

DISEÑO DE CIMENTACIÓN CON PILOTES, ASISTIDO CON PRORAMAS DE CÓMPUTO

Lilian Veneros ⁽¹⁾, Jorge Alva ⁽²⁾

RESUMEN

En el desarrollo de Estudios Geotécnicos con Fines de Cimentación Profunda, es necesario considerar métodos que ayuden a que el tiempo empleado en el análisis y diseño de cimentaciones sea el menor posible, tal que los costos de inversión sean mucho menores a los beneficios, que son obtener resultados de mayor confiabilidad.

Ante esta preocupación de contar con métodos más rápidos y mecanizados, se introducen los programas de cómputo FECP, SPILE, SPTSP y SHAFT, para calcular la capacidad de carga axial de pilotes hincados, perforados y excavados.

Para el empleo de estos programas es importante elaborar el perfil estratigráfico del suelo a partir de apropiados estudios geotécnicos. Así mismo, establecer la cota del terreno, el nivel superficial del pilote y el nivel freático. Una vez determinados los parámetros de diseño, se define la base de datos, ingresando también el tipo de cimentación, la longitud y la geometría del pilote.

Bajo la carga de trabajo se verificará que el asentamiento del suelo esté dentro los valores tolerables (2.54 cm.) para un factor de seguridad apropiado, caso contrario se modificará la geometría del pilote y se volverá a correr el programa.

En el desarrollo del artículo se presentan los métodos, las condiciones para usar los programas y su aplicación en el diseño de la cimentación de puentes. Los resultados obtenidos por los diferentes programas serán comparados para dar las conclusiones y recomendaciones finales.

1.0 INTRODUCCIÓN

En 1997-98 en la zona norte de Perú, el fenómeno de El Niño ocasionó que los ríos registren sus mayores caudales, llegando por ejemplo el Río Piura hasta los 4,424 m³/s; sobrepasando las descargas de diseño de las obras hidráulicas, ocasionando la falla total o parcial de más de 50 puentes. La falta de funcionamiento de un puente significa el aislamiento de las zonas de producción, interrupción temporal del tránsito y el aislamiento de poblaciones aledañas. El impacto de FEN en los puentes muestran la vulnerabilidad del servicio, debido a que los diseños de estas obras no se adecuaron a los niveles de escorrentía generados por El Niño.

La principal causa por la que los puentes colapsaron se debió a la socavación, una vez más se resalta la importancia de estimar la profundidad de socavación; basada en estudios de hidrología e hidráulica conjuntamente con los estudios geotécnicos. Además, es importante evaluar el potencial de licuación sabiendo que en el Perú se ha reportado la ocurrencia de licuación en diversos lugares como Ica, Moyobamba, y Chimbote, durante terremotos severos ocurridos en el pasado (Ref. 1).

Las cimentaciones profundas mediante pilotes proporcionan una excelente protección del daño por socavación, sin embargo pueden fallar cuando la socavación llega hasta profundidades superiores al lecho natural de la corriente.

⁽¹⁾ Asistente de Investigación, CISMID-FIC-UNI, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. E-mail: lveneros@ Hotmail.com

⁽²⁾ Profesor Principal, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.

Todas las consideraciones antes mencionadas son integradas en el diseño de carga axial mediante los programas de cómputo, y la facilidad de usarlos para diversos tipos de pilotes por diferentes metodologías hace que los resultados obtenidos en los proyectos sean eficientes.

2.0 OBJETIVO DEL ESTUDIO

- El objetivo principal del trabajo consiste en minimizar errores en la predicción de la capacidad de carga última de pilotes.
- Analizar y diseñar la capacidad de carga axial de un pilote, mediante programas de cómputo y la estimación de asentamientos elásticos.

3.0 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

La metodología para el diseño de la cimentación, se basa principalmente en los estudios geotécnicos a fin de conocer las características y el comportamiento de los estratos que conforman el perfil del suelo, mediante la exploración directa e indirecta del suelo. A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio, evaluar el potencial de licuación para conocer si el suelo estudiado presenta capas de arena que no contribuyen a la fricción lateral de la capacidad de carga del pilote.

4.0 PROGRAMAS DE CÓMPUTO

Los programas de cómputo que serán estudiados para el diseño de pilotes hincados son FECP, SPILE y SPTSP. Para el diseño de pilotes excavados y pozos perforados se utilizarán los programas FECP y SHAFT. Antes de utilizar estos programas se recomienda elaborar el perfil estratigráfico del suelo y sus respectivos parámetros de diseño por capa.

4.1 Programa de Cómputo SPILE

El programa se aplica a suelos cohesivos y no cohesivos, está basado en los métodos y ecuaciones presentadas por Nordlund (1963-1979), Thurman (1964), Meyerhof (1976), Cheney y Chassie (1982), y Tomlinson (1978-1985) (Ref. 2).

En el análisis de la capacidad de carga, SPILE estima los factores requeridos para evaluar la capacidad de carga unitaria por punta y fricción en suelo cohesivo y arenas, mediante gráficos presentados por diferentes autores. El programa contiene once gráficos con sus respectivas tablas en donde se encuentran los factores en forma directa o mediante correlaciones, cuyos valores dependerán de las condiciones de diseño que el usuario ingrese como base de datos.

Para estimar el factor de adhesión para pilotes hincados en arcilla, en el cálculo de la resistencia lateral unitaria por el método α ; se considera tres casos: caso (1) pilotes hincados que atraviesan un estrato de arena o grava arenosa seguido de suelo arcilloso, caso (2) pilotes hincados que atraviesan un estrato blando seguido de suelo arcilloso, caso (3) pilotes hincados en suelos arcillosos (Ref 3).

El programa SPILE, controla el valor de la capacidad de carga unitaria en la punta en suelos no cohesivos en relación con el ángulo de fricción (Ref.4). Si el valor encontrado excede al valor límite, entonces la carga unitaria por punta será el valor límite.

4.1.1 Condiciones Para Uso del Programa SPILE

- (1) La profundidad del extremo superior de la primera capa es siempre 0 pies.
- (2) El valor permitido del peso unitario del suelo está comprendidos entre 62.4 y 250 lb/pie³.
- (3) Los valores permitidos de SPT-N están comprendidos entre 5 y 60 golpes/pie.
- (4) El rango de valores para el ángulo de fricción interno en suelos no cohesivos está entre 25 a 40 grados, excepto en la punta del pilote en el cual está entre 15 a 45 grados.

El programa SPILE, ejecuta el análisis de carga última para pilotes tipo: Tubular, Pilote de Madera, Pilotes de Concreto, Prefabricado, Pilotes-H y Pilote Raymond Ahusado por Etapas y Uniformemente Ahusado.

Los resultados se dan en una sola hoja en donde se aprecian los datos ingresados, los valores resultantes de carga por fricción y por punta en cada estrato y la capacidad axial total del pilote.

4.2 Programa de Cómputo FECP

El programa agrupa las propuestas hechas por Aoki-Velloso (1975), P.P. Velloso (1982), Meyerhof (1976) y Decourt-Quaresma, está basado en la utilización de fórmulas empíricas para el cálculo de la capacidad de carga de pilotes individuales. El programa fue presentado originalmente por Bortolucci et al (1988) y modificado por Guillén (1993).

4.2.1 Consideraciones Adoptadas

- (1) Se desecha el valor de N (SPT) en el primer metro del sondaje, $N=0$.
- (2) Si la transición de estratos ocurre después de 0.50 m se adoptan los parámetros del estrato superior, caso contrario, se consideran los parámetros del estrato inferior. El valor N es el que corresponde al metro subsiguiente. Evitar ingresar estratos menores que un metro de espesor.

4.2.2 Datos de Entrada

Los datos comunes de entrada para todos los métodos del programa FEPC son: número de estratos, profundidad del sondaje, profundidad final de cada estrato, código de suelo de cada estrato (propuesto por Aoki-Velloso), peso específico de cada estrato, valores del ensayo SPT para cada metro y el factor de seguridad es opcional para la corrida, este valor no se utilizará en la fórmula de Decourt-Quaresma, ya que los autores trabajan con valores fijos de 1.3 para carga lateral y 4.0 para carga por punta.

4.2.3 Método de Aoki - Velloso

La entrada de datos para el cálculo basado en el método de Auki-Velloso dependen de los parámetros relativos al tipo de pilote F1 y F2:

Tipo de pilote	FRANKI	ACERO	CONCRETO	STRAUSS	PREMOLDEADO	EXCAVADO
F1	2.50	1.75	1.75	1.7	$1 + D(\text{cm}) / 80$	3.0
F2	5.0	3.5	3.5	3.0	2F1	6.0

Los resultados son proporcionados desde 1.0 a 2.0 m. de longitud del pilote hasta la profundidad final del sondaje.

4.2.4 Método de Decourt - Quaresma

No existe entrada de datos específicos y los resultados se presentan para longitudes del pilote desde 1.00 m. hasta la profundidad final del sondaje. Los valores de N considerados para determinar la carga por punta será el promedio de valores en 3.0 m de longitud; 1.0 m por encima y 2.0 m por debajo de la punta del pilote respectivamente.

4.2.5 Método de Pedro Paulo Velloso

Además de los datos generales se darán los valores de “lambda” y “theta”, que son los factores relativos de carga y tipo de pilote:

Tipo de pilote	TRACCIÓN	COMPRESIÓN	HINCADO	EXCAVADO
λ	0.7	1		
θ			1	0.5

Los resultados se presentan desde una profundidad de “ $8D_e$ ” hasta una profundidad de “ $3.5 D_e$ ” por encima de la profundidad final del sondaje.

4.2.6 Método de Meyerhof

Sólo se aplica a suelos no cohesivos y limos no plásticos. La entrada varía para este método con los parámetros Mn y Nm, que son los factores relativos a la forma de ejecución del pilote:

Tipo De Pilote	FRANKI	Punta cónica	Hincado en suelos cohesivos	Hincado en suelos no cohesivos	Excavado
Mn	6	3	2	>2	1
Nm	1	1	1	1	0.3

Los resultados se presentan para longitudes de pilote de 1.0 m hasta una profundidad de 2.0 m por encima del fondo del sondaje. La salida presenta dos casos: sin y con corrección de los valores N (SPT). Las correcciones que realiza son por sobrecarga.

La salida del programa incluye en la impresión la entrada de datos y la distribución de esfuerzos efectivos, ángulo de fricción, número de golpes (N) y el resultado de la capacidad de carga axial del pilote.

4.3 Programa de Cómputo SPTSP

La metodología de diseño del programa está basada en las “Normas para Uso en la Investigación de Suelos y Diseño de Cimentaciones para Estructuras de Puentes en el Estado de Florida”, preparado por el Dr. John Schmertmann (1967) y los reportes de investigaciones “Diseño de Pilotes de Acero y Pilotes H”, del Dr. Michael McVay et al, en 1994.

El uso del programa SPTSP, es aplicado sólo a pilotes hincados de concreto y acero de sección circular o cuadrada, bajo condiciones de suelos sumergidos o cuyo nivel freático esté muy próximo al nivel del terreno. Su aplicación se realiza conociendo los valores de N, obtenidos en el ensayo de penetración estándar. Según los datos de entrada, el programa calcula la capacidad portante del pilote según dos opciones:

- (1) Dada la longitud, calcula para esa longitud la capacidad portante del pilote y su factor de seguridad.
- (2) Dado un valor mínimo para el factor de seguridad, calcula la longitud y capacidad portante resultante.

Para el cálculo de la capacidad de carga axial el programa incorpora gráficas, las cuales han sido desarrolladas a partir de las correlaciones empíricas entre los valores de N del CPT y SPT, emulando el cono a un pilote por punta y por fricción lateral. El programa propone los valores últimos de carga unitaria para pilotes hincados de concreto sin considerar un factor de seguridad.

Tabla 1: Valores de Fricción Lateral y Resistencia por Punta Correlacionados con N (SPT)

N	Tipo de Suelo	SUCS	q_c/N	F_r (%)	Fl (tsf)	Rp (tsf)
1	Arcillas plásticas	CH, OH	1.0	5.0	$2N(110-N)/40006.6$	$0.7N/3$
2	Arcilla-limo-arena mixtas: arena muy limosa, limos y arcilla calcárea	SC, ML, CL, GC	2.0	2.0	$2N(110-N)/4583.3$	$1.6N/3$
3	Arenas limpias Roca	GW,GP,GM, SW,SP,SM	3.5	0.6	0.019N	$3.2N/3$
4	Caliza blanda, roca caliza, arena con muchas conchas	-	4.0	0.25	0.01N	3.6N

Donde:

$5 < N < 60$, para $N < 5$, considerar $N = 0$ y para $N > 60$, considerar $N = 60$

q_c = Capacidad de carga para cono estático de 10cm^2 (tsf).

F_r = Cociente entre la fricción unitaria y la capacidad unitaria por punta.

El valor de la fricción lateral unitaria admisible (f_l), desarrollada en cada capa del suelo, se determina promediando los valores de N para cada capa y aplicando el factor de fricción lateral permisible obtenido de la Fig. 1. La curva de diseño tiene un factor de seguridad de 2.0.

La resistencia no corregida en la base del pilote, será estimada empleando el Cuadro 1, teniendo presente que se usarán factores de corrección por profundidad crítica para:

- (1) Cuando la profundidad de empotramiento es menor que la profundidad crítica y si la capa portante es más resistente que la capa subyacente, corregir por resistencia unitaria en la base.
- (2) Si la punta del pilote empotrada en la capa portante es menor que la profundidad crítica y la capa subyacente y es más débil que la capa portante, corregir por fricción lateral en la capa portante.
- (3) Si la punta empotrada en la capa portante es mayor que la profundidad crítica y si la capa subyacente es más débil, corregir la fricción lateral entre el extremo superior de la capa portante y la profundidad crítica.

La carga admisible unitaria por punta (q_p) es función del tipo de estrato y el valor de N promedio. Su relación se muestra en la Fig. 2, la cual tiene implícito un factor de seguridad de 3.0. El valor de N estimado será de acuerdo al rango: 8 diámetros por encima de la punta del pilote y 3.5 diámetros por debajo. Este rango no debe exceder el tope del estrato portante ni la profundidad de sondeo.

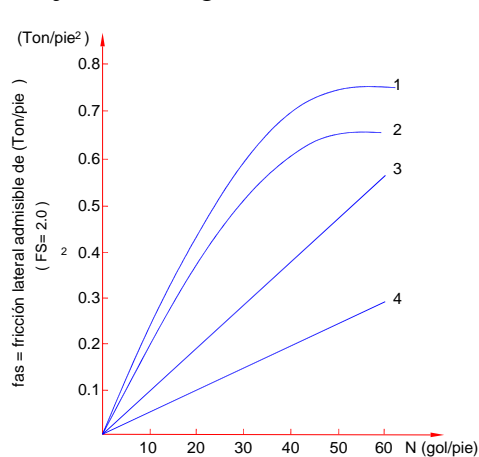


Fig. 1

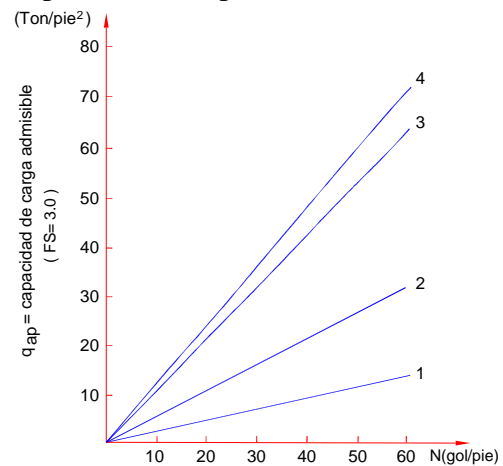


Fig. 2

La capacidad del pilote se estima usando los criterios de falla según Davisson, siendo ésta igual a la capacidad de carga última por fricción lateral más la carga en la base movilizada, corregida si fuera el caso. La carga en la base movilizada es $1/3$ de la capacidad de carga por punta calculada usando esta metodología. La capacidad de carga admisible tomada como $1/2$ de la capacidad de Davisson. Entonces la carga última del pilote es igual a la fricción lateral última más tres veces la capacidad de carga en la base.

4.4 Programa de Cómputo SHAFT

El programa SHAFT, estima la capacidad de carga axial de pilotes perforados y los asentamientos a corto plazo; la metodología está basada en los métodos presentados en el manual de la Federal Highway Administration del U.S Department of Transportation (FHWA) por Reese, L y O'Neill, M. (1988) y O'Neill, M.W, et al (1996). El análisis de carga axial de los pilotes puede ser aplicado a suelos cohesivos y no cohesivos. El programa también se aplica en lutitas arcillosas y sobre rocas.

4.4.1 Condiciones de Parámetros

El método utiliza las características subsuperficiales obtenidas de los datos del ensayo de compresión triaxial no drenado de muestras de suelos cohesivos, de la realización de la prueba del SPT en suelos no cohesivos y de los registros y análisis de núcleos de rocas si fuera el caso. El método idealiza un perfil subsuperficial compuesto por un número de capas de propiedades constantes por capa, el perfil puede ser mixto con capas alternadas con arcillas, arenas o roca.

Diseño en Arcillas

Para el cálculo de la resistencia lateral en suelos no cohesivos se emplea el método α , donde α es un valor que varía con la profundidad y no es función del esfuerzo cortante. Esto es una conclusión contraria a la regla de esfuerzos totales utilizados en el diseño de pilotes hincados.

Valores Recomendados de “ α ” para Pilotes Perforados en Arcillas (Ref. 5)

Ubicaciones a lo Largo del Pozo Perforado	Valor de α	Valores Límites de Carga Transferida, f_z	
		Ton/ft ²	kPa
Desde la superficie del terreno hasta la profundidad de 5 ft. (1.5mt).	0	--	--
A un D del fondo ó un D sobre la campana (si se usa la fricción)	0	--	--
Todos otros puntos a lo largo de los lados del pozo perforado.	0.55	2.75	275

El programa SHAFT, permite al usuario el ingreso del valor de α y variar a un valor que crea es más apropiado en caso de un suelo particular. Para el caso de un pilote perforado con base acampanada, el valor del c_u será el promedio de los c_u entre el extremo superior de la capa de arcilla y un diámetro del fuste sobre el extremo superior de la campana. Sin embargo, si el extremo superior del estrato de arcilla cae dentro de los 1.52 m debajo del nivel de la superficie, el promedio de c_u comienza desde 1.52 m.

Cuando sólo se tiene valores de N(SPT) se emplea la siguiente correlación, Quirós y Reese, (1977):

$$c_u = N_{spt} / 10, \quad \text{Ton/ft}^2$$

SHAFT, interpola o extrapola los valores de c_u en profundidades de un diámetro del fuste debajo de la base, dependiendo de la profundidad.

En la evaluación de la resistencia en la base, si el material es arcilla de consistencia blanda, el valor de c_u es reducido a un tercio por falla local de carga. Sin embargo, cuando la base del fuste es mayor de 75 in. (1.9 m), se reducirá la carga unitaria en la base (q_b) (Ref 6), debido a que el asentamiento al estimar q_b sería tan grande por lo que se buscará limitar la carga unitaria neta en la base tal que produzcan asentamientos menores a 2.5 pulgadas.

Diseño en Arenas

La resistencia lateral se determinó aplicando el método β , donde el parámetro β en la ecuación es independiente de ϕ y varía según el coeficiente de la presión lateral del suelo.

El programa SHAFT propone valores límites para la resistencia unitaria por punta (q_b) en suelo granular tal que el asentamiento esté por debajo del 5 % del diámetro de la base.

Valores de Resistencia Unitaria por Punta para Suelos No Cohesivo (Ref. 7)

Rango de Valores N (SPT)	Valores de q_b		
	Ton/ft ²	KN/m ²	MPa
0 hasta 75 sobre 75	0.60 N (SPT) 45	57.5 N(SPT) 4300	0.0575 N(SPT) 4.3

El programa recomienda que los pilotes deben llegar hasta por lo menos 10 diámetros debajo de la superficie. Cuando los diámetros de la base exceden 50 pulg. (1.27m), el programa usa un factor de corrección con el fin de controlar los asentamientos permisibles.

Los valores límites de la resistencia lateral en arcillas y arenas, propuestos por el programa no son un límite teórico pero es el valor más grande que ha sido medido experimentalmente. En caso se desee usar un valor más alto, se debe realizar una prueba de carga, (Ref.7). La resistencia lateral unitaria (f_{sz}) es constante para valores de profundidad mayores a 60 pies (18 m).

4.4.2 Asentamientos

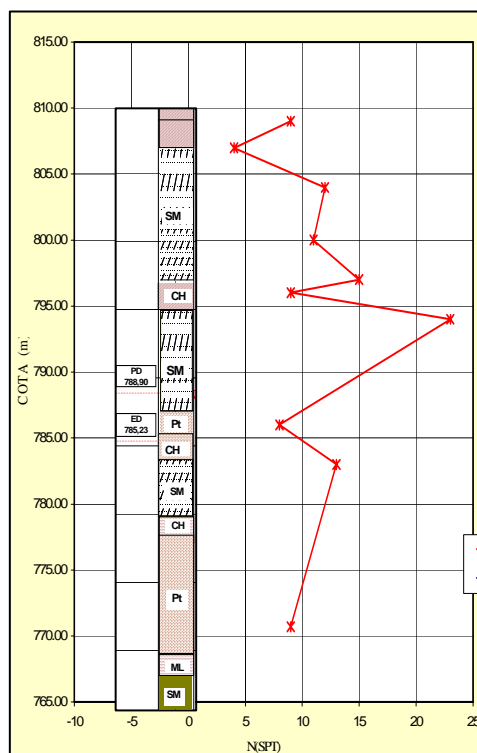
Las curvas para determinar los asentamientos elásticos en arcillas para diferentes suelos son normadas, y están basadas en datos experimentales de pilotes a escala natural. Estas curvas sirven de guía para realizar los diseños de carga axial de pilotes, cuando el asentamiento total o diferencial pueda ser un problema.

4.4.3 Algunas Limitaciones y Excepciones

- (1) La base de datos excluye profundidades menores a 4.6 m, diámetros menores a 0.60 m, suelos normalmente consolidados, suelos sensibles, suelos orgánicos y suelos conteniendo gran cantidad de gravas y bolones.
- (2) Se limita para condiciones estacionarias y para suelos expansivos ó suelo sedimentados que producen cargas descendentes.
- (3) Se recomienda emplear ensayos de carga a escala natural, para verificar ó modificar los parámetros dados.
- (4) No se restringen magnitudes de carga de diseño debido a consideraciones estructurales.

5.0 APLICACIONES Y RESULTADOS

Las aplicaciones de los programas de cómputo que se presentan para determinar la capacidad de carga axial fueron realizadas empleando los estudios de suelos de la cimentación del Puente Yuracyacu, (Ref. 8).El siguiente gráfico presenta los valores de N (SPT) y la Tabla de los parámetros para ingresar a la base de datos.



N(SPT)

ESTRIBO
 SONDAGE
 COTA SUPERF. DEL PILOTE 806.92 m.s.n.m
 COTA DEL TERRENO 810.92 m.s.n.m
 NIVEL FREATICO 4.15 m (26/06/96)

Estrato	Fondo del Estrato (m)	Espesor del Estrato (m)	Tipo de Suelo S.U.C.S	Código del Estrato	γ (T/m ³)
1	3.20	3.20	CL	310	1.60
2	4.15	0.95	ML	210	1.70
3	5.35	1.20	ML	210	1.70
4	14.00	8.65	SM	120	1.80
5	16.00	2.00	CH	130	2.00
6	26.20	7.20	SM	120	1.95
7	29.25	3.05	ML	210	2.00
8	32.00	2.75	SM	120	1.95
9	33.90	1.90	ML	210	1.90
10	35.20	1.30	OH	300	1.80
11	37.50	2.30	PT	300	1.80
12	40.45	2.95	CL	310	2.00

Tabla 1: Valores de Capacidad de Carga Admisible de Pilotes Hincados

Sección cuadrada de 0.30 m x 0.30 m

F.S = 2.5

Margen	Sondaje	Longitud efectiva (m)	Q _{adm} (Ton)			
			Estático	SPILE	FECP	SPTSP
Derecha	Pilar (S1)	22.50	72	76	58	62
	Estribo (S2)	21.50	73	53	43	48
Izquierda	Pilar (S3)	22.00	62	58	40	54
	Estribo (S4)	21.50	78	63	54	63

Asentamiento Total (S_i) de Pilotes Individuales por los Métodos Semiempírico y Empírico de Vesic

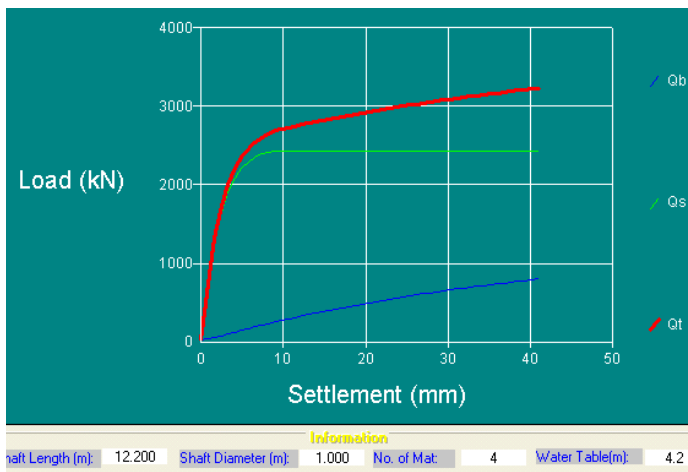
Pilote	Longitud del pilote (m)	C _s	S _s (cm)	S _p (cm)	S _{ps} (cm)	St (cm)	St (cm)
						Caso (a)	Caso (b)
Pilar	22.5	0.069	0.39	0.36	0.07	0.82	0.90
Estribo	21.5	0.069	0.32	0.36	0.06	0.74	0.78

Tabla 2: Resultado de la Capacidad de Carga Admisible de los Pilotes Excavados

Margen	Long. del pilote (m)	Diámetro (m)	Q _{adm} (Ton)		
			Manual Reese y O'Neill	SHAFT1	FECP
Derecha	12.00	1.00	150	136	108
			142	140	125
Izquierda	12.70		119	117	82
			124	115	87

Asentamiento Total Calculado por el Programa SHAFT, Para los Pilotes Excavados

Margen		Carga de trabajo (Ton)	Rango de Asentamientos (cm)	
			Asentamiento superior	Asentamiento inferior
Derecha	Pilar	136	0.35	0.19
	Estribo	140	0.37	0.20
Izquierda	Pilar	117	0.65	0.27
	Estribo	115	1.10	0.81



Output Settlement Data			
Option			
Settlement (mm)	Friction (kN)	End Bearing (kN)	Capacity (kN)
29.506	2428.777	649.460	3078.236
30.325	2428.777	661.502	3090.278
31.145	2428.777	673.317	3102.093
31.964	2428.777	684.911	3113.688
32.784	2428.777	696.292	3125.069
33.604	2428.777	707.466	3136.243
34.423	2428.777	718.439	3147.216
35.243	2428.777	729.218	3157.994
36.062	2428.777	739.807	3168.584
36.882	2428.777	750.215	3178.991
37.702	2428.777	760.446	3189.222
38.521	2428.777	770.506	3199.282
39.341	2428.777	780.401	3209.177
40.160	2428.777	790.136	3218.913
40.980	2428.777	799.718	3228.495

La gráfica representa los valores del asentamiento respecto a la variación de la capacidad de carga total, carga por fricción y capacidad en la base del pilote, para un diámetro de 1.0 m y una profundidad de 12.0 m., sin consideran un factor de seguridad. La Tabla de la derecha presenta los datos de asentamiento con los que se elabora la gráfica.(Salida del programa SHAFT).

```

E:\MSERVI-1\PROGRA-1\PROGCI-1.PRO\spile\SPILE.EXE
ULTIMATE STATIC PILE CAPACITY/Federal Highway Administration
Nordlund (1963, 1979) and Tomlinson (1979, 1980) methods
3 Cohesionless -- -- -- 21.68 92.58
4 Cohesive 520.00 520.00 -- 13.87
5 Cohesionless -- -- -- 24.78 222.76
6 Cohesive 1600.00 1600.00 -- 61.88

Total Side Friction : 398.06

POINT RESISTANCE CONTRIBUTION
Effective Internal SPT Pile End Bearing End Bearing
Stress at Friction Value Area Capacity Resistance
pile Tip Angle (ft*ft) Factor (kips)
(psf) (kips)
5295.74 30.99* 13.30 1.03 35.14 101.11

Limiting End Bearing Resistance : 20.79

Ultimate Static Pile Capacity : 418.84

Hit arrow keys to display next screen. <F8> Print. <F10> Main Menu

```

Esta imagen forma parte de la hoja de salida del programa SPILE, aquí se puede observar que el valor de la contribución de la resistencia en la base es 101.91 Kips pero como excede al valor límite sugerido por Meyerhof (1976), este valor límite es reportado por el programa como la resistencia por punta. Para determinar la capacidad de carga admisible se dividirá la capacidad de carga última (418/2.2 Ton.) entre el factor de seguridad de 2.5, valor empleado para esta aplicación.

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La exactitud e integridad de los resultados del análisis dependen de los estudios de geología, geomorfología, topografía y geotécnicos, ya que son la base para elaborar un perfil estratigráfico y determinar los parámetros del suelo que ingresan a los programas.
2. La aplicación de los programas que se presentan toman como base los estudios de suelos elaborados para el puente Yuracyacu, CISMID (1996). Se calcula la capacidad de carga de los pilotes hincados de concreto armado y de sección cuadrada de 0.30 m x 0.30 m para una profundidad máxima de 26.50 m, siendo el espesor del cabezal de 4.0 m.

3. Para estas condiciones se asume que los suelos debajo de la base de los pilotes son netamente limos arenosos, no plásticos y de compacidad media a compacta. Los resultados de esta evaluación de carga empleando los programas de cómputo, no difieren en gran cantidad entre ellos, siendo los valores dados por el método de Meyerhof del programa FECP, los menores y bastantes próximos a resultados arrojados por el programa SPTSP.
4. Los resultados de la estimación de asentamiento en los pilotes hincados son aceptables, se obtuvo como valor máximo en los pilares, 0.90 m de asentamiento elástico, el cual está dentro del valor permisible (2.54 cm) para un factor de seguridad de 2.5.
5. La evaluación de la capacidad de carga para pilotes excavados se realizó utilizando el programa FECP, las fórmulas propuestas por Reese y O'Neill (1989) en forma manual y mediante el programa de cómputo SHAFT, para un diámetro de 1.0 m y profundidad máxima de 16.7 m debajo del nivel de la superficie, tal que el pilote se apoye sobre arenas limosas de compacidad semicomcompacta a compacta. Los resultados obtenidos por el programa FECP son mucho menores a los calculados manualmente. El programa SHAFT arroja valores intermedios respecto a los otros por lo que se recomienda considerar sus resultados para fines de este proyecto.
6. El valor de la carga axial es controlado por el asentamiento permisible mediante las curvas normadas por el programa, estos valores son menores a 1 pulgada, para valores apropiados de factor de seguridad en un rango de 2 a 3.
7. Se recomienda emplear el programa de cómputo FECP, como primera aproximación antes de usar otro programa, ya que presenta los valores de capacidad de carga cada metro a lo largo del sondaje; a partir de estos valores se podrá estimar la longitud del pilote.

7.0 REFERENCIAS

1. Alva Hurtado, J. "Historia del Fenómeno de Licuación de Suelos", V Congreso Nacional de Mecánica de suelos e Ingeniería de Cimentaciones". Lima – Setiembre de 1983.
2. Federal Highway Administration of U.S Department of Transportation Reports. Washington, D.C. June, 1993.
3. Tomlinson, M. J., "Cimentaciones: Diseño y Construcción". Trillas, S.A de C. V. México, Enero de 1996.
4. Meyerhof, G.G., "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations" Journal of the Geotechnical Engineering Division ASCE Vol. 102 PP. 195-228. Marzo, 1976.
5. O'Neill. M. W. and S. A. Sheitkn, "Geotechnical Behavior of Underreams in Pleistocene Clay," Drilled Piers and Caissons II, pp. 57-75. Ed. By C. N. Baker, Jr., ASCE. May, 1985.
6. Engeling, D. and L. C. Reese, "Behavior of Three Instrumented Drilled Shafts Under Short Term Axial Loading". Project 3-5-72-176, 116 pages, conducted for the Texas Highway Department. May, 1974.
7. Owens, M. J. and L. C. Reese, "The Influence of a Steel Casing on the Axial Capacity of a Drilled Shaft," A report to the Texas State Department of Highways and public Transportation, 204 pages. Austin, Texas, July, 1982.
8. Universidad Nacional de Ingeniería –CISMID-Laboratorio Geotécnico, "Estudio Geotécnico de la Cimentación del Puente Yuracyacu - Proyecto Especial Alto Mayo. Agosto 2000.