

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**XII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS,
GEOTECNIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.
XX COLOQUIO DE GEOTECNIA Y CIMENTACIONES.**

**Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en zonas de playa.
Caso de Estudio Cayo Santa María.**

*Geotechnical Design the Surface Foundations in the beach zones. Case
Study Cayo Santa María.*

Libán Luis Herrera Rodríguez*

*Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Villa Clara EMPROY VC, Cuba
lherrerar@aei-ucmbybat.co.cu; libanluishr@nauta.cu

Resumen

Buena parte de los métodos de diseño geotécnico de las cimentaciones desarrollados en la actualidad, promueve el Método de los Estados Límites, método conocido también como el de los coeficientes parciales.

Este método trata de dar explicación al comportamiento de los suelos a partir de modelos elásticos y lineales, que en muchas ocasiones trae consigo el aprovechamiento parcial de la capacidad resistente de algunos suelos, como es el caso de los suelos predominantemente friccionales (arenas). Por lo que algunos autores han introducido modelos no lineales para explicar su comportamiento y poder utilizar las verdaderas propiedades físico-mecánicas de estos suelos. Estos últimos modelos fueron incluidos en la Norma actual de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales por Estados Límites, que se encuentra en proceso de publicación en Cuba.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Este trabajo se enfoca en la validación de los fundamentos teóricos que plantea esta Norma. Usando como caso de estudio, ejemplos de un proyecto hotelero en Cayo Santa María cimentado sobre arenas.

Abstract

Good part of the methods of geotechnical design of the foundations developed at present, promotes the Method of the Limit States, method also known as that of partial coefficients.

This method tries to explain the behavior of soils from elastic and linear models, which in many cases brings about the partial exploitation of the resistant capacity of some soils, as is the case of predominantly frictional soils (sands). Therefore, some authors have introduced non-linear models to explain their behavior and be able to use the true physical-mechanical properties of these soils. These last models were included in the current Geotechnical Design Standard of Surface Foundations by States Limits, which is currently being approved in Cuba.

This work focuses on the validation of the theoretical foundations raised by this Standard. Using as a case study, examples of a hotel project in Cayo Santa María built on sand.

Palabras Claves: Diseño Geotécnico; Cimentaciones Superficiales; Estados Limites; Suelos Predominantemente Friccionales; Modelos No Lineales.

Key Words: Geotechnical Design; Surface Foundations; States Limits; Predominantly Frictional Soils; Non-Linear Models.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



1. Introducción

La geotecnia de los últimos años ha estado marcada por la implementación de un método de diseño, que varios investigadores han defendido como el adecuado para la racionalidad y seguridad de las cimentaciones superficiales. Este es el Método de los Estados Límites, conocido además como el de los coeficientes parciales.

En este método, al explicar el comportamiento de los suelos en el 2do Estado Límite o Estado límite de Deformación, se han usado tradicionalmente, modelos lineales para el cálculo de las deformaciones experimentadas en la base de la cimentación; modelos que en numerosos casos considera un aprovechamiento parcial de la capacidad resistente de algunos suelos. Y este es el caso de las arenas, (suelos predominantemente friccionales), los cuales limitarlos a un comportamiento lineal en su asentamiento sería desperdiciar sus propiedades físico-mecánicas (Santiago, 2015).

Esta problemática se reflejaba en la primera propuesta de Norma Cubana que recoge el Método de los Estados Límites como metodología de diseño, elaborada en 1989, con un respaldo estadístico y probabilístico basado en la Teoría de Seguridad. En ese entonces las regulaciones contenidas en la norma estaban basadas en el análisis de los suelos cohesivos, por lo que existían suelos para los cuales no se obtenían resultados de diseños tan racionales como los esperados. (Santiago, 2015).

Por lo que la Norma Actual de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales por Estados Límites que se encuentra en proceso de publicación en el país, incluye un sistema de coeficientes actualizado y otros aspectos para el cálculo de asentamiento que antes no estaban concebidos en la misma, que permiten el aprovechamiento de las potencialidades tenso-deformacionales reales de las arenas, logrando diseños racionales y seguros.

Este trabajo tiene como objetivo la validación de esta norma, que sirva de apoyo a los fundamentos teóricos planteados en ella. Usando como caso de estudio un ejemplo real de cimentación de un Bungalow sobre suelos arenosos en Cayo Santa María.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



2. Metodología

En el diseño de las cimentaciones se establecen dos Estados Límites.

1er Estado Límite o Estado Límite Último: definido como el estado donde se garantiza el no fallo parcial o total de la estructura. En este estado se diseña para lograr la resistencia y estabilidad de la estructura, con los valores de cálculo. En el mismo se introducen coeficientes parciales de seguridad para las cargas y las propiedades de los suelos. (González-Cueto & Quevedo, 2007)

2do Estado Límite o Estado Límite de Servicio: en él se garantizan todas las condiciones que puedan afectar la funcionalidad de la estructura. Se chequean factores como las deformaciones totales y diferenciales de los suelos, con los valores de servicio. (González-Cueto & Quevedo, 2007)

El comportamiento del suelo se analiza en este 2do Estado Límite, previamente comprobando la Presión Límite de Linealidad, que permite confirmar el comportamiento lineal de este. Y se hace mediante la ecuación siguiente:

$$P \leq R$$

donde:

P - Presión bruta del suelo,

R - Presión Límite de Linealidad del suelo.

Si la condición anterior se cumple, pueden calcularse las deformaciones de los suelos utilizando modelos lineales. Y esta es la práctica tradicional en estos casos, dejando de considerar lo que ocurre realmente cuando se trata de suelos friccionales.

La Presión Límite de Linealidad en suelos friccionales tiene una influencia significativa, pues es un parámetro que toma valores muy bajos en las arenas respecto a los de la

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Capacidad de Carga bruta del suelo (q_{br}); y esta ecuación de diseño se hace determinante para estos suelos en múltiples ocasiones. Conociendo esta consideración, es de gran necesidad valorar en su verdadera magnitud cuanto aporta el suelo y no desaprovechar las características físicas y mecánicas que este posee. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1970); (González-Cueto & Quevedo, 2007)

Es por esto que la nueva Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, propone un conjunto de coeficientes de seguridad que, aplicados a las características físico mecánicas de los suelos friccionales, se logran valores de tensión límite de linealidad, que permiten establecer con mayor certeza, el punto hasta donde estos suelos se comportan de manera lineal y comienzan a experimentar comportamientos no lineales.

Y en consecuencia esta norma establece la metodología para el cálculo de los asentamientos en suelos arenosos, por métodos no lineales. Logrando diseños con mayor seguridad y racionalidad.

3.Caso de Estudio

Como ejemplo real para aplicar los fundamentos teóricos de la norma, se escoge la cimentación de un Bungalow Tipo 1 del Proyecto Hotel La Estrella en Cayo Santa María.

Este bungalow, levantado sobre pedestales, consta de tres niveles, con muros y columnas de hormigón armado, losas prefabricadas y entresijos compuestos de deck metálico-hormigón. Y es cimentado sobre arenas, muy cercano a la línea de playa.

En la figura 1 se muestra un perfil de suelo bajo el edificio, que indica las cuatro capas existentes sobre las que se cimienta el bungalow, descritos sus parámetros físico-mecánicos como sigue en la Tabla 1:

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Tabla 1. Parámetros físico-mecánicos de los suelos bajo el bungalow. (Del autor)

Parámetros físico-mecánicos de los suelos							
Estratos	Clasificación SUCS	γ_f (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (grados)	E (MPa)	μ (adim.)	NSPT (u)
Nro 1	GM	20.1	5	36	40	0.24	58
Nro 2	SP	15.3	0	34	17.5	0.3	38
Nro 3	SM	17.1	82	44	21.85	0.27	74
Nro 4	Roca	17.4	89	39	50	0.25	RQD=0%

Bajo relleno técnico se encuentran dos suelos friccionales (Estratos 2 y 3), sobre los que se cimienta el edificio, y un estrato rocoso a una profundidad aproximada de tres metros.

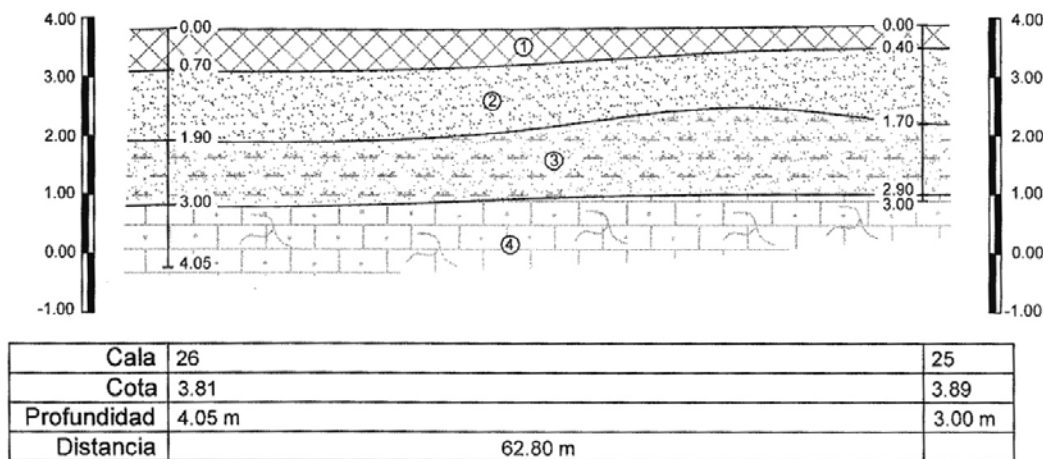


Figura 1. Perfil ingeniero-geológico de los suelos bajo el bungalow. (De Informe Ingeniero Geológico.)

Del perfil mostrado se obtienen espesores promedios de las capas para el diseño como se muestra en la Figura 2, donde también es representada la profundidad a que se cimienta, sobre el segundo estrato.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
 “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
 CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

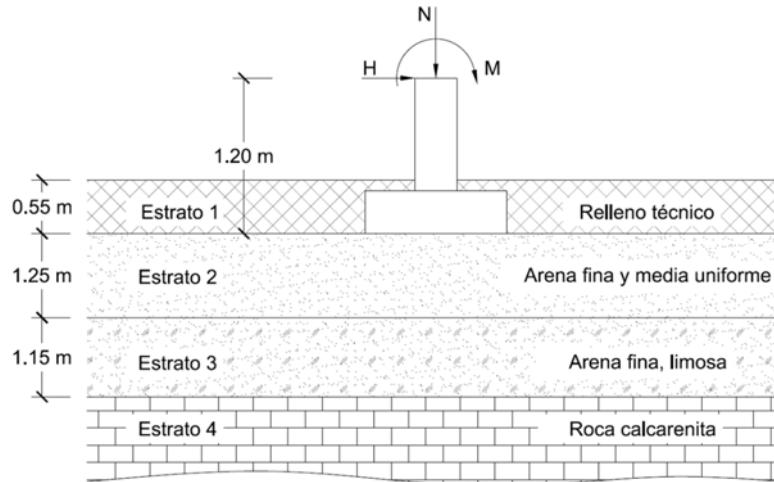


Figura 2. Espesores promedio de estratos. Profundidad de cimentación. (Del autor)

El edificio fue modelado usando el software ETABS 2016, con apego a las normas cubanas vigentes de cargas de diseño permanentes, de uso y de viento, con el objetivo de obtener las cargas reales que llegan a cada cimiento y poder establecer grupos de cimientos por cargas para la cimentación. De este proceso se obtuvieron seis tipos de cimientos, como se muestra en la Tabla 2, con sus cargas de diseño normativas.

Tabla 2. Cimientos tipos del bungalow. Magnitud de las cargas de diseño que llegan a ellos. (Del autor)

CIMENTOS x CARGAS - BUNGALOW T1									
CIMIENTO	CARGAS	MAGNITUD DE LAS CARGAS			CIMIENTO	CARGAS	MAGNITUD DE LAS CARGAS		
		N (kN)	H (kN)	M (kN-m)			N (kN)	H (kN)	M (kN-m)
CIM-1	Permanentes	644.47	1.55	0	CIM-4	Permanentes	344.32	2.15	0
	De Uso	141.87	0.47	0		De Uso	63.6	0.54	0
	Viento	13.34	6.42	0		Viento	7.24	6.12	0
CIM-2	Permanentes	516.83	1.64	0	CIM-5	Permanentes	97.4	1	0
	De Uso	120.97	0.31	0		De Uso	9.68	0.1	0
	Viento	0.42	6.16	0		Viento	0.15	1.65	0
CIM-3	Permanentes	453.65	1.66	0	CIM-6	Permanentes	49.52	0.33	0
	De Uso	105.6	0.35	0		De Uso	11.65	0.07	0
	Viento	23.48	6.12	0		Viento	4.44	5.11	0

Con los datos indicados se aplican los procedimientos reflejados en la Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, con el apoyo de una herramienta de cálculo, desarrollada en MathCAD por investigadores de la facultad de construcciones

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



de la Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas; disponible para su consulta y uso bajo el nombre de “DGACS” (Diseño Geotécnico Automatizado de Cimentaciones Superficiales). Y se diseñan los seis tipos de cimientos del bungalow.

4. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos del diseño concuerdan con lo planteado con anterioridad sobre el comportamiento de las arenas. La presión límite de linealidad de la base registra valores muy inferiores a los de la capacidad de carga, y el diseño por Linealidad del 2do estado límite, rige en los seis casos analizados. Esto implica que se obtengan mayores áreas de la base del cimiento para este estado.

Si se calculan los asentamientos por métodos Lineales, obviando las características reales de las arenas, como se ha hecho tradicionalmente, se deben comenzar los cálculos con las dimensiones obtenidas del chequeo de Linealidad, obligando en estos casos a concluir el diseño con áreas de la base menos racionales. Pero si aplicamos un método No Lineal de cálculo de asentamientos, como propone la Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales para estos suelos, (en este caso el método desarrollado por (Malishev & Nikitina, 1982)), se obtienen resultados más racionales, al poder comenzar los cálculos con las dimensiones del 1er estado límite. Ambas variantes fueron desarrolladas y se muestran los resultados en la Tabla 3, donde pueden establecerse comparaciones y verificar la certeza de la propuesta de la norma; de aprovechar las potencialidades tenso-deformacionales reales de las arenas, al analizar su comportamiento No Lineal, y obtener diseños racionales y seguros.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Tabla 3. Resultados del diseño aplicando métodos lineales y no lineales en el cálculo de asentamientos.
(Del autor)

RESULTADOS DEL DISEÑO - CIMIENTOS - BUNGALOW T1							
CIMIENTO	Dimensiones $b = l$ (m)		Comportamiento Real del Suelo	Diseño Final (Asent. Lineal)		Diseño Final (Asent. No Lineal)	
	1er EL Estabilidad	2do EL Linealidad		Asentamiento Absoluto (cm)	$b=l$ (m)	$b=l$ (m)	Asentamiento Absoluto (cm)
CIM-1	1.5	2.55	No Lineal	0.89	2.55	1.5	2.15
CIM-2	1.4	2.35	No Lineal	0.78	2.35	1.4	1.84
CIM-3	1.3	2.25	No Lineal	0.72	2.25	1.3	1.81
CIM-4	1.1	1.95	No Lineal	0.63	1.95	1.1	1.8
CIM-5	0.7	1.15	No Lineal	0.32	1.15	0.7	0.78
CIM-6	0.75	0.9	No Lineal	0.23	0.9	0.75	0.31

5. Conclusiones

La Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en proceso de publicación en Cuba, propone el diseño por estados límites de las cimentaciones sobre arenas, intencionando el aprovechamiento de las capacidades tenso-deformacionales de estas, para obtener diseños seguros y racionales.

El caso de estudio analizado en este trabajo demuestra la veracidad de los fundamentos teóricos planteados en la norma, pues al analizar las deformaciones de las arenas de la base de la cimentación del bungalow por métodos No Lineales, se obtuvieron dimensiones menores del área de la base, que al considerar los tradicionales métodos Lineales.

La aplicación de los métodos No Lineales sobre las arenas permite un ahorro económico considerable en la ejecución de los cimientos, al obtenerse dimensiones más pequeñas y por tanto un gasto de materiales inferior a los usados tradicionalmente.

Al obtener en este trabajo diseños seguros y racionales de cimientos aislados directamente sobre arenas, puede asegurarse que es innecesaria la utilización de terrazas técnicas con el objetivo de cimentar sobre ellas por desconfianza o incertidumbres hacia el comportamiento de los suelos friccionales.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



6. Referencias bibliográficas

1. González-Cueto, A. V., & Quevedo, G. (2007). Aplicación de la teoría de seguridad al diseño de cimentaciones en arenas. Chequeo de linealidad. *Revista Ingeniería de Construcción*.
2. Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1970). *Mecánica de Suelos: Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos*. (Vol. 2). La Habana: Instituto del Libro: Edición Revolucionaria.
3. Malishev, M. V., & Nikitina, N. (1982). Cálculo de asentamientos de cimentaciones para condiciones no lineales entre las tensiones y las deformaciones del suelo. *Revista Trabajos N. I. Bases y contrucciones subterranas.*, N (2), 21-25.
4. Santiago, S. (2015). Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas. Caso de Estudio Cayería Norte de Ciego de Ávila. *TMSc; UCLV*.

7. Bibliografía

1. González-Cueto, A. V. (1997). Diseño de cimentaciones superficiales en arenas. Aplicación de la Teoría de Seguridad. *TMSc; UCLV*.
2. González-Cueto, A. V., & Quevedo, G. (2002). Análisis de la seguridad en el diseño de cimentaciones en arenas. Criterio de Estabilidad. *Revista Ing. Civil, CEDEX*.(Nro. 119).
3. González-Cueto, A. V., & Quevedo, G. (2007). Aplicación de la teoría de seguridad al diseño de cimentaciones en arenas. Chequeo de linealidad. *Revista Ingeniería de Construcción*.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



4. Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1970). *Mecánica de Suelos: Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos*. (Vol. 2). La Habana: Instituto del Libro: Edición Revolucionaria.
5. Malishev, M. V., & Nikitina, N. (1982). Cálculo de asentamientos de cimentaciones para condiciones no lineales entre las tensiones y las deformaciones del suelo. *Revista Trabajos N. I. Bases y contrucciones subterranas.*, N (2), 21-25.
6. Meyerhof, G. G. (1995). Development of geotechnical limit state design. *Canadian Geotechnical Journal* 32, 128-136.
7. Quevedo Sotolongo, G. (1987). Optimización y proyección de cimentaciones de edificaciones industriales en las condiciones de Cuba. *TGC*, Moscú (MICI).
8. Santiago, S. (2015). Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas. Caso de Estudio Cayería Norte de Ciego de Ávila. *TMSc; UCLV*.