

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Optimización económica de fundaciones de puentes

Ing. Luis Alberto Soliz Franco

Ingeniero Civil, Docente Titular C e Investigador de la Carrera Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la U.A.G.R.M.

RESUMEN

El cálculo de las fundaciones se realiza con las técnicas de la materia, sin embargo el modelo matemático que puede representar el estado del suelo es muy complejo y empírico, por lo que es importante la experiencia. Esa experiencia es la que hace tomar buenas decisiones en el detalle de las fundaciones.

Aún con buena experiencia hacer varias alternativas para optimizar y llegar a la solución única, la más óptima económicamente y técnicamente, no es un procesos sencillo habiendo tantas variables.

Existe excelentes software tanto para cálculo de los pilotes, para el cálculo de la hidrología, para el cálculo de los cabezales de los pilotes, para el cálculo de las deformaciones, etc., y finalmente realizar los cómputos y el presupuesto; por lo que en el proceso de cálculo hay que interactuar con todos ellos, y no están el “línea”, es decir que son procesos independientes llevando resultados de un programa a otro, lo que no permite fácilmente hacer “cientos” de opciones hasta encontrar la solución óptima en calidad, seguridad y economía.

Esta investigación plantea, cómo correlacionar todas las variables del cálculo de las fundaciones de puentes, que permitan al calculista aprovechar más su experiencia en la definición del acotamiento de las variables y que pueda realizar la optimización en forma fácil y sencilla. El otro aspecto importante de la investigación, es identificar la nueva tecnología internacional en fundaciones de puentes, analizar lo que se hace en el país y en su caso dar las recomendaciones de la nueva tecnología y como acceder a ella.

Palabras claves: Optimización económica, Fundaciones de puentes, Productividad, Eficiencia, Seguridad de cálculo, Tecnología, Métodos constructivos.

INTRODUCCIÓN

La cimentación de los puentes debe decidirse basándose en criterios que tienen en cuenta aspectos tales como: grado de incertidumbre en la información disponible y en el método usado para calcular la socavación; potencial y consecuencias de la falla de un puente; costo adicional de hacer el puente menos vulnerable a socavación; necesidad de garantizar la seguridad del público usuario; minimizar la posibilidad de fallas y de cierre de la estructura vial.

La fundación debe ser diseñada por un equipo interdisciplinario de ingenieros con experiencia en diseño hidráulico, estructural y geotécnico.

El diseño de la cimentación de un puente requiere de la cuidadosa evaluación de aspectos topográficos, hidrológicos, hidráulicos, estructurales y geotécnicos.

Un puente debe ser diseñado para resistir los efectos de socavación producidos por una creciente importante (creciente con un período de retorno de por ejemplo 100 años) con bajo riesgo de falla. Tanto debido a la erosión localizada como generalizada.

El alcance del análisis debe estar en consonancia con la importancia de la vía y las consecuencias de falla.

La estabilidad del puente y la seguridad del usuario son los factores esenciales a considerar.

La economía del proyecto de fundaciones pasa por un correcto estudio previo y un análisis de cada caso en particular. Especial énfasis se debe hacer a los datos geotécnicos e hidráulicos.

Por las condiciones de cargas las fundaciones de puentes de luces considerables llevan a una solución de pilotes.

El dimensionamiento de pilotes de fundación, que tiene que ver con el tipo de suelos, requiere de estudios geotécnicos con la cantidad y calidad de ensayos suficientes como para conocer lo mejor posible el comportamiento de la implantación de la estructura.

En este marco, se puede establecer que las variables que intervienen son muchas: las cargas, el tipo de suelo, las condiciones de contorno, las características hidrológicas, el tipo de pilote a usar, los métodos constructivos, etc. La combinación de las variables deben llevar a una solución única que cumpla con las condiciones de calidad, seguridad y también costos.

Por lo general, el cálculo de las fundaciones se realiza con las técnicas de la materia, sin embargo por ser la

mecánica de suelos, tan compleja y empírica, tiene que ver mucho la experiencia. Esa experiencia es la que hace tomar buenas decisiones en el detalle de las fundaciones.

Aún con buena experiencia hacer varias alternativas para optimizar y llegar a la solución única, la más óptima, no es un proceso sencillo habiendo tantas variables.

Existen excelentes software tanto para cálculo de los pilotes, para el cálculo de la hidrología, para el cálculo de los cabezales de los pilotes, para el cálculo de las deformaciones, etc., y finalmente realizar los cálculos y el presupuesto; por lo que en el proceso de cálculo hay que interactuar con todos ellos, sin embargo no están el "línea", es decir que son procesos independientes llevando resultados de un programa a otro, lo que no permite fácilmente hacer "cientos" de opciones hasta encontrar la solución óptima en calidad, seguridad y económica.

Es en este contexto, la investigación se ha enfocado a cómo correlacionar todas las variables del cálculo de las fundaciones de puentes, que permitan al calculista, aprovechar más su experiencia en la definición del acotamiento de las variables y que pueda realizar la optimización en forma fácil y sencilla. El otro aspecto importante de la investigación, es identificar la nueva tecnología internacional en fundaciones de puentes, analizar lo que se hace en el país y en su caso dar las recomendaciones de la nueva.

El proyecto del pilotaje es un proceso que debe seguir los siguientes pasos:

- Estudio de suelos
- Determinación de la longitud del pilote.
- Cálculo de la capacidad de carga.
- Diseño de los cabezales.
- Cálculo del efecto de grupo.
- Determinación de los esfuerzos laterales y de los asentamientos.

Existen diversos métodos de cálculo de esfuerzos y reacciones para un pilote que han sido usados durante

años, como también programas computacionales que se encargan de diseñar pilotes, utilizando métodos de cálculo como el de elementos finitos, mecánica de suelos y teoría sobre fundaciones. Para la determinación de la capacidad de carga se han desarrollado fórmulas y criterios con base en experiencias locales y/o estudios minuciosos.

Un aspecto fundamental, que muchas veces no se toma en cuenta es que para el cálculo de un pilote es imprescindible considerar el método constructivo que se va a realizar.

El proceso o metodología de construcción que existen en los diferentes pilotes influye bastante en los resultados que se espera obtener en un determinado pilote. Las diferencias de un método a otro muchas veces pueden ser significativas.

Es importante mencionar que al elegir un tipo de pilote se deben tomar en cuenta ciertos factores que han de influir para optar por uno de ellos. Una vez definidas las condiciones del suelo en cual se ha de fundar, se escoge un sistema de instalación debido a que de ello depende el material del pilote que se va a usar, las dimensiones que va a tener, y finalmente la durabilidad o calidad del pilote que determinaran su tiempo de vida útil de éste.

Sin embargo, una vez alcanzado el momento de decidirse por uno u otro tipo de pilote es el costo el que tiene la última palabra, acarreado esto en consideración el tiempo de construcción, la disponibilidad de equipo y otros factores que dependen del método constructivo por el cual se toma la decisión.

DESARROLLO

El desafío es: *dimensionar elementos o conjuntos de ellos, que hacen del diseño de ingeniería un proceso de optimización técnico económico; de vital importancia cuando se trata de establecer la factibilidad técnica, económica y financiera, de un proyecto de inversión.*

Este proceso involucra: pre dimensionamientos, cálculos, dimensionamientos, cómputos, presupuestos y evaluación económica financiera, en un ciclo iterativo de optimización.

Es evidente que este proceso no puede ser pensado sin el apoyo de la informática, poderosa herramienta para el proceso de cálculos, cómputos, presupuestos, dibujos y optimización en forma iterativa y automática.

La optimización es el proceso mediante el cual se trata de encontrar la mejor solución posible para un determinado problema que tiene varias opciones, intervienen variables donde hay que introducir restricciones.

Las metodologías de optimización son muchas y están planteadas más o menos desde mediados del siglo pasado, sin embargo por las características de los problemas a resolver, hoy día con los sistemas informáticos es más accesible realizar la optimización en tiempos relativamente menores.

LOS MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN

En lo que a ingeniería se refiere, existen muchas metodologías para los procesos de optimización en cálculos, sin embargo, se pueden mencionar el método **clásico o exacto** y los **métodos heurísticos** o metaheurísticos.

Los **métodos exactos**, buscan el óptimo exacto, garantizan un óptimo numérico, permiten muchas variables como muchas restricciones, pero como consecuencia de ello son de solución matemática muy compleja. Asimismo, el modelo es más complejo y puede requerir tiempos muy altos de procesos informáticos.

En cuanto al software existen muchos y buenos para el cálculo de estructuras, para hacer una optimización económica se requiere un software de precios unitarios y presupuesto a partir del cómputo de la estructura. El software de presupuesto no está integrado al software de estructuras por lo que hace complicada la optimización “en línea” porque hay que pasar resultados de un software

a otro. Pero el tema no termina ahí, aún hay que dibujar la estructura con los detalles constructivos para lo cual se debe utilizar otro software de dibujo.

Lo ideal sería tener un software que calcule, dimensiones, compute y dibuje “en línea” y tener una “sala de comandos” donde se puedan variar las condiciones geométricas, las restricciones arquitectónicas para obtener en “tiempo real” la estructura técnicamente segura y económicamente más óptima. Es sobre esta metodología que el autor ha realizado investigaciones como se muestra más adelante a través de métodos heurísticos.

Los **métodos heurísticos**, (buscan el camino más breve y más económico) exploran muchas soluciones en corto tiempo, proporcionan buena solución al problema aunque en ocasiones no es necesariamente la más óptima debido a que imitan observaciones de problemas reales, no permiten un elevado número de restricciones. Sin embargo, proporcionan una excelente herramienta al experto sobre el problema en cuestión.

Ante el desafío de optimizar y después de mucha investigación, el autor, ha logrado dar solución al problema mediante la poderosa herramienta del paquete de Microsoft Excel, con el cual se puede hacer miles de cálculos “en línea”, con sólo cambiar cualquier dato, o hacer sensibilidad de variables con el sólo movimiento de barras de desplazamiento con el “mouse”. El desafío mayor fue dibujar solamente con las herramientas del Excel y presentarlo en escala tanto en pantalla como en impresión, pudiendo dibujar hasta los mínimos detalles del proyecto. Complementariamente se han realizado conexiones interactivas entre el Excel y paquetes de dibujo como el AUTOCAD.

Esta es la metodología que se ha aplicado al diseño de fundaciones de puentes.

Si bien el Excel es fundamentalmente una herramienta justamente para cálculo, la tecnología más importante que ha desarrollado el autor es la del dibujo dinámico “en línea” y que responde a los valores de las celdas de datos y resultados.

Todo el dibujo se basa sólo y exclusivamente con el graficador incorporado a la misma hoja electrónica del Excel.

Se ha desarrollado una metodología de diseño, cálculo, cómputo, presupuesto y dibujo en escala, utilizando solamente el Excel, que permite lograr optimizaciones económicas de diseños de ingeniería “en línea”, utilizando métodos heurísticos, con gran cantidad de algoritmos introducidos a estructuras informáticas; incluso con desarrollo de funciones propias adicionadas a la librería que dispone esta herramienta extraordinaria del Excel. Sin embargo los resultados de la optimización deben ser analizados por el ingeniero experto del problema planteado.

¿Cuál es el límite? No hay límite tecnológico en cuanto a las posibilidades de optimizar, pero no sólo de optimizar, sino de desarrollar con Excel procedimientos, cálculos, dibujos, manejo de base de datos, etc., de una forma sencilla, eficaz y eficiente.

EL ÚNICO LÍMITE ES LA IMAGINACIÓN

LOS COSTOS DE OBRA

Para hacer una optimización económica, es necesario considerar los costos de construcción, los mismos que incluyen los costos de los materiales, la mano de obra y la maquinaria para ejecutarlos.

La metodología utilizada es el cálculo de costos a través de los precios unitarios de los ítems que intervienen. En el caso de los pilotes intervienen dos componentes principales, los pilotes y el cabezal, que une a los mismos para recibir la carga de la columna.

Por otra parte, los componentes de los materiales son cemento, acero, arena, ripio, alambre y agua, tanto para los pilotes como para los cabezales. Es decir hormigón armado.

Por tal razón se han determinado los análisis de precios unitarios de pilotes y cabezales.

Volumen de H	36,95 m ³
Fierro Long	960,00 m
Fierro Long	14.784,00 Kg
Estribos	844,46 m
Estribos	2.084,13 Kg
Total Fierro Pil	16.868,13 Kg

Dimensiones del Cabezal	
Altura Cabezal	1,40 m
Borde desde Pil	0,35 m
Ancho	4,20 m
Largo	4,20
Volúmen	24,70 m³
Cuantía Cabezal	80 Kg/m ³
Fierro Cabezal	1.975,68 Kg

Total Fierro	18.843,81 Kg
---------------------	---------------------

Costos Pilotes	33.154,04 \$us
Costos Cabezal	6.044,35 \$us
COSTO TOTAL	39.198,39 \$us

Estos análisis tienen la característica especial que al estar también en Excel, las cantidades de los insumos (materiales, mano de obra y equipo) se calculan automáticamente en base a las dimensiones de pilotes y cabezales, y es justamente lo que permite que al modificar las diferentes opciones de soportar la carga en los pilotes en forma automática, se recalculan los costos.

Se tienen definidos los Análisis de Precios Unitarios para el Hormigón de los Pilotes y para el Hormigón del Cabezal, en ambos casos se incluye el acero corrugado, estableciendo una cuantía de fierro estimada de acuerdo a las experiencias de muchos trabajos realizados.

La característica principal del cálculo de análisis de precios unitarios es que cada vez que se corra el sistema, para cada una de las alternativas de pilotes de distintas longitudes y de distintos diámetros se calculan automáticamente y esos valores se conectan con la cantidades requeridas, por lo que se obtiene el valor del precio unitario de los ítems de obra de Pilotes y Cabezales.

El sistema informático calcula los volúmenes de obra de acuerdo a las dimensiones de los pilotes.

En base a la cantidad de pilotes calcula las dimensiones del cabezal y su correspondiente volumen.

En resumen, el modelo informático está todo en Excel, tanto cálculo de la estructura en base a los datos de los ensayos de geotecnia, cómputo de las dimensiones, cálculos de los rendimientos de materiales, mano de obra, equipo y gastos generales, además que en cada caso en base a la cantidad de los pilotes se dibuja un corte del pilote, el cabezal en planta y el cabezal en corte con los pilotes.

EL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

a) Datos de los ensayos de suelo

El cálculo de pilotes se lo ha realizado utilizando el método de Décourt – Quaresma, partiendo del ensayo de penetración estándar (SPT).

Se introduce el diámetro del pilote, el coeficiente de seguridad y los datos del número de golpes para cada una de las profundidades que se tiene, se introducen en el programa de Excel para como se muestra en las dos primeras columnas de figura de la izquierda.

Automáticamente en base al dato de la carga, se calcula las toneladas resistidas para cada una de las profundidades y además, calcula para cada profundidad el volumen de hormigón; en este caso para un sólo pilote. El ejemplo es para un sólo pilote y para una carga de 500 Tn.

Para el diámetro introducido de 0,70 m calcula que el pilote requerido debe tener una profundidad de 15 m.

Al variar el diámetro se obtendrá otra profundidad, pero también se colocan más pilotes la profundidad será menor aún.

Es aquí donde viene el proceso de optimización para dada una carga, determinar el cálculo, cómputos y costos

para diferentes diámetros y para diferentes cantidades de pilotes.

A continuación se muestra la pantalla de la hoja de Excel donde se realizan los cálculos.

Ø m	1,20			
Fseg	2,70			
Prfs	2,00	Qs	Vol H	
Prof	N _{SPT}	Tn	m ³	
1	2	-2,33	1,13	
2	2	0,00	2,26	
3	7	3,10	3,39	
4	9	7,45	4,52	
5	11	12,85	5,65	
6	13	19,24	6,79	
7	15	26,60	7,92	
8	17	34,56	9,05	
9	23	43,80	10,18	
10	28	54,17	11,31	
11	28	64,74	12,44	
12	29	75,63	13,57	
13	25	85,85	14,70	
14	35	98,14	15,83	
15	34	110,32	16,96	
16	35	122,78	18,10	
17	42	136,75	19,23	
18	43	151,00	20,36	
19	19	160,33	21,49	
20	23	170,48	22,62	
21	48	185,91	23,75	
22	29	197,38	24,88	
23	26	208,23	26,01	
24	24	218,65	27,14	
25	23	228,87	28,27	

Carga Externa 500,00 Tn	
Longitud Pilote	20,00 m
Ø Fierro Long.	25 mm
Cant. Fierro long	10
Longitud Fierros	20,00 m
Long Fierro Fuer	0,5 m
Recubrimiento	10 cm
Ø Fierro Estribo	10 mm
Paso Estribo	25 cm
Cantidad Pilotes	3
Capacidad Total	511,45 Tn.

Capacidad Carga 170,48 Tn	
Volumen de H	67,86 m ³
Fierro Long	600,00 m
Fierro Long	6.930,00 Kg
Estribos	904,78 m
Estribos	1.674,75 Kg
Total Fierro Pil	8.604,75 Kg
Cuántia	42,27

Dimensiones del Cabezal	
Altura Cabezal	1,40 m
Borde desde Pil	0,60 m
Lado	6,00 m
Lado	6,00
Volúmen	24,34 m ³
Cuántia Cabezal	80 Kg/m ³
Fierro Cabezal	1.947,46 Kg

Total Fierro 10.552,20 Kg	
---------------------------	--

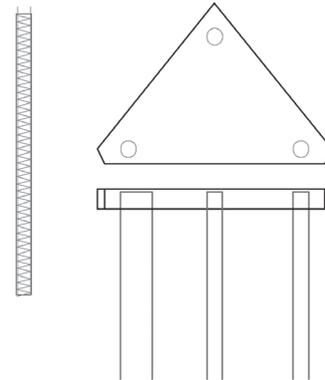
Como se observa en este caso, es una carga de 500 Tn, con 3 pilotes de 1.20 m de diámetro y que requieren una longitud de 20 m.

El cálculo está realizado con una función propia desarrollada por el autor, para el Excel en Visual Basic para Aplicaciones, además de cálculos realizados con las funciones propias del Excel.

Así se calcula la capacidad de carga que sea mayor a la del proyecto, y se calculan los volúmenes de pilotes y

cabezal. Estos volúmenes están ligados con los análisis de precios unitarios y así se determina los costos.

A su vez, al lado del cálculo se dibuja automáticamente en la misma hoja del Excel y en escala, los pilotes y el cabezal, en planta y en corte, como se muestra en la siguiente figura:



LOS RESULTADOS

Como las variables que se modifican son muchas, el programa toma los diámetros que se determinan inicialmente por condiciones de métodos constructivos y, también por herramientas disponibles, se prepara una tabla con dichos datos y el programa toma los datos de diámetros los introduce automáticamente al programa de cálculo de volúmenes y costos, y genera el resultado en la misma tabla, como se muestra a continuación.

CARGA COLUMNA 500,00 Tn				
RESULTADO EL PROCESO DE OPTIMIZACION				
Calcular				
	CANTIDAD DE PILOTES			
	2	3	4	5
Diámetro (m)	Ø= 1,35	Ø= 0,90	Ø= 0,70	Ø= 0,55
Longitud de Pilote (m)	25,00	25,00	24,00	24,00
Capacidad de Carga (Tn)	514,95	514,95	510,19	501,07
Hormigón. Pilotes (m ³)	71,57	47,71	36,95	28,51
Hormigón Cabezal (m ³)	10,21	13,69	24,70	30,08
Total Hormigón (m ³)	81,78	61,41	61,64	58,59
Fierro Pilotes (kg)	4.896,72	10.232,57	16.868,13	25.658,64
Fierro Cabezal (kg)	816,48	1.095,44	1.975,68	2.406,54
Total Fierro (Kg)	5.713,20	11.328,02	18.843,81	28.065,18
Costo Pilotes	64.225,38	42.816,92	33.154,04	25.584,43
Costo Cabezal	2.497,92	3.351,37	6.044,35	7.362,50
Costo Total	66.723,30	46.168,30	39.198,39	32.946,93

En el proceso, para cada uno de los diámetros colocados en la tabla, realiza el cálculo hasta establecer cuál es la longitud de pilotes con ese tipo de suelo, tiene la capacidad de carga igual o mayor a la carga de la columna.

Este resultado de la optimización, dice que el menor costo de la fundación se la obtiene con 5 pilotes de 0,55 m de diámetro y con una longitud de 24 m de profundidad.

CONCLUSIONES

De esta investigación se enuncias las siguientes conclusiones:

- a) Para hacer una optimización de este tipo de diseños de ingeniería, es mejor utilizar el método heurístico ya que requiere de modelos de cálculo menos elaborados, de menos tiempos de computador.
- b) Sin embargo, necesita de mayor interpretación de los resultados y del acotamiento de las variables, por parte del profesional ingeniero que diseña la estructura.
- c) Es una excelente herramienta para optimizar muchas opciones de cálculo que puedan dar “en línea”, razón de los costos de la ejecución.
- d) La utilización de la herramienta del Excel, bien usada, rinde excelentes frutos de eficiencia al momento de considerar la integración de varias metodologías de cálculo en una sola herramienta.
- e) En este tema aún se puede investigar o profundizar más detalles del cálculo para afinar un poco más, sin embargo, para el objetivo planteado es suficiente, pues arroja las comparaciones de costos necesarias para optar por uno u otro diseño.

RECOMENDACIONES

Después de hacer muchas aplicaciones con esta metodología, es importante considerar el aspecto del método de cálculo, teniendo en cuenta la metodología constructiva para que el modelo matemático utilizado, replique lo mejor posible lo que sucederá realmente en el terreno.

Es de fundamental importancia que los estudios de suelos sean realizados con equipos bien calibrados y ejecutados de acuerdo a las normas internacionales para ello.

No se deben aplicar fórmulas que no hubieren sido experimentadas y correlacionadas con los suelos de la región, ya que por el carácter muy empírico de la teoría de la geotecnia, cada formula ha sido desarrollada en algún lugar con experiencias en los suelos de esa región.

Los resultados del proceso de optimización heurística, deben ser analizados por el especialista geotécnico en el marco de su experiencia.

BIBLIOGRAFÍA

K., Peck R., MECÁNICA DE SUELOS EN LA INGENIERÍA PRÁCTICA, Ed EL ATENEO 1976

M. and Woodward J. PILE DESIGN AND CONSTRUCTION PRACTICE-- Fifth Edition, 2008 Ed. by Taylor & Francis, New York

ALVA, Jorge Elias. DISEÑO DE CIMENTACIONES, 2da. Edición, 2012 . ICG del Perú.

Terzaghi, K. y Peck, R.B. (1967), “Soil Mechanics in Engineering Practice”, Wiley, New York.

Fratelli, Maria Graciela. SUELOS, FUNDACIONES Y MUROS, 1ra. Edición . Bonalde Editores

MANUAL DE CIMENTACIONES PROFUNDAS, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS), 2001

PRINCIPLES OF FOUNDATION ENGINEERING, Braja M Das .4ta Edición. International Thomson Editores.

American Society of Civil Engineers (ASCE) Manual of Practice No.17 [reimpreso por ASCE (1959) pero actualmente fuera de circulación]

Bauer Maschinen GmbH, CATÁLOGOS, 2012

INCOTEC SRL. ARCHIVOS.

- THE FOUNDATION ENGINEERING HANDBOOK,(2006). Edited by Manjriker Gunaratne. Taylor & Francis Group.
- ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ASTM D1586 – 11 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.
- ASTM D3441 - 05 Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil.
- ASTM D 4945 – 00 Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.
- ASTM D1143 / D1143M Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load.
- Millán, L. Pez, M; 2010. Capacidad de carga en compresión de pilotes hincados por cálculos teóricos, formulas dinámicas, y pruebas estáticas y dinámicas. Congreso CIC- 2010. Costa Rica.
- Zaven Davidian. Pilotes y Cimentaciones sobre pilotes (Primera Edición; España: Editores Técnicos Asociados s.a.).
- Fernández, C; 2008. El control de calidad de los pilotes prefabricados hincados. CFT & Asociados, S.L. Barcelona.
- Bowles, Joseph E. Foundation analysis and design. (4ª Edición; Estados Unidos: Editorial McGraw Hill, 1988).
- “Guía práctica para el Cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas”, Jéser Esaú ; Guatemala, 2009.
- Cimientos profundos , Moretto O. Conocimiento sobre interacción con el suelo. La Plata: Centro de Estudiantes de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (CEILP).
- Ibáñez, 2007. Monografía sobre el análisis de las cimentaciones sobre pilotes. Cuba: UCLV.
- Cambefort, Henri. Geotecnia del Ingeniero: Reconocimiento de suelos. (Primera Edición; España: Editores Técnicos Asociados).
- Barreto, Ángela P. “Evaluación Comparativa de la Capacidad de Carga en Cimentaciones Profundas Fórmulas Analíticas y Ensayos de Carga”. Tesis de Maestría. Medellín, Colombia; 2011.
- Cintra, J.C. Aoki, N; 2010. Fundações por estacas. Pojeto geotécnico.São Paulo: Oficina de Textos.
- Pousada, E. Carreiro, M. Retrospectiva e técnicas modernas de fundações em estacas. 1ª Edição. Salvador, Brasil: 2004. Associação Brasileira de Mecânica dos solos e Engenharia Geotécnica.
- ASTM. D 1143/D 1143M – 07; Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load.
- Espinosa y Restrepo; 2001. Prueba dinámica de pilotes. Espinosa, y Restrepo. www.eyr.com.co.
- (Godoy, “Estimativa de capacidade de carga de estacas a partir de resultados se penetrômetro estático”:1983; Polla, “Provas de carga em fundações”: 1988 y Milititsky, “Provas de carga estáticas. SEFE II”: 1991).
- Shariatmadari, N. Karimpour-Fard, M. Tabarsa, A; nd. Ultimate bearing capacity of piles from full scale load test result interpretations applied to 30 case histories. Teheran, Irán.
- Lourenço, P; 2005. Avaliação dos métodos de capacidade de carga e recalque de estacas hélice contínua via provas de carga. Dissertação de mestrado em Geotecnia. Brasília.
- Hachich; 1998. Fundações: Teoría e pratica. 2ª edição. São Paulo: Pini.
- Fellenius; 1980. The Analysis of Results from Routine Pile Load Tests. Ground Engineering, p. 19-31.
- Decourt, L; 1994. Relato geral da sessão de funsações e interação solo-estrutura. Foz de Iguaçu : X COBRAMSEF, volumen pòs-congresso.