



SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES 2021

Ensayos de Carga en Cimentaciones de Gran Diámetro. Aplicación de la
modelación y la instrumentación.

*Load test in Foundations of Great Diameter. Application of the
mathematical model and the instrumentation.*

Dr. Ing. Luis O. Ibáñez Mora¹, Dr. Cs. Ing. Gilberto Quevedo Sotolongo², MSc. Miguel
Maestre Mesa³.

1. Universidad Central de Las Villas. Cuba. Ibanez@uclv.edu.cu
2. Universidad Central de Las Villas. Cuba. quevedo@uclv.edu.cu
3. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Cuba

Resumen

En el trabajo se presentan los resultados de la instrumentación y la modelación de las cimentaciones de tanques de gran diámetro ubicados en una zona de gran complejidad geotécnica en un puerto construido en el año 1942. Dicha zona servirá de base de tanques de almacenamiento de diferentes materiales (Cemento, lodo, agua) como base de apoyo para las perforaciones en mar en la prospección y explotación de yacimientos de petróleo. Para ello se realizan modelación del comportamiento de la cimentación de dichos tanques bajo la acción de las cargas que se generan y se comprueba la validez de dicho modelo con la realización de pruebas de carga a escala real.

Abstract

In the work the results of the instrumentation and the model of the foundations of tanks of great diameter are presented located in an area of great complexity geologic in a port built in the year 1942. This area will serve as base of tanks of storage of different materials (Cement, mud, dilutes) like support base for the perforations in sea in the prospecting and exploitation of locations of petroleum. For they are carried out it model of the behavior of the foundation of this tanks under the action of the loads that you/they are generated and he/she is proven this model's validity with the realization of load tests to real scale.

Palabras Claves

Modelación, instrumentación, cimentaciones de gran diámetro

Key words

Model, instrumentation, foundations of great diameter



1. Introducción

En la zona del puerto del Mariel, al Noreste de la Ciudad de La Habana existe una compleja geología, con la presencia de estratos que buzcan hacia el oeste, detectándose varias capas de suelos compresibles, rellenos y turba. Sobre los mismos existe una losa de hormigón armado de 22 cm, que contribuye a la distribución de cargas, con zonas agrietadas, debido a la edad de la misma y el régimen de explotación del lugar. Debido a los años de explotación de esta zona del puerto, las sobrecargas a la que ha sido sometida (almacenamiento de productos a granel de gran peso) se considera que los estratos de suelo se han consolidados y las posibles deformaciones que aparezcan producto de nuevas cargas, se debe a deformaciones en pequeños espesores de estratos que aún no se hallan consolidado. Es en esta zona donde se propone colocar tanques de almacenamiento de lodo, con cimientos circulares de gran diámetro. (Figura 1).

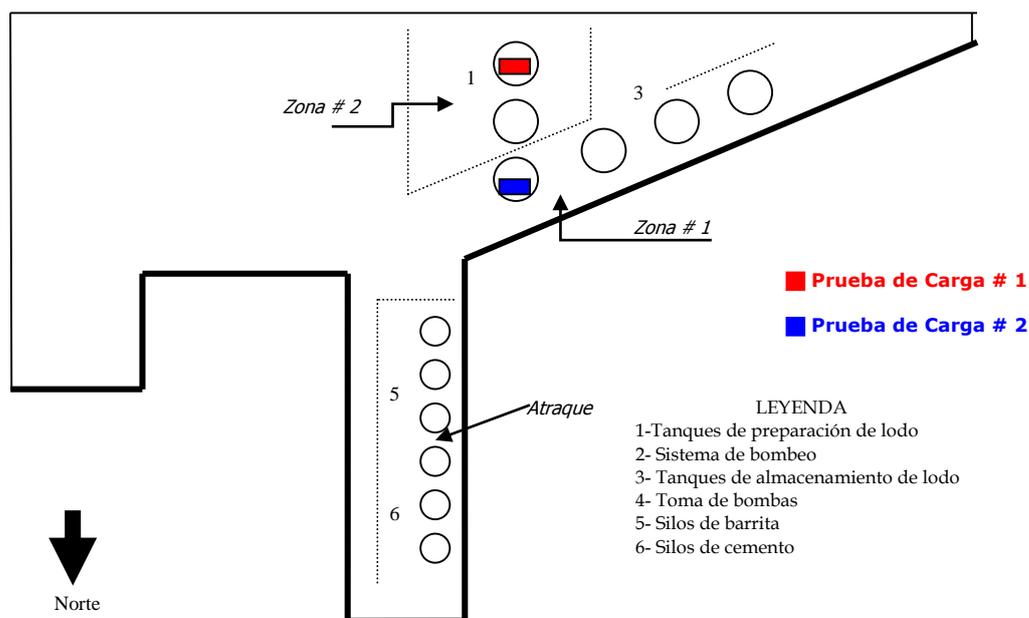


Figura 1. Croquis de las zonas del puerto. (Fuente: Elaboración propia)

2. Caracterización de la zona.

De los informes Ingeniero Geológicos se destaca la presencia de 6 estratos de suelos cuyas características se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características de los suelos.

Capa	Descripción	φ °	Cohesión kPa	Eo MPa	qu MPa
1	Relleno artificial				
2	Relleno de arcilla	-	-	-	-
3	Relleno restos marítimos	-	-	-	-



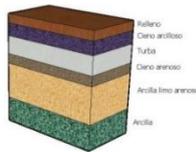
Convención Científica Internacional 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
ENSAYOS DE CARGA EN CIMENTACIONES DE GRAN DIÁMETRO. APLICACIÓN DE LA
MODELACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

4	Cieno arenoso	8	5	25	-
5	Arcilla Limosa	18	30	15	1.9
6	Argilita	18	60	30	4

Los estratos de relleno (1) y (2), fueron colocados en el lugar para nivelar la zona del muelle y tienen un efecto de sobrecarga en los estratos de turba y cieno muy consolidables en los que descansa. Por el tiempo de permanencia del mismo, más de 60 años, y otras cargas externas se puede considerar que dichos estratos han alcanzado su máxima deformación primaria.

2.1 Resultados de la Pruebas de Carga en el lugar

Con fecha 5 de noviembre del 2003 se procede a la realización de 2 pruebas de cargas en las zonas de emplazamiento de los tanques. La prueba de carga # 1 (Zona # 1) se corresponde con la zona donde ubican los tanques de preparación de lodo y la prueba de carga # 2 (Zona # 2) en la zona donde su ubicaran los tanques de almacenamiento de lodo. Por las dimensiones de los tanques, y las características geológicas se decide medir la deformación vertical en 2 puntos de la plataforma de carga, determinado además el giro de la misma.



Esquema del perfil de suelo.



Prueba de carga en el lugar

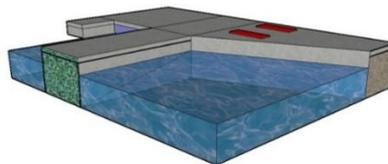


Figura 2. Posición de las Pruebas de carga.

Prueba de Carga # 1

Tabla 2. Tabla carga vs. desplazamiento. Prueba de carga 1.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CARGA No 1 DEL PUERTO DEL MARIEL

Día 4/11/03

Punto	Hora	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)
		0	0
1	11.40 am	17.0	0.0
1	12.00 pm	45.0	0.7
1	12.40 pm	52.3	0.9
1	2.53 pm	96.3	1.3
1	3.07 pm	162.3	2.5
1	4.30 pm	169.2	2.8
1	4.40 pm	176.4	3.9

Punto	Hora	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)
		0	0
2	11.40 am	17.0	0.0
2	12.00 pm	45.0	0.7
2	12.40 pm	52.3	1.0
2	2.53 pm	96.3	1.5
2	3.07 pm	162.3	2.5
2	4.30 pm	169.2	3.0
2	4.40 pm	176.4	4.2



Convención Científica Internacional 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
ENSAYOS DE CARGA EN CIMENTACIONES DE GRAN DIÁMETRO. APLICACIÓN DE LA
MODELACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

Relación Carga Desplazamiento

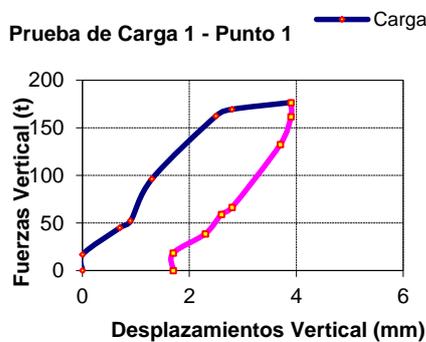


Figura 3. Curva Carga vs. desplazamiento.
 Prueba de carga 1 - Punto 1.

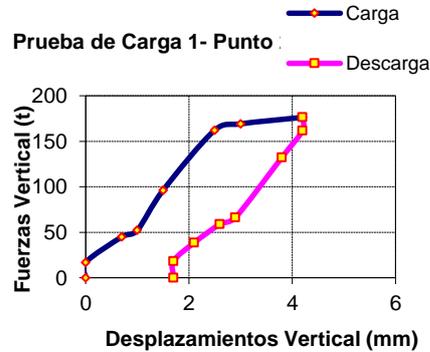


Figura 4. Curva Carga vs. desplazamiento.
 Prueba de carga 1 - Punto 2.

Para el caso de la prueba de carga 1 se detectan pequeños giros en la plataforma de la prueba de carga, lo que se debe a las condiciones geológicas del lugar. Puede comprobarse además que son pequeñas las deformaciones verticales lo que ratifica la hipótesis que los suelos del lugar están consolidados.

Prueba de Carga # 2

Tabla 3. Tabla carga vs. desplazamiento. Prueba de carga 2.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CARGA No 2 DEL PUERTO DEL MARIEL

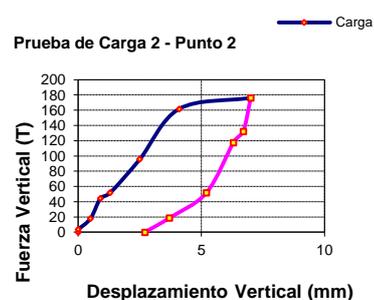
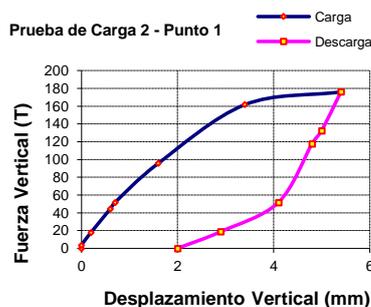
Día 5/11/03

Punto	Hora	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)
1	3.15 pm	3.6	0.0
1	3.40 pm	18.0	0.2
1	4.00 pm	44.4	0.6
1	4.05 pm	51.7	0.7
1	4.21 pm	95.7	1.6
1	4.35 pm	161.7	3.4
1	4.50 pm	176.1	5.4

Día 5/11/03

Punto	Hora	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)
2	3.15 pm	3.6	0.0
2	3.40 pm	18.0	0.5
2	4.00 pm	44.4	0.9
2	4.05 pm	51.7	1.3
2	4.21 pm	95.7	2.5
2	4.35 pm	161.7	4.1
2	4.50 pm	176.1	7.0

Relación Carga vs. Desplazamiento





Convención Científica Internacional 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
ENSAYOS DE CARGA EN CIMENTACIONES DE GRAN DIÁMETRO. APLICACIÓN DE LA
MODELACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

Figura 5. Curva Carga vs. desplazamiento. Prueba de carga 2 - Punto 1.

Figura 6. Curva Carga vs. desplazamiento. Prueba de carga 2 - Punto 2.

Para el caso de la prueba de carga 2 se detectan grandes giros en la plataforma lo que se debe a las condiciones geológicas del lugar. En dicho lugar además la losa se encuentra altamente fisurada.

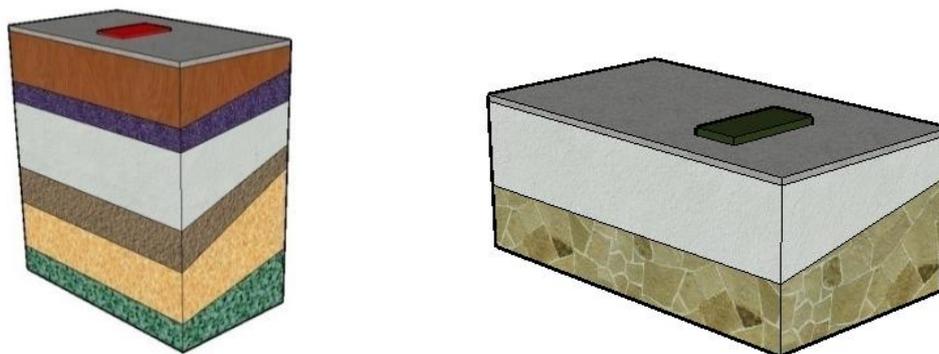
2.2 Calibración del Modelo

Para la calibración de las pruebas de carga se desarrolla un modelo, donde se considera la plataforma de la prueba de carga como una cimentación superficial con iguales dimensiones a la placa del ensayo, en la cual se determinan los asentamientos que se producen y que han de corresponderse con los de la prueba de carga. Para un mejor análisis del problema se estudia cada prueba de carga por separado.

2.2.1 Prueba de Carga 2 (Zona 2)

En esta prueba de carga las deformaciones fueron las mayores, además que el giro entre los puntos instrumentados es considerable. ($\tan \alpha = 5.26 \times 10^{-4}$). El objetivo fundamental del modelo es obtener los módulos de deformación de los suelos de la cimentación y los espesores de los estratos (y su buzamiento) que causan el giro de la plataforma de la prueba de carga. Como ya se analizó la estratigrafía del lugar es muy compleja, y muy difícil de determinar sus propiedades deformacionales. Por esta razón se propone determinar un espesor equivalente de suelo que se corresponda con el comportamiento de los estratos compresibles. Este espesor equivalente debe dar como resultado a su vez un módulo de deformación equivalente, que sea representativo de dichos suelos (Figura 7).

Como primer paso se determinan los asentamientos del cimiento superficial equivalente, asumiendo un espesor de estrato, y comparándolo con los resultados reales obtenidos en la prueba de carga.





Convención Científica Internacional 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
ENSAYOS DE CARGA EN CIMENTACIONES DE GRAN DIÁMETRO. APLICACIÓN DE LA
MODELACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

Cimiento I

Dimensiones	L/B	Z (m)	Z/B	Jz
2.0 x 0.9	2.2	0.0	0.00	0.25
		0.5	0.55	0.22
		1.0	1.11	0.18

Tabla 4. Factor de influencia Jz para el cimiento ficticio 1.

Cimiento II

Dimensiones	L/B	Z (m)	Z/B	Jz
4.7 x 0.9	2.35	0.0	0.00	0.25
		0.5	0.24	0.24
		1.0	1.11	0.23

Tabla 5. Factor de influencia Jz para el cimiento ficticio 2.

Cálculo de los asentamientos por el método de sumatorias de capas:

$$S = \frac{1}{6} \left[\frac{160 \cdot 0.5}{Eo} + 4 \cdot \frac{160 \cdot 0.46}{Eo} + \frac{160 \cdot 0.41}{Eo} \right]$$

y con un asentamiento registrado de $S = 0.005$ metros obtenemos un módulo general de deformación de $Eo = 14666$ kPa. Se definen otros espesores de estratos y se obtienen diferentes valores de módulo general de deformación. Una vez conocido dicho valor se determina con cuál de estos valores se registra un giro en la cimentación igual al de la prueba de carga.

Después de varios modelos se comprueba que para un módulo general de deformación $Eo = 18500$ kPa, los giros entre el cimiento equivalente y la prueba de carga son iguales, con espesores de 2m y 1.3m bajo los puntos característicos del cimiento.

En la figura 9 se comparan los resultados del modelo y la prueba de carga para los diferentes escalones de cargas. Estos resultados corroboran la validez del modelo utilizado.



Convención Científica Internacional 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
ENSAYOS DE CARGA EN CIMENTACIONES DE GRAN DIÁMETRO. APLICACIÓN DE LA
MODELACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

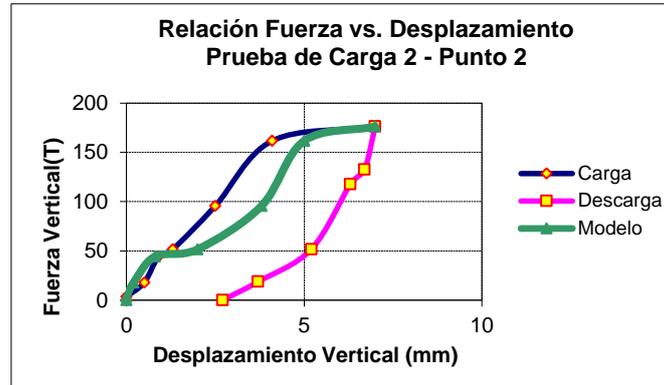


Figura 9. Comparación entre el Modelo y la Prueba de Carga.

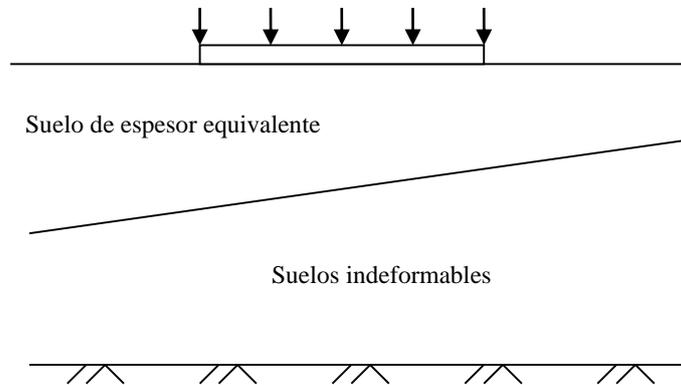


Figura 10. Perfil de suelo equivalente.

2.2.2 Prueba de Carga 1 (Zona 1)

Con los resultados del modelo anterior se realiza un análisis similar para la prueba de carga 2, comprobando que los espesores del estrato equivalente son de 1.1m y 1.0m bajo los puntos característicos del cimiento, con giro $\text{Tan}\alpha = 8 \times 10^{-5}$ similares a los de la prueba de carga.

2.3 Modelación de las estructuras propuestas.

Una vez definido los espesores equivalentes de los estratos y el valor del módulo general de deformación se determinan los asentamientos que se generaran en la base de los tanques a colocar en el lugar.



Convención Científica Internacional 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
ENSAYOS DE CARGA EN CIMENTACIONES DE GRAN DIÁMETRO. APLICACIÓN DE LA
MODELACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

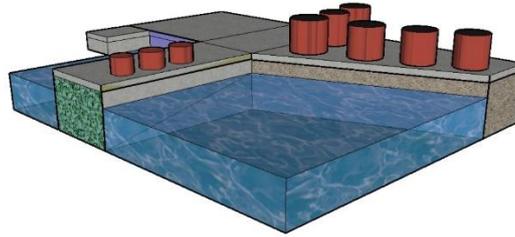


Figura 12. Esquema de la posición de los tanques

Zona # 1.

Diámetro del tanque = 6.57 metros

Capacidad de almacenamiento = 332 Ton.

Tabla 11. Cálculo de los asentamientos para la zona 1
(Tanque de preparación de lodo).

Espesor de suelo (m)	Eo (kPa)	Asentamiento (m)	Giro (tan α)
1.1	18500	0.770	0.79×10^{-4}
1.0		0.728	

Para el caso de los tanques en la zona # 1 se registra un giro de $\tan \alpha = 0.79 \times 10^{-4}$ (con asentamientos de 0.770cm y 0.728cm en los puntos característicos de la cimentación), valores que están en el rango permisible, por lo que no han de afrontarse dificultades con los tanques en esta zona.

Zona # 2.

Diámetro del tanque = 6.57 metros

Capacidad de almacenamiento = 332 Ton.

Tabla 12. Cálculo de los asentamientos para la zona 2
(Tanques de almacenamiento de lodo).

Espesor de suelo (m)	Eo (kPa)	Asentamiento (m)	Giro (tan α)
2.0	18500	1.025	3.65×10^{-4}
1.3		0.830	

Para el caso de la zona # 2, el tanque No 1, que se corresponde con el lugar donde se realizó la prueba de carga # 2, no debe colocarse en dicho lugar, debido a los grandes giros registrados en la prueba de carga, el grado de deterioro de la losa y los asentamientos de dicho lugar.

El resto de los tanques en dicha zona registran un giro de $\tan \alpha = 3.65 \times 10^{-4}$ (con asentamientos de 1.025cm y 0.830cm en los puntos característicos de la cimentación). No obstante, entre tanques se propone una separación de 1 metro, lo que puede provocar un



Convención Científica Internacional 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
ENSAYOS DE CARGA EN CIMENTACIONES DE GRAN DIÁMETRO. APLICACIÓN DE LA
MODELACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

giro $\tan \alpha = 3.65 \times 10^{-4}$ entre los elementos conectores de dichos tanques, que pueden generar el fallo de dichas conexiones.

3. Conclusiones y recomendaciones.

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

Zona # 1

1. Los asentamientos en esta zona son inferiores a 1 cm, no presentándose problemas de capacidad de carga,
2. Los giros de las estructuras en esta zona son menores a los permisible, debiéndose presentar atención a la conexión con los tanques de la zona 2.

Zona # 2

1. Por los giros detectados en la zona de la prueba de carga 2, no debe colocarse los tanques de almacenamiento de lodo, por el alto grado de deterioro del lugar y los giros registrados en el mismo,
2. Para el resto de la zona los giros que se pueden generar en los tanques son menores al permisible, sin embargo, entre 2 tanques contiguos separados a 1 metro, el giro es del orden de $\tan \alpha = 2 \times 10^{-5}$ similar al valor permisible en edificaciones, por lo que hay que prestar atención a los elementos de conexión entre estos tanques.

Bibliografía.

1. Bowels, J.E. (1982): Foundation Desing and Analysis. McGraw-Hill, New York.
2. Das, Braja M. (1999): Principios de ingeniería de Cimentaciones. Braja M. Das. Editorial Thomson. México. 4ta edición. 855 pág.
3. Delgado M. (1999): Ingeniería de Cimentaciones. Fundamentos e introducción al análisis geotécnico. Manuel Delgado Vargas. Editorial Alfaomega. Colombia 1999. 500 pág.
4. Galabru, P. Cimentaciones y Túneles. Paul Galabru. Editorial Reverté. Segunda Edición. 1974. 411 pág.
5. GeoSlope (1995): SIGMA/W. For finite element analysis. User's guide. Geoslope International Ltd. Calgary, Alberta, Canadá.
6. Cimentaciones Superficiales. Propuesta de Norma. Quevedo, G. Propuesta de norma de cimentaciones superficiales. Cuba. 2003.
7. Jiménez S., J. A. (1986): Geotecnia y Cimientos. Editorial Rueda. Madrid. Tomos II y III.
8. Juárez B., E.; Rico R., A. (1969): Mecánica de suelo. Edición Revolucionaria, La Habana. 1969. Tomo I y II.
9. Medina T, F. (1996): Cargas para edificaciones y obras de Ingeniería. Tomo I y II. La Habana. 1996.
10. Sowers, G y Sowers F. (1977): Introducción a la mecánica de suelo y cimentaciones. La Habana. Editorial Pueblo y Educación, 677 p.