

Memoria del proyecto de investigación sobre realización de aplicaciones para el cálculo de pilotes y su dimensionado en terrenos con diferentes estratos.

Francisco J. Gómez Jiménez

MEMORIA CIENTÍFICO-TÉCNICA DE PROYECTO FIN DE MASTER

1. RESUMEN DE LA PROPUESTA

INVESTIGADOR: Francisco Javier Gómez Jiménez

TITULO DEL PROYECTO: Realización de aplicaciones para el cálculo de pilotes y su dimensionado en terrenos con diferentes estratos.

El proyecto consiste en la elaboración de un estudio sobre las distintas formas de cálculo de pilotes para terrenos compuestos por diferentes tipos de suelos en el empotramiento del pilote, y la realización de aplicaciones que faciliten dichos cálculos. El proyecto se basa en el interés general de la automatización de los distintos métodos de cálculo y la creación de una herramienta que pueda compendiar el tratamiento matemático y facilitar su uso. El proyecto afronta el estudio de los diferentes métodos para el dimensionado de un pilote en diferentes terrenos, abordando de forma sistemática un proceso eficaz que englobe varios tipos de suelos. Por otro lado, la elección de los sistemas informáticos donde se efectuará dicha labor es un tema complejo que nos obliga a estudiarlos con rigor para conseguir el éxito de este proyecto. Se elaborará un informe sobre la elección del lenguaje de programación a usar para la creación de nuestra herramienta, así como la base de cálculo utilizada y los motivos que nos llevan a ella, buscando la posibilidad de uso de estos recursos para soliviantar futuras necesidades de forma práctica y rápida. Finalmente, se aplicará dicha herramienta en problemas comunes con el fin de dar validez a todo el trabajo realizado, dejando una puerta abierta a las necesidades futuras de almacenamiento de la información obtenida, o a cálculos más complejos de grupos de pilotes u otras cimentaciones especiales.

PROJECT TITLE: Making application for calculating and sizing piles in soils with different strata.

The project involves the development of a study on the various ways of calculating piles to land composed of different types of soils in the embedment of the pile, and the performance of applications that facilitate the calculations. The project is based on the general interest of the automation of different calculation methods and the creation of a tool that can summarize the mathematical treatment and ease of use. The project deals with the study of different methods for sizing of a pile in different fields, systematically addressing an effective process that encompasses several types of soils. On the other hand, the choice of computer systems where the animals is a complex task that requires us to study rigorously to ensure the success of this project. A report on the choice of the programming language used for the creation of our tool, and the calculation basis and the reasons that lead us to her, seeking the possibility of using these resources for future needs so arouse quick and practical. Finally, we apply this tool on common problems in order to validate all the work, leaving the door open to future storage needs of the information obtained, or more complex calculations of pile groups or other special foundations.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Finalidad del proyecto:

La finalidad del proyecto es proporcionar la información necesaria para la construcción de pilotes, dimensionado o resistencia soportada, en cualquier edificación que requiera de estos elementos, con el objetivo de ofrecer al usuario la posibilidad de uso de forma fácil, de una herramienta, que pueda englobar cualquier necesidad en el cálculo de pilotes. Los resultados deben mostrarse de forma rápida, y sin lugar a errores o ambigüedades. Por ello, se llevará el estudio sobre diferentes plataformas y lenguajes de programación que nos permitan llevar nuestro trabajo de forma rigurosa y con toda la potencia de uso de los medios informáticos que poseemos.

La rentabilidad del proyecto se basa en la no existencia de herramientas que agrupen diferentes tipos de terrenos bajo un mismo suelo, en toda la longitud del pilote, así como la sencillez de cálculo y su rapidez en operaciones tediosas para el dimensionado de pilotes, que hasta ahora se basan en el diseño computarizado, y no como herramienta de cálculo.

La prioridad de este estudio es sistematizar los cálculos necesarios para el dimensionado de este tipo de cimentación, por ello, se hará un análisis exhaustivo sobre las diferentes formulas matemáticas que existen para cada tipo de terreno, y su importancia para el calculo. Se estudiará el efecto que ejercen cada uno de los terrenos sobre pilotes "in situ" y se escogerán los escenarios más propicios para llevar a cabo nuestra labor con el menor número posible de datos o información sobre cada terreno, sin encarecer de esta forma la toma de muestras, o el análisis de tierras necesario en la adquisición de datos para cualquier cimentación. También se verán las diferentes características constructivas de los diferentes tipos de pilotes.

Consecuentemente se buscará un determinado patrón, que nos ayude a elaborar la mejor elección para cada terreno, según los diferentes estudios realizados, en el que tendrá especial relevancia el estandarizar los procesos y el dimensionado de la estructura.

Finalmente, se procederá a la comprobación de la agilidad y rapidez de nuestra herramienta una vez elaborada, y la eficacia al diseñar pilotes en futuras construcciones.

No obstante, este proyecto, al igual que cualquier software, pretende solventar determinados problemas actuales, que conforme avance su desarrollo, o su uso, derivará en nuevas necesidades. Por este motivo, no se pretende dejar cerrado el proyecto, sino que debe seguir abierto a nuevos requerimientos.

2.2. Antecedentes y contextualización:

Los pilotes han sido utilizados como elementos de construcción desde hace más de 4000 años. A lo largo de la historia se han usado para diferentes tipos de construcción y diversas aplicaciones, exponiendo a continuación los ejemplos que nos parecen más representativos.

Las construcciones más antiguas las podemos encontrar en:

- Construcción de zonas elevadas en zonas húmedas como el que encontramos en el Lago de Ginebra con una antigüedad de hace 4.000 años.
- En Robenhausen (Suiza), fueron encontrados 100.000 pilotes bajo un depósito de terreno de 2000 años de antigüedad.
- En Lough Drumkeery (Irlanda) se encontraron 30.000 pilotes antiguos de madera de 3 m de profundidad.

- Herodoto (escritor Griego, 400 A.C.) explica que en una tribu africana (PEONIONS) vivían en una zona levantada con pilotes. Para contraer matrimonio cada hombre tenía que hincar 3 pilotes.
- Los Fenicios usaban pilotes para las construcciones portuarias. Los constructores de barcos empezaron a construir las pantallas formadas por hileras de pilotes o tablestacas.
- Los cedros del Líbano prácticamente desaparecieron exportados a Egipto para construir pilotes.
- Tanto los Griegos como los Romanos usaron pilotes en todas sus construcciones. Tuvieron problemas con el 'teredo navalis', lo que ha provocado la desaparición de dichas construcciones.
- En Newcastle (UK) existe un puente Romano construido con pilotes de madera negra de roble de 3 m.
- El Emperador Trajano construyó un puente en el Danubio. Cuando se descubrieron los pilotes estaban en fase de petrificación.
- Vitrubio (arquitecto romano del siglo I), describe técnicas constructivas para la ejecución de pilotes y tablestacas.
- La mayoría de los edificios antiguos (siglo VIII) en Venecia se fundamentan mediante pilotajes. La ciudad empezó en una zona pantanosa.
- La ciudad de Amsterdam, fundada hace 1000 años, prácticamente se encuentra construida sobre pilotes de 15-20 m de longitud.
- Los pilotes de madera sumergidos han demostrado ser más duraderos que los sometidos a secado-mojado periódico (en tal caso se usaban grasas para proteger la superficie).
- La hincada se hacía mediante un simple trípode que permitía la caída de un peso que golpeaba el pilote.

En el siglo XIX empezaron los cambios importantes, tanto en los materiales de los pilotes como en su ejecución, destacando:

- En 1830 se empezaron a usar los pilotes metálicos de forma tubular.
- En 1824 (siglo XIX) Joseph Aspdin patentó un cemento que más tarde se conocería como cemento Portland (por su parecido a las piedras de Portland).
- Hacia finales de siglo aparece el hormigón armado en Francia.
- A principios del siglo XIX empieza a usarse en Inglaterra la máquina de vapor para levantar las mazas.
- Durante este siglo aparecen otras técnicas basadas en la máquina de vapor (percusión directa) o con máquinas de aire comprimido e incluso con pólvora.
- En 1897 Raymond patentó su sistema de pilotes.
- En 1903 Beale desarrolló el sistema de entubación metálica, posterior hormigonado interior y extracción de la entubación.
- El Belga Franki desarrolló un sistema similar que permitía el ensanchamiento de la base del pilote.
- En USA (1900) se empezaron a usar los pilotes metálicos en forma de viga-I y viga-H.
- A partir de 1946 empiezan a aparecer máquinas DIESEL para la hincada de pilotes.
- Los pilotes perforados fueron muy usados en la India, por ejemplo mediante 'pozos de cimentación' que se rellenaban con piedra. Taj Mahal (construido entre 1632-1650).
- La maquinaria para perforación era más ligera que la maquinaria de hincada, lo que facilitó la técnica de la perforación.
- Originalmente se impedía la entrada de agua en la entubación mediante aire comprimido. Actualmente se hormigona desde la zona inferior del tubo aunque exista agua en su interior.
- Actualmente existe maquinaria de perforación desde 150 mm hasta 2 m.
- Actualmente se hincan pilotes prefabricados (machiambrados) o se hincan pilotes ejecutados in situ.
- Actualmente los pilotes tubulares hincados se suelen usar en plataformas off- shore.

2.3. Definición y tipos de pilotes:

El objetivo de una cimentación es la de transmitir al terreno de forma amortiguada las cargas estructurales que no se pueden transmitir directamente al mismo por ser un material de baja resistencia y elevada deformabilidad. Podemos definir 3 tipos:

- Cimentaciones superficiales: $D/B < 4$
- Cimentaciones semiprofundas $4 < D/B < 8$ a 10
- Cimentaciones profundas $8 < D/B < 10$

Podemos definir los pilotes como elementos de cimentación de gran longitud que se hincan directamente en el terreno o bien se construyen en una cavidad previamente abierta en el mismo. La cimentación mediante pilotes es necesaria cuando la cimentación superficial o semiprofunda no es posible por razones técnicas, de dimensiones o económicas.

Las cimentaciones profundas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- **Pilote aislado:** aquél que está a una distancia lo suficientemente alejada de otros pilotes como para que no tenga interacción geotécnica con ellos.
- **Grupo de pilotes:** son aquellos que por su proximidad interaccionan entre sí o están unidos mediante elementos estructurales lo suficientemente rígidos, como para que trabajen conjuntamente.
- **Zonas pilotadas:** son aquellas en las que los pilotes están dispuestos con el fin de reducir asentamientos o mejorar la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones. Suelen ser pilotes de escasa capacidad portante individual y estar regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos.
- **Micro pilotes:** son aquellos compuestos por una armadura metálica formada por tubos, barras o perfiles introducidos dentro de un taladro de pequeño diámetro, pudiendo estar o no inyectados con lechada de mortero a presión más o menos elevada

Los pilotes pueden ser de naturaleza y forma muy variada, para diferenciar los tipos de pilotes se pueden utilizar los siguientes criterios:

En cuanto a la forma de trabajo, los pilotes se clasifican en:

- **Pilotes por fuste:** Se da en aquellos terrenos en los que al no existir un nivel claramente más resistente al que transmitir la carga del pilotaje, éste transmitirá su carga al terreno fundamentalmente a través del fuste. Se suelen denominar pilotes “flotantes”.
- **Pilotes por punta:** Aparecen en aquellos terrenos en los que al existir a cierta profundidad un estrato claramente más resistente, las cargas del pilotaje se transmitirán fundamentalmente por punta. Se suelen denominar pilotes “columna”.

Por el tipo de material del pilote:

- **Hormigón “in situ”:** se ejecutarán mediante excavación previa, aunque también podrán realizarse mediante desplazamiento del terreno o con técnicas mixtas (excavación y desplazamiento parcial).
- **Hormigón prefabricado:** podrá ser hormigón armado (hormigones de alta resistencia) u hormigón pretensado o post-tensado.
- **Acero:** se podrán utilizar secciones tubulares o perfiles en doble U o en H. Los pilotes de acero se deben hincar con azuches (protecciones en la punta) adecuados.
- **Madera:** se podrá utilizar para pilotar zonas blandas amplias, como apoyo de estructuras con losa o terraplenes.
- **Mixtos:** como los de acero tubular rodeados y rellenos de mortero.

Por el procedimiento constructivo (atendiendo al modo de colocar el pilotes dentro del terreno)

- **Pilotes prefabricados hincados:** la característica fundamental de estos pilotes estriba en el desplazamiento del terreno que su ejecución puede inducir, ya que el pilote se introduce en el terreno sin hacer excavaciones previas que faciliten su alojamiento en el terreno.
- **Pilotes hormigonados “in situ”:** son aquellos que se ejecutan en excavaciones previas realizadas en el terreno.
- **Pilotes de carácter intermedio** entre los dos anteriores, tales como los hincados en preexcavaciones parciales de menor longitud y mayor diámetro que el pilote.

Dentro de los Pilotes hormigonados “in situ” se diferencian los siguientes tipos: pilotes de desplazamiento con azuche, pilotes de desplazamiento con tapón de gravas, pilotes de extracción con entubación recuperable, pilotes de extracción con camisa perdida, pilotes de extracción sin entubación con lodos tixotrópicos, pilotes barrenados sin entubación, pilotes barrenados, hormigonados por el tubo central de la barrena y pilotes de desplazamiento por rotación.

Para los pilotes hormigonados “in situ” se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) diámetro < 0,45 m: no se deben ejecutar pilotes aislados, salvo en elementos de poca responsabilidad en los que un posible fallo del elemento de cimentación no tenga una repercusión significativa.
- b) 0,45 m < diámetro < 1,00 m; se podrán realizar pilotes aislados siempre que se realice un arriostamiento en dos direcciones ortogonales y se asegure la integridad del pilote en toda su longitud.
- c) diámetro > 1,00 m; se podrán realizar pilotes aislados sin necesidad de arriostamiento y el pilote se arme para las excentricidades permitidas y momentos resultantes.

2.4. Investigaciones previas relevantes sobre el tema

Respecto al desarrollo de software, se encuentran algunas herramientas de diseño asistido por computador (CAD), que a priori no resuelven el dimensionado para diferentes tipos de terreno. Entre otros podemos mencionar Arquba.com, empresa dedicada a la realización de software CAD para ingeniería y arquitectura. CivilGeek.com, o GeoStru, enfocados todos al diseño de cimentaciones y estructuras. GeoStru, tiene un compendio de las diferentes formulas para el cálculo de resistencia de pilotes, aunque la versión que hemos podido ver no contenía el cálculo de dimensionado para diferentes terrenos apilados.

Por otro lado hemos encontrado una Excel de difusión gratuita de Francisco Jurado de la UPM que proporciona información de sobre cargas en pilotes, pero que no dimensiona un pilote aislado.

Respecto a estudios sobre pilotes, existen numerosas investigaciones, sobre pilotes in situ, compuestos, corrosión de pilotes,... aunque no hemos encontrado ninguno que trate de terrenos compuestos y de su diseño, ante los cambios de las características de estos.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1. Fundamentos

Arquitectos e ingenieros en algún momento debemos abordar una cimentación profunda. Generalmente hacemos uso de tablas Excel que desarrollamos a nuestro gusto, y que perdemos bastante tiempo para confeccionarlas, y revisar posibles errores. Cualquier cambio en el proyecto nos hace volver a revisar los cálculos y dimensiones de los pilotes. Una herramienta simple, que nos permita calcular y repasar ágilmente dichos cálculos, sin tener que modificar todo el trabajo, sino solamente las características del terreno y la resistencia necesaria, en especial para cálculos complejos donde hay cambios en las características del terreno, nos será de gran utilidad.

Aunque existen herramientas que ya incorporan la creación de diseño y cálculo, no encontramos una herramienta sencilla que nos permita un cálculo rápido, sean cual sean las condiciones. O que nos permita comprobar de forma sencilla que un diseño realizado sea correcto.

Por otro lado tampoco encontramos como afecta un cambio heterogéneo en las características de un terreno y como afecta estos cambios sobre la resistencia de nuestra cimentación.

3.2. Elección de un lenguaje de programación.

Para el diseño de un programa que responda a nuestras necesidades, debemos tener en cuenta, que este debe ser lo suficientemente potente, como para desarrollar un software que sea simple, y con agilidad de cálculo que nos permita desarrollar cálculos complejos iterativos de forma rápida.

La primera elección se centra entre un software ejecutable, compacto y portable, frente a un software online. Aunque la segunda elección parece la más lógica dada la tecnología actual para acceder desde cualquier lugar, si queremos agilidad, rapidez y sencillez, un programa online, podría no cumplir esos objetivos actualmente. La velocidad de cálculo se podría ver reducida según las condiciones del servidor, así como por la velocidad del explorador, y la de la red. Por otro lado la programación de cálculos complejos, podría consumir unos recursos a veces insuficientes en un entorno online, que se vería mermado a su vez en zonas de poca o ninguna cobertura.

La elección de un sistema portable, debe responder a la ejecución de su software en cualquier sitio y o medio. Ante el auge de los smartphones y tablets, hemos de elegir para que entorno debemos programar. Parece lógico pensar la comodidad de un Smartphone o tablet, aunque debemos ver que el mercado está segmentado entre Iphones, Android, y Windows phone, y que no llegaríamos a una cuota del 60% en ninguna de las plataformas.

El usos de portátiles cada vez mas pequeños, y la no reemplazabilidad de estos por una tablet, permite que nuestro diseño se realice para una plataforma Windows con una cuota de mercado del 90%, y nos permita llegar a todas las oficinas y sectores, ya que en cualquiera de estas encontramos un pc o un portátil Windows.

Respecto al lenguaje tenemos infinidad de opciones, desde herramientas de ofimática (Excel, acces, dbase, openoffice,..) hasta plataformas de lenguajes de programación, de los que haremos una descripción de los que hemos considerado más importantes en diferentes plataformas.

Para uso en red:

Java: Lenguaje de programación más popular, válido para todos los sistemas, aunque es necesaria una máquina virtual, instalada en el equipo a utilizar, y con incompatibilidades entre diferentes versiones. El problema es su dificultad de desarrollo, y que un navegador con una versión antigua puede dar fallos.

PHP: También es muy popular y muy extendido. Es menos complejo que Java y no necesita de máquina virtual, ya que se ejecuta en el servidor, aunque los problemas entre versiones son más complicadas, ya que habría que estar pendientes de los posibles cambios de versión en el servidor, que pueden inutilizar todo el trabajo.

Ruby on rails: lenguaje para web sencillo que permite hacer aplicaciones más grandes con menos código, aunque no está muy aceptado en algunos servidores.

Para uso en Smartphone y tablets.

S.O. Androids. Se programa en Java bajo la API de Android. Podemos elegir diferentes plataformas como Eclipse o Titanium para trabajar directamente, o Basic for Android, que podemos trabajar en Basic y nos traduce a Java nuestro código.

Mac OS: Sistema operativo de Apple, existen también plataformas como Eclipse y Titanium para dichos dispositivos.

Para Windows, existen aún más lenguajes:

Visual Basic (Visual Studio), (o .Net) Lenguaje de programación visual, orientado a objetos, procedente de Basic. Es el más usado por Windows en aplicaciones como Excel, Access, Word...

C++, C# ... Potentes lenguajes de programación estructurada, basados en C, orientados a objetos y programables desde diferentes plataformas (Eclipse, Embarcadero, Visual Studio...) Lenguaje muy complejo aunque con muchísima potencia.

Delphi: Lenguaje de programación visual, estructurado, orientado a objetos basado en Pascal, muy sencillo para su uso. Este lenguaje permite hacer estructuras sencillas de cálculo e iterativas sin apenas problemas.

Cobol: Lenguaje muy usado en cálculos matemáticos complejos, sin plataforma visual. Es muy utilizado en sistemas financieros debido a su compatibilidad en diferentes sistemas.

Fortran : es un lenguaje de programación alto nivel de propósito general, procedimental e imperativo, que está especialmente adaptado al cálculo numérico y a la computación científica.

Nuestra elección ha sido programar para una plataforma en un sistema operativo Windows, en una plataforma que trabaje una programación estructurada, de forma sencilla y que nos permita trabajar de forma rápida. Al final hemos considerado oportuno trabajar en DELPHI bajo la plataforma de desarrollo EMBARCADERO. Los motivos han sido a parte de los ya expuestos, de llegar a casi el 90% de usuarios, el aprender una programación estructurada, simple, en un entorno de desarrollo que nos permita después adaptar rápidamente las aplicaciones a otras plataformas. También por motivos de las herramientas que tenemos a nuestra disposición y la facilidad para aprender.

Embarcadero estudio, es una plataforma en la que no solo podemos programar aplicaciones visuales en Delphi, sino también en C++ y que en sus últimas versiones, ya se pueden realizar y adaptar versiones para smartphones a partir de los programas realizados.

4. ANALISIS Y DIMENSIONADO

4.1. Introducción al cálculo de resistencias

Nuestro proyecto se basa en compendiar para diferentes tipos de terreno las ecuaciones usadas para el cálculo de la carga de un pilote aislado. Además necesitamos ver si existen interacciones para los diferentes tipos de terrenos.

Las comprobaciones para verificar que una cimentación profunda cumplen los requisitos necesarios se basarán en el método de los estados límite que estudiamos a continuación.

Estados límite últimos

Las formas de fallo de una cimentación profunda pueden ser de muy diverso tipo. Los tipos de rotura más comunes y que en cualquier caso deben verificarse son:

Estabilidad global

El conjunto de la estructura y su cimentación pilotada pueden fallar mediante un mecanismo de rotura aún más profundo que la cimentación o que, no siendo tan profundo, pudiera cortar los pilotes por su fuste.

Hundimiento

Se podrá producir este modo de rotura cuando la carga vertical sobre la cabeza del pilote supere la resistencia del terreno causando asientos desproporcionados. Se establece un método para la determinación de la carga de hundimiento, R_{ck} .

$$R_{cd} = R_{ck} / \gamma_r$$

Rotura por arrancamiento

Los pilotes podrán utilizarse para soportar cargas de tracción en su cabeza. Si estas cargas exceden la resistencia al arrancamiento, el pilote se desconecta del terreno, rompiendo su unión y produciéndose el consiguiente fallo.

Rotura horizontal del terreno bajo cargas del pilote

Cuando las cargas horizontales aplicadas en los pilotes producen en el terreno tensiones que éste no puede soportar, se producen deformaciones excesivas o incluso, si el pilote es corto y suficientemente resistente como estructura, el vuelco del mismo. Este estado límite debe comprobarse tan sólo en aquellos casos en los que la máxima componente de los empujes horizontales sobre los pilotes sea mayor del 10% de la carga vertical compatible con ellos.

Capacidad estructural del pilote

Las cargas transmitidas a los pilotes en su cabeza inducen esfuerzos en los mismos que pueden dañar su estructura.

Estados límite de servicio

Los estados límite de servicio en las cimentaciones profundas están normalmente asociados a los movimientos.

Tanto al proyectar pilotes aislados como grupos de pilotes, deben realizarse las comprobaciones relacionadas con los movimientos (asientos y desplazamientos transversales) en los que influye no sólo la resistencia del terreno sino también su deformabilidad.

4.2. Otras consideraciones

Aparte de la consideración de los estados límite citados en los apartados precedentes, se tendrán en cuenta otros efectos que pueden afectar a la capacidad portante o aptitud de servicio de la cimentación.

Entre los posibles problemas que puedan presentarse se hará una consideración expresa de los siguientes:

- a) influencia de la hinca de pilotes prefabricados en estructuras o edificaciones cercanas.
- b) ataques del medio ambiente al material del pilote con la consiguiente merma de capacidad. Se debe prestar una atención especial al efecto de la corrosión del acero en las zonas batidas por la carrera de marea o por las oscilaciones del nivel freático.
- c) posible expansividad del terreno que pueda provocar el problema inverso al rozamiento negativo, causando el levantamiento de la cimentación.
- d) posible heladicidad del terreno, que pudiera afectar a encepados poco empotrados en el terreno.
- e) protección contra la helada en las cabezas de los pilotes recién construidos.
- f) posible ataque químico del terreno o de las aguas a los pilotes.
- g) posible modificación local del régimen hidrogeológico por conexión de acuíferos ubicados a distinta profundidad que podrían quedar conectados al ejecutar los pilotes.
- h) posible contaminación medioambiental por la utilización de lodos o polímeros durante la excavación de pilotes de hormigón “in situ”.
- i) estabilidad de los taludes de las excavaciones y plataformas realizadas para construir el pilotaje.
- j) desprendimientos sobre la cabeza del pilote recién construido, debidos a la diferencia de cota entre el pilote terminado y la plataforma de trabajo, así como desprendimientos o contaminaciones causadas por la limpieza de la plataforma, especialmente en el caso de pilotes de hélice continua, en los que es necesaria la limpieza de la cabeza para la introducción de la armadura.
- k) mala limpieza del fondo de las excavaciones de los pilotes perforados.
- l) problemas de colapso en suelos que tengan una estructura metaestable.
- m) posibles efectos sísmicos y en particular la posible licuefacción del entorno y que pudiera incluir al propio pilotaje.
- n) posible pérdida de capacidad portante por socavación de pilotajes.

4.3. Carga de hundimiento

Esta es la parte realmente importante para nosotros, desde la cual vamos a realizar nuestros cálculos de hundimiento.

4.3.1. Criterios básicos

La resistencia característica al hundimiento de un pilote aislado se considerará dividida en dos partes resistencia por punta y resistencia por fuste.

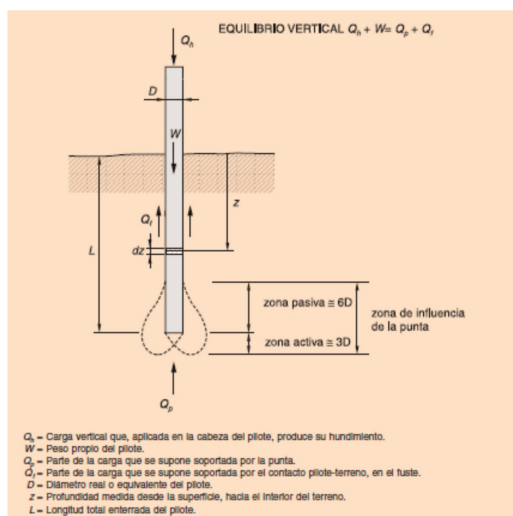
$$R_{ck} = R_{pk} + R_{fk}$$

Siendo:

R_{ck} la resistencia frente a la carga vertical que produce el hundimiento.

R_{pk} la parte de la resistencia que se supone soportada por la punta.

R_{fk} la parte de la resistencia que se supone soportada por el contacto pilote-terreno el fuste.



Esquema de distribución de la carga de un pilote aislado

Para estimar ambas componentes de la resistencia se supondrá que son proporcionales a las áreas de contacto respectivas de acuerdo con las expresiones:

$$Q_{pk} = q_p \cdot A_p$$

$$R_{fk} = \int_0^L \tau_f \cdot p_f \cdot dz$$

Donde

q_p la resistencia unitaria por la punta.

A_p el área de la punta

τ_f la resistencia unitaria por el fuste.

L la longitud del pilote dentro del terreno

p_f el perímetro de la sección transversal del pilote, considerada.

z la profundidad contada desde la parte superior del pilote en contacto con el terreno.

4.3.2. Consideraciones sobre la resistencia por punta

El área de la punta a utilizar en el cálculo será igual al área de la sección transversal del pilote al nivel de la punta (pilotes de extracción) o a la proyección sobre el plano transversal del área del azuche en pilotes hincados. Para pilotes huecos (sección en forma de corona circular).

El área de la punta que ha de considerarse para el cálculo de los pilotes metálicos en H será, salvo que se justifique otro valor, o se disponga un azuche especial, el menor de los dos valores siguientes:

- a) el área del rectángulo circunscrito.
- b) vez y media el cuadrado del ala.

En los pilotes huecos hincados, se tomará como área de la punta el total de la superficie encerrada por el contorno externo.

En casos de terreno heterogéneo, se supondrá que la carga de hundimiento por la punta está controlada por un terreno con las características medias de la zona comprendida entre tres diámetros bajo la punta (zona activa inferior) y seis diámetros sobre la punta (zona pasiva superior), aproximadamente.

En las situaciones en las que bajo la punta existan zonas arcillosas de menor resistencia, que reduzcan la resistencia unitaria por punta "q_p", dicho valor vendrá limitado por la expresión:

$$q_p \leq 6 \left(1 + \frac{H}{D} \right)^2 c_u$$

siendo

H la distancia de la punta del pilote al estrato del suelo cohesivo blando inferior.

D el diámetro real o equivalente (igual área) del pilote.

c_u la resistencia al corte sin drenaje del suelo cohesivo blando.

Si la separación entre pilotes es inferior a la distancia de la punta del pilote al nivel del suelo cohesivo blando inferior debe considerarse el efecto combinado del grupo de pilotes para estimar la carga de hundimiento y el posible asiento de la cimentación.

4.3.3. Consideraciones sobre la resistencia por fuste

Cuando la resistencia unitaria por fuste varíe con la profundidad, para el cálculo de la resistencia total por fuste se debe realizar una integración a lo largo del pilote. En los casos en que la resistencia total por fuste sea constante por tramos y también lo sea la longitud del contorno del pilote en cualquier sección horizontal, la resistencia por fuste se considerará como un **sumatorio** con un término por cada tramo, esto es:

$$R_{fk} = \sum \tau_f \cdot A_f$$

siendo

A_f el área del contacto entre el fuste del pilote y el terreno en cada tramo;

τ_f la resistencia unitaria por fuste en cada tramo.

En los pilotes con sección transversal especial, pilotes en H por ejemplo, se tomará como longitud del contorno la correspondiente a la figura geométrica simple (circunferencia, rectángulo o cuadrado) que conduzca a un perímetro menor.

En los pilotes columna sobre roca, no debe contemplarse la resistencia por fuste en los suelos cuya deformabilidad sea claramente mayor que la correspondiente a la zona de la punta.

4.3.4. Consideraciones del efecto grupo

De forma general, para el cálculo de los pilotes, no se considerará el efecto grupo para una separación entre ejes de pilotes igual o mayor a 3 diámetros.

A partir de grupos de 4 pilotes se debe considerar que la proximidad entre los pilotes se traduce en una interacción entre ellos, de tal forma que si el grupo tiene n pilotes, y la carga de hundimiento del pilote aislado es R_{ck} , la carga que produce el hundimiento del grupo, R_{ckg} , en general, no suele ser igual a $n \cdot R_{ck}$, al tener que aplicar a este valor, $n \cdot R_{ck}$, un coeficiente de eficiencia, η , que se define como el cociente:

$$\eta = \frac{\text{Carga de hundimiento del grupo}}{n \cdot \text{Carga hundimiento del pilote individual}} = \frac{R_{ckg}}{n \cdot R_{ck}}$$

El coeficiente de eficiencia será de 1, para separaciones entre ejes iguales o superiores a 3 D. Para separaciones de 1 D el coeficiente de eficiencia será 0,7. Para separaciones entre 1 D y 3 D se interpolará linealmente entre 0,7 y 1.

En pilotes hincados en arenas densas o muy densas se podrá adoptar un coeficiente de eficiencia igual a 1. Podrá aumentarse este valor, previa justificación, por la posible compactación que se pueda producir, sin que en ningún caso pueda ser superior a 1,3.

Para determinar el valor de cálculo de la resistencia al hundimiento del grupo, analizado como una única cimentación que engloba los pilotes, debe utilizarse un coeficiente, η_R .

4.4. Pilotes aislados

La rotura global (típica de cimentaciones superficiales) difícilmente se produce en pilotes. Debido a su mayor esbeltez, la rotura en un pilote es por punzonamiento.

La rotura de un pilote se identifica en la curva carga-asiento. Esta curva es de la misma forma que las curvas tensión-deformación de comportamiento de un material elastoplástico. Puede mostrar comportamiento dúctil y comportamiento frágil.

Según **Winterkorn y Fang**, los tipos de rotura en pilotes pueden esquematizarse como:

- Terreno blando con base rocosa en su límite inferior. El pilote es de tipo columna y prácticamente toda la carga se soporta por punta. El fuste es despreciable y también la capacidad de confinamiento del suelo alrededor del pilote. Si la carga es suficientemente grande en relación a la esbeltez del pilote, éste puede llegar a pandear. La rotura es de tipo completamente frágil.
- Terreno blando sobre terreno medio o terreno medio sobre terreno duro. En este caso también se puede tratar de pilote columna lo que si da lugar a una rotura global del estrato de apoyo (mecanismo de Prandtl) entonces también provocaría una curva de rotura con comportamiento frágil.
- Terreno homogéneo con pilote flotante. A medida que un pilote flotante se va introduciendo en el terreno, va comprimiendolo y la resistencia por fuste va aumentando. Por tanto, la curva de rotura de un pilote flotante tiende a mostrar endurecimiento.
- Pilote a tracción. Un pilote flotante puede soportar cargas a tracción y la curva de rotura que produce será de tipo plástico perfecto.

4.4.1. Acciones y reacciones sobre un pilote

Sea un sistema de cargas, V, H, M general. En realidad el pilote aislado solo puede soportar cargas verticales V y, aunque en menor magnitud e importancia, cargas horizontales. La carga vertical V sobre un pilote se acaba comparando con la carga de hundimiento del pilote Q_h a través de un factor de seguridad al hundimiento. Dicha carga de hundimiento se expresa como:

$$Q_h = Q_p + Q_f$$

y se expresan como:

$$Q_p = p_p A_p \quad A_p = \pi \phi^2 / 4$$

$$Q_f = \int_0^l \pi \phi p_f(z) dz = \pi \phi \int_0^l p_f(z) dz = \pi \phi \sum p_f^i l^i$$

4.4.2. Resistencia por punta. Expresiones estáticas

Se puede considerar la analogía con cimentaciones superficiales de forma que en principio se partirá de la expresión general de **Brinch-Hansen**:

$$p_h = c' N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} + q N_q s_q d_q i_q + \frac{1}{2} B \gamma N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma}$$

El término de peso (γ) es despreciable en todos los casos de pilotes. En condiciones no drenadas $M_i=0$ lo que anula todo el término. En condiciones drenadas es despreciable ya que:

$$\frac{1}{2} B \gamma N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} \ll q N_q s_q d_q i_q$$

debido a que, por un lado, $B = \phi$ es pequeño, y por otro lado, $q N_q$ es muy grande ($q = \gamma \lambda$, y la longitud λ es grande). Los términos de inclinación, serán la unidad en cualquier caso ya que las cargas actúan verticalmente en los pilotes. Por tanto la expresión de partida será la siguiente:

$$p_h = c' N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} + q N_q s_q d_q$$

que posteriormente se particularizará según el tipo de suelo y en diferentes casos.

Los mecanismos de rotura en pilotes han sido estudiados por diferentes autores con el objetivo de encontrar formas analíticas para N_c y N_q . Algunos de éstos mecanismos son:

- **Terzaghi**: Se supone rotura global (zona en rotura activa y zona en rotura pasiva) en el terreno bajo la punta del pilote y el terreno lateral actúa en forma de sobrecarga $q = \gamma \lambda$.
- **Meyerhoff**: El mecanismo de rotura empieza de forma parecida al de rotura global, sin embargo, las líneas de rotura continúan en forma de espiral que se va abriendo hasta que intersecta con el fuste del pilote. Este mecanismo permite definir la ZAI y ZAS que son, respectivamente, la zona activa inferior ($ZAI=2$ a 3ϕ) y la zona activa superior (4ϕ en arcillas y 8ϕ en arenas). La existencia de esta ZAS justifica que los pilotes mejoran su contribución por punta si se empotran en la capa dura respecto a un simple apoyo.
- **Berenzantsev**: La hipótesis básica de este autor es que en realidad la sobre carga q en el plano de apoyo es inferior que $\gamma \lambda$ debido a efecto silo causado por la propia construcción del pilote o por el estado natural del terreno. Esto facilita la subida del terreno en la zona lateral.
- **Gibson**: Este mecanismo se basa en la existencia de un bulbo en el que el suelo se encuentra plastificado. Este bulbo es estable hasta que se llega a rotura en que va creciendo alcanzando incluso la superficie del terreno.

4.4.2.1. Resistencia por punta en Arenas

Se desprecia la cohesión y por tanto:

$$ph = qN_q S_q d_q$$

La existencia de diferentes mecanismo provoca también la existencia de diferentes modelos que se pueden usar para determinar el coeficiente N_q (en el caso de suelos granulares).

Caquot-Kerisel las ha recopilado y obtenido una curva media que podría ser:

$$N_q = 10^{3.04 \tan \phi'}$$

Si se compara esta expresión con los resultados obtenidos para cimentaciones se obtiene por ejemplo:

ϕ	N_q en zapatas	N_q en pilotes
50	320	4200
30	18.4	56.9

Es decir que para valores altos de ϕ' las diferencias son de un orden de magnitud.

Los otros coeficientes de la expresión se pueden calcular en este caso como:

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi' = 1 + \tan \phi' \cong 1.3$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \arctan\left(\frac{l}{\phi}\right) = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \times 1.57$$

$$\arctan\left(\frac{l}{\phi}\right) = \arctan(\infty) = 1.57$$

Sin embargo, la expresión:

$$ph = qN_q S_q d_q = \gamma l N_q S_q d_q$$

resulta que da lugar a un aumento lineal con la profundidad de la presión de hundimiento y esto en la realidad no se observa.

Para una arena densa, la resistencia a la penetración (q_c) se estabiliza en 300 kp/cm² hacia 5 m (20 ϕ) mientras que en arenas sueltas la estabilización se alcanza en 100 kp/cm².

Para superar esta dificultad se han propuesto otros modelos menos fundados teóricamente, como por ejemplo:

$$p_p = 5N_q \tan \phi' \quad \text{t/m}^2 \quad \text{para } z > 20\phi$$

En este caso, queda por tanto:

$$p_p = \min(qN_q S_q d_q, 5N_q \tan \phi')$$

N (SPT)	0-4	4-10	10-30	30-50	>50
N_q	20	30	70	90	150
Tipo arena	Muy suelta	suelta	media	densa	Muy densa

Por último, debido a que la teoría es de difícil aplicación se ha buscado un planteamiento más empírico que se escribe como:

$$p_p = \frac{q_c}{\beta} \cong \frac{4N}{\beta} \quad (1 < \beta < 3)$$

$$q_c (\text{kp/cm}^2) \cong 4N$$

Donde β no es constante:

- Aumenta al aumentar q_c
- Aumenta al aumenta el diámetro del pilote

Es decir que finalmente se podría escribir como:

$$P_p = \frac{q_c}{1 + \alpha B q_c}$$

4.4.2.2. Resistencia por punta en Gravas

En el caso de que exista una base granular de tipo grava y no sea posible realizar el ensayo de penetración se puede tomar:

Gravas limpias: $pp = 120 \text{ kp/cm}^2$

Gravas arenosas: $pp = 80 \text{ kp/cm}^2$

Gravas arcillosas: $pp = 50 \text{ kp/cm}^2$

En cualquier caso es recomendable empotrar la punta y disponer, como mínimo, de 6" tanto por arriba como por abajo del nivel de apoyo.

Si solo se apoya, pp puede verse reducido a la mitad de su valor de cálculo.

4.4.2.3. Resistencia por punta en arcillas

El comportamiento de las arcillas es más complejo que el de los materiales granulares debido a que se generan presiones intersticiales durante la hinca, se puede producir remoldeo del suelo con el consiguiente cambio de propiedades y se pueden producir procesos de consolidación simultáneamente.

Generalmente se trabaja en tensiones totales.

En arcillas blandas ($qu < 2.5 \text{ kp/cm}^2$) puede despreciarse la contribución por punta del pilote ya que es pequeña en comparación con la contribución que se obtendrá del fuste.

Análogamente a como se ha hecho en arenas se partirá de la expresión general de B-H que en este caso de condiciones no drenadas es:

$$ph = c_u N_c s_c d_c + q N_q s_q d_q$$

en la que los factores N_c y N_q valen:

$$N_q = 1$$

$$N_c = \pi + 2 = 5.14$$

y los factores de forma se pueden calcular como:

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi = 1$$

$$S_c = 1 + \frac{N_q B}{N_c L} = 1 + \frac{1}{5.14} = 1.2$$

y los factores de empotramiento:

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctan \left(\frac{D}{B} \right) = 1$$

$$d_c = d_c - \frac{1 - d_q}{N_c \tan \phi} = 1 + \frac{2}{N_c} \arctan \frac{D}{B} = 1 + \frac{2}{\pi + 2} \frac{\pi}{2} \cong 1.6$$

$$\frac{D}{B} \rightarrow \infty \Rightarrow \arctan \frac{D}{B} \rightarrow \frac{\pi}{2}$$

Para finalizar resulta que la presión de hundimiento por punta es:

$$p_p = \gamma_n l \times 1 \times 1 \times 1 + c_u \times 5.14 \times 1.2 \times 1.6 \cong 9c_u$$

Como puede verse el término de sobrecarga se desprecia ya que todos sus factores correctores con la unidad en cuyo caso sólo aporta $q = g / l$ que equivale prácticamente al peso del propio pilote. Es decir que la resistencia por punta en arcillas se evalúa como:

$$p_p = 9c_u$$

Si se dispone de la resistencia a la compresión simple o la resistencia a la penetración entonces dicha expresión se transforma en:

$$p_p = 9c_u = 4.5q_u \cong 0.6q_c \quad q_u \cong \frac{q_c}{7.5}$$

Un caso particular son las pantallas que actúan como cimentación y cuya resistencia por punta es:

$$p_p = 7.5c_u = 3.75q_u \cong 0.5q_c \quad q_u \cong \frac{q_c}{7.5}$$

que tiene coeficientes diferentes al no haberse incluido el factor de forma (una pantalla es análogo a una zapata corrida).

4.4.2.4. Resistencia por punta en roca

En general puede establecerse una expresión de la resistencia por punta en función de la resistencia a la compresión simple:

$$p_p = \alpha q_u = \beta \left(0.5 + \frac{D}{6\phi} \right) q_u$$

$$\alpha = \beta \left(0.5 + \frac{D}{6\phi} \right) \leq 1$$

en la que el parámetro β depende del tipo de roca según:

Tipo de roca	Resistencia compresión simple q_u (kp/cm ²)	β
Granito, pórfido	150	0.6
Caliza compacta no margosa	80	0.8
Pizarra dura	40	0.3
Arenisca compacta	100	0.8

4.4.3. Resistencia por fuste.

La carga de hundimiento por fuste se calcula en función de la presión de hundimiento por fuste según:

$$Q_f = \pi \phi \int_0^l p_f dz$$

El mecanismo de rotura por fuste está muy bien definido ya que tiene lugar en la interfase pilote-terreno. Basta por tanto plantear la condición de rotura, que en este caso es la de Mohr-Coulomb, en dicha interfase:

$$p_f = \tau = a + \sigma_h' \tan \delta$$

en la que:

a es la adherencia

δ es el ángulo de rozamiento

σ_h' es la tensión efectiva horizontal que se puede expresar como:

$$\sigma_h' = K \sigma_v' = K \gamma' z$$

y por tanto resulta:

$$p_f = \tau = a + \sigma_h' \tan \delta = a + K \gamma' z \tan \delta$$

Al usar esta condición de rotura se observa que la resistencia por fuste crece linealmente con la profundidad. Esto, sin embargo, no es muy realista ya que al medir con el penetrómetro (manguito) la resistencia por fuste en profundidad se observa que se produce una estabilización y que incluso con los mejores suelos (arenas densas) nunca se supera el valor límite de:

$$p_f = 1 \text{ kp/cm}^2$$

Puesto que tanto la resistencia por punta como la resistencia por fuste se estabilizan con la profundidad entonces el cociente p_p / p_f se mantiene constante a partir de cierta profundidad.

En general la resistencia por fuste es mayor en suelos granulares que en suelos cohesivos debido a que en los primeros se basa en la componente friccional (que depende del confinamiento) mientras que en los segundos las condiciones de rotura no drenada implican que solo quede la componente de adherencia. Sin embargo, es habitual que en arenas el fuste se movilice poco debido a que la punta se encuentra bien apoyada y el pilote asienta poco (baja deformabilidad del suelo en la zona de punta). Por el contrario, en arcillas, la capacidad portante en la punta es baja y la deformabilidad del terreno alta (pilotes flotantes) y el fuste se moviliza siendo por tanto importante la contribución por fuste del pilote.

4.4.3.1. Resistencia por fuste en arenas

Se parte de la condición general de rotura de Mohr-Coulomb:

$$p_f = \tau = a + \sigma_h' \tan \delta = a + K\gamma' z \tan \delta$$

y se discute a continuación la importancia relativa de cada término:

- El término de adherencia a , que está relacionado con la cohesión del suelo, puede despreciarse en suelos granulares.

- El ángulo de rozamiento δ corresponde al rozamiento en la interfase suelo-pilote y puede estimarse según:

- $\delta = \phi'$ en el caso de pilotes de extracción ya que la rugosidad del pilote con el terreno puede ser buena.
- $-\delta = \phi'/3$ en el caso de pilotes metálicos hincados que son muy lisos.
- $\delta = 2\phi'/3$ en el caso de pilotes hincados de hormigón.

- El coeficiente de empuje K está muy influido por la forma de ejecución de los pilotes:

- En pilotes de extracción puesto que el terreno se descomprime al hacer la perforación y acaba empujando sobre el pilote, $K_a < K < K_0$. En caso de tener que tomar un valor sería aconsejable adoptar $K = K_a$ que dejaría del lado de la seguridad.
- En pilotes de desplazamiento puesto que el terreno se comprime al hincar el pilote, $K_0 < K < K_p$. En caso de tener que tomar un valor sería aconsejable adoptar $K = K_0$ que dejaría del lado de la seguridad.

Valores típicos de K	Arena suelta	Arena densa
Hincado	1.0	2.5
perforado	0.25	0.7

En todo caso, ya se ha dicho que es más probable disponer de información penetrométrica que de ángulos de rozamiento. Esto quiere decir que se deberá estimar la resistencia por fuste en base a dichos resultados penetrométricos. En este caso:

$$p_f = \frac{q_c}{\beta} \quad q_c \text{ (kp/cm}^2\text{)} \cong 4N$$

$$20 < \beta < 200$$

La variable β aumenta con la resistencia (ver figura adjunta).

Por último, el penetrómetro estático también es capaz de aportar información directa de la resistencia por fuste, es decir, medida directa de p_f . En cualquier caso está limitada, como ya se ha dicho, al valor de 1 kp/cm².

4.4.3.2. Resistencia por fuste en gravas

Puesto que en gravas es difícil la realización de ensayos de penetración, se pueden tomar los siguientes valores de referencia:

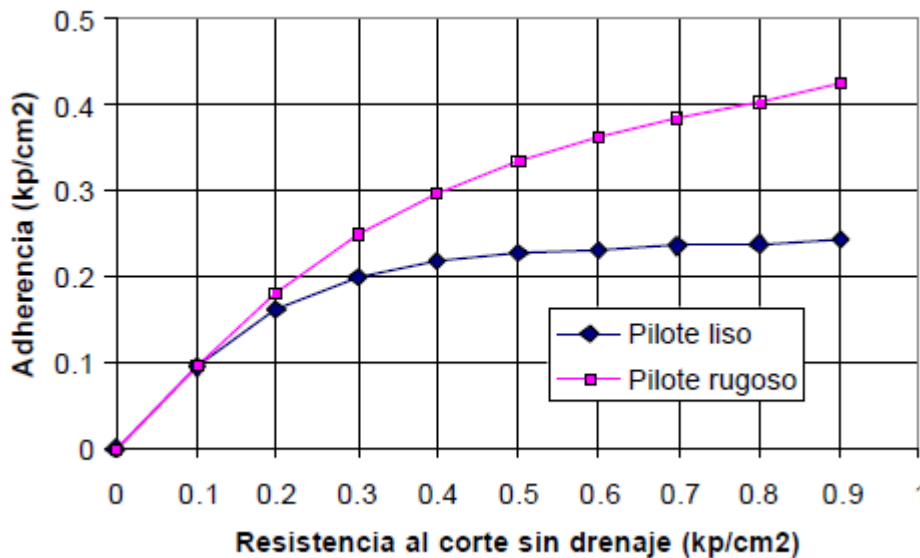
	p_f (kp/cm ²)
Gravas limpias (GW, GP)	1
Gravas arenosas (GS)	0.77
Gravas arcillosas o limosas (GC, GM)	0.51

4.4.3.3. Resistencia por fuste en arcillas

La estimación de la resistencia por fuste en arcillas es difícil por la generación de presiones intersticiales debido a su baja permeabilidad, el remoldeo que pueden sufrir durante la ejecución de los pilotes y la presencia de procesos de consolidación en el terreno donde se instalan. Prácticamente se trata de una resistencia por adherencia lo que daría lugar a:

$$Q_f = \pi \phi \int_0^l a dz$$

es decir que se supone que $\beta=0$ que corresponde a la rotura de la interfase en condiciones no drenadas. La adherencia a depende de varios factores y lógicamente se podrá estimar a partir de la resistencia al corte sin drenaje del suelo c_u .



Adherencia en función de la resistencia al corte sin drenaje. Esto indica que una posible forma de evaluar la adherencia puede ser:

$$p_f = a = \beta c_u$$

Como puede verse en la figura adjunta β es prácticamente igual a la unidad para arcillas blandas ($c_u < 0.3$ kp/cm²) mientras que va decreciendo a medida que va aumentando la resistencia llegando a valer del orden de 0.2.

Kerisel propuso la siguiente expresión para la determinación de β :

$$\beta = \frac{1 + c_u^2}{1 + 7c_u^2} \quad (\text{en kp/cm})$$

Finalmente es conveniente expresar la resistencia por fuste en función de la resistencia a la penetración, en cuyo caso resulta:

$$p_f = a = \beta c_u = \beta \frac{q_u}{2} \cong \beta \frac{q_c}{15}$$

sujeto en todo caso a la limitación de 1kp/cm².

Por último, hay que hacer una serie de recomendaciones respecto a la evaluación de la resistencia por fuste que se pueden aplicar para quedar del lado de la seguridad:

- En el caso de encontrar capas de arcillas muy blandas profundas, la resistencia por fuste de las que se encuentran por encima no puede ser superior a 3 veces la de las capas blandas.
- En el caso de encontrar capas granulares intercaladas en arcillas, la resistencia por fuste de las capas granulares no puede ser superior que 2 veces la de las capas arcillosas.
- En capas de arcilla con consistencia media o superior se deben despreciar los 2 metros superiores en contacto con la superficie del terreno.

4.4.3.4. Resistencia por fuste en rocas

En general no habrá que considerar el fuste en capas de roca ya que la roca interesa para un apoyo por punta. Si hay que considerar esta carga en algún caso podrá utilizarse como base de cálculo esta ecuación.

$$p_f = \frac{1}{20} q_u$$

4.5. Conclusiones

A partir de las ecuaciones desarrolladas, se establecerán los algoritmos necesarios para la implementación de nuestra aplicación, en base a las consideraciones realizadas. Estableciendo el cálculo de la carga por punta al terreno más profundo seleccionado, y la del fuste a la suma de las resistencias de cada de las resistencias que presentaría cada uno de los segmentos del pilote para los diferentes terrenos.

El cálculo de dimensiones, viene a partir de cálculos reiterativos, debido a la complejidad de un cálculo directo, y la rapidez de los ordenadores actuales para dichos cálculos. Estos cálculos para simplificarlos, no buscan un valor exacto, sino un resultado entre 2 valores infinitesimales, que nos pueden dar un resultado con un nivel de exactitud de 0,000001 instantáneamente.

5. BENEFICIOS DEL PROYECTO.

El proyecto va a satisfacer las necesidades de todo ingeniero de poseer una herramienta fiable y sencilla para el cálculo de las dimensiones de un pilote aislado “in situ”, partiendo de los parámetros básicos de cualquier estudio de un terreno.

En los últimos años se ha comenzado a valorar este tipo de programas de ayuda, debido a la multitud de tablas creadas en Excel que luego no responden a las necesidades reales de un segundo proyecto, o a la complejidad del software existente.

El desarrollo futuro de esta herramienta, permitirá compendiar otras necesidades de cálculo, como tensiones horizontales, grupos de pilotes, encepados.... Sin complicar el diseño de calculo.

El presente proyecto también podrá servir de modelo para la creación de aplicaciones para smartphones o aplicaciones en la nube debido al desarrollo de las nuevas tecnologías y la tendencia existente en el mercado, de disponer de información rápida y sencilla desde cualquier parte.

6. REFERENCIAS

- Zaven Davdian, 1981. Pilotes y cimentaciones sobre pilotes.
- Fleming, Weltman, Randolph y Elson, Piling engineering.
- ARNAU RODRÍGUEZ, J.M., FERNÁNDEZ TADEO, C. y CORREA LLOREDA, L. 1993. Ensayo de control de integridad en pilotes.
- FERNÁNDEZ TADEO, C. y ARNAU RODRÍGUEZ, J.M. 1992. "Ensayo de integridad estructural de pilotes utilizando sistema portátil de gran rendimiento".
- JIMÉNEZ SALAS, J.A., y otros 1980. "Geotecnia y Cimientos III".