacidad de carga

P = Perímetro del pilote o del grupo de pilotes

P_a = Presión atmosférica (101.32 kN/m²)

q = Carga vertical unitaria que soporta el pilote

$q_{(max)}$ = Carga vertical máxima que puede soportar el pilote

q_o = Esfuerzo inicial del grupo de pilote

q_p = Resistencia unitaria por punta de acuerdo con la resistencia total por punta del pilote

$q_{(ult)}$ = Carga vertical última soportada por el pilote

Q_{in} = Carga entrante al cabezal del grupo de pilotes

Q_p = Resistencia por punta del pilote

$Q_{p(admissible)}$ = Resistencia admisible por punta del pilote

Q_{pgp} = Resistencia por punta del grupo de pilotes

$Q_{pgp(admissible)}$ = Resistencia admisible por punta del grupo de pilotes

Q_s = Resistencia por fuste del pilote

$Q_{s(admissible)}$ = Resistencia admisible por fuste del pilote

Q_{sgp} = Resistencia por fuste del grupo de pilotes

$Q_{sgp(admissible)}$ = Resistencia admisible por fuste del grupo de pilotes

Q_{sns} = Resistencia no sumergida por fricción en el fuste

Q_{sp} = Resistencia por fricción del pilote para el esfuerzo vertical en la punta de L'

Q_{ss} = Resistencia sumergida por fricción en el fuste

$Q_{total(gp)}$ = Resistencia total del grupo de pilotes

$S_{c(g)}$ = Asentamiento por consolidación del grupo de pilotes

S_c, S_g, S_y = Factores de forma del pilote

$S_{e(1)}$ = Adentamiento elástico del pilote

$S_{e(2)}$ = Adentamiento elástico producido por la carga en la punta del pilote

$S_{e(3)}$ = Adentamiento elástico producido por la fricción en el fuste del pilote

S_e = Asentamiento elástico total

y_h = Peso específico seco/humedo del suelo

y_s = Peso específico saturado del suelo

y_w = Peso específico del agua (9,81 kN/m³)

Z_{bulbo} = Longitud del bulbo de influencia

z_i = Espesor de los estratos

z_{nf} = Espesor de los estratos

$\#_{pilotes}$ = Número de pilotes

$\Delta\sigma$ = Diferencial del esfuerzo inicial del grupo de pilotes

δ = Ángulo de fricción suelo-pilote

α = Factor empírico de adhesión

μ_s = Relación de Poisson del suelo

ξ = Naturaleza de la distribución de la resistencia por fricción a lo largo del fuste del pilote

ϕ_i = Ángulo de fricción del suelo

ϕ_{prom} = Ángulo de fricción promedio del suelo

Método Meyerhof

En este método, Meyerhof explica el proceso que realiza el programa al presionar el botón "calcular" del espacio de trabajo creado por el **botón "Método Meyerhof"** para realizar el cálculo de resistencia por punta (Método de Meyerhof).

Primeramente, se determina el área transversal del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este mismo. La fórmula para el área transversal de un círculo es la siguiente:

$$A_p = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

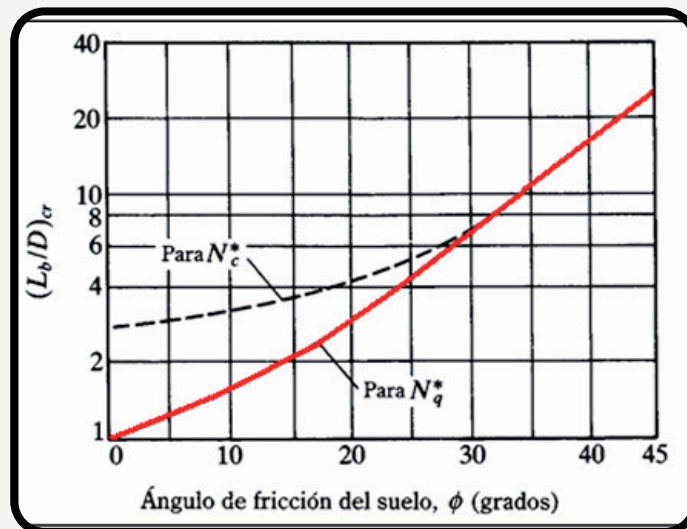
Fórmula 1. Área del pilote

Luego se calcula el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote, donde es la sumatoria de cada esfuerzo vertical provocado por cada estrato que está por encima de la punta del pilote, es decir, desde una profundidad de 0m hasta la longitud del pilote.

$$ev = \sum_{L=0}^{z=0} (y_{h_1} \times z_1) + ((y_{s_1} - y_w) \times z_1) + \dots + (y_{h_n} \times z_n) + ((y_{s_n} - y_w) \times z_n)$$

Fórmula 2. Esfuerzo vertical en la punta para pesos específicos húmedos y saturados de cada estrato.

Ahora se procede a encontrar la relación longitud de empotramiento/diámetro para hallar la longitud de empotramiento mínima que debe cumplir el pilote para poder usar los factores N_c y N_q . Primero entramos a la siguiente gráfica con el ángulo de fricción del estrato que está debajo de la punta.



Gráfica 1. Variación de la relación longitud de empotramiento/diámetro vs el ángulo de fricción del suelo (según Meyerhof, 1976)

Cuando se encuentre la relación de longitud de empotramiento/diámetro para poder usar los factores N_c y N_q , se calcula la longitud de empotramiento mínima con la cual debe cumplir el pilote para poder usar la gráfica que determina los valores de los factores de N_c y N_q . (I es el valor obtenido de la gráfica 1).

$$L_b = i \times D$$

Fórmula 3. Despeje de la relación longitud de empotramiento/diámetro para poder encontrar la longitud de empotramiento mínima.

$$L \geq L_b$$

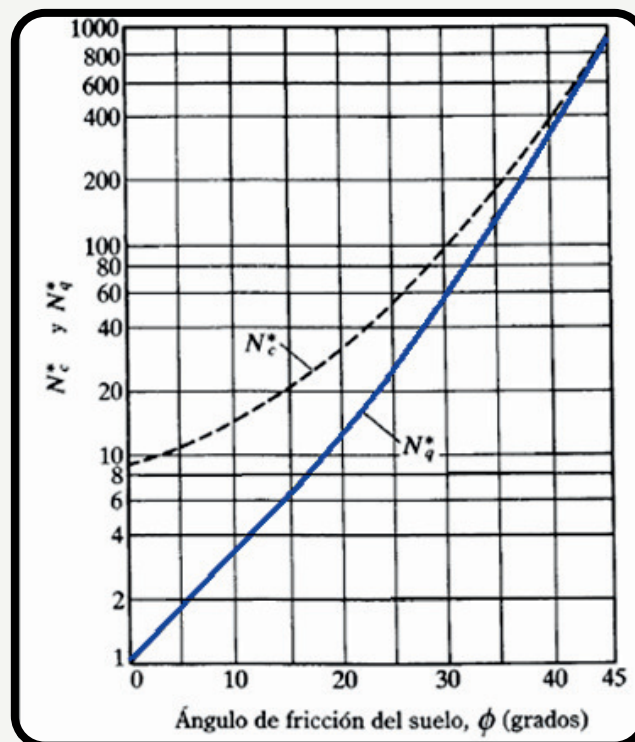
Fórmula 4. Evaluación de condición de longitudes.

Para cumplir la longitud de empotramiento del pilote, debe ser mayor o igual a la longitud de empotramiento mínima y de aquí nacen dos procedimientos:

- Continuar con el método de Meyerhof. (Si se cumple)
- Aplicar promedios. (Si no se cumple)

Continuar con el método de Meyerhof

Si se continúa con el método de Meyerhof, es decir, que se cumplió con la longitud de empotramiento mínima para poder acceder a la gráfica 2 y obtener los valores de los factores de N_c y N_q , entrando con el ángulo de fricción del suelo inmediatamente debajo de la punta.



Gráfica 2. Variación de los valores máximos de N_c y N_q , con el ángulo de fricción del suelo Φ (según Meyerhof, 1976)

Después de obtener los valores de los factores N_c y N_q , se procede a calcular la carga vertical que soporta el pilote y también la carga vertical máxima que puede soportar el pilote.

$$q = N_q \times ev$$

Fórmula 5. Carga vertical soportada por el pilote

$$q_{(max)} = 0,5 \times N_q \times Pa \times \tan(\phi)$$

Fórmula 6. Carga vertical máxima que puede soportar el pilote

Al obtener el valor de la carga vertical soportada por el pilote y la máxima, se evalúan según la siguiente condición.

$$q \leq q_{(max)}$$

Fórmula 7. Evaluación de condición de cargas verticales

La carga vertical que soporta el pilote debe ser menor o igual a la carga vertical máxima que puede soportar el pilote. Cuando se cumple la condición, se usa la carga vertical que soporta el pilote para encontrar la resistencia que tiene el pilote por punta y si no se cumple la condición de la fórmula 7, se debe usar la carga vertical máxima para hallar la resistencia del pilote por punta. La fórmula de la resistencia por punta del pilote por el método de Meyerhof es la siguiente:

$$Q_p = A_p \times (q + (N_c \times C)).$$

Fórmula 8. Resistencia por punta del pilote usando q

$$Q_p = A_p \times (q_{(max)} + (N_c \times C))$$

Fórmula 9. Resistencia por punta del pilote usando $q_{(máx)}$

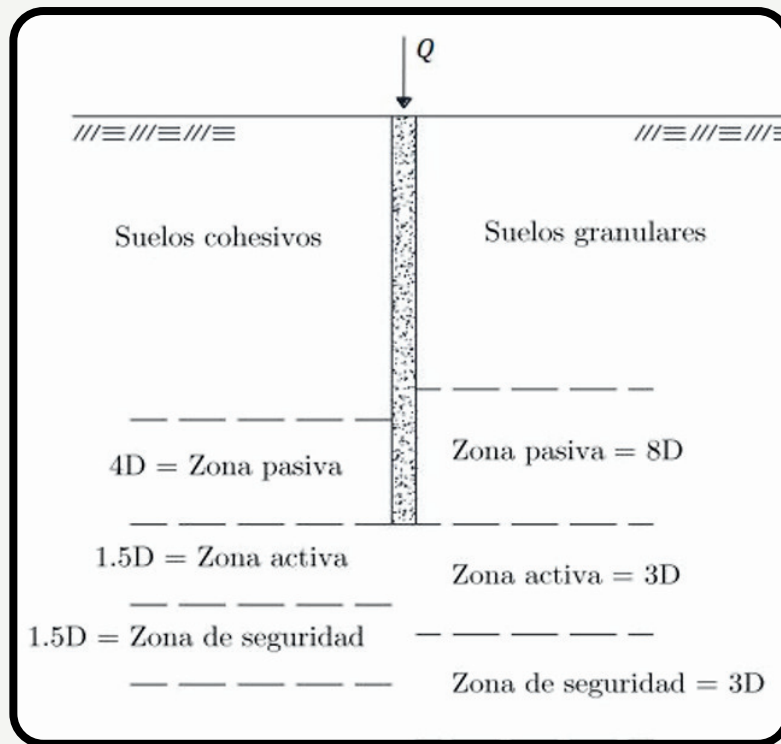
Y para terminar se calcula la resistencia por punta admisible o permisible que puede tener el pilote teniendo en cuenta el factor de seguridad que se aplique.

$$Q_{p_{admisible}} = \frac{Q_p}{FS}$$

Fórmula 10. Resistencia admisible por punta del pilote

Aplicar promedios

Si no se cumple la condición de la fórmula 4, se procede a aplicar el método de promedios, en el cual primeramente hallaremos la longitud activa y pasiva que están involucradas en el pilote teniendo en cuenta el tipo de suelo con el que se trabaja, ya sean cohesivos o granulares.



Gráfica 3. Acotación de zonas activas, pasivas y de seguridad en función de la anchura de la sección del pilote para terrenos granulares o cohesivos.

Luego de encontrar las longitudes activa y pasiva del terreno según su tipo, se procede a promediar los ángulos de fricción y las cohesiones de los estratos involucrados, teniendo en cuenta cada uno de los espesores de los estratos involucrados.

$$C_{prom} = \frac{\sum (C_1 \times z_1) + (C_2 \times z_2) + \dots + (C_n \times z_n)}{L_{activa} + L_{pasiva}}$$

Fórmula 11. Promedio de cohesiones de acuerdo a las longitudes activa y pasiva.

$$\phi_{prom} = \frac{\sum (\phi_1 \times z_1) + (\phi_2 \times z_2) + \dots + (\phi_n \times z_n)}{L_{activa} + L_{pasiva}}$$

Fórmula 12. Promedio de ángulos de fricción de acuerdo a las longitudes activa y pasiva.

Al tener los ángulos promediados, se procede a entrar en la gráfica 2, para encontrar los valores de N_c , N_q y proceder a calcular el valor de la carga vertical soportada por el pilote y la máxima que puede soportar el pilote.

$$q = N_q \times ev$$

Fórmula 13. Carga vertical soportada por el pilote.

$$q_{(max)} = 0,5 \times N_q \times Pa \times \tan(\phi)$$

Fórmula 14. Carga vertical máxima que puede soportar el pilote.

Al obtener el valor de la carga vertical soportada por el pilote y la máxima, se evalúan según la siguiente condición.

$$q \leq q_{(max)}$$

Fórmula 15. Evaluación de condición de cargas verticales.

La carga vertical que soporta el pilote debe ser menor o igual a la carga vertical máxima que puede soportar el pilote. Cuando se cumple la condición, se usa la carga vertical que soporta el pilote para encontrar la resistencia que tiene el pilote por punta y, si no se cumple la condición de la fórmula 7, se debe usar la carga vertical máxima para hallar la resistencia del pilote por punta. La fórmula de la resistencia por punta del pilote por el método de Meyerhof es la siguiente:

$$Q_p = A_p \times (q + (N_c \times C))$$

Fórmula 16. Resistencia por punta del pilote usando q .

$$Q_p = A_p \times (q_{(max)} + (N_c \times C))$$

Fórmula 17. Resistencia por punta del pilote usando $q_{(máx)}$

Y para terminar, se calcula la resistencia por punta admisible o permisible que puede tener el pilote, teniendo en cuenta el factor de seguridad que se aplique.

$$Q_{p_{admisible}} = \frac{Q_p}{FS}$$

Fórmula 18. Resistencia admisible por punta del pilote.

Método Terzaghi

En este método, Terzaghi explica el proceso que hace el programa al presionar el botón "Calcular" del espacio de trabajo creado por el botón **"Método Terzaghi"** para realizar el cálculo de resistencia por punta (Método de Terzaghi).

Primeramente, se determina el área transversal del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este mismo. La fórmula para el área transversal de un círculo es la siguiente:

$$A_p = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Fórmula 1. Área del pilote

Luego se calcula el esfuerzo vertical que hay en la punta del pilote, que es la sumatoria de cada esfuerzo vertical provocado por cada estrato que está por encima de la punta del pilote, es decir, desde una profundidad de 0 m a la longitud del pilote.

$$ev = \sum_L^{z=0} (y_{h_1} \times z_1) + ((y_{s_1} - y_w) \times z_1) + \dots + (y_{h_n} \times z_n) + ((y_{s_n} - y_w) \times z_n)$$

Fórmula 2. Esfuerzo vertical en la punta para pesos específicos húmedos y saturados de cada estrato.

El programa PilotAPP maneja pilotes con forma circular, entonces define de una vez los factores de forma con los que se trabajan en esta metodología, los cuales son S_c , S_q y S_y . También se encuentra el factor K_{py} , el cual permite calcular los factores de carga N_y y se encuentra en la siguiente tabla, en la cual se ingresa con el ángulo de fricción del suelo que está inmediatamente debajo de la punta.

$$S_c = 1.3 \qquad S_y = 0.6 \qquad S_q = 1$$

Fórmula 3. Factores de forma

$\emptyset$	K_{py}	$\emptyset$	K_{py}
0	10.8	34	
5	12.2	35	82.0
10	14.7	40	141.0
15	18.6	45	298.0
20	25.0	48	
25	35.0	50	800.0
30	52.0		

Tabla 1. Valores de K_{py} de acuerdo a diferentes ángulos de fricción del estrato

Los valores de ángulos de fricción que son intermedios a los que aparecen en la tabla 1 de este método, se interpolan teniendo como base los valores que ya se encuentran en esta tabla.

$$N_q = \frac{e^{2 \times \left(\frac{3}{4} \pi - \frac{(\varnothing \text{radianes})}{2} \right) \times \tan(\varnothing)}}{2 \times \cos^2 \left(45 + \frac{\varnothing}{2} \right)}$$

Fórmula 4. Factor de carga N_q

$$N_y = \frac{\tan \varnothing}{2} \times \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \varnothing} - 1 \right)$$

Fórmula 5. Factor de carga N_y

$$N_c = (N_q - 1) \times \cot \varnothing$$

Fórmula 6. Factor de carga N_y

Después de obtener los valores de los factores N_c , N_q y N_y , se procede a calcular la carga vertical que soporta el pilote y también la carga vertical última que puede soportar el pilote.

$$q = N_q \times ev$$

Fórmula 7(A). Carga vertical soportada por el pilote.

$$q_{ult} = (C \times N_c \times S_c) + q + \left(\frac{1}{2} y \times N_y \times S_y \times D \right)$$

Fórmula 7(B). Carga vertical última soportada por el pilote.

Y para terminar, se calcula la resistencia por punta del pilote teniendo en cuenta la carga vertical última soportada por el pilote y también se calcula la resistencia por punta admisible, teniendo en cuenta el FS aplicado.

$$Q_p = A_p \times (q_{ult})$$

Fórmula 8. Resistencia por punta del pilote.

$$Q_{p \text{admisible}} = \frac{Q_p}{FS}$$

Fórmula 9. Resistencia admisible por punta del pilote.

Método Analítico

En este método analítico, se explica el proceso que realiza el programa al presionar el botón "calcular" del espacio de trabajo creado por el **botón de "Método Analítico"** para realizar el cálculo de resistencia por fuste (Método Analítico).

Primeramente, se determina el perímetro del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este mismo. La fórmula para el perímetro de un círculo es la siguiente:

$$P = \pi \times D$$

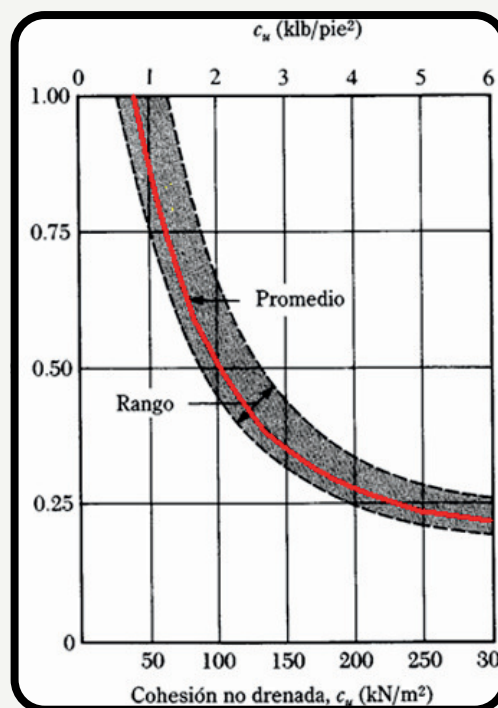
Fórmula 1. Perímetro del pilote.

Ahora se calcula el valor de la longitud crítica, la cual determinará hasta qué punto aumentará y se convertirá en constante la resistencia por fricción del pilote. El valor de esta longitud es de 15 veces el diámetro del pilote.

$$L' = 15 \times D$$

Fórmula 2. Longitud crítica a la cual la resistencia por fricción del pilote se convierte en constante.

Luego, se obtiene el valor del factor empírico de adhesión alfa de la siguiente gráfica, teniendo en cuenta la cohesión de cada estrato que influye en el pilote.



Gráfica 4. Variación de α de acuerdo a la cohesión

Ya que se tiene el factor alfa, se procede a hallar en cada estrato que afecta el fuste del pilote, el coeficiente efectivo de presión de tierra teniendo en cuenta el desplazamiento que tendrá el pilote, ya sea un desplazamiento bajo, alto o con ayuda de chorro de agua.

$$K_o = 1 - \text{sen}(\emptyset)$$

Fórmula 3. Valor de K_o para pilotes hincados o perforados con ayuda de chorro de agua.

$$K_o = 1 - \text{sen}(\emptyset) \rightarrow K_o = 1.4 \times (1 - \text{sen}\emptyset)$$

Fórmula 4. Rango de valores de K_o para pilotes hincados de bajo desplazamiento.

$$K_o = 1 - \text{sen}(\emptyset) \rightarrow K_o = 1.8 \times (1 - \text{sen}\emptyset)$$

Fórmula 5. Rango de valores de K_o para pilotes hincados de alto desplazamiento.

$$K_o = K_i$$

Fórmula 6. Valor del factor K para cuando se calcula en manual.

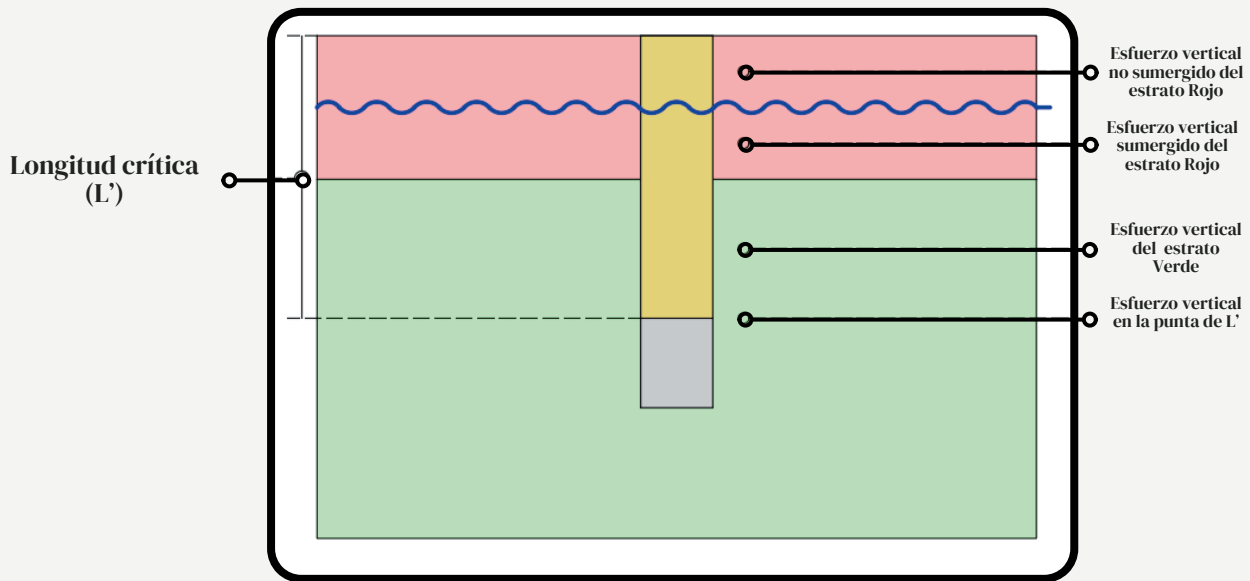
Se determina ahora el valor del ángulo de fricción suelo-pilote (δ) usando el 80% del ángulo de fricción de cada estrato que afecta el fuste del pilote.

$$\delta = 0.8 \times \emptyset$$

Fórmula 7 Valor de δ de acuerdo a cada ángulo de fricción de los estratos.

Luego se calculan los esfuerzos verticales a la mitad de cada estrato involucrado en el fuste del pilote, teniendo en cuenta la longitud crítica, el nivel freático y la punta del pilote.

En la gráfica 5, que se muestra a continuación, se expone un ejemplo de los lugares donde se deben calcular los esfuerzos verticales. Cuando el estrato está totalmente sumergido o totalmente húmedo, se calcula a la mitad del espesor que esté afectando el fuste, en cada estrato hasta calcular el esfuerzo vertical de la punta de longitud crítica. Cuando un estrato está dividido o afectado en parte por el nivel freático y en otra parte húmedo, se calcula en la mitad del espesor de todo el espesor húmedo y también a la mitad del espesor que está sumergido.



Gráfica 5. Ejemplo de cálculo de esfuerzo verticales

Un ejemplo de cálculo para el esfuerzo vertical sumergido del estrato rojo sería ilustrado por la siguiente fórmula.

$$ev_{sumergido} = (y_{h_{rojo}} \times (z_{nf})) + \left((y_{s_{rojo}} - y_w) \times \frac{(z_{rojo} - z_{nf})}{2} \right)$$

Fórmula 8. Ejemplo de cálculo del esfuerzo vertical para el espesor sumergido del estrato Rojo.

Después de obtener cada esfuerzo vertical involucrado en el fuste del pilote teniendo en cuenta la longitud crítica, el programa procede a calcular cada una de las resistencias por fricción producidas por cada estrato, donde se usa la siguiente fórmula.

$$Q_s = K_o \times ev \times \tan(\delta) \times P \times L.$$

Fórmula 9. Resistencia por fricción del pilote en cada estrato.

Cabe recalcar que la (L) de la fórmula 6 hace referencia al espesor de cada estrato, ya sea su parte sumergida, húmeda, si son totalmente sumergidos o totalmente húmedos, y para el esfuerzo vertical en la punta se usaría la siguiente fórmula.

$$Q_{sp} = K_o \times ev \times \tan(\delta) \times P \times (L - L')$$

Fórmula 10. Resistencia por fricción del pilote para el esfuerzo vertical en la punta de L.

Luego de hallar cada resistencia por fricción del pilote para cada caso presentado en cada estrato, se realiza una sumatoria para encontrar la resistencia por fricción total del pilote.

$$\sum Q_s = (Q_{s_1} + Q_{ss_1} + Q_{sns_1} + Q_{sp_1}) + \dots + (Q_{s_n} + Q_{ss_n} + Q_{sns_n} + Q_{sp_n})$$

Fórmula 11. Resistencia por fricción total en el fuste del pilote.

Y por último, se calcula la resistencia por fricción admisible del pilote teniendo en cuenta el factor de seguridad (FS) aplicado.

$$Q_{s_{admisible}} = \frac{\sum Q_s}{FS}$$

Fórmula 12. Resistencia admisible por punta del pilote.

Cálculo de Eficiencia

En el cálculo de eficiencia se explica el proceso que hace el programa al presionar el botón calcular del espacio de trabajo creado por el **botón Eficiencia/Bulbo de influencia** para realizar el cálculo de la eficiencia del grupo de pilotos.

Primeramente, con los datos ingresados en el programa, se calcula la resistencia por punta y fuste del grupo de pilotos de la siguiente forma.

$$Q_{pgp} = \frac{Q_p}{A_p} \times (A_{cabezal})$$

Fórmula 1. Resistencia por punta del grupo de pilotos.

$$Q_{sgp} = \frac{\sum Q_s}{P} \times (P_{cabezal})$$

Fórmula 2. Resistencia por fuste del grupo de pilotos.

Luego se calcula cada una de las resistencias admisibles de punta y fuste, teniendo en cuenta el factor de seguridad (FS) aplicado.

$$Q_{pgp_{admisible}} = \frac{Q_{pgp}}{FS}$$

Fórmula 3. Resistencia admisible por punta del grupo de pilotos.

$$Q_{sgp_{admisible}} = \frac{Q_{sgp}}{FS}$$

Fórmula 4. Resistencia admisible por fuste del grupo de pilotos.

Ahora se suman la resistencia por punta y fuste para poder encontrar la resistencia total del grupo de pilotos. Luego se determina el valor de la eficiencia del grupo de pilotos.

$$Q_{total.gp} = Q_{pgp_{admisible}} + Q_{sgp_{admisible}}$$

Fórmula 5. Resistencia total del grupo de pilotos.

$$n_e = \frac{Q_{total.gp}}{(Q_{p_{admisible}} + Q_{s_{admisible}}) \times \#pilotes}$$

Fórmula 6. Eficiencia del grupo de pilotos.

Cálculo del Bulbo de influencia

En el cálculo del Bulbo de influencia se explica el proceso que hace el programa al presionar el botón calcular del espacio de trabajo creado por el **botón Eficiencia/Bulbo de influencia** para realizar el cálculo del Bulbo de influencia para grupo de pilotes y pilotes individuales.

Bulbo de influencia para pilotes individuales

Para los pilotes individuales, el bulbo de influencia es el siguiente:

$$Z_{bulbo} = 2 \times D$$

Fórmula 1. Longitud del bulbo de influencia

Bulbo de influencia para grupo de pilotes

Primeramente, se calcula el valor de B_g' y de L_g' , teniendo en cuenta las medidas del cabezal del pilote.

$$B_g' = \frac{B_g}{2}$$

Fórmula 2. Valor de B_g'

$$L_g' = \frac{L_g}{2}$$

Fórmula 3. Valor de L_g'

Luego se supone una longitud a la cual llegará el bulbo de influencia, donde el programa por defecto usa el valor de 1m para la longitud del bulbo de influencia. Ahora el programa entra en un ciclo de iteraciones, mediante factores que van modificando el valor de la longitud del bulbo de influencia, modificando este hasta encontrar un factor de influencia individual de 0,025 y un factor de influencia total de 0,1.

$$m = \frac{B_g'}{Z_{bulbo}}$$

Fórmula 4. Valor del factor m en el ciclo de iteraciones

$$n = \frac{L_g'}{Z_{bulbo}}$$

Fórmula 5. Valor del factor n en el ciclo de iteraciones

Ahora se hace una evaluación para saber qué fórmula de influencia individual usar.

$$(m^2 + n^2 + 1) > (m^2 \times n^2).$$

Fórmula 6. Evaluación para saber que fórmula usar

Si se cumple esta condición, se usará la siguiente fórmula para el factor de influencia individual

$$I_{ind} = \frac{1}{4 \times \pi} \times \left(\frac{2 \times m \times n \times \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 + (m^2 \times n^2)} \times \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \left(\frac{2 \times m \times n \times \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - (m^2 \times n^2)} \right) \right) = 0.25$$

Fórmula 7(A). Fórmula de influencia individual

Si no se cumple la condición, la fórmula es la siguiente y se le agregaría un pi.

$$I_{ind} = \frac{1}{4 \times \pi} \times \left(\frac{2 \times m \times n \times \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 + (m^2 \times n^2)} \times \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \left(\frac{2 \times m \times n \times \sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - (m^2 \times n^2)} \right) + \pi \right) = 0.25$$

Fórmula 7(B). Fórmula de influencia individual + pi

$$I_{total} = 4 \times I_{ind} = 0.1$$

Fórmula 8. Fórmula de influencia total

Cuando los factores de influencia cumplan con sus valores meta, se encontrará la longitud del bulbo de influencia que tiene el grupo de pilotes y se procederá a encontrar el esfuerzo inicial y el diferencial del bulbo de influencia.

$$q_o = \frac{Q_{in}}{B_g \times L_g}$$

Fórmula 9. Esfuerzo inicial del grupo de pilotes

$$\Delta\sigma = q_o \times I_{total}$$

Fórmula 10. Diferencial del esfuerzo inicial del grupo de pilotes

Cálculo de Asentamientos Elásticos

En el cálculo de asentamientos elásticos se explica el proceso que hace el programa al presionar el botón "calcular" del espacio de trabajo creado por el **botón "Asentamientos Elásticos"** para realizar el cálculo de los asentamientos elásticos para pilotes individuales.

Primeramente, con los datos ingresados en el programa, se calcula la resistencia unitaria por punta del pilote y también se calcula el valor del perímetro del pilote, teniendo en cuenta el diámetro de este.

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p}$$

Fórmula 1. Resistencia unitaria por punta del pilote de acuerdo a la resistencia total por punta del pilote.

$$P = \pi \times D$$

Fórmula 2. Perímetro del pilote

Luego, el programa halla el valor del factor de influencia para el fuste con la siguiente fórmula y toma el valor del factor de influencia para la punta con un valor de 0,85.

$$I_{ws} = 2 + \left(0.35 \times \sqrt{\frac{L}{D}} \right)$$

Fórmula 3. Factor de influencia para el fuste

$$I_{wp} = 0.85$$

Fórmula 4. Factor de influencia para la punta

Al tener todos los valores anteriores, se procede a calcular los tres tipos de asentamientos elásticos que existen, los cuales son:

- El asentamiento elástico producido por **el mismo pilote**, aplicando los principios de la mecánica de materiales.
- El asentamiento elástico ocasionado por la carga soportada en **la punta** del pilote.
- El asentamiento elástico ocasionado por la carga soportada en **el fuste** del pilote.

Las fórmulas que se usan para hallar cada uno de estos asentamientos son las siguientes:

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_p + (\xi \times Q_s)) \times L}{A_p \times E_p}$$

Fórmula 5. Asentamiento elástico provocado por el mismo pilote

$$S_{e(2)} = \frac{q_p \times D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{wp}$$

Fórmula 6. Asentamiento elástico provocado por la carga soportada en la punta del pilote

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_s}{P \times L} \right) \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws}$$

Fórmula 7. Asentamiento elástico provocado por la carga soportada en el fuste del pilote

Cabe recalcar que (E_s) es el módulo de elasticidad del estrato que está en o debajo de la punta. Por último, para obtener el asentamiento elástico total del pilote, lo que se hace es sumar cada uno de los tres asentamientos expuestos anteriormente.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

Fórmula 8: Asentamiento elástico total del pilote.

Cálculo de Asentamientos por Consolidación (Grupo de pilotes)

En el cálculo de Asentamientos por Consolidación para grupo de pilotes, se explica el proceso que hace el programa al presionar el botón calcular del espacio de trabajo creado por el **botón asentamientos por consolidación**.

Inicialmente se calcula la profundidad a la que la carga se transmite al suelo y desde la cual se empezará a desarrollar el bulbo de influencia para grupos de pilotes, esta se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{2}{3} \times L$$

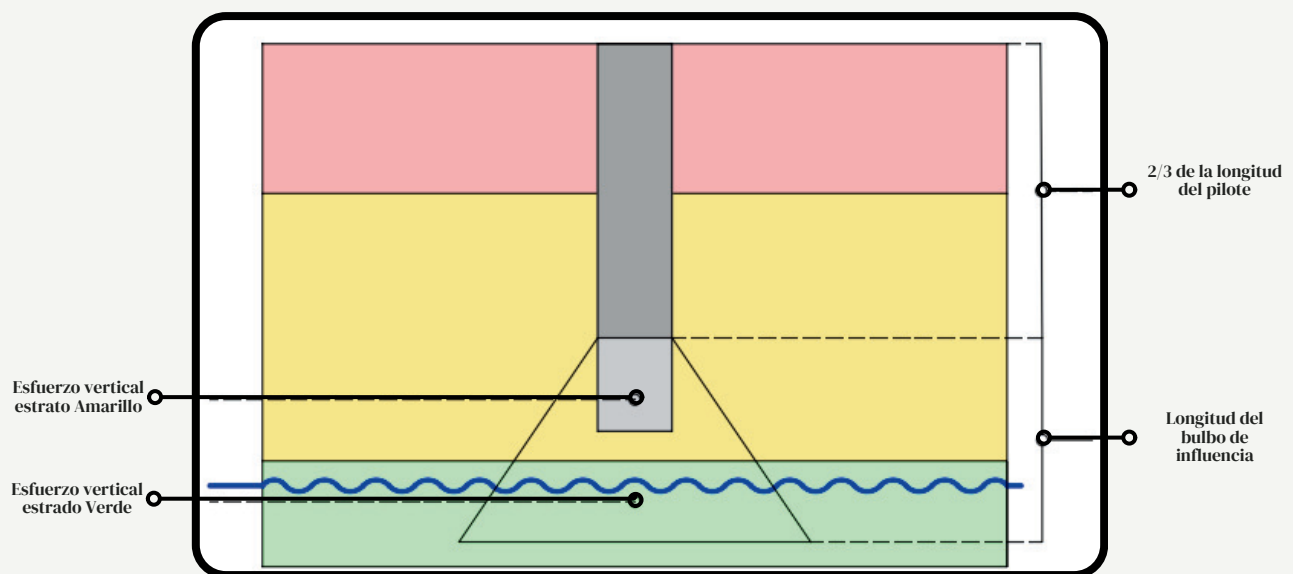
Fórmula 1. Profundidad en la que inicia el bulbo de influencia.

Luego se calcula el incremento de esfuerzo efectivo causado en la mitad de cada estrato del suelo por la carga Q , con la siguiente fórmula. Se debe tener en cuenta que z_i hace referencia a la longitud del bulbo de influencia:

$$\Delta\sigma'_i = \frac{Q_g}{(B_g + Z_i) \times (L_g + Z_i)}$$

Fórmula 2. Incremento de esfuerzo efectivo

A continuación, se calcula el esfuerzo vertical que se produce a partir de la distancia de $2L/3$ hasta el z de desarrollo del bulbo de influencia, donde se halla el esfuerzo a la mitad de todos los estratos que estén en la longitud del bulbo de influencia. También se debe tener en cuenta la profundidad del nivel freático. En la gráfica 6, presentada a continuación, se explica un ejemplo de los puntos en los cuales se deben calcular los esfuerzos verticales para sacar los asentamientos por consolidación.



Gráfica 6. Ejemplo de cálculo de esfuerzo verticales

Ejemplo para el cálculo de esfuerzo vertical para hallar los asentamientos por consolidación en grupos de pilotes:

$$ev_{\text{amarillo}} = (y_{h_{\text{rojo}}} \times z_{\text{rojo}}) + \left(y_{h_{\text{amarillo}}} \times \left(\frac{2 \times L}{3} - z_{\text{rojo}} + \left(\frac{d_f + z_{\text{rojo}} + z_{\text{amarillo}} + \frac{2 \times L}{3}}{2} \right) \right) \right)$$

Fórmula 3. Ejemplo del cálculo de esfuerzo vertical, estrato amarillo.

$$ev_{\text{verde}} = (y_{h_{\text{rojo}}} \times z_{\text{rojo}}) + (y_{h_{\text{amarillo}}} \times z_{\text{amarillo}}) + (y_{h_{\text{verde}}} \times (z_{nf} - z_{\text{rojo}} - z_{\text{amarillo}})) + \dots$$

$$\dots + \left((y_{s_{\text{verde}}} - y_w) \times \left(\frac{d_f + \frac{2 \times L}{3} + z_{\text{bulbo}} - z_{\text{rojo}} - z_{\text{amarillo}}}{2} + z_{\text{rojo}} + z_{\text{amarillo}} - z_{nf} \right) \right)$$

Fórmula 4. Ejemplo del cálculo de esfuerzo vertical, estrato verde.

Seguidamente se halla el asentamiento por consolidación para cada estrato en consideración. Se debe tener en cuenta que el valor de H_c en la fórmula corresponde al espesor del bulbo de influencia en el estrato que le corresponda.

$$S_{c_{\text{estrato}}} = \left(\frac{C_c + H_c}{1 + e_o} \right) \times \left(\log \left(\frac{ev_{\text{estrato}} + \Delta \sigma'_i}{ev_{\text{estrato}}} \right) \right)$$

Fórmula 5. Asentamiento por consolidación en cada estrato afectado, para grupos de pilotes.

Finalmente se suman los asentamientos calculados para cada estrato afectado y se obtiene el asentamiento total causado por la carga aplicada en el grupo de pilotes.

$$\Delta S_{c(g)} = \sum S_{c_{\text{estratos}}}$$

Fórmula 6. Asentamiento por consolidación total causado por la carga aplicada en el grupo de pilotes.



P

C: Anexo: Certificado de registro de soporte lógico - software

D: Anexo: Link de Descarga

1. **Software PilotAPP:**

Se adjunta el link del drive con el RAR contenedor de todos los archivos del programa y video guía para la instalación y uso de la aplicación:

https://drive.google.com/drive/folders/1_-46RI3PPN6cAJeX4ABf9Bdtz8hASwhU?usp=sharing