

# Cimentación con pilotes. Hotel Punta Madruguilla

Ing. Enrique L. Peón de la Fuente & Ing. Mildrey Alvarez Machado  
*Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería, Santa Clara, Villa Clara,  
Cuba*



## ABSTRACT

In the hotel Punta Madruguilla, located in the key Santa María, given the bad capacity support that it have the strata that conform the geologic profile of the place, became necessary the technique of it sinks of concrete piles to serve from base to the constructions. In this work all the obtained experience is explained applying this foundation type, as well as, it is shown the whole analysis process and design of the pools like objects with characteristic peculiar. The same one was developed using the Software STAAD Pro 2006.

## RESUMEN

En el hotel Punta Madruguilla, ubicado en el cayo Santa María, dada la mala capacidad soportante que tienen los estratos que conforman el perfil geológico del lugar, se hizo necesaria la técnica de hincas de pilotes de hormigón para servir de base a las edificaciones. En este trabajo se explica toda la experiencia obtenida aplicando este tipo de cimentación, así como, se muestra todo el proceso de análisis y diseño de las piscinas como objetos con características peculiares. El mismo se desarrolló utilizando el Software STAAD Pro 2006.

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso de pilotes es una de las técnicas más antigua del hombre para superar las dificultades de la cimentación de estructura en suelos blandos. En cayo Santa María uno de los principales polos turísticos del país, tradicionalmente se ha utilizado cimentaciones superficiales y poco profundas, ejemplo de ellas han sido las cimentaciones aisladas, pilarotes fundidos in situ de profundidades entre 1.5 m y 2.0 m, cimientos bifuncionales, todo esto debido a la homogeneidad de sus estratos siendo terrenos arenosos de buena resistencia.

En la parcela donde se encuentra el Hotel Punta Madruguilla, ubicado en Cayo Santa María, perteneciente a la cayería Norte de Villa Clara, Cuba, no fue posible el uso de las técnicas de cimentación utilizadas hasta el momento, debido a la presencia de suelos orgánicos blandos y sueltos, por lo que se hizo necesario recurrir a la cimentación de pilotes hincados.

Nuestro trabajo explica toda la experiencia, método aplicado y dificultades que se tuvieron en el diseño y ejecución de esta técnica. Así como el uso racional en la estructura de uno de los objetos de obra más complejo.

## 2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELO

Contrario a lo esperado, por la experiencia en otros proyectos próximos al lugar, donde predomina los suelos arenosos y las calcarenitas, el informe ingeniero geológico para proyectos técnicos confeccionado por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), dio como resultado la presencia de suelos orgánicos blandos y sueltos a profundidades que oscilan 0.9 m y

3.5 m de profundidad a partir del terreno natural. Se definen 7 estratos descritos como siguen:

1. Arena fina uniforme, por partes superficialmente contaminada con restos de vegetal, en estado entre muy suelto medio, color blanco beige. H=0.6 a 3.30 m. Nspt=8
2. Cieno de textura arenosa, uniforme y muy fina, por partes contaminado con materia orgánica y en ocasiones con trazas de turba, en estado entre muy suelto y medio, olor orgánico, color blanco grisáceo. H=0.6 a 3.30 m. Nspt=2
3. Turba de textura fibrosa fina, entre muy blanda y blanda, ocasionalmente mezclada con arena o cieno arenoso, color pardo oscuro, rojizo y negrusco. H=0.0 a 1.2 m. Nspt=2
4. Arena media gruesa con abundante restos calcáreos y fuerte olor orgánico, otras con predominio gravoso, en estado entre muy suelto y denso, pudiendo definir también como cieno, color beige y blanco grisáceo. H=0.0 a 1.10 m. Nspt=4
5. Arena fina y media limosa, en ocasiones untuosa, carbonatada y cementada, alterada por la perforación, se recupera no cementada con pequeñas gravas, también intercaladas con eluvio de conglomerado, densa y muy densa, color blanco beige. Nspt=57
6. Roca calcarenita fracturada, alterada por la perforación, con intercalaciones de suelo, por parte muy sana, otras con oquedades pequeñas y aisladas, blanda y muy blandas, color beige. RQD=16%
7. Roca conglomerado de calcarenita y caliza organógena recristalizada, de dureza blanda y media, fragmentada y discontinua, por partes oxidada, en forma de lente, con manifestaciones

cálcicas con oquedades pequeñas, color pardo, rosado y beige. RQD=2%

El nivel freático en esta región oscila con el nivel medio del mar, es decir, alrededor de la cota 0. Dada la cercanía del mar y la relativa permeabilidad de estos suelos, provoca que la profundidad a la que se encuentre el mismo, esté en el entorno entre 0.6 m y 2 m, coincidiendo prácticamente con la cota de terreno.

Además de detallar la litología del lugar, el estudio indicó los perfiles ingeniero geológicos con los espesores y parámetros físicos mecánicos medios de los diferentes estratos (ver tabla 1) para permitir con otros datos de proyecto, la selección y dimensionamiento de la solución de cimentación adecuada.

Tabla 1. Parámetros físicos mecánicos medios de los diferentes estratos.

Estrato	SUCS	$\gamma_f$ (KN/m <sup>3</sup> )	C (Kpa)	$\phi$ (grados)	E (Mpa)	$\mu$ (adim)
Nº 1	SM	18.5	10	26	0.048 H	0.3
Nº 2 y Nº 4	Pt	16.5	5	18	0.009 H	0.35
Nº 3	Pt	10.5	10	2	0.48 H	0.45
Nº 5	SM	19.5	82	44	0.19 H	0.27
Nº 6 y Nº 7	Roca	15.6 y 20.6	89	39	50	0.25

(H - profundidad media del estrato cm)

Durante el análisis de los resultados ofrecidos en el Estudio de Suelo, se detectó que el número de golpes cada 30 cm de penetración del muestreador, cuchara cubana (Nspt), disminuye con la profundidad debido a la presencia de suelos muy sueltos y muy blandos por debajo de las arenas superficiales en estado medio y susceptible de ser mejoradas, lo que permitió definir desde la primera etapa de estudio el tipo de cimentación indirecta e hincada.

La litología estudiada es apta para el emplazamiento de los diferentes objetos de obras previstos en las áreas estudiadas en la región con estratigrafía bastante homogénea en la porción de parcela donde se concentra el grueso de las instalaciones.

El informe del Estudio de Suelo plantea que el estrato donde los pilotes deben hacer rechazo es en este caso la capa del estrato número 5 de arena cementada o eluvio gravoso de roca con Nspt entre 18 y 67.

### 3 DESARROLLO DEL MÉTODO DE TRABAJO

#### 3.1 Análisis y Diseño

A partir de los resultados de la investigación ingeniero geológica donde plantea espesores considerables de suelos blandos o muy deformables y teniendo en cuenta niveles de terraza previstas que implican rellenos o sobrecargas de consideración es que se decidió optar por cimentación indirecta, variante pilotes prefabricados de hormigón armado, su sección fue de 40cm x 40cm, previendo el empotramiento de los mismos en el estrato Nº 5.

Los pilotes son elementos que para lograr su máxima capacidad trabajan en punta y a fricción  $Q = Q_p + Q_f$ . En el cálculo de las cargas actuantes en los pilotes será

necesario considerar la fricción negativa, dada la presencia de estratos deformables bajo las cargas ocasionadas por el relleno técnico, a cuyos espesores de suelos colgados podrá incorporarse 1.50 m de arena densa, espesor este que pudiera establecerse como susceptible de compactarse por efecto de conformación del relleno y otras labores propias de la construcción, por lo que nuestros pilotes trabajaran en punta.

Después de un análisis de cada cala del estudio de suelo se determinaron 4 tipos de longitudes de pilotes (6m, 7m, 8 m y 9 m) para ser hincados con un martillo delmag, los cuales se calcularon según la fórmula dinámica DELMAG para capacidad de carga de pilotes hincados por un martillo diesel delmag:

$$W = E R / (C L+S)(R+Q)$$

Para obtener una cifra conservadora de la capacidad de carga se aplicó un coeficiente de seguridad de 2 (no incluido en la fórmula) y se recomienda una relación peso de la masa del martillo entre peso del pilote mayor o igual a 0.25.

Se realizaron dos variantes para el cálculo de la capacidad de los pilotes, una utilizando un martillo delmag-12, y otra con un martillo delmag 22-13, en cada caso se daba el número de golpe en el último pie según la energía del martillo a utilizar dependiendo de las cargas que bajaban por cada objeto de obra a la cimentación. Finalmente se utilizó la variante del martillo delmag 22-13 ya que cumplía con todas las especificaciones con respecto al pilote empleado y la hincada con este martillo es mucha más rápida en aras de ganar tiempo de ejecución. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Número de golpes en el último pie utilizando el martillo delmag 22-13 para algunos objetos de obra del hotel

OBJETOS	LONG. DE PILOTE (m)	TIPO DE PILOTE	CANTIDAD DE PILOTES	CUADRO DE PILOTES Y Nº DE GOLPE PARA UN MARTILLO DELMAG 22-13		
				Nº GOLPES EN EL ULTIMO PIE DEL DELMAG-22-13 Emin=3350 Kgm	Nº GOLPES EN EL ULTIMO PIE DEL DELMAG-22-13 Eprom=5025 Kgm	Nº GOLPES EN EL ULTIMO PIE DEL DELMAG-22-13 Emox=6700 Kgm
02-EDIFICIO PRINCIPAL	8	PL-01	31	54	32	22
	7	PL-02	43	46	28	20
	9	PL-04	68	65	35	25
07-FITNESS CENTER	8	PL-01	45	33	20	15
08-RANCHON PLAYA	6	PL-03	45	18	12	9
09-PISCINA PRINCIPAL	9	PL-04	55	30	19	14
10-PISCINA SECUNDARIA	8	PL-01	19	27	17	13

Al ejecutar las pruebas de hincas según establece la norma en función del número de elementos a hincar, en varias ocasiones no ocurrió rechazo del elemento según estaba previsto, un 15% de los pilotes se quedaron colgados con un número de golpe inferior a 10, evidenciando que no se había encontrado el estrato resistente. Lo anteriormente descrito fue provocado por los siguientes factores:

1. Zonas con mayores profundidades del techo de roca o suelos resistentes no definidos con precisión en el estudio de suelo.

2. Presencia de ollas o discontinuidades del estrato resistente de manera errática.

Además un grupo de pilotes se quedaron con un valor inferior no cumplieron con el número de golpe en el último pie establecido por proyecto. En este caso se analizó si la carga que debería resistir el pilote se justificaba con ese número de golpe, de cumplir se dejaba el mismo sin ninguna modificación.

De modo general las cargas que bajaban por cada pilote oscilaban entre 30 ton y 80 ton, según el objeto de obra. En total se hincaron 729 pilotes para todo el hotel.



Figura 1. Proceso de hincado de pilote, buscando verticalidad en el martillo delmag.

### 3.2 Pruebas de Cargas

Las pruebas de cargas, fueron realizadas por el Centro de Servicios Técnicos de Ingeniería y tecnología de la Construcción en Cuba, reflejaban gráficamente el comportamiento Tenso Deformacional del ensayo realizado al pilote, expresando por escalones de cargas y descargas el asentamiento alcanzado y a partir del comportamiento tenso deformacional, se especificó el asentamiento máximo y el valor de recuperación al ocurrir las descargas del primer y segundo ciclo.

La preparación de la prueba se inició con el montaje de la plataforma metálica cargada con elementos de hormigón armado y la instalación de la instrumentación para el monitoreo de las cargas y los asentamientos en las cabezas de los pilotes de prueba (ver Fig. 2).



Figura 2. Preparación de una de las pruebas de cargas

Para el monitoreo de las cargas se utilizó una celda de presión eléctrica de capacidad 100 ton y precisión 0.01 ton, mientras que, para el monitoreo de los asentamientos se utilizó transductores eléctricos de precisión 0.001 mm. El programa de cargas se diseñó por incrementos del 25%, las cuales fueron controladas en función del asentamiento obtenido en los últimos 30 minutos.

Se muestra un gráfico (ver fig. 3) de los resultados de las pruebas de cargas realizadas, donde se obtienen las siguientes conclusiones:

1. No fue posible alcanzar la carga especificada por proyecto debido a la inestabilidad de los asentamientos en el tiempo.
2. La recuperación de los asentamientos obtenidos en el primer y segundo ciclo son mínimos predominando el efecto de deformación plástica.
3. En la trayectoria del comportamiento tenso deformacional, a partir de 10.6 ton no existe proporcionalidad entre la carga y las deformaciones debido a la inestabilidad de los asentamientos en el tiempo.

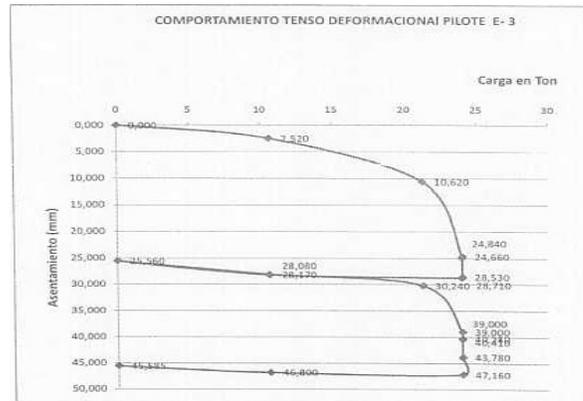


Figura 3. Ejemplo de fallo por asentamiento, cuya carga soportante es solo de 10.6 ton.

Con estas pruebas de cargas pudimos conocer realmente el estado de los pilotes por cada objeto, según su recuperación de los asentamientos obtenidos.

Colocando como ejemplo el seguimiento de hincado para conocer los pilotes y el número de golpe en el último pie.

Tabla 3. Ejemplo del seguimiento de hincado usado.

Nro hincado	Nro pil	Ejes	Tipo	Fecha fabric	Fecha hincado	Objeto	Golpes ultimo pie
109	156	B 13	9m	1/13/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	43
110	176	C 12	9m	1/17/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	50
111	155	B 16	9m	1/13/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	21
112	154	C 16	9m	1/13/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	8
113	175	H 16	9m	1/10/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	36
114	137	B 17	9m	1/10/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	28
115	178	E 17	9m	1/17/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	17
116	138	D 18	9m	1/10/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	6
117	177	F 18	9m	1/17/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	10
118	139	J 18	9m	1/10/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	35
119	179	D 19	9m	1/17/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	3
120	134	F 19	9m	1/10/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	5
121	224	J 19	9m	1/27/2009	2/17/2009	Edificio Ppal	12

#### 4 SOLUCIÓN TÉCNICA APLICADA

Según los resultados de las pruebas de hinca y de carga las soluciones constructivas tomada fueron las siguientes:

1. Se hincaron pilotes de 13 m de longitud al lado de los pilotes que tuvieron el número de golpe por debajo de 10.
2. Fueron aceptados los pilotes, cuya carga a soportar, se justifica con un número de golpes superior a 10 pero inferior al pedido por proyecto. Para los casos contrarios fueron hincados pilotes de 13 m de longitud.
3. Se decidió utilizar la solución de pilotes hincados, en vez de los in situ, por el déficit de maquinarias que existen en el país y por ser una solución más rápida.

#### 5 PISCINA PRINCIPAL Y SECUNDARIA. CASO PECULIAR

Desde la etapa de ideas conceptuales del proyecto en los objetos de piscinas se establece la utilización de pilotes con vigas de hormigón armado prefabricadas para lograr salvar las luces y las pendientes. Luego de un análisis geométrico teniendo en cuenta las dimensiones y la irregularidad de las formas de las piscinas, se decide realizar la forma constructiva de pilotes y losas de fondo apoyada directamente sobre los mismos, eliminando todas las vigas prefabricadas en el interior de los vasos y áreas exteriores, logrando las pendientes con los niveles superiores de los pilotes.

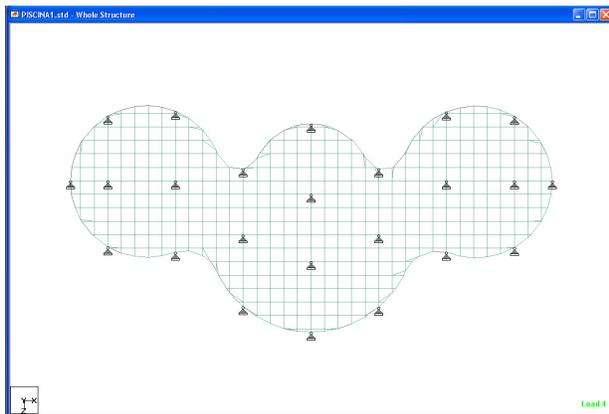


Figura 4. Esquema de Análisis. Piscina Principal

A nuestro favor tuvimos que en las áreas de piscina casi todos los pilotes dieron al rechazo previsto por proyecto y no hubo dificultad para un posible cambio de trabajo de la estructura una vez entrado los datos al programa.

En el esquema de análisis se colocaron los pilotes por todo el borde de la piscina para que se pudiera realizar una viga in situ común para el vaso de la piscina y sus áreas exteriores. Los pilotes interiores se trataron

de colocar a una distancia aproximadamente de 5 m para garantizar que las cargas puntuales sobre los mismos no fueran superiores a la resistencia al punzonamiento de la losa de fondo.

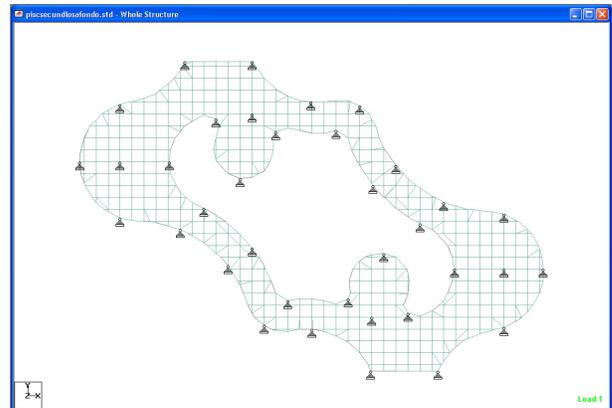


Figura 4. Esquema de Análisis. Piscina Secundaria

A partir de aquí y teniendo en cuenta que tanto la piscina principal como la secundaria tenían formas sumamente irregulares por lo que se hacía muy difícil el cálculo manual se realizó un análisis y modelación de la estructura auxiliándonos del software Staad pro y así conocer con mayor exactitud todo lo que sucedía con cada elemento y en las diferentes posiciones de las piscinas, proporcionando un mayor marco de estudio en cuanto a las posibles soluciones estructurales y resultando una solución mucho más económica que la tradicionalmente usadas.

#### 6 CONCLUSIONES

1. En nuestro caso la cimentación indirecta mediante pilotes hincados es la más adecuada, por una parte por las condiciones existentes con recrecimientos de cotas con rellenos considerables sobre espesores de suelos deformables profundos y lechos resistentes poco deformables y por otra parte para lograr rapidez en la ejecución de la obra.
2. Se hincarán pilotes de 13m de longitud al lado de los pilotes que tuvieron el número de golpes por debajo de 10, por la discontinuidad del estrato resistente debido a la presencia de ollas.
3. En el cayo Santa María se evidencian suelos orgánicos blandos y sueltos a pesar que siempre habían predominados los suelos arenosos y las calcarenitas.
4. Ejecutar el fondo de la piscina como una losa apoyada sobre pilotes, implicó un ahorro de materiales y recursos respecto a la solución tradicional en la que se usaban vigas y cabezales, resultando una variante más económica.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- Bowles, J. E. Foundation Analysis and Design. 5<sup>a</sup> Edición. New York. Ed. Mac Grau-Hill Books. 1997
- Informe Geotécnico para Proyecto Técnico. Hotel Punta Madruguilla. Octubre 2008
- NC en anteproyecto. "Cimentación sobre pilotes. Métodos de cálculo para el dimensionamiento geotécnico". Ciudad de la Habana, 1987, 66 h
- NC 54-265 Pilotes. Método de Ensayo. 1984
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. 1987. *Soil mechanics in engineering practice*, 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY, USA.
- Tomlinson, M. J. Foundation design and construction. M. Tomilson. Longman 5<sup>a</sup> edición. 1986
- Sowers, G y Sowers F. Introducción a la mecánica de suelo y cimentaciones. La Habana. Editorial Pueblo y Educación, 677 p. 1977