

DISEÑO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES PARA DIFERENTES TIPOLOGÍAS EN UNA PARCELA CONSTRUCTIVA DE CAYO PAREDÓN
GEOTECHNICAL DESIGN OF FOUNDATIONS FOR DIFFERENT TYPOLOGIES IN A CONSTRUCTIVE PARCEL OF CAYO PAREDÓN

Autores: Laura Rodríguez Loyola
Saimy Santiago Rodríguez

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: laurarl@unica.cu
saimy@unica.cu

RESUMEN

La investigación trabaja el diseño geotécnico de cimentaciones mediante el Método de Estados Límites para el caso de Cayo Paredón, considerando además de los cimientos superficiales tradicionales, la tipología de pilotes cortos. Se caracterizó el suelo de la parcela a partir del informe ingeniero – geológico obtenido de la ENIA (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas) de Ciego de Ávila y se analizaron las características y solicitaciones de la obra Hotel Roca Este 2 obtenidas por la empresa inversionista ALMEST. En función de las particularidades del suelo y de la obra, se propusieron diferentes variantes para el diseño. Se aplicaron las metodologías establecidas en las propuestas de Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales y la Norma de Diseño Geotécnico de Pilotes obteniendo así las soluciones de cimentación y proponiéndose cual pudiese ser empleada según las características analizadas.
Palabras clave: Suelos Predominantemente Friccionales, Diseño Geotécnico, Cimentaciones Superficiales, Pilotes Cortos.

ABSTRACT

The investigation one works the geotechnical design of foundations through the Limit States Method for the case of Cayo Paredón, considering besides the superficial traditional foundations, the typology of short piles. The soil of the

parcel was characterized starting from the engineer-geologic report obtained from ENIA of Ciego de Ávila, and the characteristics and solicitations of the building site Hotel Roca Este 2 were analyzed, obtained by the company investor ALMEST. In function of the particularities of the soil and of the building site, different variants for the design were proposed. The methodologies settled down in Norm's proposals for the Geotechnical Design of Superficial Foundations and Geotechnical Design Norm of Piles were applied obtaining this way the foundation solutions and proposing which can be used according to the analyzed characteristics.

Keywords: Predominantly Frictional Soils, Geotechnical Design, Superficial Foundations, Short Piles

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de una estructura está dada principalmente por el correcto funcionamiento de su cimiento, comportándose este como una estructura en sí. El Método de Estados Límites para el diseño geotécnico de estas cimentaciones, como lo dice su nombre, aprovecha al máximo las características resistentes del suelo para un mejor empleo del elemento que soporta la edificación. (González Cueto, A.V.; 2001)

A pesar del trabajo que se ha venido realizando por diferentes autores acerca del diseño geotécnico de cimentaciones en suelos predominantemente friccionales, aún los fundamentos teóricos planteados en la propuesta de Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales por Estados Límites son del desconocimiento de muchos ingenieros y proyectistas en Cuba, pues aún se utilizan métodos conservadores y poco racionales, subestimando la capacidad resistente de estos suelos y limitándolos a un comportamiento tenso – deformacional inferior a sus posibilidades reales, o en muchos de los casos se llegan a soluciones poco racionales mediante la utilización de terrazas técnicas, lo que trae consigo grandes afectaciones medio – ambientales y encarecimiento de la obra con las labores de movimiento de tierras.

Con la utilización del Método de Estados Límites se logran diseños racionales y seguros para cimentaciones superficiales en suelos predominantemente

friccionales sin la necesidad de terrazas para cimentación. (Quevedo Sotolongo, G.; 1987).

Además de la implementación de este método para el diseño geotécnico de cimentaciones, se puede lograr dicha racionalidad valorando la utilización de otros tipos de cimentaciones como es el caso de las cimentaciones tipos pilotes cortos, poco utilizados en las construcciones en estas zonas en Cuba.

En Cayo Paredón, como en casi todas las zonas costeras del país, están presentes los suelos friccionales, por lo que resulta necesario la utilización del método antes mencionado y considerar otras tipologías para racionalizar el diseño geotécnico de los cimientos en esta área.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

La Parcela Hotelera P – 1 de Cayo Paredón abarca una superficie total de 10.1 ha y se encuentra enclavada en las mediaciones de la costa Noroeste de Cayo Paredón, territorio insular que pertenece a la provincia de Camagüey y forma parte del subarchipiélago Sabana - Camagüey. (Castro Medina, J.; 1987).

Las aguas subterráneas yacen a una profundidad relativamente cerca de la superficie natural del terreno, localizándose con respecto a esta, a una profundidad que osciló entre los 0.20 m y 4.50 m, para una media de 1.95 m con respecto al Nivel Medio del Mar (NMM).

A partir del nivel natural del terreno y hasta la cota de -4.80 m con respecto al NMM, se presentan los estratos ingenieros geológicos siguientes:

1er Estrato: Arena mal graduada (SP). Ángulo de Fricción Interna: 35°. Cohesión: 0 kPa. Peso Específico Natural Húmedo: 16.08 kN/m³. Módulo de Deformación General: 17000 kPa. Espesor: 3.05m

2do Estrato: Roca calcarenita. RQD: 32 %. Peso Específico: 27.07 kN/m³. Resistencia a la compresión axial saturada: 27.42 kg/cm²

Metodología de diseño

Se parte de la idea de establecer una concepción general para el diseño, que oriente las variantes que sean posibles ejecutar y la forma de realizar los cálculos a partir de las metodologías particulares establecidas.

Para iniciar el diseño se debe contar con los siguientes datos:

- Informe ingeniero – geológico acorde a las exigencias de la obra, que contenga toda la información necesitada. Para el primer estado límite se utilizan las características físico – mecánicas para una probabilidad del 95%. Para chequear los asentamientos o giros se utilizan los valores promedios de dichas características.
- Valores de todas las sollicitaciones normativas y mayoradas. Las sollicitaciones a utilizar en el primer estado límite serán mayoradas según los criterios y coeficientes establecidos. Para el segundo estado límite serán normativas.
- Combinaciones de carga que tengan posibilidad real de ocurrencia.
- Posibilidades constructivas reales de los diferentes tipos de cimentación.

Para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales se utilizará la Metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en arenas por el Método de Estados Límite (MEL). La cual se sugiere en la propuesta de Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales (2) en fase de aprobación y publicación, basadas en el estado límite último y el estado límite de servicio, para un comportamiento lineal o no lineal del suelo, donde este último aprovecha en mayor grado las características tenso – deformacionales de este tipo de suelos.

Para el diseño geotécnico de pilotes cortos se seguirá la metodología plasmada en la propuesta de Norma para el Diseño Geotécnico de Pilotes (3), la cual brinda las dimensiones que cumplen con los criterios de estabilidad y deformación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la investigación se analizará la obra *Hotel Roca Este 2* que se construirá en la parcela hotelera P – 1 de Cayo Paredón, según los datos obtenidos por la empresa Inmobiliaria ALMEST, inversionista de la obra.

En el desarrollo de la investigación se analizarán las posibles soluciones de cimentación para el edificio principal y los edificios de alojamiento, la tipología constructiva de las mismas estará en dependencia de las características estructurales de cada objeto de obra.

En el edificio principal y edificios comunes la estructura es básicamente aporticada con una modulación estructural principal de 8.00 m x 6.00 m, la cual se compone de columnas y vigas de hormigón armado y muros de hormigón.

Los bloques habitacionales serán de tres niveles conformados por muros transversales que serán de hormigón fundido in situ, con un espesor mínimo de 0.15 m.

Cargas que se transmiten a los cimientos.

Las cargas que se muestran en las tablas 1 y 2 fueron adquiridas de la empresa inversionista, las cuales fueron obtenidas de la modelación del edificio principal y los bungalows respectivamente.

Solicitación	Valor Máximo	Valor Mínimo
M	22.6 kN x m	5.6 kN x m
N'cp	397.0 kN	144.0 kN
N'cu	128.0 kN	32.0 kN
H	5.6 kN	1.4 kN

Tabla 1. Solicitaciones normativas para los edificios con pórticos y cubierta pesada.

Solicitación	Valor Máximo	Valor Mínimo
M	17.7 (kN x m)/m	8.8 (kN x m)/m
q'cp	98.0 kN /m	97.9 kN /m
q'cu	26.3 kN /m	26.3 kN /m
H	4.0 kN /m	2.0 kN /m

Tabla 2. Solicitaciones normativas para los bloques habitacionales.

Soluciones de cimentación

Aplicando las metodologías de diseño geotécnico de cimentaciones establecidas a través de hojas de cálculo programadas en el software MathCAD 14.0, se analizarán diferentes soluciones de cimentación que serán explicadas posteriormente debido a las diferentes variantes de diseño, teniendo en cuenta el sistema de cargas expuesto anteriormente según las tipologías constructivas de los objetos de obra que serán analizadas. Las soluciones de diseño geotécnico serán con la utilización de cimentaciones superficiales e intermedias, básicamente cimientos aislados y corridos, y pilotes cortos respectivamente.

Cimentaciones superficiales

La primera variante analizada será el diseño geotécnico de las cimentaciones aisladas, donde la capa arenosa será el estrato resistente para una profundidad de cimentación será de 80 cm y la rectangularidad (l/b) igual a 1. El nivel freático se encontrará a una profundidad de 1.15 m por debajo del nivel de cimentación, esta variante será analizada para las cimentaciones correspondientes al edificio principal, el esquema de análisis correspondiente se observa en la figura 1.

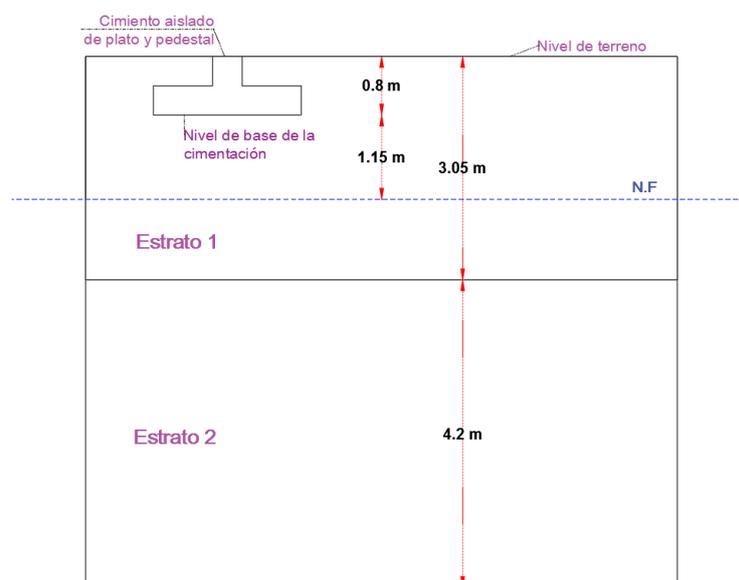


Fig. 1. Esquema de la estratigrafía considerada para la 1ª variante de Diseño Geotécnico de Cimentaciones en Arenas.

Para esta variante se ofrecen dos soluciones de cimentación, un para los valores máximos de carga y otra para los mínimos, este sistema de cargas como ya se explicó anteriormente fueron obtenidas de la empresa inversionista. A continuación, en la tabla 3 se muestran las dimensiones resultantes de la aplicación del método de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales por Estados Límite, el modelo de cálculo de los asentamientos predominante para cada solución y el asentamiento de cálculo obtenido en el diseño.

Tipo de cimiento	Valores de Carga	Dimensiones de $b = l$ (m)		Dimensiones de $b = l$ (m) final	Tipo de Asent.	Asent. (cm)
		Est.	Def.			
C - 1	Máximo	1.1	1.85	1.1	No lineal	5.6
	Mínimo	0.6	1.15	0.6	No lineal	4.4

Tabla 3. Soluciones de la Aplicación del Método de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, Variante 1.

La segunda variante considerada será el diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales corridas en forma de "T" invertida como se muestra en el esquema de análisis de la figura 2. Para esta variante la profundidad de cimentación será de 0.8 m, el nivel freático se encontró a 1.95 m de profundidad medido a partir del nivel del terreno y será analizada para los bloques habitacionales.

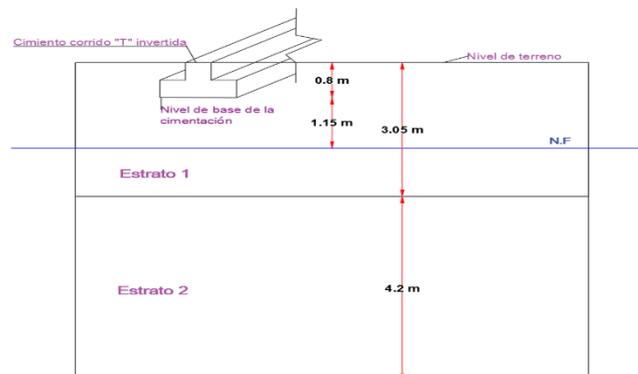


Fig. 2. Esquema de la estratigrafía considerada para la 2^{da} variante de Diseño Geotécnico de Cimentaciones en Arenas.

Esta variante también ofrece dos soluciones que dependerán de las solicitaciones. En la tabla 4 se muestran las dimensiones resultantes de la aplicación del método de Estados Límites partiendo de fijar una longitud de la cimentación (l) de 1 m, se expone además el modelo de cálculo de los asentamientos predominante para cada solución y el asentamiento de cálculo obtenido.

Tipo de cimiento	Valores de Carga	Dimensiones de b (m)		Dimensiones de b (m) final	Tipo de Asent.	Asent. (cm)
		Est.	Def.			
C - 2	Máximo	0.7	1.25	0.7	No lineal	6.44
	Mínimo	0.5	1.1	0.5	No lineal	4.69

Tabla 4. Soluciones de la Aplicación del Método de Estados Límites, Variante 2.

Pilotes Cortos

Para el caso de pilotes cortos se propone la tercera variante de cimentación, considerando el pilote apoyado sobre la roca del estrato 2, con una profundidad de 3.05 m, la presencia del nivel freático se encuentra a los 1.95 m, como se muestra en el esquema de análisis de la figura 3 y se ofrecerá una solución de cimentación para el edificio principal en función de las solicitaciones máximas.

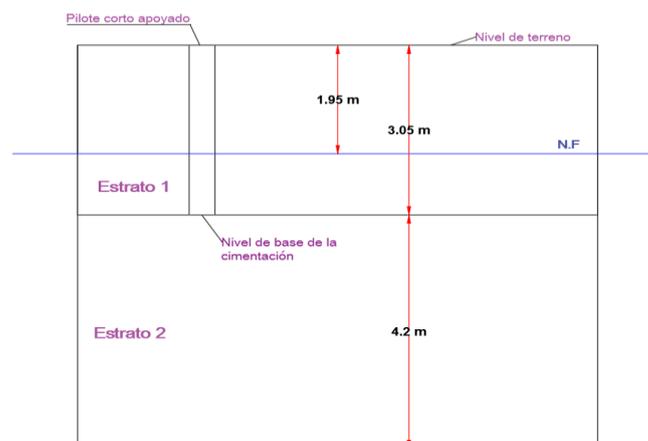


Fig. 3. Esquema de la estratigrafía considerada para la 3ª variante de Diseño Geotécnico de Cimentaciones en Arenas.

Se dimensiona el pilote con un $D_0=0.30$ m y $L=3.05$ m a partir de la condición de que la relación L/D_0 debe oscilar entre 7 y 12 y que cumpla la forma de trabajo como elemento rígido. Para estas dimensiones se chequean los parámetros que establecen para el diseño como se muestra en la tabla 5.

Tipo de cimiento	Q^*_{hc} (kN)	H^* (kN)	Q^*_f (kN)	Q^*_p (kN)	$Q^*_f + Q^*_p$ (kN)	N^* (kN)
C - 3	85.99	7.84	7.77	681.43	689.20	681.2

Tabla 5. Resultados del 1^{er} Estado Límite para $D_0=0.30$ m y $L=3.05$ m.

La cuarta variante será considerando el pilote flotante, o sea, estará trabajando a fricción en la arena del estrato 1, se realizará igualmente para el edificio principal. El esquema de análisis se muestra en la figura 4.

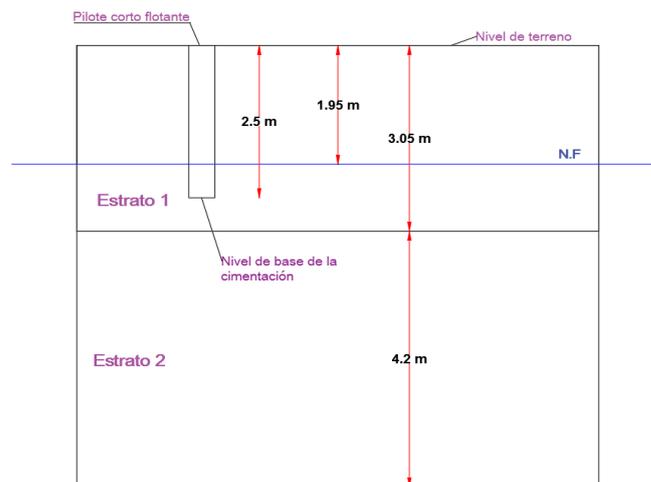


Fig. 4. Esquema de la estratigrafía considerada para la 4^{ta} variante de Diseño Geotécnico de Cimentaciones en Arenas.

Este tipo de cimiento será diseñado sólo para las solicitaciones mínimas, puesto que para esta forma de trabajo no cumple por capacidad de carga con ninguna de las dimensiones posibles para los valores máximos. Las dimensiones del pilote serán $D_0=0.3$ m y $L=2.5$ m cumpliendo con la condición de pilote corto y que trabaja como elemento rígido. Los resultados de la revisión del Primer y Segundo Estado Límite se muestran en las tablas 6 y 7 respectivamente.

Tipo de cimiento	Q* hc (kN)	H* (kN)	Q* f (kN)	Q* p (kN)	Q* f + Q* p (kN)	N* (kN)
C - 4	51.63	1.96	6.80	238.62	245.42	224

Tabla 6. Resultados del 1^{er} Estado Límite para $D_0 = 0.3m$ y $L = 2.5m$

Tipo de cimiento	P (kPa)	R' (kPa)	S. lineal (cm)
C - 3	281.882	772.173	0.2

Tabla 7. Resultados del 2^{do} Estado Límite para $D_0 = 0.35m$ y $L = 2.5m$

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo contribuyen de forma significativa a la generalización del empleo del Método de Estados Límites a nivel nacional e internacional. Con la aplicación de las metodologías establecidas se ha demostrado que se logran soluciones racionales y seguras, por lo que no es necesario la realización de terrazas técnicas para cimentación en las zonas de playa, lo cual disminuye considerablemente los costos de construcción ahorrándose las labores de movimiento de tierra y los impactos que esto implica al medio ambiente. El cálculo de asentamientos por métodos no lineales resultó ser una vía eficaz para aprovechar mejor las capacidades resistentes de los suelos predominantemente friccionales.

Los pilotes cortos, como solución de cimentación, son muy ventajosos, sobre todo cuando se hace directamente sobre arenas debido a que estos permiten un ritmo de construcción más rápido que las aisladas superficiales y su construcción favorece a un menor impacto ambiental. De forma general se comprobó con las soluciones obtenidas que para racionalizar el diseño geotécnico de cimentaciones en arenas, se debe emplear el Método de Estados Límites y otra opción recomendable es la utilización de diferentes tipologías constructivas.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- CASTRO MEDINA, J.: *Diseño geotécnico de pilarotes*, Tesis de especialista, Ciudad de la Habana, 1987.
- DUARTE, A.A.: *Diseño Geotécnico de Cimentaciones en el Puente 8 del Pedraplén Turiguanó – Cayo Coco, Ciego de Ávila*, Ciego de Ávila, pp.81, 2016.
- FUENTES ALEMÁN, A.: *Confeción de la Propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes*, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, pp.106, 2008.
- GARCÍA, O. Y RIBAS, J.: *Cimientos de tipo pilarote*, Instructivo de trabajo ENIAMICONS, Ciudad de la Habana, Cuba, 1985.
- GONZÁLEZ CUETO, A.V.: *Diseño de cimentaciones superficiales en arenas. Aplicación de la Teoría de Seguridad*, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, pp.70, 1997.
- GONZÁLEZ CUETO, A.V.: *Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas*, TD, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 2001.
- GONZÁLEZ FLEITES, E.; González Cueto, A.V. y Quevedo Sotolongo, G.: *Cálculo de las deformaciones en las bases de las cimentaciones superficiales, Comportamiento No Lineal*, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 2013.
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, L.: Informe Ingeniero Geológico Preliminar de Parcela Hotelera P1 Cayo Paredón, 2010.
- LIMA RODRÍGUEZ, R.: *Diseño de cimentaciones sometidas a solicitaciones de momentos, cortantes y axiales de compresión pequeños o de succión*, Santa Clara, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 2008.
- NC Propuesta XX: 2007.: *Geotecnia. Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales*, Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de la Habana, Cuba, Enero del 2007.

QUEVEDO SOTOLONGO, G.: «Aplicación del Método de los Estados Límites en el diseño de las cimentaciones superficiales», *Revista Ingeniería Estructural*, Vol.2, Núm.3, pp.95 – 106, 1987.

QUEVEDO SOTOLONGO, G.: *Aplicación de los Estados Límites y la Teoría de Seguridad en el Diseño Geotécnico en Cuba*, Tesis presentada para optar por el título de doctor en ciencias, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2002.

SANTIAGO, S. Y GONZÁLEZ CUETO, A.V.: *Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas. Caso de Estudio Cayería Norte de Ciego de Ávila*, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba, pp.95, 2015.

TRISTÁ PÉREZ, M. Y LEÓN GONZÁLEZ, M.: *Cimentaciones sobre pilotes. Métodos de cálculo para el dimensionamiento geotécnico*, Propuesta de norma, Ciudad de la Habana, pp.66, 1988.