

Capacidad de carga de las anclas de plataformas petroleras.

J. García de la Figal Costales*, E. Gonsalves, C. A. Nunes **.**

*Departamento de Mecánica Aplicada.

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

Calle 114 esq. 127, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba.

Teléfono: (537) 260 2667 Fax: (537) 267 1208

E-mail: jgarcia@mecanica.ispjae.edu.cu.

**Centro de Estructuras Navales y Oceánicas.

Universidade de São Paulo Ave. Prof. Mello Moraes,

2231, 05508-900. S. P., Brasil.

Tel: (5511) 818-5505/5189 Fax: (5511) 3818-4811

(Recibido el 10 de noviembre del 2000, aceptado el 20 de marzo del 2001)

Resumen

Se determina la capacidad de carga de las anclas de sollicitación vertical, empleadas en la fijación de las plataformas perforadoras de petróleo de aguas profundas. Para ello, se desarrollan varios modelos del proceso de retención del ancla en el fango del fondo marino por medio del método de los Elementos Finitos. Se analizan con ellos, la influencia de varios parámetros en la capacidad de carga.

Palabras claves: ancla, petróleo, elementos finitos, plataformas petroleras.

1. Introducción.

La capacidad de carga de las anclas retenidas en el fondo marino es un tema de mucha actualidad. Las plataformas petroleras y muchas otras obras oceánicas emplean anclas en su trabajo diario. Las anclas quedan retenidas en el fango del fondo marino, a veces a muy grandes profundidades, de 1000 m y más, y deben ser capaces de soportar grandes cargas de retención. En su diseño es importante conocer la influencia de varios factores en la capacidad de retención pero una valoración exacta es en extremo difícil por la gran cantidad y complejidad de ellos.

Algunos estudios han sido hechos [2, 3, 4, 5, 6, 7], pero quedan aún muchos aspectos por tratar. En este trabajo se aborda el análisis de algunas de las principales variables, en la capacidad de carga. El trabajo fue realizado desarrollando modelos del sistema ancla-fango, por medio del método de los Elementos Finitos, teniendo presente las características de los fangos investigados por la firma brasileña Petrobras [2].

2. Parámetros a considerar.

Las variables a considerar en este estudio, serán las siguientes:

- Ángulo de inclinación del ancla, β .
- Ángulo de inclinación de la fuerza de retención, α .
- Características mecánicas del fango. Se trata del diagrama τ vs. γ .
- Penetración del ancla en el fango, h .
- Rigidez transversal del ancla, K .

El ángulo de inclinación del ancla dentro del fango β , (Fig. 1), puede ser muy variable, aunque en su posición de trabajo queda casi horizontal. Por ello, no se consideró las variaciones de las propiedades del fango, en dependencia de las profundidades del ancla.

El ángulo de inclinación de la fuerza de retención debiera ser cero, teóricamente, pero por los agarres de los cabos del ancla, surge una pequeña componente horizontal que inclina la fuerza respecto a la normal (Fig. 1). En el trabajo fueron consideradas las siguientes variaciones: $\alpha_1=0^\circ$, $\alpha_2=4^\circ$, $\alpha_3=8^\circ$.

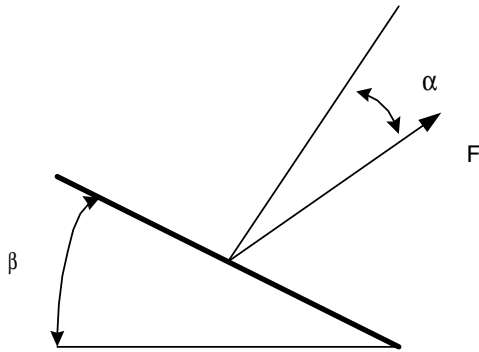


Figura 1. Esquema de ancla cargada.

La penetración del ancla dentro del fango, h , es variable, y según [2], deben estar entre 20 y 30 m, que será el rango de esta variable a considerar.

La rigidez transversal a flexión del ancla K , fue calculada para diferentes tipos de anclas empleadas en aguas profundas, considerando para este estudio 3 magnitudes de rigidez:

$$\begin{aligned} K_1 &= 6282 \text{ kN/m.} \\ K_2 &= 75562 \text{ kN/m.} \\ K_3 &= 140\,000 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

Las características de los fangos se determinaron experimentalmente obteniéndose curvas como la mostrada en la Fig. 3, (a partir del modelo mostrado en la Fig. 2.) Se empleó el modelo de curva propuesto en [2, 3]: $\tau_R = 5 + B(h)$.

En el trabajo fueron empleados los siguientes valores de las variables, que cubren los tipos de fangos existentes: $B=2$, $B=20$, $h=20$ m, $h=30$ m, con los cuales se obtuvieron 4 modelos de fangos, con sus 4 curvas τ_R vs. γ , correspondientes a 2 tipos de fangos, a 2 profundidades cada uno. Se obtienen así, los siguientes límites de rotura tangencial para los 4 modelos a emplear:

$$\tau_R = 45 \text{ (} B=2, h=20 \text{ m), } 65 \text{ (} B=2, h=30 \text{ m), } 450 \text{ (} B=20, h=20 \text{ m), } 650 \text{ (} B=20, h=30 \text{ m) kPa.}$$

Se tienen así definidas las 4 variables independientes de la investigación, α , K , h y τ_R , que constituyen los principales factores que inciden en la capacidad de retención de las anclas. La variable dependiente será, por tanto, la fuerza de retención F .

3. Desarrollo de los modelos.

Los modelos para representar la fuerza de retención de las anclas, en el fondo marino, fueron desarrollados empleando el método de los Elementos Finitos, y con el empleo de un programa profesional. Fueron hechos un

total de 36 modelos para este estudio, la mitad de ellos para profundidades de 20 m y el resto, para 30 m. En los primeros se emplearon 768 elementos con 813 nodos; y los otros, 976 elementos con 1053 nodos.

Se emplearon 3 tipos de elementos finitos:

- Elementos de interface, o de contacto. De 3 nodos y formulación de grandes desplazamientos y fricción de Coulomb.
- Sólido de 4 nodos, para el fango. Comportamiento plástico y grandes desplazamientos.
- Sólidos de 4 nodos para el ancla, con formulación de grandes desplazamientos.

Los 36 modelos creados, fueron ejecutados y evaluados, incrementando la fuerza aplicada al ancla, hasta que se produjera la rotura a cortante del fango. Esta fuerza es la de retención del ancla, F .

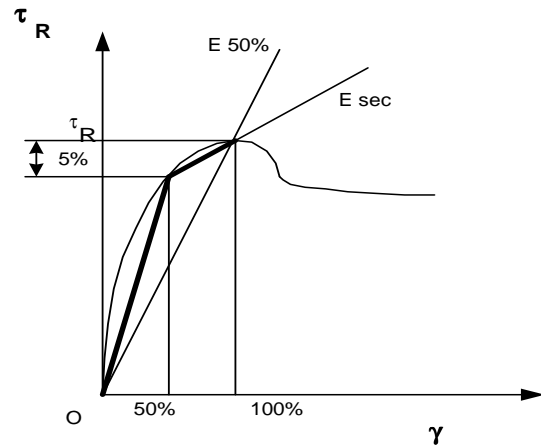


Figura 2. Esquema para la determinación de la curva τ vs. γ del fango.

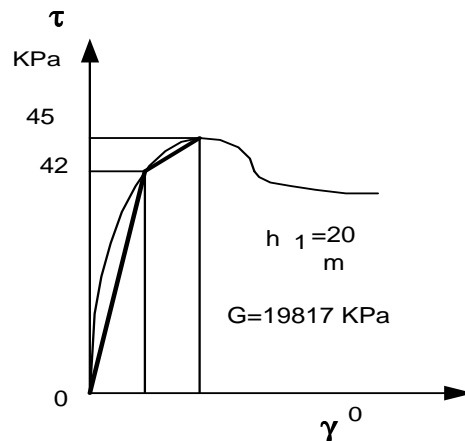


Figura 3. Gráfico de cortante del primer tipo de fango estudiado.

4. Presentación de los resultados.

En la Tabla 1, se presentan los resultados de las corridas realizadas con los programas, donde la fuerza

de retención se da por unidad de área superficial del ancla, o sea, F/A .

De los resultados así obtenidos, es posible también determinar las funciones de dependencia de la relación F/A , respecto a las restantes variables.

Tabla 1. Fuerzas de retención calculadas según unidad de área superficial del ancla (F/A).

		K_1	K_2	K_3	K_1	K_2	K_3	
$\tau_R=45\text{kPa}$ $h_1=20\text{ m}$	α_1	207.2	174.6	174	302	302	300	$\tau_R=65$ $h=30$
	α_2	187.5	175	170	297	300	295	
	α_3	172	169	169	187	296	293	
$\tau_R=450\text{kPa}$ $h_1=20\text{ m}$	α_1	1477	1321	1307	2430	2236	2192	$\tau_R=650$ $h_2=30$
	α_2	1337	1306	1300	2395	2196	2206	
	α_3	1219	1290	1281	1683	1932	1927	

Tabla 2. Coeficiente N_c calculados.

		K_1	K_2	K_3	K_1	K_2	K_3	
$\tau_R=45\text{kPa}$ $h_1=20\text{ m}$	α_1	9.67	8.15	8.12	9.76	9.69	9.69	$\tau_R=65$ $h_2=30$
	α_2	8.75	8.16	7.90	9.60	9.70	9.53	
	α_3	8.02	7.9	7.88	6.04	9.56	9.46	
$\tau_R=450\text{kPa}$ $h_1=20\text{m}$	α_1	4.13	3.7	3.66	4.72	4.34	4.26	$\tau_R=650$ $h_2=30$
	α_2	3.74	3.65	3.69	4.65	4.27	4.29	
	α_3	3.41	3.61	3.58	3.27	3.75	1.92	

Así con los datos de la Tabla 1, se obtienen por regresión múltiple, las siguientes relaciones:

$$F/A = -387.24 - 0.001 K + 3.241 \tau_R + 15.995 H \quad (1)$$

Con un $R^2 = 0.993$

$$F/A = -40.348 + 0.0008 K + 2.738 \tau_R + 1.80 h \quad (2)$$

Con $R^2 = 0.995$

Otro parámetro de interés, es el coeficiente N_c , empleado comúnmente [5] para el cálculo de la fuerza de retención de las anclas, por medio de:

$$F = N_c * \tau_R * A \quad (3)$$

En la literatura [5], se recomienda valores de $N_c = 9 - 11$ para los fangos encontrados en la superficie terrestre. Por los resultados de la Tabla 1, pueden ahora determinarse nuevos valores de este coeficiente, específicos para los fangos muy especiales, existentes en los fondos marinos.

En efecto, empleando los valores de F/A de la Tabla 1 (o sea las ecuaciones (1) y (2)), y haciendo uso de la fórmula (3), modificada según:

$$N_c = \frac{F/A}{2.1 * \tau_R} \quad (4)$$

Donde 2.1 es un coeficiente de seguridad recomendado por organismos de la rama petrolera [2, 6], es posible obtener N_c en función de las variables establecidas. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

5. Análisis de los resultados.

De la Tabla 1 puede verse la poca influencia que ejerce en la fuerza F , la rigidez transversal del ancla K , cuando su profundidad es de 20 m. Pero esa influencia se incrementa a medida que aumenta la profundidad. Ya a 30 m, la fuerza F tiene mayores incrementos al aumentar la rigidez transversal del ancla, con un máximo para $K = 100\,000\text{ kN/m}$.

En Tabla 1, así como en todo el estudio realizado, se observa un comportamiento semejante para otras inclinaciones. Sólo para valores de $h_2 = 30\text{ m}$ y $\tau_R = 650\text{ kPa}$ hay una apreciable disminución de la fuerza, con el aumento de α . Pero estos valores de las variables son elevados, y son más bien valores extremos.

En la Tabla 1 puede verse también la influencia que tiene en la fuerza la tensión de rotura del fango τ_R . Un incremento de 10 veces provoca un aumento de F de algo menos que esa magnitud. Este es entonces, uno de los parámetros más importantes en la fuerza de retención.

Como era de esperar, la profundidad h a la cual se encuentra el ancla dentro del fango, influye de forma importante en F. Para valores de K medios (K_2), se obtienen los mayores incrementos de F, al aumentar la profundidad. Para los mayores valores de K ($=100\,000$ kN/m), junto con: $\alpha_3 = 8^\circ$, $\tau_R = 45$ kPa, y $h_1 = 20$ m., se tiene que al incrementar la profundidad en un 50 % (hasta los 30 m), el aumento de F es del 82 %.

Los valores de N_c dados en la Tabla 2, son más precisos que los dados en la literatura (los valores de 9 a 11), para las características de los fangos de los fondos marinos profundos. Puede verse como coinciden aproximadamente, con los valores de la literatura (9–11) para valores de $\tau_R = 45 - 65$ kPa. Pero va disminuyendo al aumentar el límite de rotura del fango, característico de fangos muy endurecidos por grandes volúmenes de agua comprimiéndolos.

6. Conclusiones.

1. El ángulo α tiene muy poca incidencia en la fuerza de retención F para los valores comunes de h y τ_R . Sólo para valores muy elevados de τ_R , y con $h_1 = 20$ m, hay influencia del ángulo sobre F.
2. La rigidez transversal K del ancla tampoco tiene significativa incidencia en F para profundidades de 20 m, pero hay un aumento de esa incidencia, al aumentar la profundidad h.
3. El límite de resistencia del fango τ_R es uno de los factores que más inciden en F. Un incremento de aquél, provoca un aumento de la fuerza en una

proporción sólo un poco inferior; lo cual ocurre para todas las profundidades analizadas.

4. El factor más importante en el aumento de la fuerza F es la profundidad de enterramiento del ancla, en el fango, h. Con aumentos del 50 % de esta, pueden lograrse incrementos de hasta 80 % en la fuerza.
5. Los resultados obtenidos muestran como las cargas de retención, a profundidades en el fango, de 20 – 30 m, están entre el 86 y el 150 % de las capacidades dadas por la NGI [6].
6. Los valores del coeficiente N_c , de la Tabla 2, son más precisos y específicos, para los tipos de fango analizados. Esos valores de N_c , brindan la fuerza de retención, pero considerando ya el coeficiente de seguridad de 2.1, recomendado por [6].

7. Bibliografía.

- 1) Bathe, K. I. Finite Element Procedure. Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- 2) M. Da Acosta, et al. Determinación de la Capacidad de Carga de Placa de Reacción. Comunicación Técnica 060/97.
- 3) DIPREX 023/97 Correlación entre el Módulo de Elasticidad no Drenado, obtenido por Métodos no Dinámicos, y la Resistencia a Cizallamiento, para los Campos de Marlin y Albacora, 1997.
- 4) García de la Figal, J. Influencia de varios modelos de materiales plásticos, que simulan el fango. Conferencia USP, Brasil, 1999.
- 5) Hachich, W. Fundaciones. Teoría y Práctica. Ed. Pini, Ltda., 1998.
- 6) NGI. Petrobras-Marlin Field Suction Pile. Design-P19 Location. NGI 965010. Agosto, 1996.
- 7) Neubecker, S. R. The Static Equilibrium of Drags Anchors in Sand. Univ. Western Australia. South Perth, 1995

Load capacity of oil platforms anchors.

Abstract

The load capacity of anchors for vertical fixation used as petroleum perforators platforms on deep waters are determined. Several models of retention process of the anchor are developed by means of Finite Elements Method and the influence of several parameters in the load capacity are analyzed.

Key words: anchors, petroleum, Finite Elements Method (FEM).