

Ensayos de carga en tablaestacas. Aplicación en una obra hidrotécnica

Ibañez Mora, L. O.¹, Quevedo Sotolongo, G.², Maestre, M. Á.³

Fecha de recepción: 3 de septiembre de 2010 – Fecha de aprobación: 10 de enero de 2011

RESUMEN:

En el presente trabajo se abordan las experiencias en la utilización de la modelación matemática y la realización de pruebas de carga en estructuras hidrotécnicas. Para ello se exponen los resultados obtenidos en pruebas de carga en la cortina de un muelle en la zona occidental de Cuba, evaluando las deformaciones horizontales y verticales que se producen en la misma. Se establecen comparaciones entre los métodos teóricos de cálculo de las deformaciones y modelos matemáticos basados en el Método de los Elementos Finitos. Finalmente se comprueba la coincidencia entre el modelo numérico y los resultados de la prueba de carga a escala real demostrando que las deformaciones en el muelle objeto del estudio no ponen en peligro el funcionamiento del mismo bajo la acción de un nuevo sistema de carga.

Palabras clave: Cimentación, Modelación, ensayo de carga, tablaestaca.

Load testing on sheet piles. Application in a hydro-technical structure

ABSTRACT:

This paper describes an experience in the use of mathematical models and load tests on hydro-technical structures. The results obtained from the load test performed on the sheet pile of dock, located in the eastern part of Cuba, are presented. Horizontal and vertical deformations were measured. A comparison is made between the theoretical methods for deformation calculation and the mathematical methods based on the finite-elements method. Finally, the coincidence of results obtained from the numerical model and those of a real-scale load test is proved, thus showing that deformations could not become a risk if the dock is subject to a new load system.

Keywords: foundation, modeling, load test, sheet pile.

¹Departamento de Ing. Civil. Facultad de Construcciones. UCLV. Cuba.

²Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales

³Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA).Cuba.

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de reutilizar estructuras hidrotécnicas de mediado del siglo pasado se desea evaluar la deformación lateral de la viga de contención del atraque “Osvaldo Padrón” del Puerto del Mariel ubicado en la zona occidental de Cuba. Dicho atraque servirá de base para el almacenamiento de cargas (tuberías y otros insumos), apoyados sobre dispositivos creados a dicho efecto (Rack).

Inicialmente sobre la tablestaca hincada existía una viga de frente de muelle anclada al relleno. Debido a

las condiciones ambientales del lugar y la fuerte acción del agua marina estos anclajes fallaron, comportándose ahora la tablestaca como una viga en voladizo.

METODOLOGÍA

Para la realización del trabajo se realiza el estudio de los informes ingeniero geológicos realizados en el año 1977 y 1980, en los cuales se describen y caracterizan los suelos existentes en el sitio.

Tabla 1. Características de los suelos.

Capa	Descripción	Espesor (m)	Angulo fricción interna. ϕ° (Grados)	Cohesión C (kPa)	Modulo general deformación (kPa)	Resistencia última (kPa)
1	Relleno de arcilla	3	-	-	-	-
	Relleno restos marinos	3	-	-	-	-
2	Cieno arenoso	6	8	5	2500	-
3	Arcilla Limosa	12	18	30	15000	190
4	Argilita	9	18	60	30000	400

Como se aprecia, se presentan 4 suelos identificados que son: el relleno, el cieno, la arcilla y la argilita. Respecto al relleno, los datos de estos informes sólo sirven de referencia, teniendo en cuenta la edad del muelle y la fecha de realización de estos informes ingeniero geológicos.

La tablestaca utilizada en la construcción del muro de contención del muelle fue la KRup V.a. (Galabru 1974, Medina 1996), la cual ha sufrido desgaste por la acción de las aguas marinas. Para los cálculos se tuvo en cuenta un desgaste de 5.46 mm y uno pronosticado de 0.12 % anual.

Datos utilizados de la tablaestaca:

Módulo general de deformación:	2.1×10^8 kPa
Área de la sección transversal:	0.018 m^2
Inercia:	$1.69 \times 10^{-6} \text{ m}^4$
Longitud:	17 m

Modelación del problema. Estimación de la prueba de carga.

Para la modelación de la prueba de carga se desarrollaron 2 etapas, una primera en la que se modeló el comportamiento de la tablestaca, bajo la acción de las cargas permanentes (empuje de suelo y agua), y una segunda donde se evalúan las deformaciones bajo la acción de carga externas (prueba de carga).

Como se muestra en las figuras 1 y 2, se definen 4 suelos en el perfil, el relleno, el cieno, la arcilla y la argilita. En todos los casos dichos estratos buzan en la misma dirección, apreciándose una disminución de espesor en la dirección de la tablestaca. Se tiene en

cuenta además la profundidad de calado que es de 7.5 metros bajo el nivel medio del mar. Por otra parte se conoce que la separación mínima de la carga al borde del muelle es de 3 metros y que ésta actuará como una carga uniformemente distribuida. Por esta razón se modela la carga como presión actuante en la superficie del muelle sobre la losa de concreto existente.

Al existir dudas en cuanto a las propiedades reales del relleno (densidad, porosidad, módulo general de deformación) se desarrollan 4 modelos evaluando diferentes tipos de los mismos variando sus propiedades físico-mecánicas. En la tabla 2 aparecen los tipos de relleno modelados.

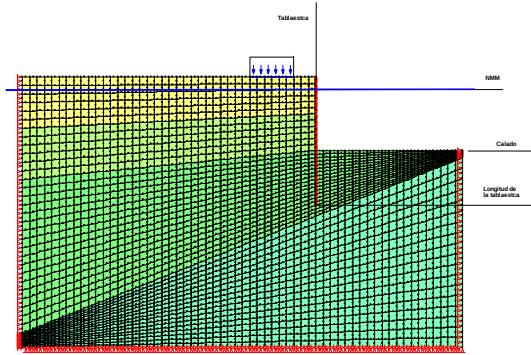


Figura 1. Modelo del problema real.

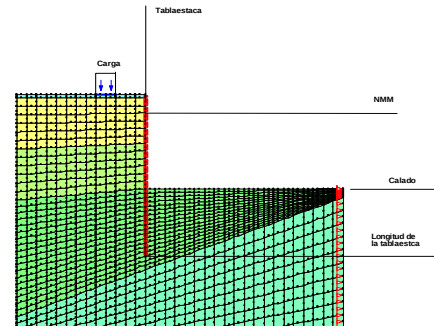


Figura 2. Esquema del modelo. Detalles.

Tabla 2. Propiedades del relleno utilizados en la modelación. En todos los casos se consideró una cohesión de 5 kPa

No	Tipo de Relleno	Módulo General de Deformación (kPa)	Modelo
1	Pobre	3000	Modelo 1
2	Regular	5500	Modelo 2
3	Regular	6500	Modelo 3
4	Regular - Bueno	7500	Modelo 4

Definidos los parámetros deformacionales del relleno se procede a determinar la deformación lateral de la tablestaca bajo diferentes incrementos de carga. Para ello se aplican las expresiones clásicas de diseño (Das 1999, Delgado 1999, Jiménez 1996) y la modelación

por elementos finitos. En la tabla 3 se muestra la respuesta deformacional de cada modelo para cada incremento de carga. Para la modelación por el método de elementos finitos se utiliza el software GeoSlope (1994).

Tabla 3. Resultados de modelación. Carga vs. Desplazamiento

Carga (kN)	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
	Desplazamiento (mm)			
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
114	0.067	0.100	0.067	0.019
228	0.119	0.360	0.119	0.038
342	0.475	0.470	0.475	0.057
418	0.674	0.570	0.600	0.070
568	0.790	0.670	0.820	0.095
680	1.400	0.700	0.990	0.113

Como se aprecia, las deformaciones obtenidas no sobrepasan en ningún caso el milímetro, excepto para la carga máxima cuando se modela un suelo pobre (MODELO 1). Es válido señalar que la modelación realizada parte de un análisis plano del problema, lo que significa que se considera que la carga actúa constante en la profundidad, lo que sin duda alguna resulta imposible de realizar con una prueba de carga a escala real, pero que brinda una aproximación al problema real. Una vez obtenido estos resultados se procede a la realización de la prueba de carga conociendo que las máximas deformaciones a ocurrir son del orden de los 1.4 mm en la viga de cierre del

muelle.

RESULTADOS

Las pruebas de carga se realizaron a 60 y 120 metros del extremo del muelle, utilizando una plataforma de 6 x 1.96 m, que simulan los rack de apoyo, y sobre la misma se colocó el peso muerto y se midieron las deformaciones laterales (Figura 3). En las tablas 4 y 5 aparecen los resultados obtenidos en la Prueba de Carga #1, que es la más crítica de las dos que se realizaron.

Se aprecia una recuperación elástica de la tablestaca, pero las deformaciones son despreciables tanto en la

carga como en la descarga.



Figura 3. Ensayo de carga en el lugar. Agosto 2003

Tabla 4. Carga vs Deformación. Prueba I

Ensayo I Punto PS-1	
Asiento (mm)	Carga (kN)
0.00	0.0
0.11	114
0.33	228
0.44	342
0.55	418
0.60	568
0.67	680
0.62	568
0.62	418
0.57	342
0.37	228
0.27	114
0.15	0.0

Tabla 5. Carga vs Deformación. Prueba I.

Ensayo II Punto PS-1	
Asiento (mm)	Carga (kN)
0.00	0.0
0.01	114
0.05	228
0.15	342
0.15	418
0.16	568
0.18	658
0.18	658
0.15	418
0.15	342
0.13	228
0.12	114
0.08	0.0

Correlación de los resultados de la prueba de carga y los modelos.

Con los resultados de las pruebas de carga se analizan los modelos utilizados, comprobándose que el

MODELO2 es el que mejor se ajusta a dichos resultados, el cual representa un suelo regular desde el punto de vista deformacional, que se corresponde en gran medida con el relleno existente en el muelle.

Tabla 6. Comparación entre la prueba de carga y el modelo 2.

Asentamiento (mm)		% Diferencia
Prueba de Carga	Modelo 2	
0.00	0.000	0
0.11	0.100	- 9
0.33	0.360	+ 8
0.44	0.470	+ 6
0.55	0.570	+ 3
0.60	0.670	+ 10
0.67	0.700	+ 4

Teniendo en cuenta estos resultados y la validez del MODELO 2, se procede a modelar la acción de una carga distribuida de 6 metros de ancho, perpendicular

a la viga de cierre del muelle, como se muestra en la figura 4.

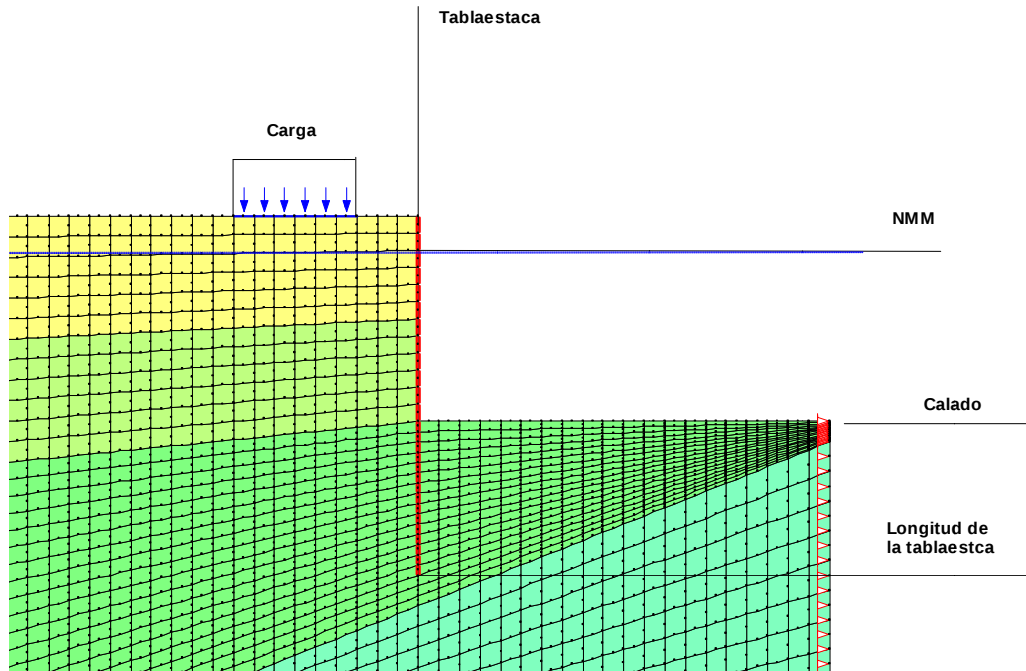


Figura 4. Modelo con carga distribuida perpendicular a la viga de cierre.

En la figura 5 se aprecia la exactitud del modelo propuesto y la prueba de carga, así como las deformaciones para una carga distribuida perpendicular a la viga de cierre del muelle (Figura 4) que pudiera ser otro esquema de explotación del

muelle. En todos los casos se demuestra que cargas inferiores a 650 kN actuando en un área de 6 x 1.96m, o presiones de 38 kPa, actuando paralelo o perpendicular al muelle generan deformaciones laterales menores a 1.4 mm

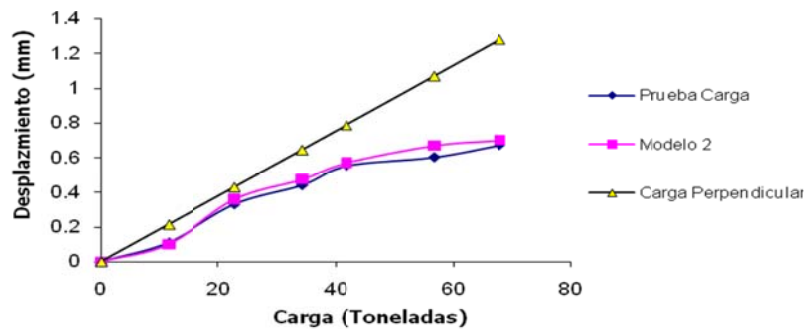


Figura 5. Carga vs. Desplazamiento. Modelo y prueba de carga.

Modelación del problema para el estado de carga definitivo.

Para la modelación del problema, con las cargas que definitivamente se plantea explotar el muelle, se parte de los resultados anteriores, en los cuales se llegó a obtener un modelo capaz de reproducir con gran exactitud los resultados de la prueba de carga realizada en el muelle. En este caso se modela la acción de una grúa NK-80 (Medina 1996), trabajando a 3 metros del borde del muelle, en un ancho de 7

metros y a continuación los rack que sirven de apoyo a las tuberías. Los datos de los suelos y tablaestaca fueron los mismos utilizados en el análisis anterior y los referentes a la Grúa fueron tomados de la referencia 6 (Medina 1996), según el fabricante de la misma.

Resultados de la Modelación.

Una vez definido el modelo a utilizar se analiza el

efecto que provoca la carga que trasmite el apoyo de las grúas, tomando como máximo valor 250 kN. Se define tres esquemas de cargas.

A. Caso 1: Carga actuando en un ancho de 1 metro

(Figura 6)

B. Caso 2: Carga actuando en un ancho de 50 centímetros (Figura 6)

C. Caso 3: Carga concentrada. (Figura 7)

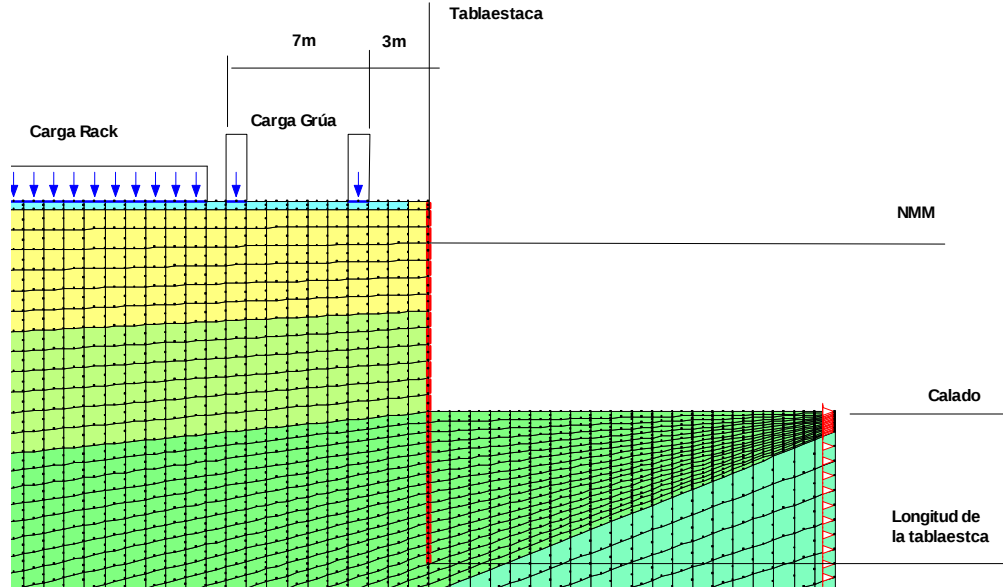


Figura 6. Esquema del modelo. Detalles

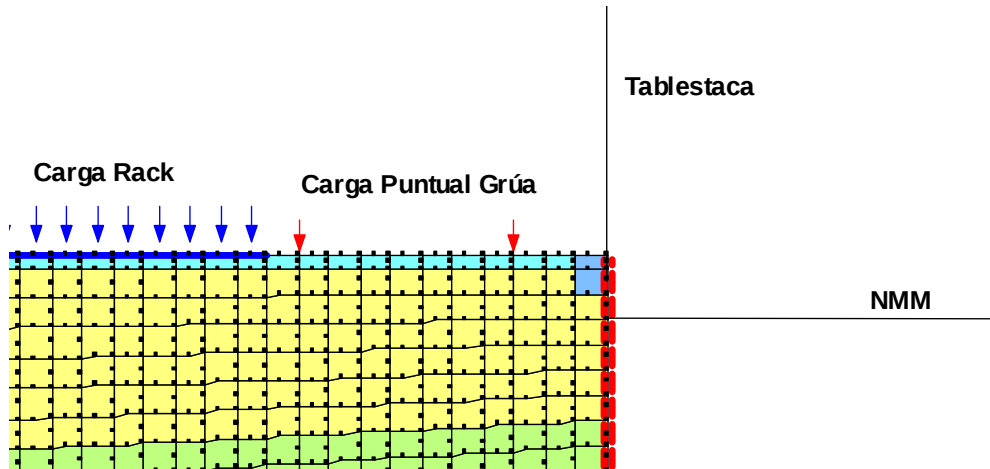


Figura 7. Modelación del apoyo de la grúa como carga concentrada.

Con estos casos definidos se obtiene la respuesta del modelo bajo la acción de cargas externas, respetando siempre la distancia de 3 metros al borde de la

tablestaca. En la Tabla 8 aparecen los resultados para cada caso:

Tabla 8. Desplazamientos para la grúa a 3m de la tablestaca

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Desplazamientos Horizontales (mm)	9.799	9.479	9.257
Desplazamientos Verticales (mm)	-3.104	-2.715	-2.856

De estos resultados se puede comprobar que la influencia de la forma de aplicación de la carga es poco significativa, alcanzándose deformaciones de cerca de 1cm, que es una deformación mayor que la obtenida en el primer análisis realizado y en la prueba de carga, pero que puede considerarse no excesiva, teniendo en cuenta sobre todo que el modelo utilizado es un modelo plano, lo que indica que la carga de la grúa la está tomando de la misma forma en toda la profundidad del muelle, lo que no es realmente cierto, pues en realidad existe una separación de 6.3 metros entre cada apoyo de la grúa por donde se transmite la carga, por lo que resulta evidente que los resultados obtenidos están sobredimensionados con respecto a la realidad.

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

- Das, B. M. (1999): *Principios de ingeniería de Cimentaciones*. Braja M. Das. Editorial Thomson. México. 4ta edición. 855 pág.
- Delgado M. (1999): *Ingeniería de Cimentaciones. Fundamentos e introducción al análisis geotécnico*. Manuel Delgado Vargas. Editorial Alfaomega. Colombia 1999. 500 pág.
- Galabru, P. (1974). *Cimentaciones y Túneles*. Paul Galabru. Editorial Reverté. Segunda Edición. 411 pág.
- GeoSlope (1995): *SIGMA/W. For finite element analys. User's guide*. Geoslope International Ltd. Calgary, Alberta, Canadá.
- Jiménez S., J. A. (1986): *Geotecnia y Cimientos*. Editorial Rueda. Madrid. Tomos II y III.
- Medina T., F. (1996): *Cargas para edificaciones y obras de Ingeniería*. Tomo I y II. La Habana. 1996.

Una vez realizadas las modelaciones y con los resultados de la prueba de carga se concluye:

1. Bajo la acción de una carga uniformemente distribuida paralela a la viga de cierre de 38 kN/m separada a 3 metros de la misma, actuando en una longitud de 2 metros las deformaciones laterales en la viga de cierre son inferiores al milímetro.
2. Bajo la acción de una carga uniformemente distribuida perpendicular a la viga de cierre, de 6 metros de ancho, de 38 kN/m separada a 3 metros de la misma, actuando en una longitud de 6 metros las deformaciones laterales en la viga de cierre son inferiores a 1.4 milímetro.
3. Las deformaciones de la viga de cierre en todos los casos son pequeñas y no ponen en peligro la utilización del muelle.

Este documento debe citarse como:

Ibañez Mora, L. O., Quevedo Sotolongo, G., Maestre, M. Á. **Ensayos de carga en tablaestacas. Aplicación en una obra hidrotécnica**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 14-3, pp 161-168, ISSN: 1665-529-X.

