



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen I

Memoria – Anexos- Pliego de Condiciones

TRABAJO DE FINAL DE GRADO



"CÁLCULO DE UN FONDEO ECOLÓGICO Y DISPOSITIVO DE ENSAYO PARA EL SISTEMA"

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGIENIERÍA MECÁNICA

Por **Joan Ramos Valls**

Barcelona, 14 de Octubre de 2015

Tutor proyecto: David Sánchez Molina
Departamento de Resistencia de materiales i elasticidad en la
ingeniería (DRMEE)
Universidad Politècnica de Catalunya (UPC)

Índice volumen I

	Página
Memoria.....	3
Anexos.....	54
Pliego de condiciones.....	107



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memoria

"CÁLCULO DE UN FONDEO ECOLÓGICO Y DISPOSITIVO DE ENSAYO PARA EL SISTEMA"

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA MECÁNICA
por **Joan Ramos Valls**

Barcelona, 14 de Octubre de 2015

Director: David Sánchez Molina
Departamento de Resistencia de materiales i elasticidad en la
ingeniería (DRMEE)
Universidad Politècnica de Catalunya (UPC)

Índice memoria

	página
1. Resumen.....	5
2. Antecedentes en fondeo.....	6
3. Exposición de la patente, objetivos y alcance.....	8
4. Metodología de cálculo.....	11
5. Datos sobre suelos granulares.....	12
5.1 Geotecnia: tipos de suelo granular Arena - Limo - Arcilla.....	12
5.2 Obtención de datos de una arena Standard Mediterránea.....	13
6. Geometría del instrumento de fondeo.....	14
7. Cálculos.....	15
7.1 Principio de cálculo.....	15
7.2 Cálculos previos al de la extracción vertical.....	16
7.3 Descripción del cálculo de la fuerza de extracción vertical	20
7.3.1 Cálculo del diferencial de área del cono.....	22
7.3.2 Cálculo de la fuerza de extracción vertical.....	23
7.4 Cálculo de extracciones en ángulo en arena estándar.....	27
7.4.1 Consideraciones de cálculo.....	27
7.4.2 Cálculo de las tensiones en función de la fuerza horizontal.	29
7.4.3. Cálculo de la fuerza vertical provocada por la componente horizontal de la fuerza de extracción.....	31
7.4.4 Cálculo de la fuerza de extracción en ángulo para arena estándar	33
7.5 Conclusiones de los cálculos.....	34
8. Diseño del anclaje.....	36
9. Diseño de la estructura de extracción.....	40
10. Ensayo de extracción.....	45
11. Conclusiones y observaciones.....	48
12. Bibliografía y referencias.....	49

1. Resumen

En el siguiente proyecto se estudia el rendimiento de un dispositivo naval de fondeo de embarcaciones ligeras, boyas, instrumentación para recogida de datos científicos y otras estructuras que descansan en el fondo marino.

La principal característica de éste anclaje es que va sumido o enterrado en el fondo arenoso, bajo las aguas. Aprovechando así las fuerzas de rozamiento del propio suelo granular para dotar a éste sistema de un buen poder de amarre sin recurrir a otros tipos de fondeo que resultan perjudiciales para varias especies de plantas marinas.

En los primeros apartados de la presente memoria se revisarán los distintos tipos de fondeo existentes hasta el momento. Se describe el dispositivo y se detallan las características y ventajas frente a otros tipos de fondeo tradicionales.

Los apartados de cálculo detallan los valores mínimos de extracción del anclaje para varios tipos de terreno. Éstos valores serán la referencia a la hora de preparar los ensayos pertinentes para constatar el rendimiento del anclaje, descritos en los últimos apartados.

Resum

En el següent projecte s'estudia el rendiment d'un dispositiu naval de fondeig d'embarcacions lleugeres, boies, instrumentació per a recollida de dades científiques i altres estructures que descansen en el fons marí.

La principal característica d'aquest ancoratge és que va sumit o enterrat en el fons sorrenc, sota les aigües. Aprofitant així les forces de fregament del propi sòl granular per dotar a aquest sistema d'un bon poder d'amarratge sense recórrer a altres tipus de fondeig que resulten perjudicials per a diverses espècies de plantes marines.

En els primers apartats de la present memòria es revisaran els diferents tipus de fondeig existents fins al moment. Es descriu el dispositiu i es detallen les característiques i avantatges enfront d'altres tipus de fondeig tradicionals.

Els apartats de càlcul detallen els valors mínims d'extracció de l'ancoratge per a diversos tipus de terreny. Aquests valors seran la referència a l'hora de preparar els

assajos pertinents per constatar el rendiment de l'ancoratge, descrits en els últims apartats.

Abstract

This project is about the study and performance of a naval anchor device which is designed especially for light vessels, buoys, scientific instruments for data collection and other structures that rest on the seabed.

The main feature of this technology is that it will anchor plunged or buried in the sandy ground, under water. Taking advantage of the friction forces of granular soil itself to give this system a good clamping power without resorting to other kinds of mooring that are harmful to many species of marine plants.

In the first sections of this project the different kind of existing mooring systems used in the past and present are revised. The device is described and the features and benefits are listed against other traditional mooring systems.

The calculation section details the minimum values of the anchor removal for some kinds of terrain. These values will be the reference to prepare the extraction tests to verify the performance of the anchor, described in the last sections.

2. Antecedentes en fondeo

En náutica, se entiende por fondeo la acción de amarrar una embarcación o cualquier tipo de cuerpo flotante al fondo marino, mediante un cabo o cadena, ya sea utilizando un muerto o un ancla. El objetivo es asegurar el posicionado de la embarcación o cuerpo flotante en la superficie de las aguas. Un fondeo con muerto y boya es un dispositivo de fondeo permanente que permite fondear una embarcación de forma segura.

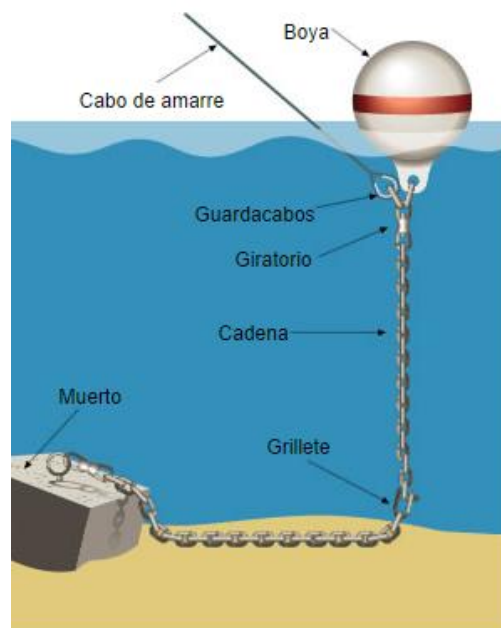


Ilustración 1: fondeo con boya y muerto

Por extensión y guardando las debidas distancias, es también de aplicación al asegurado de cuerpos pesados sumergidos en las aguas, tal como pueden ser los pies de las plantas petrolíferas, las piscifactorías marinas u otras estructuras e instalaciones asentadas en el fondo marino.

Tradicionalmente el fondeado de embarcaciones se ha llevado a cabo desde la utilización de cuerpos de elevado peso unidos a la embarcación mediante cabos o cadenas, hasta las anclas de cepo, como las de tipo Almirantazgo cuyo diseño no se vio modificado hasta finales del siglo XIX y que substituyeron los antiguos cuerpos pesados. a partir de entonces se desarrollaron diversos modelos de anclas sin cepo, como las de Hall, Byers, Westney - Smith, etc. Con las cuales se obtiene una tracción de agarre de seis veces su peso.

Para ser utilizadas en embarcaciones ligeras, se han desarrollado anclas livianas de gran poder de amarre y que además son fáciles de estibar. Son conocidas en la práctica náutica bajo la denominación "hhp"(high holding power, gran poder de amarre). Destacando entre ellas las clásicas Danforth, C. Q R., Bruce, Rezón, etc.

La clave de éste tipo de anclas reside en que se suelen acoplar a cadenas cuyo peso hace que se forme una catenaria. Este hecho hace que la parte de la cadena en contacto con el ancla quede paralela al suelo y los esfuerzos que se transmiten por ésta sean solo horizontales. Este tipo de anclas quedan semi-enterradas con parte de

la cadena y los tirones que pueda hacer la embarcación hacen que quede más clavada en el terreno hasta que el suelo rompe. Entonces ocurre lo que se llama garreo, donde el ancla intenta volver a clavarse. También ocurre éste fenómeno cuando, aunque el ancla está bien clavada, ésta va rompiendo el suelo según va avanzando. Cualquier tipo de garreo es un inconveniente en cuanto al rendimiento del ancla, sea cual sea su diseño.

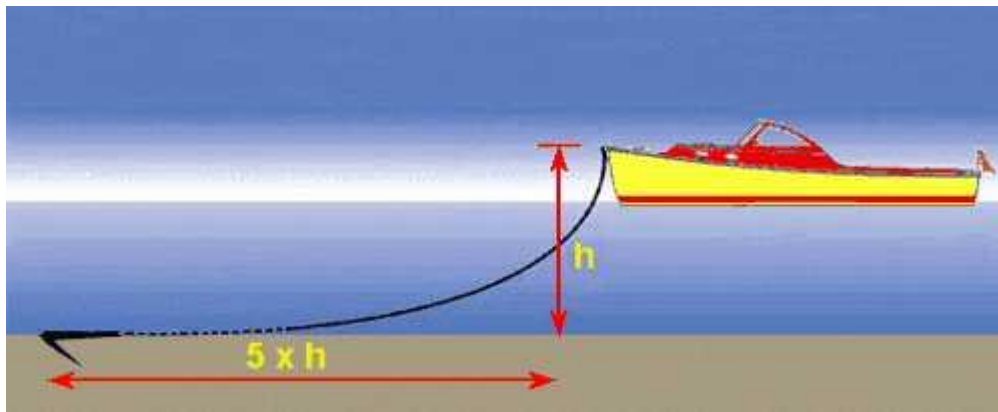


Ilustración 2: funcionamiento correcto de un ancla. Fuente: www.fondear.com

Ninguna de éstas anclas, dada su constitución estructural, constituye un ancla universal, es decir, la que presenta la máxima eficiencia en cualquier tenedero resulta una muy pesada y difícil de estibar, otras tienen buen rendimiento de agarre en fondo duro, de arcilla o arena, pero de rendimiento inferior en fondos de limo y barro.

Además de lo dicho es importante tener en cuenta de que no hay ningún tipo de ancla que tenga un buen funcionamiento en suelos cubiertos con mantos de algas. En éstos casos es más importante el peso que la forma y diseño. En éstos casos se suelen usar anclas del tipo Delta o Yachtsman debido a que están dotadas de largas uñas que pueden penetrar entre la vegetación.

3. Exposición de la patente, objetivos y alcance

La solución que se ofrece en la patente es la de eludir los inconvenientes de los cuerpos pesados y las anclas y que en la actualidad suelen ser utilizados en la mayor parte de embarcaciones de recreo, la limpieza de playas, el socorro de náufragos,

deportivas, profesionales para la pesca y otras de tonelaje no muy importante. Dicha solución consiste en fondear el cuerpo flotante mediante un sistema de sumido.

El dispositivo se define como un sistema de fondeo de bajo impacto diseñado para ser instalado en fondos de arena con presencia de posidonia (*Posidonia oceanica*) y otras fanerógamas marinas (*Cymodoceanodosa*, *Zostera marina*) con el objetivo de proteger, conservar y recuperar las praderías de éstas especies y la biodiversidad que se forma en esos hábitats.

La instalación de este tipo de fondeo de bajo impacto en zonas donde hay presencia de éstas fanerógamas marinas evita el anclaje o el fondeo mediante un muerto de hormigón y, por tanto, la destrucción de éstas plantas.

También se contempla la utilización de éste dispositivo a la hora de fondear campos de boyas en lugar de hacerlo mediante otros tipos de fondeo como con hormigón. Así como el fondeo de instrumentación científica tanto parcial como totalmente sumergida en la superficie marítima. En la solicitud de patente se describe la geometría:

"El dispositivo en sí comprende un vástago aislado, rígido y pesado que, por un extremo superior considerado en su posición de uso, está dotado de unos medios de acoplamiento articulado al extremo inferior de una atadura flexible que se extiende hasta el cuerpo flotante a asegurar, y de unos medios de accionamiento del propio vástago en el sentido de giro axial sobre sí mismo, el cual vástago, por su otro extremo opuesto al de acoplamiento articulado al extremo inferior de la atadura flexible, está dotado solidariamente al mismo de unos medios de anclaje por sumido, en forma de aletas en voladizo de configuración en hélice discoidal, las cuales, al ser desplazadas giratoriamente con el vástago por los citados medios de accionamiento del mismo y entrar en contacto con el fondo de las aguas, determinan el ahondamiento del conjunto del vástago al introducirse giratoriamente por su extremo libre en dicho fondo de las aguas."

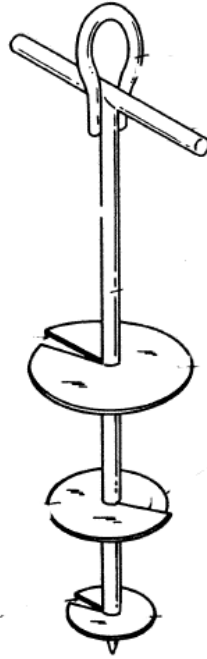


Ilustración3: anclaje de la patente

En las siguientes páginas se calculará la fuerza necesaria para la extracción de un dispositivo naval de fondeo submarino de embarcaciones. Éste dispositivo está patentado y probado pero se desconocen los parámetros de fuerza antes de que el suelo rompa. Por tanto uno de los objetivos del presente trabajo es poder dar un valor orientativo de la capacidad de amarre del aparato.

Dado que el rendimiento del anclaje dependerá del material del suelo, se estudiarán varios casos. Empezando por la arena como caso estándar, se comparará luego con otros suelos granulares, tanto cohesivos como no cohesivos tales como limos o arcillas. Para cada tipo de suelo se comprobará qué efecto tiene la compactación del mismo en el rendimiento del anclaje, así como la influencia de la cohesión en los suelos con dicha característica.

También se propondrá el diseño del anclaje y de un sistema de extracción para poder realizar ensayos de extracción y verificar en el terreno los resultados teóricos. Así como la información técnica y general de cómo llevar a cabo una instalación de éste tipo de fondeo.

El alcance del proyecto es calcular el valor de la fuerza que es capaz de soportar éste sistema de fondeo. Se estudia el comportamiento del anclaje frente a una fuerza totalmente vertical y después para cualquier ángulo entre la vertical y el suelo. Uno de los puntos a tener en cuenta es que no se dispone de muestras reales de los suelos donde irá el anclaje. Esto significa que los datos sobre las propiedades de los distintos suelos son extractos de tablas que aparecen en varios títulos de ingeniería de suelos y geotecnia.

Cabe decir que la información que aparece en éstos títulos difieren levemente entre ellos. Lo cual indica que las propiedades de cada suelo granular dependen de su naturaleza pero también de las condiciones a las que está sometido en su posición de uso y los métodos de ensayo que se lleven a cabo.

Dicho esto, Lo que se muestra es un valor orientativo del rendimiento del anclaje en varios suelos. Por tanto habría que aclarar que los resultados que se muestran en éste proyecto son fruto del cálculo teórico, el cual supone un paso previo a la experimentación en el terreno. Además nos aportaran datos técnicos y una visión previa de la viabilidad del proyecto.

4. Metodología de cálculo

La metodología de cálculo se basa en las leyes de Mohr-Coulomb para materiales granulares. Teniendo en cuenta que la fuerza de extracción vertical es el resultado de vencer la presión hidrostática del fluido, la fuerza de rozamiento del propio material granular y el peso del conjunto arena-anclaje. teniendo en cuenta el empuje vertical que realiza el agua.

5. Datos sobre suelos granulares

5.1 Geotecnia: tipos de suelo granular Arena - Limo - Arcilla

Éste proyecto tiene como objetivo ser una alternativa eficaz y de bajo impacto medioambiental frente a otros sistemas de fondeo. Su principal característica es que el dispositivo citado va sumido bajo el suelo del fondo marítimo.

El rendimiento de nuestro anclaje dependerá directamente de las características del suelo granular donde éste se encuentre clavado. Es decir, lo que soportará los esfuerzos provocados por la tensión del cabo o cadena que soporta el cuerpo flotante será el terreno. Una vez ésta tensión supere el valor crítico, el suelo quiebra y el anclaje queda liberado.

Por lo tanto, el primer paso consiste en buscar toda la información posible sobre suelos granulares que podrían encontrarse en el fondo de las aguas. Esto nos lleva al terreno de la geotecnia donde se identifica y clasifica los tipos de terreno.

Dado que nos interesa particularmente los suelos granulares, empiezo a buscar información, encontrándome con múltiples ensayos de clasificación del terreno, la mayoría basados en la granulometría. Gran parte de éstas clasificaciones sirven para identificar un suelo mediante ensayos sobre el terreno pero yo no dispongo de muestras del suelo donde se instalará el anclaje en cuestión. De modo que opto por buscar información sobre las características mecánicas de los distintos suelos granulares: Arenas, limos y arcillas.

Ante la imposibilidad de conseguir muestras de primera mano del terreno, trato de buscar las principales propiedades mecánicas de cada tipo de suelo granular. Lo que me lleva a distintas clasificaciones para cada tipo de suelo granular, es decir que, dependiendo de otros muchos factores (sedimentación, compactación, tamaño y forma de los granos, etc.) tendremos un suelo con ciertas características mecánicas dentro del mismo tipo de suelo.

De éste modo podemos encontrarnos con tablas de valores para múltiples tipos de arena (arena uniforme floja, arena uniforme densa, arena bien graduada floja, arena bien graduada densa), Limo y arcilla (Recién sedimentada, muy blanda, blanda, media, firme, muy firme, dura, yesífera muy dura, asquistosa, glaciado de varias consistencias, etc.)

Las propiedades mecánicas que necesito para los cálculos son: ángulo de rozamiento interno del material, densidad y cohesión.

Teniendo en cuenta la enorme cantidad de tipos de material granular que se puede clasificar y las variaciones de algunos parámetros como la densidad y el ángulo de rozamiento en función de la compactación, el tamaño de las partículas y la propia naturaleza de las mismas, decido estudiar inicialmente el comportamiento de una arena lo más parecida posible a la que se encuentra en el mediterráneo. Hábitat natural de las especies de fanerógamas marinas previamente comentadas.

A partir de éste primer caso concreto, se analizarán otros tipos de suelo granular para comparar el rendimiento que obtiene el anclaje de cada uno de ellos.

5.2 Obtención de datos de una arena Standard Mediterránea

La arena del Mediterráneo, según las zonas costeras, serán de un tipo de roca distinto y salvo excepciones, son finas. Con estos datos podemos buscar en tablas la densidad de algún tipo de arena que se le asemeje. Tomaré el valor del ángulo de rozamiento y la densidad de una arena mal graduada (SP) con una compacidad media.

Otra cuestión que debe tenerse en cuenta es que solo los limos y arcillas tienen cohesión. Las arenas y gravas se consideran suelos no cohesivos. Dicho esto, se detalla las propiedades de los suelos a estudiar.

Suelo	compactación	densidad (kg/m ³)	ángulo de rozamiento interno (°)	Cohesión (kg/cm ²)
arena mal graduada	media (estándar)	1670	33	0
arena mal graduada	densa	1760	36	0
arena mal graduada	suelta	1590	29	0
arcilla baja plasticidad	media	1825	28 - 25	0,375
arcilla baja plasticidad	dura	2150	28 - 25	2
arcilla baja plasticidad	muy blanda	1500	28 - 25	0,125
Limo alta plasticidad	media	1825	25 - 22	0,375
Limo alta plasticidad	dura	2150	25 - 22	2
Limo alta plasticidad	muy blanda	1500	25 - 22	0,125
Arcilla alta plasticidad	media	1825	20 - 17	0,375
Arcilla alta plasticidad	dura	2150	20 - 17	2
Arcilla alta plasticidad	muy blanda	1500	20 - 17	0,125

Tabla 1: propiedades de los suelos a estudiar

6. Geometría del instrumento de fondeo

Una vez tenemos claro los tipos de suelo a estudiar y algunas de sus características mecánicas, me puedo centrar en el anclaje.

En un principio decido hacer los cálculos más simples considerando que mi anclaje solo tiene el disco helicoidal inferior (el más pequeño de la ilustración 3). Más tarde investigaré que efecto producen los otros dos discos superiores: mejor o peor rendimiento, solo trabajan los superiores, solo trabaja el inferior, etc.

7. Cálculos

7.1 Principio de cálculo

El principio de cálculo se basa en la ley de Mohr-Coulomb para materiales granulares, por la cual se define la Tau o esfuerzo cortante como la suma de la cohesión (en caso de haberla) más el producto de la tangente del ángulo de rozamiento interno y la tensión normal en ese punto.

$$\tau = c + \mu \cdot \sigma \quad (1)$$

$$\mu = \tan (\text{ángulo de rozamiento interno})$$

Basándome en éste principio, se puede plantear un esquema con las fuerzas y tensiones presentes al tratar de extraer verticalmente el anclaje de la arena.

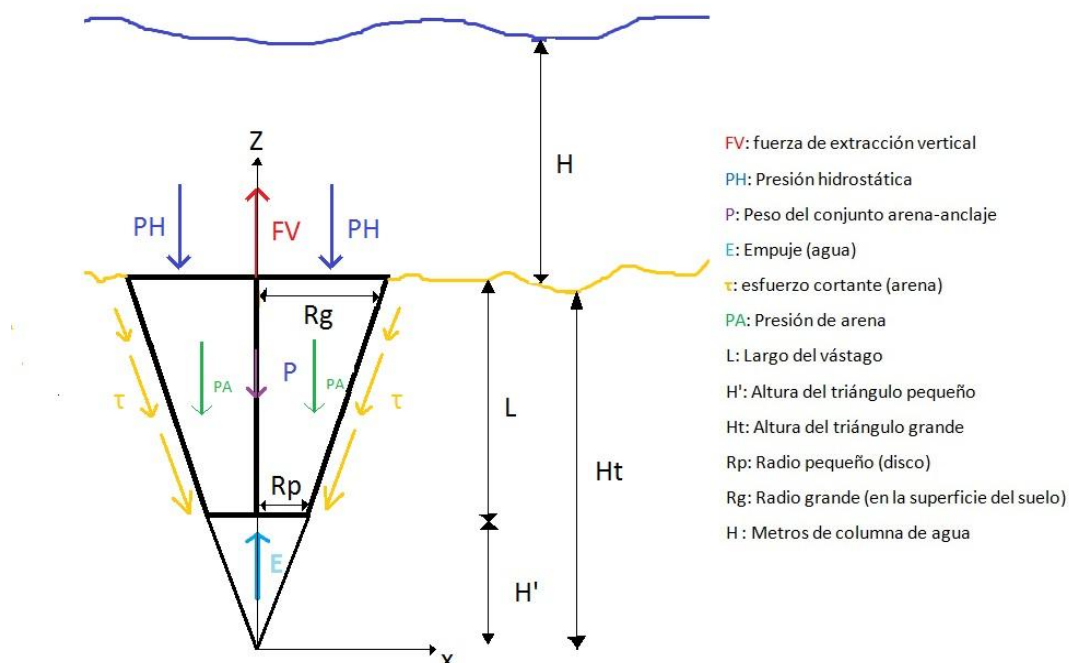


Ilustración 4: Esquema de fuerzas y tensiones en una extracción vertical

Una vez el anclaje está colocado en su posición de uso, es fácil intuir que el modo más sencillo de extraerlo es tirando de él verticalmente ('eje z' ilustración 3). Cualquier inclinación de la fuerza implica una fuerza horizontal que modifica al alza el rozamiento entre las partículas de una de las caras.

7.2 Cálculos previos al de la extracción vertical

De modo que si atamos un cabo al extremo libre del vástago y tiramos de él verticalmente con la intención de extraerlo, llegaría un momento en que la fuerza vertical FV sería capaz de vencer al rozamiento entre las propias partículas del suelo. Para conseguir extraerlo, es también necesario levantar el peso del conjunto anclaje-arena, al cual se le debe restar el efecto de la fuerza de empuje provocada por el agua. Cuando la fuerza vertical supera la fuerza de rozamiento, el terreno rompe y lo que se extrae es un tronco-cono cuyo ángulo entre la vertical y su generatriz coincide con el ángulo de rozamiento interno del material granular (Ilustración 5).

Teniendo como datos conocidos el largo del vástago o profundidad de arena ('L' ilustración 4), el radio del disco helicoidal ('Rp' ilustración 4) y el ángulo de rozamiento interno del material (tabla 1); podemos definir mediante fórmulas el resto de la geometría así como el volumen y el peso del conjunto anclaje arena.

Por trigonometría se obtiene fácilmente la geometría del tronco-cono:

$$H' = \frac{Rp}{\tan(\text{ang roz interno})} \quad (2)$$

$$Ht = H' + L \quad (3)$$

$$Rg = Ht \cdot \tan(\text{ang roz interno}) \quad (4)$$

Por lo tanto para una arena estándar con ángulo de rozamiento $\varphi=33^\circ$, densidad $1670 \frac{kg}{m^3}$ y un anclaje con un radio de disco helicoidal('Rp' ilustración 5) de 20 cm y un largo del vástago de 1,5 m obtenemos:

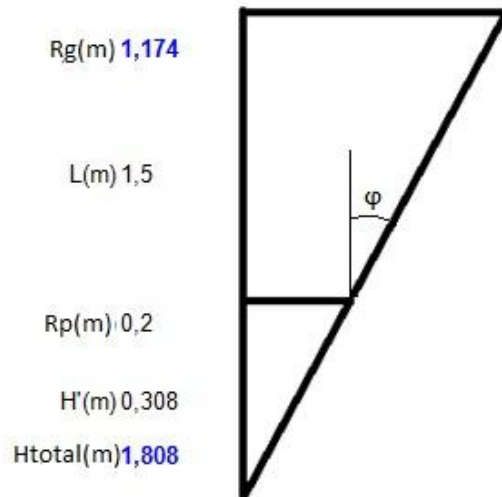


Ilustración 5: geometría del tronco-cono para una arena estándar

También es necesario calcular el volumen del anclaje para luego poder obtener mediante la densidad el peso del conjunto anclaje-arena. Para calcular el volumen del anclaje sumamos el volumen del disco al del vástago. Con un vástago de 1,5 metros de largo y 40 mm de diámetro y un disco de 20 cm de radio y 5 mm de grosor se obtiene:

$$V_{\text{vástago}} = \pi \cdot (\text{radio vástago})^2 \cdot L \quad (5)$$

$$V_{\text{vástago}} = \pi \cdot (0.02)^2 \cdot 1.5 = 1.9 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$V_{\text{disco}} = \pi \cdot (\text{radio disco})^2 \cdot e \quad (6)$$

$$V_{\text{disco}} = \pi \cdot (0.2)^2 \cdot 0.005 = 6.3 \cdot 10^{-4} m^3$$

$$V_{anclaje} = V_{vástago} + V_{disco} = 1.9 \cdot 10^{-3} + 6.3 \cdot 10^{-4} = 2.5 \cdot 10^{-3} m^3 \quad (7)$$

$$V = \frac{L \cdot \pi}{3} (Rp^2 + Rg^2 + Rp \cdot Rg) \quad (8)$$

$$V = \frac{1.5 \cdot \pi}{3} \cdot (0.2^2 \cdot 1.17^2 + 0.2 \cdot 1.17) = 2.6 m^3$$

Hay que tener en cuenta que éste volumen de arena no tiene en cuenta el espacio que ocupa el anclaje, por lo tanto, para saber el volumen real de arena hay que restarle al tronco-cono el volumen del anclaje. Ésta consideración sólo la tengo en cuenta a la hora de calcular el peso de la arena y la del anclaje por separado a través de la densidad y el volumen de cada uno.

Para el resto de cálculos, el volumen del tronco-cono será el definido para V.

$$V_{arena} = V - V_{anclaje} = 2.6 - 2.5 \cdot 10^{-3} = 2.59 m^3 \quad (9)$$

$$masa\ arena = \rho_{arena} \cdot V_{arena} = 1670 \cdot 2.59 = 4325\ kg \quad (10)$$

$$masa\ anclaje = \rho_{acero} \cdot V_{anclaje} = 7850 \cdot 2.5 \cdot 10^{-3} = 20\ kg \quad (11)$$

$$masa\ total = masa\ anclaje + masa\ arena = 4325 + 20 = 4345\ kg \quad (12)$$

El empuje es una fuerza vertical ascendente que aparece al sumergir un cuerpo dentro de un fluido. El módulo de ésta fuerza es función de la densidad del fluido. Éste fenómeno se produce debido a que el fluido hace una presión perpendicular a las caras del cuerpo, como la magnitud de ésta presión es directamente proporcional a la profundidad, la cara situada debajo siempre recibirá una fuerza mayor que la cara situada arriba.

La fuerza de empuje contrarresta parte del peso y es capaz de hacer mantener cuerpos a flote si lo supera. Por tanto es un factor a tener en cuenta. Aunque pueda parecer extraño que el tronco-cono esté sumergido por el hecho de estar en el fondo, es totalmente intuitivo que el fondo arenoso está saturado de agua en sus intersticios. De modo que el fluido le afecta del mismo modo.

Una vez tenemos la masa del conjunto anclaje-arena y su correspondiente volumen 'V', podemos calcular como afectará la fuerza de empuje vertical del fluido, en éste caso agua de mar, a la masa real del conjunto.

$$\text{empuje} = \rho_{\text{agua}} \cdot V = 1027 \cdot 2.6 = 2670 \text{ kg} \quad (13)$$

$$\text{masa total sumergida} = \text{masa total} - \text{empuje} = 4345 - 2670 = 1675 \text{ kg} \quad (14)$$

En efecto, la fuerza de empuje tiene una magnitud importante como para tenerla en consideración a la hora de calcular ya que reduce a más de la mitad la masa del conjunto anclaje-arena.

Para acabar con ésta parte del cálculo basado en la geometría y las propiedades físicas, convertimos la masa total sumergida en peso total sumergido. Dentro del soporte digital se incluye el archivo "geometría y peso sumergido.xls" donde se calcula los apartados anteriores para cada suelo introduciendo sus correspondientes datos incluidos en la tabla.

$$\text{peso total sumergido} = \text{masa total sumergida} \cdot \text{constante gravitatoria} = 1675 \cdot 9.81 = 16431 \text{ N}$$

7.3 Descripción del cálculo de la fuerza de extracción vertical

Recordar que al extraer el anclaje, el suelo rompe de modo que desde el disco helicoidal situado en la parte inferior, arrastra la arena o material granular que tiene encima.

Como materiales granulares, tienen la propiedad de tener un ángulo de rozamiento interno. Es una propiedad que está relacionada con el ángulo de reposo, el cual es una interpretación física sencilla basada en hacer un montoncito de arena y medir el máximo ángulo posible de la pendiente. En un material granular cualquiera, el ángulo de reposo depende de la fricción, la cohesión y la forma de las partículas. En un material sin cohesión y con partículas muy pequeñas en relación al tamaño del montoncito, el ángulo de rozamiento interno coincide con el de reposo.

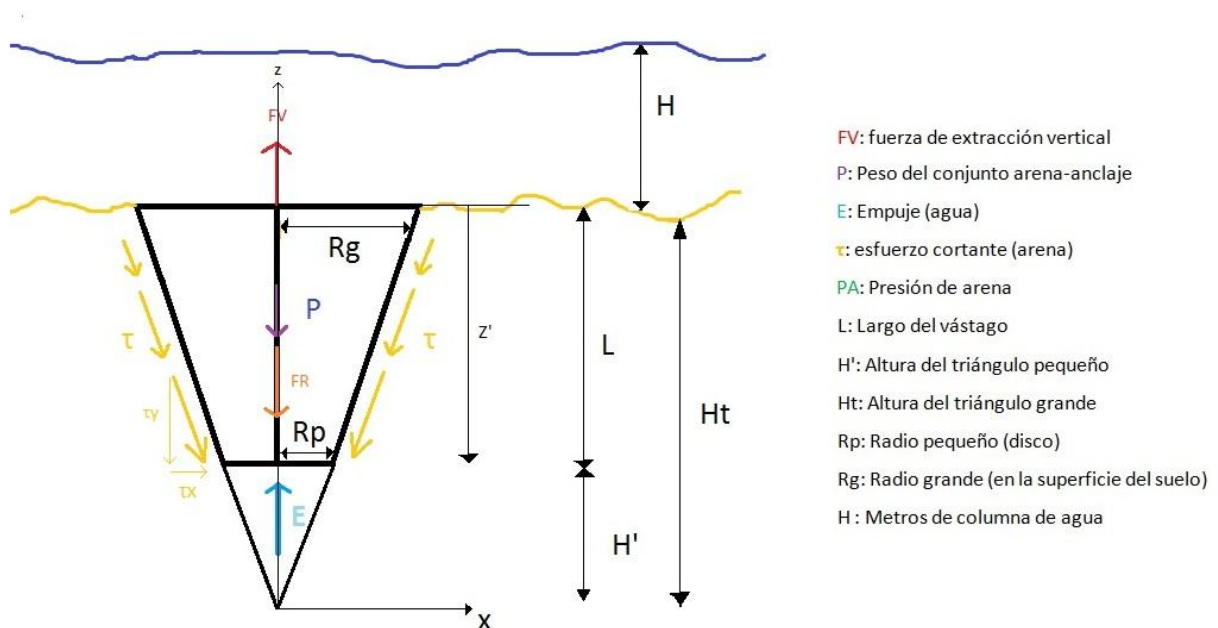


Ilustración 6: esquema de fuerzas para la extracción vertical

Es por esta propiedad que cuando el suelo rompe, lo hace con esa geometría en forma de tronco-cono. El cual se forma desde la base del anclaje tomando el ángulo de rozamiento interno entre la vertical y la generatriz o superficie del tronco-cono. A la hora de calcular la fuerza de rozamiento, considero que los esfuerzos cortantes (' τ ' ilustración 6) que la provocan se aplican a lo largo de toda la superficie de rotura, es decir, la del tronco-cono.

Una vez tenemos definida la geometría del tronco-cono y algunos parámetros que derivan de ella, me puedo centrar en calcular la fuerza necesaria para su extracción vertical.

Para ello necesitaremos realizar una fuerza vertical FV que sea igual o superior al resto de fuerzas. Esto es: la fuerza de rozamiento entre partículas del propio suelo y el peso sumergido del conjunto anclaje-arena.

La fuerza de rozamiento se define como el esfuerzo cortante ' τ ' multiplicado por el diferencial del área del tronco-cono.

$$FR = \tau \cdot dA \quad (15)$$

Esta expresión es la magnitud del esfuerzo cortante en todos los puntos de la superficie del tronco-cono, que es variable en función de la profundidad en la arena. Lo que se traduce como una fuerza de rozamiento por parte del propio suelo.

Para éste propósito es necesario definir el diferencial de área para nuestro tronco-cono. Dado que es más fácil encontrar referencias sobre diferenciales de área de un cono, decido calcular el diferencial de área de un cono completo y después evaluar la integral entre las alturas que me interesen. Estas alturas son las correspondientes a R_p (' H ' ilustración 6) y a R_g (' H_t ' ilustración 6).

7.3.1 Cálculo del diferencial de área del cono

Para calcular el diferencial de área de un cono en coordenadas cilíndricas tenemos la siguiente definición:

$$dA = \sqrt{E \cdot G - F^2} d\theta dz \quad (16)$$

donde:

$$E = \frac{\partial \vec{r}}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial \theta}$$

$$G = \frac{\partial \vec{r}}{\partial z} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial z}$$

$$F = \frac{\partial \vec{r}}{\partial z} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial \theta}$$

Para ello necesitamos definir el radio del tronco-cono en función de la altura y la componente acimutal o angular para cada componente cartesiana. Esto es:

$$\vec{r}(\theta, z) = \begin{cases} x(\theta, z) = \hat{r} \cdot \cos t = z \cdot \tan(33) \cdot \cos\theta \\ y(\theta, z) = \hat{r} \cdot \sin t = z \cdot \tan(33) \cdot \sin\theta \\ z(\theta, z) = z \end{cases} \quad (17)$$

Una vez tenemos definido el vector radio en función de la altura z y la componente acimutal podemos regresar a las ecuaciones anteriores y calcular los parámetros E , G y F . Que son el resultado de operar con las derivadas parciales del vector radio como se muestra a continuación.

$$\frac{\partial \vec{r}}{\partial \theta} = (-z \cdot \tan(33) \cdot \sin\theta, z \cdot \tan(33) \cdot \cos\theta, 0)$$

$$\frac{\partial \vec{r}}{\partial z} = (\tan(33) \cdot \cos\theta, \tan(33) \cdot \sin\theta, 1)$$

$$E = \frac{\partial \vec{r}}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial \theta} = z^2 \cdot \tan^2(33) \cdot \sin^2(\theta) + z^2 \cdot \tan^2(33) \cdot \cos^2(\theta) + 0$$

$$= z^2 \cdot \tan^2(33) \cdot (\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta)) = z^2 \cdot \tan^2(33)$$

$$G = \frac{\partial \vec{r}}{\partial z} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial z} = \tan^2(33) \cdot \cos^2(\theta) + \tan^2(33) \cdot \sin^2(\theta) + 1^2$$

$$= \tan^2(33) \cdot (\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)) + 1 = \tan^2(33) + 1$$

$$F = -z \cdot \tan^2(33) \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta + z \cdot \tan^2(33) \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta + 0 = 0$$

Con todos los parámetros calculados, tenemos que volver a la ecuación (16) que nos define dA para un cono e introducirlos:

$$dA = \sqrt{(z^2 \cdot \tan^2(33)) \cdot (\tan^2(33) + 1)} dz d\theta = \sqrt{\tan^2(33) + 1} \cdot \tan(33) \cdot z dz d\theta \quad (16.2)$$

Se puede ver que la primera parte de la ecuación es constante, lo cual nos facilitará el cálculo de la integral.

7.3.2 Cálculo de la fuerza de extracción vertical

Por otro lado hay que definir 'tau' en función de la profundidad 'z' y la componente acimutal θ para éste caso:

$$\tau = c + \mu \cdot \sigma$$

Dado que la arena es un suelo no cohesivo, el parámetro 'c' correspondiente es nulo. Por otra parte μ es el valor de la tangente del ángulo de rozamiento interno del suelo.

La tensión sigma tiene dos partes, la primera es constante y depende de la profundidad de las aguas por encima del suelo (presión hidrostática). La segunda es función de la profundidad en el suelo. Dado que los espacios intersticiales de la arena

están llenos de fluido, esto provocará una reducción de la presión ejercida por la propia arena a sus capas inferiores. Algo parecido a lo que sucede con el empuje y el peso. La expresión de sigma para este caso es:

$$\sigma = \rho_f \cdot g \cdot H + \rho_s \cdot g \cdot z' - \rho_f \cdot g \cdot z' \quad (18)$$

donde (ilustración 7):

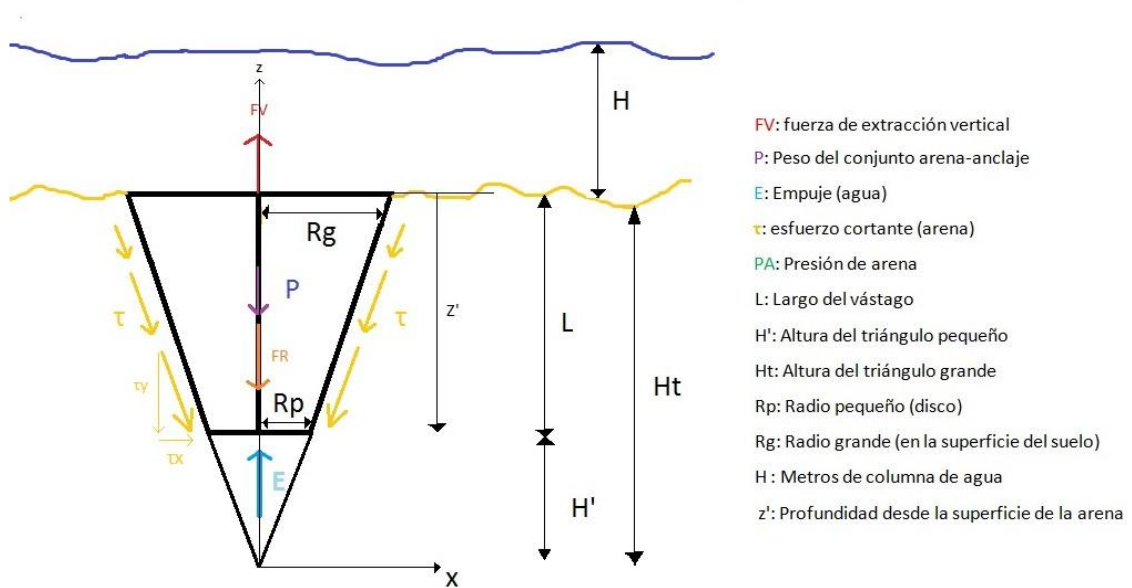


Ilustración 7: detalle de z'

Como a la hora de calcular el diferencial del área del cono he tomado el eje z desde el vértice del cono, ahora debo tenerlo en cuenta a la hora de introducir la profundidad en la arena también desde el origen.

En la expresión de sigma (18) de la página anterior, se especifica la profundidad desde la superficie de la arena (' z' ' ilustración 7). Normalmente la profundidad se entiende de ésta manera siendo la superficie el cero o origen y la profundidad aumenta hacia abajo.

Para ser consecuente con los ejes de coordenadas tengo que expresar la variable z' para que nos devuelva el mismo valor pero desde el origen de coordenadas situado en el vértice del cono invertido.

Del dibujo (ilustración 7) es fácil definir z' como:

$$z' = Ht - z \quad (19)$$

sustituyendo en la expresión (18):

$$\sigma = \rho_f \cdot g \cdot H + \rho_s \cdot g \cdot (Ht - z) - \rho_f \cdot g \cdot (Ht - z) \quad (18.2)$$

Una vez tenemos la expresión para la tensión normal σ ya se puede sustituir en la ecuación (1) del esfuerzo cortante τ :

$$\tau = c + \tan(33) \cdot (\rho_f \cdot g \cdot H + \rho_s \cdot g \cdot (Ht - z) - \rho_f \cdot g \cdot (Ht - z)) \quad (20)$$

Los esfuerzos cortantes τ van paralelos a la superficie del tronco-cono (ilustración 6). Como estoy evaluando la extracción vertical, solo consideraré la componente vertical de τ , lo que implica añadir un factor coseno a la expresión:

$$\tau_y = (c + \tan(33) \cdot (\rho_f \cdot g \cdot H + \rho_s \cdot g \cdot (Ht - z) - \rho_f \cdot g \cdot (Ht - z))) \cdot \cos(33) \quad (20.1)$$

Con τ y dA definidas ya puedo evaluar la fuerza de rozamiento (15) que genera el cortante en toda la superficie del tronco-cono.

$$FR = (c + \tan(33) \cdot (\rho_f \cdot g \cdot H + \rho_s \cdot g \cdot (Ht - z) - \rho_f \cdot g \cdot (Ht - z))) \cdot \cos(33) \cdot \sqrt{\tan^2(33) + 1} \cdot \tan(33) \cdot z \, dz \, d\theta \quad (21)$$

Para evaluar la fuerza de rozamiento en nuestro tronco-cono hay que integrar la ecuación (21) correspondiente a la fuerza de rozamiento FR.

Los límites de integración de z corresponden a la geometría del tronco-cono. La cual ésta definida en la ilustración 4. La base del tronco-cono está a una altura $z_1=0.308$ m ('H' ' ilustración 6) y la superficie está a una altura $z_2=1.808$ m ('Ht' ilustración 6).

Por otro lado los límites de integración de la componente acimutal será de 0 a 360° ya que quiero evaluar toda la geometría. Por lo tanto $\theta_1= 0$ y $\theta_2=2\pi$.

Sustituyendo en la expresión **(21)** de FR los parámetros conocidos como las densidades del suelo y el agua, cohesión nula, altura de la columna de agua, Ht (altura total del cono), la constante gravitatoria y poniendo el ángulo de rozamiento en radianes se obtiene la siguiente integral:

$$FR := \int_0^{2\pi} \int_{0.308}^{1.808} (0 + \tan(0.58) \cdot (1027 \cdot 9.81 \cdot 7 + 1670 \cdot 9.81 \cdot (1.808 - z) - 1027 \cdot 9.81 \cdot (1.808 - z))) \cdot \cos(0.58) \cdot \sqrt{\tan(0.58) \cdot \tan(0.58) + 1} \cdot \tan(0.58) \cdot z \, dz d\theta$$

Mediante un programa de cálculo resuelvo la integral cuyo resultado es :

$$FR = 3.12 \cdot 10^5 \, N$$

Por último queda sumar al valor de la fuerza de rozamiento, el peso sumergido del conjunto anclaje -arena.

$$FV = FR + \text{peso sumergido} = 3.12 \cdot 10^5 + 16431 = 3.3 \cdot 10^5 \, N \quad (22)$$

Hasta aquí llega la primera parte del cálculo de la fuerza necesaria para la extracción del anclaje de una arena de mar estándar.

7.4 Cálculo de extracciones en ángulo en arena estándar

7.4.1 Consideraciones de cálculo

Por el momento he hallado un valor para la fuerza de extracción vertical. Por lo tanto, el valor mínimo de fuerza necesario para que el suelo en cuestión colapse y rompa. En los siguientes apartados se calculará como afecta tirar del anclaje con cierto ángulo a la fuerza de extracción necesaria. Se parte de la base que la fuerza mínima necesaria para la extracción es la calculada para una extracción vertical. El hecho de que el material soporte la fuerza vertical especificada para FV, significa que al extraer el anclaje en cierto ángulo, la componente vertical de la fuerza llegará hasta ese valor antes de que el suelo rompa. Con lo cual al sumarle la componente horizontal, la fuerza de extracción con cierto ángulo siempre será mayor que la fuerza necesaria para la extracción vertical.

Es decir, considero que el anclaje esta sujeto al suelo de un modo ideal y que por mucha fuerza bruta que se use, no se podría extraer unicamente con una fuerza paralela al suelo. Dado que eso supondria mover todo el suelo.

Obviamente en una situación real del uso del dispositivo en la que se le aplique una fuerza paralela al suelo exagerada, el suelo se comprimiría hacia el sentido donde se aplica la fuerza horizontal. La otra mitad se quebraría desde el centro del tronco cono. El vástago quedaría entonces descentrado respecto a la vertical, el suelo no estaría con las condiciones normales de compactación, cambiaría el tamaño y la forma del tronco-cono y en definitiva el problema se complicaría bastante más.

Aclarado esto, se estudiará cómo afecta al rozamiento la aplicación de una fuerza horizontal. Al aplicar una fuerza horizontal en el anclaje, ésta hace que aumente la tensión entre las partículas en una de las caras del tronco-cono. En consecuencia, aumenta la fuerza de rozamiento en esa cara.

En la ilustración 8 se refleja como al aplicar la fuerza FH se forma un perfil de tensiones σ en la cara B. Esta tensión tiene un perfil como el indicado en la ilustración 9, es decir que tiene el máximo en la misma línea de aplicación de la fuerza y va disminuyendo hasta que se hace nula en $x=0$. A su vez, se forma para cada punto del eje vertical una

tensión que varía en función de la profundidad. Esta variación de tensiones sigue una forma lineal donde el valor máximo para sigma se encuentra en la parte superior y la mínima en la inferior del tronco-cono (ilustración 8).

En cuanto a la cara A, considero que no le afecta la fuerza ya que si bien en la cara B las partículas se juntan y provocan una tensión, no pasa lo mismo en la otra cara. La cara A no aprecia la fuerza ya que a diferencia de un sólido corriente en donde tendríamos un esfuerzo a compresión en la cara B y otro a tracción en la cara A, en un suelo granular las partículas en la mitad A más próximas a la "frontera" entre las dos caras simplemente se separarán de sus vecinas sin transmitir la fuerza que las ha hecho separar.

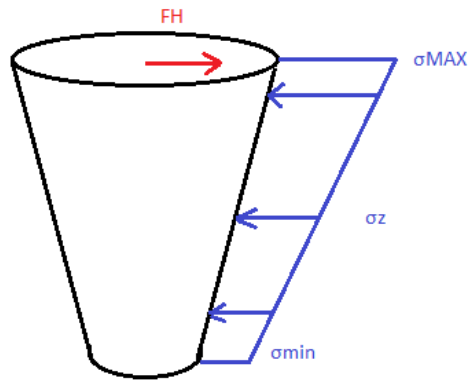


Ilustración 8: σ_z provocada por una fuerza horizontal (paralela al suelo)

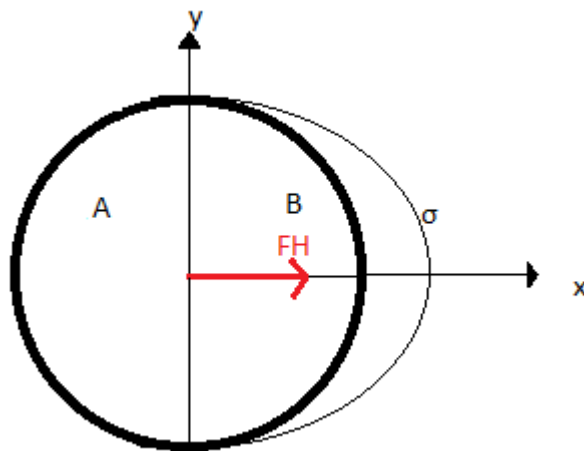


Ilustración 9: Perfil de sigma y la fuerza horizontal que la provoca.

7.4.2 Cálculo de las tensiones en función de la fuerza horizontal

Para definir la tensión sigma en función de la altura, usaré una fórmula que relaciona la tensión máxima y la mínima (' σ_{MAX} ' y ' σ_{min} ' ilustración 8) con la profundidad z y la altura del anclaje. Se trata de una aproximación media de cada perfil de sigma en cada punto de z. Dado que sigma forma una parábola cuyo máximo coincide con x ($\theta=0$), se le aplica un factor coseno ya que en los extremos ($\theta=\pm\frac{\pi}{2}$) del perfil el valor de sigma es 0.

$$\sigma_z = \left(\sigma_{min} + \frac{(\sigma_{MAX} - \sigma_{min}) \cdot z}{L} \right) \cdot \cos \theta \quad (23)$$

Además de ésta expresión, podemos usar la definición de la tensión para relacionarla con la Fuerza horizontal que la provoca y el momento resultante implícito en ella.

$$F_{resultante} = \int \sigma_z \cdot dA = FH \quad (24)$$

$$M_{resultante} = \int \sigma_z \cdot z \cdot dA = FH \cdot L \quad (25)$$

substituyendo σ_z por la expresión (23) en las ecuaciones para la fuerza y el momento resultante y resolviendo éste sistema se puede obtener una relación entre la fuerza horizontal y las tensiones máximas y mínimas que se provocan.

$$Fh = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{z1}^{z2} \sigma_z \cdot \cos(\theta) \cdot \sqrt{1 + \tan(0.58) \cdot \tan(0.58)} \cdot \tan(0.58) \cdot z \, dz \, d\theta$$

$$Fh \cdot L = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{z1}^{z2} \sigma_z \cdot \cos(\theta) \cdot \sqrt{1 + \tan(0.58) \cdot \tan(0.58)} \cdot \tan(0.58) \cdot z^2 \, dz \, d\theta$$

Donde $z1=0.308\text{m}$, $z2=1.808\text{m}$, $L= 1.5\text{m}$ (geometría del tronco cono para una arena estándar)

Resolviendo las integrales de ambas ecuaciones:

$$Fh = 2.02 \sigma_{MAX} + 0.43 \sigma_{min}$$

$$1.5 \cdot Fh = 2.76 \sigma_{MAX} + 0.28 \sigma_{min}$$

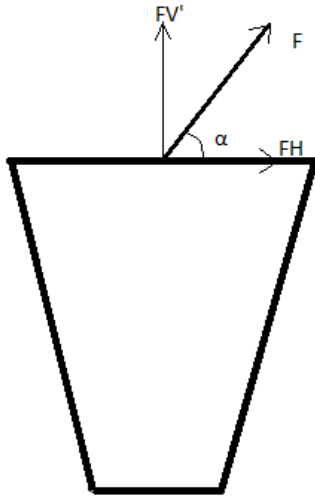
Finalmente se resuelve este sistema de dos ecuaciones:

$$\sigma_{MAX} = 0.59 \cdot Fh \quad (26)$$

$$\sigma_{min} = -0.45 \cdot Fh \quad (27)$$

Una vez calculados los esfuerzos provocados por la fuerza horizontal, puedo empezar a evaluar cómo afectan éstos al rozamiento sobre la cara y por tanto a la fuerza necesaria para la extracción.

7.4.3. Cálculo de la fuerza vertical provocada por la componente horizontal de la fuerza de extracción



$$Fe' = \frac{FV'}{\sin(89)} = \frac{328.7}{0.99} = 328.75 \text{ KN} \quad (28)$$

$$FH = Fe' \cdot \cos(89) = 328.75 \cdot 0.02 = 5.74 \text{ KN} \quad (29)$$

Ilustración 10: componentes de la fuerza de extracción

Considerando que la extracción vertical ésta a 90° del suelo, se evaluará la fuerza de extracción para cada grado hasta llegar a la horizontal.

A 90° la fuerza de extracción será la misma que la estudiada en el caso de la extracción vertical. A 89° ya se obtiene cierta componente horizontal. El primer paso es descomponer las fuerzas para obtener la componente horizontal de la misma (ilustración 10). Por trigonometría resuelvo.

Una vez resueltas las componentes de la fuerza, puedo calcular las tensiones máximas y mínimas que provoca la fuerza horizontal en una de las mitades del tronco-cono.

Usando las expresiones (26 y 27) obtenidas tras resolver el sistema tenemos:

$$\sigma_{MAX} = 0.59 \cdot FH = 3.38 \text{ kPa} \quad (26)$$

$$\sigma_{min} = -0.45 \cdot FH = -2.56 \text{ kPa} \quad (27)$$

A la hora de calcular cómo afectan las tensiones provocadas por la componente horizontal, considero que éstas tensiones provocarán un aumento en la fuerza vertical

necesaria para la extracción, haciendo que incremente el valor de la fuerza de extracción necesaria.

Partiendo de que la fuerza vertical necesaria para la extracción es en un principio FV' (calculada en el apartado de extracción vertical como FV) , se le añadirá la fuerza que provoca la fuerza horizontal en la componente vertical. A esta fuerza adicional la llamo FVH o fuerza vertical provocada por la horizontal.

Ésta FVH es el resultado de evaluar las tensiones provocadas por la fuerza horizontal, las cuales he definido anteriormente como σ_z .

Para saber la proporción de fuerza vertical hacia abajo que provoca la fuerza horizontal, debemos proyectar el vector de la tensión primero sobre la generatriz del tronco-cono y después en dirección vertical. Lo que a hechos prácticos es multiplicar el valor de la tensión por el coseno del ángulo de rozamiento dos veces.

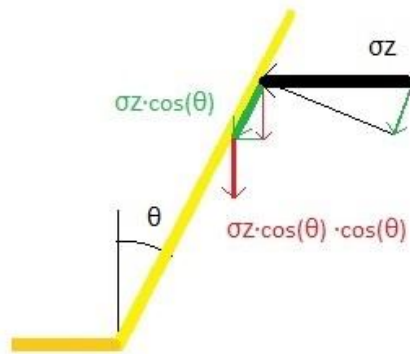


Ilustración 11 proyección del vector tensión

$$\tau_{vh} = \mu \cdot \cos(33)^2 \sigma_z \cdot dA \quad (30)$$

$$\tau_{vh} = \tan(33) \cdot \cos^2(33) \sigma_z \cdot dA$$

Para saber qué fuerza vertical hacia abajo provoca la fuerza horizontal aplicada evalúo la componente vertical del cortante(30), cuya tensión normal corresponde a σ_z (23), en la mitad de la superficie completa del tronco-cono.

En éste caso no considero la cohesión (en el caso de suelos cohesivos), ya que en la extracción vertical ya se tiene en cuenta y añadirla de nuevo podría dar un resultado más alto que el real. Se intentará dar un valor mínimo o al menos el peor de los casos.

$$FVH = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{0.308}^{1.808} (\cos(0.58) \cdot \cos(0.58)) \cdot \left(\tan(0.58) \cdot \left(\sigma_m + \frac{(\sigma_M - \sigma_m) \cdot z}{1.5} \right) \right) \cdot \sqrt{\tan(0.58) \cdot \tan(0.58) + 1} \cdot \tan(0.58) \cdot z \, dz d\theta$$

El resultado de ésta integral queda en función de las tensiones máximas y mínimas de sigma previamente calculadas. Resolviendo la expresión resultante:

$$FVH = 1.45 \sigma_{MAX} + 0.31 \sigma_{min} = 4.12 \, KN \quad (31)$$

7.4.4 Cálculo de la fuerza de extracción en ángulo para arena estándar

Por lo tanto la fuerza de extracción vertical FV es igual a la suma de FV' correspondiente a la extracción vertical más el valor obtenido para FVH, lo cual me da un valor de:

$$FV = FV' + FVH = 332.82 \, KN \quad (32)$$

Una vez calculada la fuerza vertical necesaria para extraer el anclaje con un ángulo de 89º con la horizontal, sólo queda calcular la resultante de las componentes vertical y horizontal o fuerza de extracción:

$$F = \frac{FV}{\sin(89)} = 332.87 \, KN \quad (33)$$

Hasta aquí llega el cálculo de la fuerza de extracción del anclaje en una arena de compactación media. A continuación se añade la tabla 2 con los valores calculados

para la extracción en vertical de cada tipo de suelo, el cual como ya había comentado, es el caso más desfavorable. También se incluyen en el Anexo 1 gráficas de la fuerza de extracción en función del ángulo desde el que se aplica la fuerza para cada tipo de suelo incluido en la tabla 1. Dentro del archivo "fuerza vs ángulo.xlsx" incluido en el soporte digital se hallan las tablas de resultados para cada ángulo y suelo.

7.5 Conclusiones de los cálculos

Suelo	compactación	Fuerza mínima de extracción en KN (vertical)
arena mal graduada	media (estándar)	328,7
arena mal graduada	Densa	403,2
arena mal graduada	Suelta	249,5
arcilla baja plasticidad	Media	415,81
arcilla baja plasticidad	Dura	1358,77
arcilla baja plasticidad	muy blanda	248,63
Limo alta plasticidad	Media	356,44
Limo alta plasticidad	Dura	1220,1
Limo alta plasticidad	muy blanda	205,32
Arcilla alta plasticidad	Media	272,21
Arcilla alta plasticidad	Dura	1012,05
Arcilla alta plasticidad	muy blanda	145,37

Tabla 2: resultados mínimos para cada tipo de suelo

Como era de esperar, la tabla 2 muestra que el anclaje tiene un mejor rendimiento si trabaja en terrenos compactados y cohesivos. En los casos de compactación suelta o muy blanda, se puede observar que aunque el terreno tenga cohesión no es por ello sinónimo de mejor rendimiento. En este caso la arena suelta da mejor rendimiento que los suelos cohesivos con el mismo tipo de compactación. Hay que tener en cuenta que los limos y arcillas tienen un ángulo de rozamiento interno menor que la arena, el cual empeora cuanto menos compactado se encuentra el terreno. Además de esto, los terrenos cohesivos obtienen de entrada menos cohesión a menor nivel de compactación. Por tanto es lógico que el resultado más favorable se obtenga con suelos arcillosos duros, dado que se obtiene el máximo valor de cohesión y ángulo de rozamiento.

El anclaje tendrá en principio arena como suelo de trabajo, dado que los campos de posidonia presentes en el mar Mediterráneo suelen estar arraigadas en este tipo de suelo. Visto que el efecto de la compactación y las características mecánicas dependen mucho de las condiciones del entorno y la propia naturaleza del terreno, es de vital importancia analizar las características del suelo donde se hará la instalación del anclaje. De éste modo se puede garantizar que el rendimiento del anclaje será el esperado.

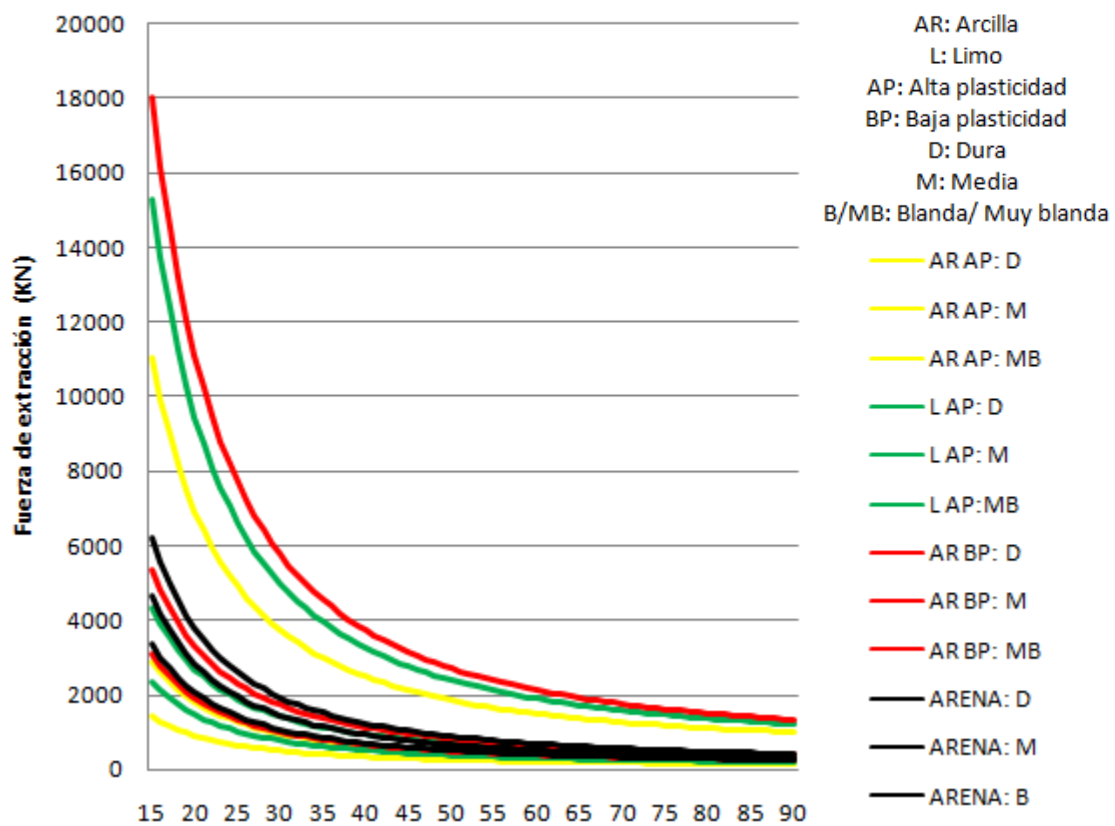
En la gráfica 1 se muestra una comparativa de las curvas de rendimiento en función del ángulo de extracción para los distintos suelos estudiados. Cada color representa un grupo, siendo la curva superior de cada grupo siempre la más compacta, seguida de la media. La inferior de cada color representa la muy blanda o blanda/suelta para el caso de la arena. Se pueden consultar individualmente las distintas curvas en el anexo 1 dentro de éste mismo volúmen.

Cuando se tira del anclaje con cierto ángulo respecto la vertical, el rendimiento del mismo aumenta de forma exponencial. Dando un salto de magnitud importante cuanto más se acerca a la horizontal. Dado que es inviable hacer un sistema de cadena en catenaria (ilustración 2) , ya que dañaría las algas; es imposible que la embarcación tire del cable a ras de suelo. Por tanto no se consideran ángulos útiles de trabajo.

Para finalizar, debo hacer hincapié en que las propiedades de cada suelo en particular serán las que determinen el rendimiento de cada instalación. Por lo tanto es indispensable hacer un estudio previo del terreno. Recoger muestras del mismo y realizar por lo menos los ensayos de granulometría y de resistencia a cizalla del suelo. Los cuales están regidos por las normas UNE 103101; UNE7050:1997 y UNE 103401 respectivamente.

Con este procedimiento se pueden obtener los datos de primera mano y tener unos resultados fiables del rendimiento del anclaje.

Curvas de extracción de 15° respecto la horizontal hasta la vertical



Gráfica 1: Curvas de extracción para los ángulos entre 15° hasta 90° respecto a la horizontal.

8. Diseño del anclaje

El anclaje que se propone (ilustración 12) consta de un eje de 40 mm de diámetro. En el extremo superior desde su posición de uso, dispone de una argolla donde se atará uno de los extremos del cabo de fondeo. En el extremo inferior encontramos el disco helicoidal. Por último, en el extremo inferior, hay un punta de ataque afilada y un espacio entre ésta y el disco para facilitar una penetración lo más vertical posible.

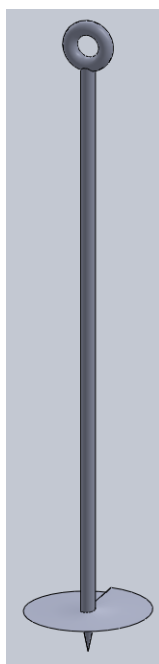


Ilustración 12: Anclaje

Comparado con el diseño de la patente, destaca la desaparición de los dos discos helicoidales situados por encima del inferior. En el anexo 2.1 se discute como trabajan los discos helicoidales según el método de cálculo utilizado. La conclusión de éste anexo es que los discos superiores no trabajan a no ser que su diámetro sea mayor que la sección horizontal del tronco-cono formado por el disco helicoidal inferior en la que coinciden.

En una arena con cualquier compactación se tiene un ángulo de rozamiento de más de 30 grados. Para conseguir superar la aportación del disco inferior es necesario poner un diámetro de discos helicoidales superiores exagerado o ponerlos a distancias muy cercanas al inferior. Lo cual podría provocar que la arena no tuviera las mismas condiciones de compactación bajo los discos helicoidales. Además usando diámetros grandes se corre el riesgo de dañar las especies de algas en el momento de la instalación del anclaje en un entorno real de trabajo.

Por tanto se opta por poner un solo disco helicoidal de un tamaño considerable pero que no sea excesivamente difícil de hacer penetrar en la arena, Lo cual ahorra material y costes. Aún con esta reflexión, desconozco el efecto de los discos superiores a la hora de facilitar la penetración del anclaje en el suelo o impedir el movimiento del anclaje durante su uso, lo cual sería interesante probar durante la fase de ensayos.

El anclaje tendrá su posición de uso enterrado en la arena bajo el agua de mar. Lo cual tiene una clase de exposición relativa al agua y suelo Im3 como elemento enterrado. según la tabla 8.2.2b dentro de la instrucción de acero estructural EAE.

Esta designación conlleva un nivel de exposición a la corrosión muy alto. Dado que el anclaje está pensado para estar enterrado indefinidamente sin posibilidad para sacarlo para labores de mantenimiento, hay que seleccionar un material y un tratamiento superficial adecuados. Con el fin de asegurar que el anclaje tendrá una vida útil de larga duración.

A la hora de elegir un material, considero muy importante que tenga buena resistencia a la corrosión a la par que soporte los esfuerzos a tracción en el vástago y a flexión en el disco. En cuanto a los esfuerzos, es fácil modificar el diseño y añadir o reducir el diámetro en función del material que se use finalmente. Teniendo en cuenta esto, hay que seleccionar un material con muy buena resistencia a la corrosión y buena resistencia a la tracción. A partir de ahí se seleccionará el que resulte más económico.

A continuación se describen los pros y contras del uso de cada material considerado en el anexo 2.3:

La mejor solución técnica es sin duda un acero inoxidable. El único y gran problema es su elevado coste, el cual a pesar de no necesitar ningún acabado anticorrosivo es demasiado alto. Llegando a costar 1 metro de material en vara para el vástago más de 300 €. Por condiciones comerciales se debe descartar esta clase de materiales.

La segunda mejor opción es un acero al carbono galvanizado de la serie S235JR el cuál soporta perfectamente las solicitaciones que tendrá el anclaje y tiene buena soldabilidad. Es sin duda la mejor opción de acabado anti corrosivo en este medio. Permite asegurar una vida útil de alta duración con un precio del proceso muy económico, menos de un euro por kilogramo galvanizado.

El problema del galvanizado es que tanto el zinc como el óxido de zinc que se forma en la superficie del material son sustancias consideradas muy perjudiciales para el medio acuático. De todos modos no existe normativa vigente que prohíba el uso del galvanizado en medios marinos, más bien todo lo contrario. Las propiedades

anticorrosivas del zinc lo convierten en indispensable precisamente en ésta clase de trabajos. Por ejemplo todas las cadenas que se usan en ámbito marino deben estar galvanizadas según algún organismo normalizador ASTM A 413-00, DIN 5687, etc.

La tercera opción consiste en seguir con el acero S235JR y buscar alternativas al galvanizado. Según norma ISO 12944 referente a sistemas de pintura anti corrosiva en función de la hostilidad del medio. Se ofrecen varias soluciones para ambientes marinos.

El problema de ésta alternativa es que aunque no resulte especialmente cara. El precio de la pintura cuesta unos 3.10 € pintar una unidad con 3 tipos de sustancias distintas. El coste se dispara al necesitar limpiar, pulir, preparar las pinturas y proceder a la aplicación de las tres capas de componentes según las indicaciones del fabricante.

Además el componente básico que aportará las propiedades anti corrosivas al material es el zinc presente en la primera capa del tratamiento. Por lo tanto seguimos con el mismo problema.

Por último se me ocurre la posibilidad de realizar el anclaje en acero S235JR sin ninguna protección, para ello se sobredimensionarían las cotas y se reduciría la vida útil del anclaje a cambio de ofrecer un auténtico sistema ecológico de fondeo. El problema es que la corrosión avanza por el acero al carbono en agua de mar a razón de 200µm al año, unos 2 milímetros cada 10 años. En cuanto al vástago no habría problemas en sobredimensionarlo, pero el disco helicoidal es evidente que sería imposible de proteger con éste método. Al menos sin perjudicar el diseño final del anclaje o aumentar por otra parte el coste en material y logística.

En conclusión no hay un buen material que cumpla perfectamente las premisas ecológicas, técnicas, comerciales y de durabilidad que se esperan para éste sistema. Dicho esto, la única solución viable y con opciones comerciales frente a la competencia en el sector es el uso del galvanizado.

Por lo tanto el anclaje se realizará en acero S235JR el cuál con un coeficiente de Seguridad 1.5 le corresponde un diámetro de 38.3 mm de vástago y se le hará un

tratamiento de galvanizado según normas UNE EN ISO 1461:1999 y UNE EN ISO 14713 con todas sus fases previas de limpieza de la pieza metálica: desengrase, decapado, lavado, fluxado o bañado de sales, el baño de zinc y la correspondiente inspección del anclaje.

Con éstas características y según los datos de velocidad de corrosión en agua de mar especificadas en la norma con un valor máximo de 8 μm al año, se puede determinar que el tiempo que se necesitará para perder la protección que le otorga el galvanizado es de 25 años. Tras ese periodo la corrosión empezará a avanzar por el acero, el cuál todavía estará en condiciones de soportar en condiciones de uso algún tiempo más. La velocidad de corrosión en agua de mar del acero al carbono es de unos 200 μm , lo cuál representa que en 10 años se pierden 2 mm de material por este proceso. Ésto provoca que la parte más sensible sea el disco helicoidal debido al poco grosor de su geometría y que la corrosión avanzaría por sus dos caras. Con todo lo citado, le doy una vida útil al anclaje de 25 años ya que el material usado está pensado para trabajar con la protección del galvanizado y podría ser un riesgo en cuánto a garantías confiar en el avance de la corrosión tabulado en la norma. Además dado que no se puede realizar ninguna revisión ni mantenimiento una vez instalado, éste tiempo de corrosión del acero servirá de margen al tiempo de garantía si hubiese algún defecto en el galvanizado y la corrosión avanzara más deprisa. Las soldaduras se pueden hacer manualmente con un electrodo de rutilo 6013 de 2,5 mm de diámetro. También semiautomáticamente mediante un carrete de hilo tubular, el cual es el recomendado para soldar este tipo de aceros. En ambos casos se realizará un cordón de raíz y dos de peinado. El proceso de mecanización del anclaje y soldadura se encargará a un taller mecánico especializado para que se entregue como consta en el correspondiente plano. Así como la limpieza y galvanización posterior se encargará otra empresa especializada.

9. Diseño de la estructura de extracción

En cuanto al dispositivo de extracción, el acero a usar tendrá una clase de exposición relativa al agua o al suelo Im2. La cual según la tabla 8.2.2b de la instrucción de acero

estructural, corresponde a una estructura sumergida o en contacto con el agua de mar. Para ésta estructura, dado que es un instrumento de ensayo, no se pretende que tenga una vida útil tan prolongada como el anclaje. En éste caso sí se pueden realizar labores de mantenimiento, en caso de usar pinturas anti corrosión, cada periodo de tiempo estipulado según la norma UNE-EN ISO 12944-5 (tablas A6 y A8 Anexo A de la norma). Al tratarse de una estructura pensada para realizar los ensayos, no considero necesaria ninguna protección especial para protegerla ya que no se espera de ella que tenga una vida útil prolongada en ese medio.

El dispositivo de extracción está pensado para realizar ensayos de extracción controlados y tomar datos de la fuerza necesaria para extraer el anclaje del suelo. Primero consideré la posibilidad de realizar un ensayo únicamente de extracción vertical que es, según los cálculos, el ángulo crítico donde el anclaje es más fácil de extraer.

Para ello realizo un sencillo diseño (ilustración 13) en forma de trípode donde en la parte superior hay un cilindro hueco por el que pasa un cable de acero que se acopla a la argolla que dispone el anclaje. Por otro lado, sobre el cilindro se encuentra entre dos barras verticales soldadas a éste una polea. La posición de la polea está pensada para que el cable baje totalmente vertical desde la llanta hasta la argolla del anclaje. Por último las tres barras de acero tienen una base común en forma de anillo que permite centrar la estructura con el anclaje a la vez que evita que las barras se hundan en la arena.

Ésta estructura se ha introducido en un programa de cálculo matricial (CYPE) para dimensionar las patas del trípode y asegurar que aguantarán la fuerza de extracción solicitada (Anexo 3).

Todas las uniones son mediante soldadura y los perfiles usados para su construcción son tubos rectangulares, debido a su mayor facilidad a la hora de cortar en ángulo y realizar las uniones pertinentes.

los perfiles en forma de tubos rectangulares de las patas y la base tienen unas medidas de 200x70 mm con 6 mm de espesor. Están hechas con acero conformado en frío de la serie S235. Dado que estos perfiles se van a unir mediante soldadura, aunque sin especiales exigencias de soldabilidad, escojo un acero S235JR.

Las soldaduras se pueden hacer manualmente con un electrodo de rutilo 6013 de 2,5 mm de diámetro. También semiautomáticamente mediante un carrete de hilo tubular, el cual es el recomendado para soldar este tipo de aceros. En ambos casos se realizará un cordón de raíz y dos de peinado. Para el mecanizado, ensamblado y soldado de la estructura se encargará un taller mecánico especializado.

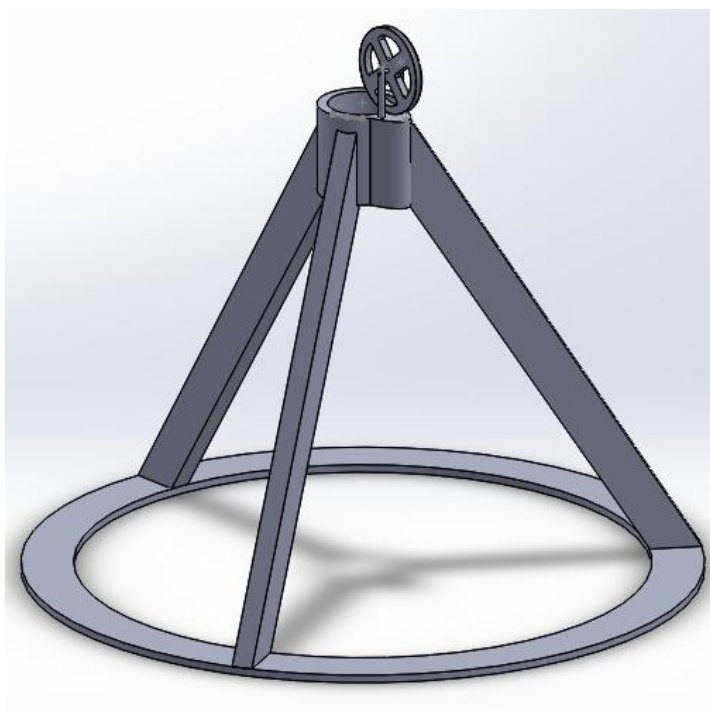


Ilustración 13: Estructura de extracción vertical

Aunque con ésta estructura ya se puede evaluar el peor de los casos del rendimiento del anclaje, me pareció interesante diseñar una segunda estructura de extracción en ángulo. Según los cálculos, la fuerza de extracción aumenta exponencialmente cuanto más se acerca a la horizontal y hacer una comprobación de los cálculos haciendo ensayos sobre el terreno es siempre la mejor manera de hacerlo.

Así pues diseñé una versión del dispositivo de extracción en vertical para poder adaptar el cabezal a varias posiciones angulares.

El nuevo diseño (Ilustración 14) comparte la misma base anular que el dispositivo anterior. A diferencia del dispositivo de extracción vertical, éste no dispone de las barras en forma de trípode, en su lugar se han colocado dos arcos paralelos entre sí a una distancia suficiente para que se pueda tender sin problemas el cable de

extracción. Los arcos tienen unos agujeros que recorren el arco desde su punto más alto hasta la horizontal y están dispuesto de modo que hay uno cada 3° para poder hacer ensayos de extracción hasta en 30 posiciones según el ángulo. Ubicado sobre los raíles que forman los dos arcos, encontramos un cabezal parecido al del diseño anterior con una polea también similar. El cabezal va acoplado al arco mediante dos fijaciones con tornillos, uno en cada raíl, que se colocará en la posición deseada según el ensayo a realizar.

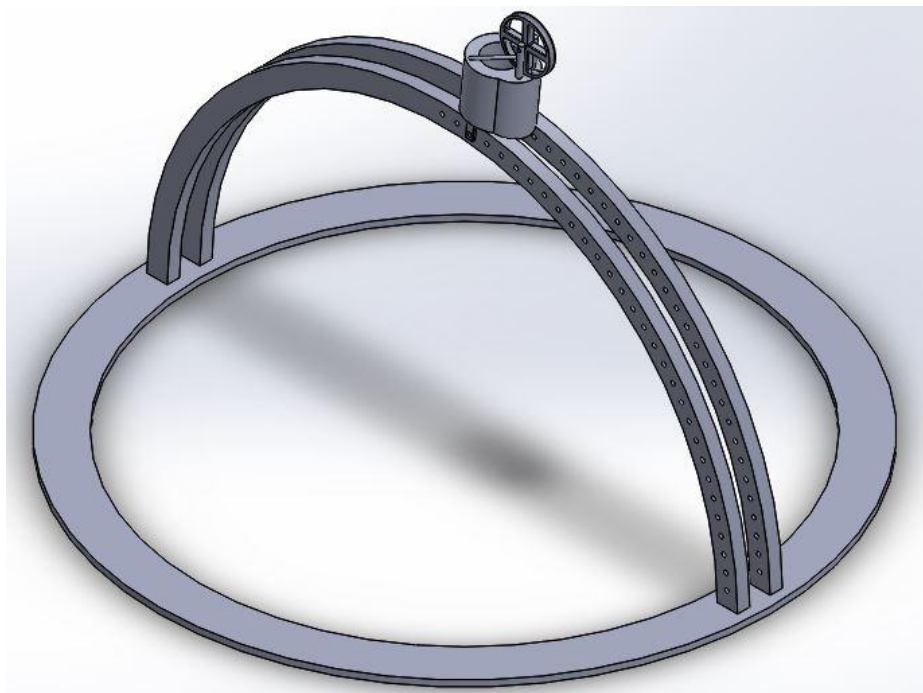


Ilustración 14: Estructura de extracción en ángulo

A la hora de hacer la extracción, es obvio que la tensión del cable provocará un momento en la parte superior de la estructura que dependerá de la componente horizontal con la que el cable tira desde la polea. Si las estimaciones hechas en los apartados de cálculo son correctas, la fuerza necesaria para extraer el anclaje es de una magnitud considerable, con lo que si el cable es demasiado largo, el ángulo que formará provocará una componente horizontal que haría volcar la estructura y se perdería la referencia vertical.

Para evitar que esto suceda hay dos opciones que pueden reducir el efecto del momento (Anexo 2.2):

- La primera es dotar al punto de la base situado más lejos del punto de giro provocado por el momento de un emplazamiento donde colocar lastre. Ya sean bloques de hormigón, rocas o metales pesados como el plomo. Aunque es una solución que contradice el cometido del anclaje, solo se usaría a la hora de hacer los ensayos, los cuales no tienen porqué estar hechos en suelos ricos en algas. De éste modo se podría solucionar parte del problema compensando el momento, pero debido a que los cuerpos sumergidos pierden parte de su peso debido al empuje del agua, si la componente horizontal es mucho mayor que la vertical habría que poner una gran cantidad de lastre. Poner tanto peso tiene varios inconvenientes, tanto de logística a la hora de preparar el ensayo como de precisión. Ya que el peso del lastre puede torcer la estructura modificando el ángulo de extracción además de compactar la arena de alrededor del anclaje.
- La segunda opción es tener en cuenta la longitud del cable y la profundidad de agua en la zona de extracción para intentar tirar en un ángulo lo más vertical posible, para así reducir la componente horizontal.

Con estas consideraciones se diseña una segunda versión de la estructura de extracción vertical que tiene en cuenta el momento que provoca su volcado (Ilustración 15).

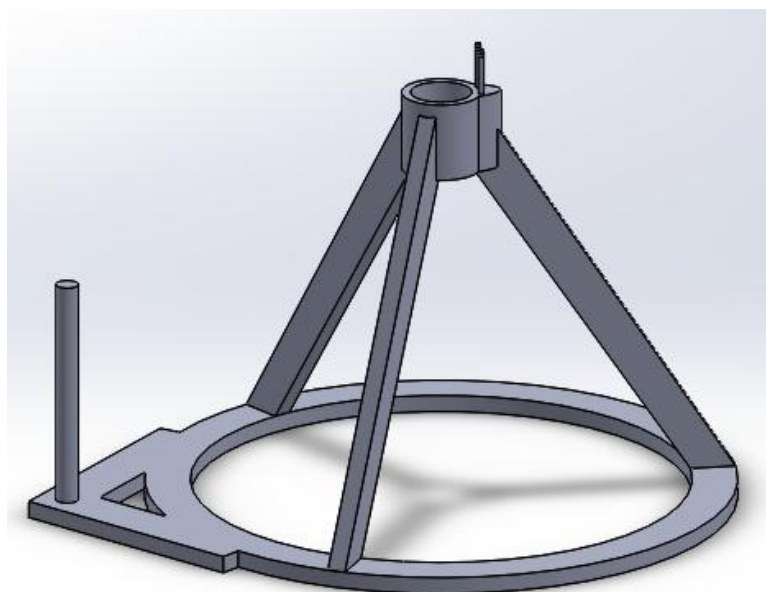


Ilustración 15: Pie de la estructura vertical anti vuelco

Una vez considerados los problemas que provoca tirar del cable en un ángulo, es posible que la propuesta de la estructura de extracción en ángulo sea inviable debido a la dificultad existente a la hora de fijar la estructura al suelo. Habría que poner mucho lastre en la estructura y es posible que no fuese suficiente para evitar que ésta acabara volcando o clavándose en la arena para ángulos próximos a la horizontal.

De todos modos se podrían hacer ensayos de extracción en ángulo amarrando el cable directamente del anclaje al barco remolcador y calcular el ángulo mediante la longitud de cable y la profundidad de agua. Los cuales son datos muy fáciles de medir. Ésta solución es la que me parece más simple, económica e incluso fiable a la hora de hacer ensayos de extracción en ángulo.

10. Ensayo de extracción

El modo de ensayo es sencillo, una vez el anclaje está colocado en su posición de uso, se coloca la estructura de extracción de modo que quede centrada con el anclaje en su centro. Tras comprobar que la posición sea la correcta, se acopla a la argolla del anclaje un cable de acero de 24 mm de diámetro y 6 cordones, especial para fondeo y remolque, el cual tiene una carga de trabajo de 36 toneladas y carga de rotura de 41 toneladas según fabricante. El cable se hace pasar por el cabezal para acomodarlo en

la llanta de la polea. Desde ahí el cable va hasta una embarcación, la cual mediante su fuerza de arrastre tensará el cable hasta que el valor de la tensión iguale la fuerza de extracción y el suelo rompa. Para medir ésta fuerza se dispone de un dinamómetro de altas prestaciones como el que se usa en pruebas de remolcadores o "bollard pull test", en las que se mide la fuerza de arrastre de un barco remolcador. Éste tipo de dinamómetros son capaces de medir tensiones de más de 500 toneladas. El aparato se acoplará al cable mediante unos ganchos que las dos partes del cable deben tener en sus extremos. La ubicación del dinamómetro debe estar entre la bita donde se amarrará debidamente el cable a la embarcación y el extremo de cubierta por donde el cable se dirige al anclaje. Es decir que el dinamómetro va en cubierta. Para hacer a la idea en la ilustración 16 se muestra un ejemplo parecido para el caso de ensayos en anclas, en nuestro caso el dinamómetro va acoplado a un cabo fijado en la bita mientras que el cable sale por un extremo de cubierta hasta el anclaje.



Ilustración 16: Ejemplo de cómo se instala el cable y el dinamómetro en cubierta

A la hora de hacer la extracción, es obvio que la tensión del cable provocará un momento en la parte superior de la estructura que dependerá de la componente horizontal con la que el cable tira desde la polea. Si las estimaciones hechas en los apartados de cálculo son correctas, la fuerza necesaria para extraer el anclaje es de una magnitud considerable, con lo que si el cable es demasiado largo, el ángulo que formará provocará una componente horizontal que haría volcar la estructura y se perdería la referencia vertical.

Para evitar que esto suceda hay dos opciones que pueden reducir el efecto del momento (Anexo 2.2):

- La primera es dotar al punto de la base situado más lejos del punto de giro provocado por el momento de un emplazamiento donde colocar lastre. Ya sean bloques de hormigón, rocas o metales pesados como el plomo. Aunque es una solución que contradice el cometido del anclaje, solo se usaría a la hora de hacer los ensayos, los cuales no tienen por qué estar hechos en suelos ricos en algas. De éste modo se podría solucionar parte del problema compensando el momento, pero debido a que los cuerpos sumergidos pierden parte de su peso debido al empuje del agua, si la componente horizontal es mucho mayor que la vertical habría que poner una gran cantidad de lastre. Poner tanto peso tiene varios inconvenientes, tanto de logística a la hora de preparar el ensayo como de precisión. Ya que el peso del lastre puede torcer la estructura modificando el ángulo de extracción además de compactar la arena de alrededor del anclaje.
- La segunda opción es tener en cuenta la longitud del cable y la profundidad de agua en la zona de extracción para intentar tirar en un ángulo lo más vertical posible, para así reducir la componente horizontal.

Con estas consideraciones se diseña una segunda versión de la estructura de extracción vertical que tiene en cuenta el momento que provoca su volcado (Ilustración 17).

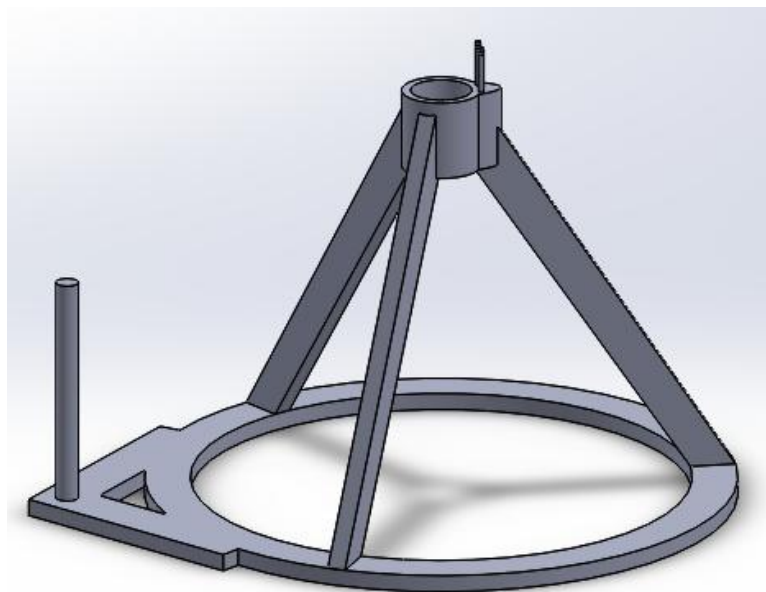


Ilustración 17: Pie de la estructura vertical anti vuelco

Una vez considerados los problemas que provoca tirar del cable en un ángulo, es posible que la propuesta de la estructura de extracción en ángulo sea inviable debido a la dificultad existente a la hora de fijar la estructura al suelo. Habría que poner mucho lastre en la estructura y es posible que no fuese suficiente para evitar que ésta acabara volcando para ángulos próximos a la horizontal.

De todos modos se podrían hacer ensayos de extracción en ángulo amarrando el cable directamente del anclaje al barco remolcador y calcular el ángulo mediante la longitud de cable y la profundidad de agua. Los cuales son datos muy fáciles de medir. Ésta solución es la que me parece más simple, económica e incluso fiable a la hora de hacer ensayos de extracción en ángulo.

11. Conclusiones y observaciones

El anclaje estudiado en éste proyecto resulta tener un buen rendimiento como sistema de fondeo de embarcaciones de recreo y otras labores comentadas en los primeros apartados de la presente memoria. Es sin duda una buena alternativa a los fondeos clásicos con muerto y cadena o con ancla.

El problema de este tipo de fondeo es principalmente su coste de instalación, ya que para ello es necesario un equipo de buzos que coloque el anclaje en su posición de uso. Eso evidentemente, resulta más caro que los sistemas clásicos de fondeo.

Por otra parte, la regulación por parte del estado de los lugares permitidos para realizar fondeos, ya sea para pernoctar o bien para darse un baño, etc. están claramente indicados y delimitados por parte del ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Por lo que, en general, el fondeo en zonas donde existen estos campos de algas sean considerados lugares de interés comunitario (LIC) y sean protegidos por el gobierno con varias regulaciones. Principalmente la prohibición de fondear en dichas zonas.

Dado que, como bien indica su nombre, los lugares de interés comunitario atraen a las embarcaciones de recreo por su encanto y aguas limpias, las cuales albergan distintos hábitats y suelen ser parte del reclamo turístico de la zona. El gobierno dio luz verde a concursos donde pretendía financiar la instalación de varios campos de fondeo ecológico. Principalmente en las costas del Mediterráneo y las islas Baleares en donde se prohíbe la práctica del fondeo clásico como medida de protección de los campos de posidonia y otras plantas marinas. La prohibición de los sistemas clásicos de fondeo y el interés del gobierno en fomentar otros sistemas alternativos y respetuosos con el medio ambiente, han hecho que éste tipo de anclajes se hayan hecho un hueco en el mercado. Por tanto es importante saber que el principal comprador de éste tipo de anclajes ecológicos acaban siendo ayuntamientos y otras instituciones públicas que, dado que prohíben el fondeo en las zonas protegidas ofrecen una alternativa sostenible.

Es por lo tanto muy importante ofrecer un precio ajustado del equipo necesario y la instalación del mismo para poder ser competitivos frente a otras empresas que también se dedican a éste tipo de mercado.

12. Bibliografía y referencias

Lambe, William T.; Whitman, Robert V. *Mecánica de suelos*. México: Limusa, 1991. 582 p. ISBN 9681818946

Izquierdo, Francisco; Carrión, Miguel Ángel. *Problemas de geotecnia y cimientos*. Valencia: Universidad politécnica de Valencia, 2002. 331p. ISBN 84-9705-161-0

Jiménez Salas, J.A; De Justo Alpañes, J.L. *Geotecnia y cimientos I: Propiedades de los suelos y de las rocas*. Madrid: Editorial Rueda, 1975. 466p. ISBN 87-7207-008-5.

Jiménez Salas, J.A; De Justo Alpañes, J.L.; Serrano Gonzalez, A. *Geotecnia y cimientos II: Mecánica del suelo y de las rocas*. Madrid: Editorial Rueda, 1975. 466p. ISBN 87-7207-008-5.

Schenck, H. *Introduction to ocean engineering*. New York, McGraw-Hill, 1975. 351 p. ISBN 00-7055-240-1.

Ministerio de Fomento, *instrucción de Acero Estructural* (EAE). España, centro de publicaciones secretaría general técnica ministerio de fomento.

http://www.dockma.com/1/anclaje_ecologico_68770.html

http://www.tocasa.es/ingeniero/L4_Cohesion_y_angulo_rozamiento_interno.pdf

<http://www.soloarquitectura.com/foros/threads/cohesion-angulo-de-rozamiento-interno.34694/>

http://icc.ucv.cl/geotecnia/11_nuestro_laboratorio/laboratorio/corte/cd.html
[ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Geotecnia/profesor_lucio_cruz/Curso%20Mecánica%20de%20Suelos%20I/Mecánica%20de%20Suelos%20I%20ESLAGE%20\(17_18\).pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Geotecnia/profesor_lucio_cruz/Curso%20Mecánica%20de%20Suelos%20I/Mecánica%20de%20Suelos%20I%20ESLAGE%20(17_18).pdf)

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4244/fichero/CAPITULO2%252FCAPITULO2.pdf>

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>

<http://www.almazan-ingenieros.es/data/archivo/Ingenieria%20Maritima.%20Sistemas%20de%20fondeo%20y%20anclaje.pdf>

[OCEANA_121219_INFORME_Resultados_P12-007_Rev.1_.pdf](#)

<http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0604368.pdf>

<http://www.fondear.com/>

<http://www.navegar.com/fondear-embarcacion/>

<http://www.ecomallorca.net/blog/siete-cosas-que-debes-saber-sobre-la-nueva-normativa-para-fondeos-en-baleares>

http://www.ugr.es/~grus/docencia/aei/download/tabla_perfiles.pdf

<http://www.hempel.es/es-es/~/~media/AF3F3ABC458A46C2BA2D33C8DB0F0B6C.pdf>

<http://www.guiasgtp.com/pdf/225-770086-3.pdf>

<http://es.wikipedia.org/>

<https://procesosconstructivos.files.wordpress.com/2013/08/pc1-ficha-04-suelos-clasificac3b3n.pdf>

<http://solysol.com.es/data/documents/Soldeo=20con=20Alamb.Tubular.pdf>

<http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/401/reglamento/reglamentocap8.pdf>

http://www.promsa.com/c/document_library/get_file?uuid=84272a6d-584e-4b57-8569-ec6e488ecb76&groupId=15704

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=1|0_0_0_0|2|ANS010|ans_010:_5c8_0_6_0_1_1c4_0

<http://www.smart-fertilizer.com/articulos/zinc-en-plantas>

www.latabernadelpuerto.com

<http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v23n2/v23n2a13.pdf>

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.30d4b35a97db5c61716f2b105510e1ca/?vgnextoid=63fae902358a0410VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=89170e80651a6310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=portalwebSinMenu>

<http://lifeposidonia.caib.es/user/home.htm>

http://www.fondear.com/Noticias/Fondear_Islas-Baleares.htm

<http://www.balearslifeposidonia.eu/index.php>

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-10923

<http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2041D85E-8606-402C-8978-40DD6D03F576/17475/ORDENFOM11442003.pdf>

<http://www.submon.org/es/>

<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/lic.aspx>

<http://apta.com.es/pdf/aceros.pdf>

http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/placa_de_carga.pdf

<http://www.inoxidable.com/corrosion.htm>

https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/josem/static/CORROSION.pdf

<http://www.howcogroup.com/materials/mechanical-tubing-octg/grade-s32760-grade-s31803-tube.html>

<http://www.conceptsteels.co.uk/es/uns-s32760-uns-s31803-uns-s32750-uns-s31254>

<https://materialesfull.wikispaces.com/file/view/ACERO..pdf>

<http://www.goodfellow.com/catalogue/>

http://www.pilemedic.com/underwater_piles.php

<http://www.international-pc.com/markets/infrastructure/Documents/iso-12944.pdf>

<http://www.international-pc.com/PDS/2561-P-spa-A4.pdf>

<http://www.international-pc.com/PDS/2103-P-spa-A4.pdf>

<http://www.international-pc.com/PDS/2153-P-spa-A4.pdf>

Los links han sido revisados el día 07/10/2015.



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Anexos

"CÁLCULO DE UN FONDEO ECOLÓGICO Y DISPOSITIVO DE ENSAYO PARA EL SISTEMA"

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA MECÁNICA
por **Joan Ramos Valls**

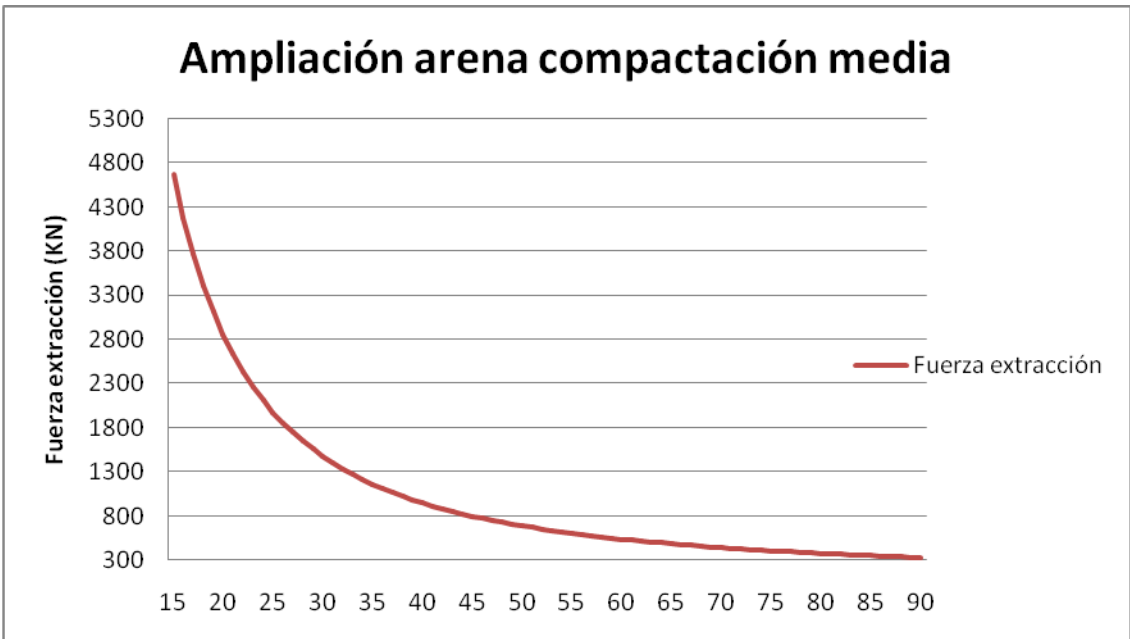
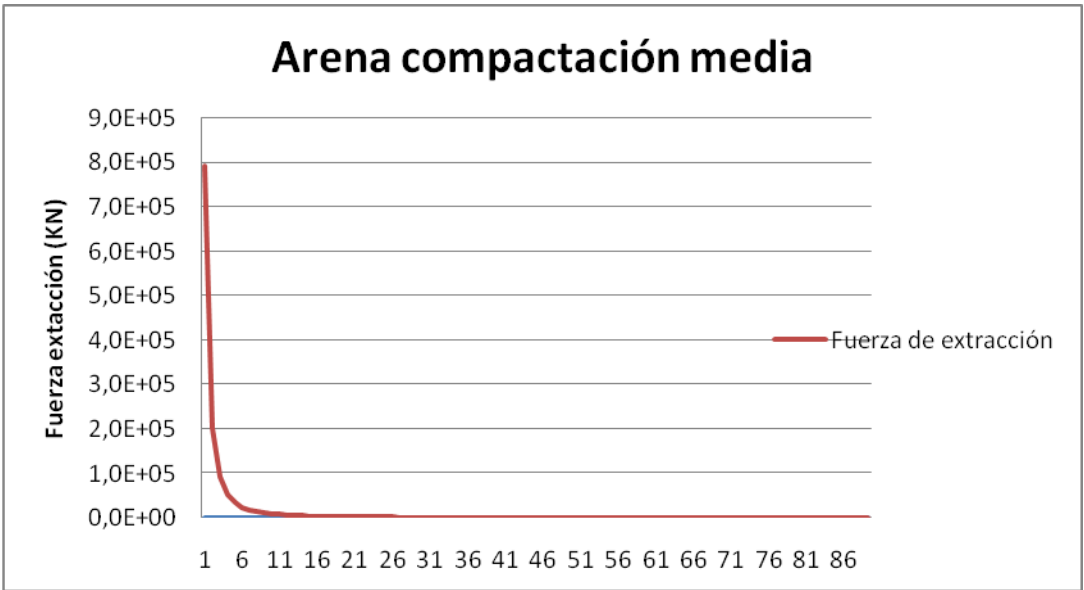
Barcelona, 14 de Octubre de 2015

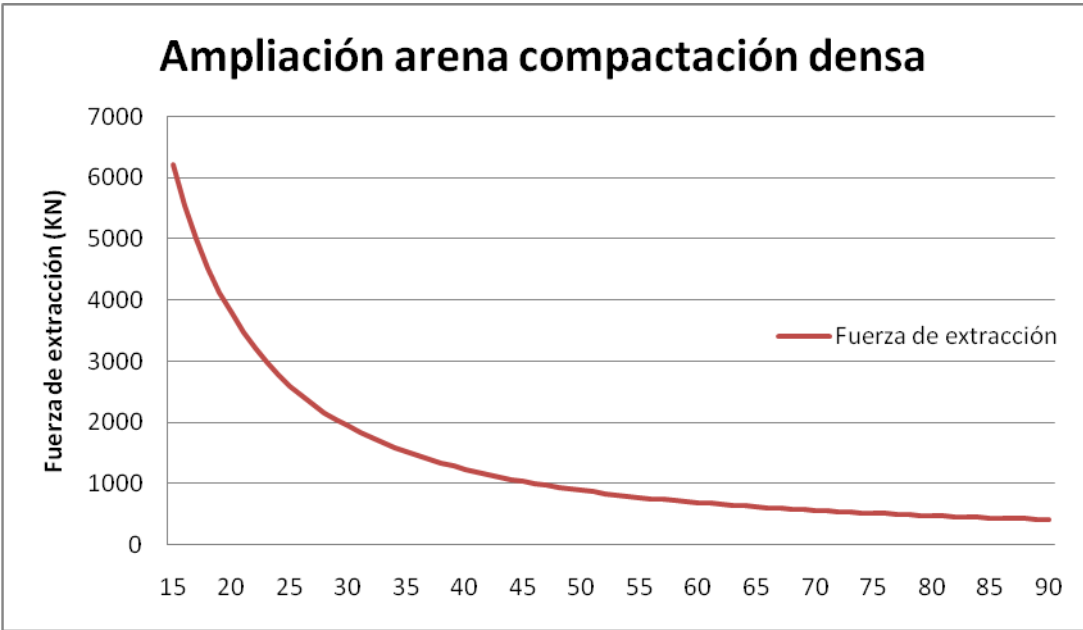
Director: David Sánchez Molina
Departamento de Resistencia de materiales i elasticidad en la
ingeniería (DRMEE)
Universidad Politècnica de Catalunya (UPC)

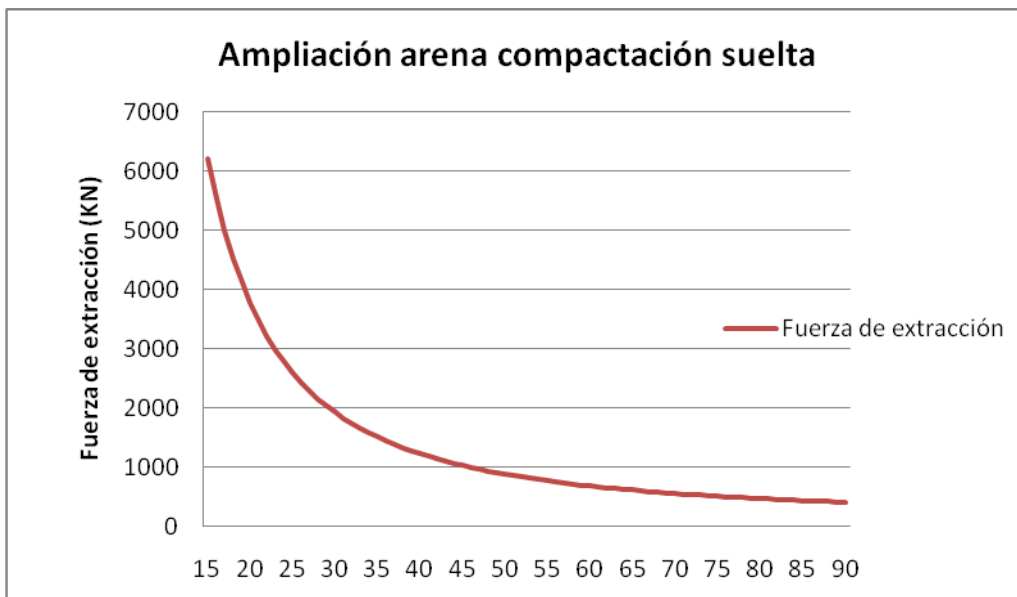
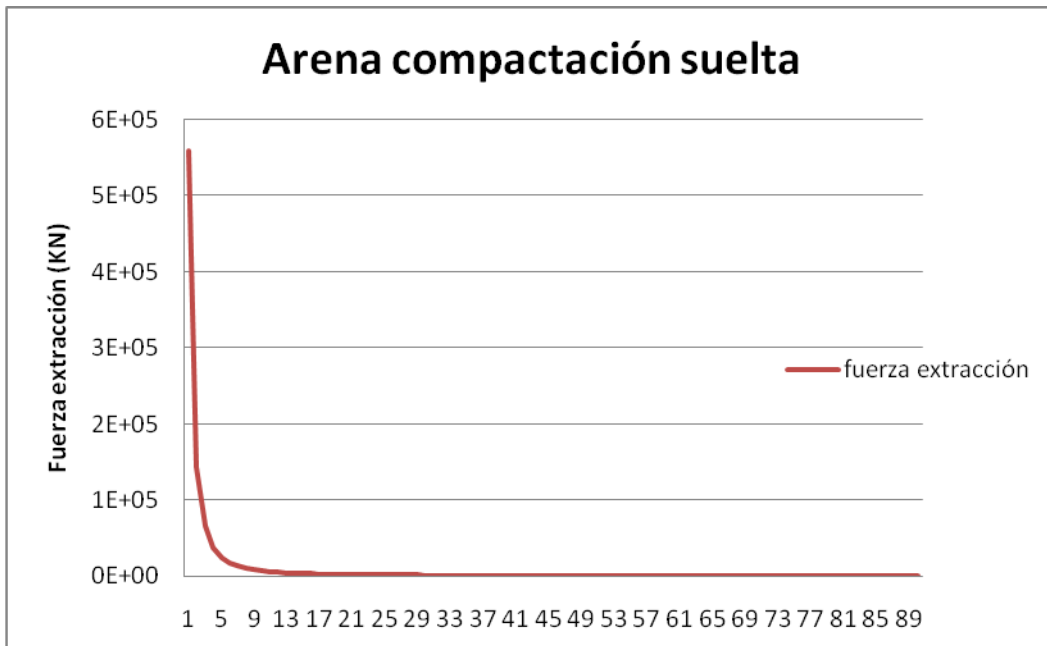
Índice Anexo

Anexo 1:	Tablas de resultados para cada tipo de suelo.....	56
Anexo 2:	Consideraciones sobre el anclaje y el dispositivo de extracción.....	68
Anexo 2.1:	Consideraciones del rendimiento de los discos superiores.	68
Anexo 2.2:	Compensación del momento provocado por la componente horizontal durante la extracción extracción.....	71
Anexo 2.3:	Consideraciones sobre el material y el acabado del anclaje.....	75
Anexo 3:	Comprobación de la estructura de extracción mediante programa de cálculo matricial (CYPE).....	81
Anexo 4:	Estudio del coeficiente de balasto del terreno.....	85
Anexo 5:	Resumen de fórmulas.....	87
Anexo 6:	Características de materiales y datos de fabricantes.....	89

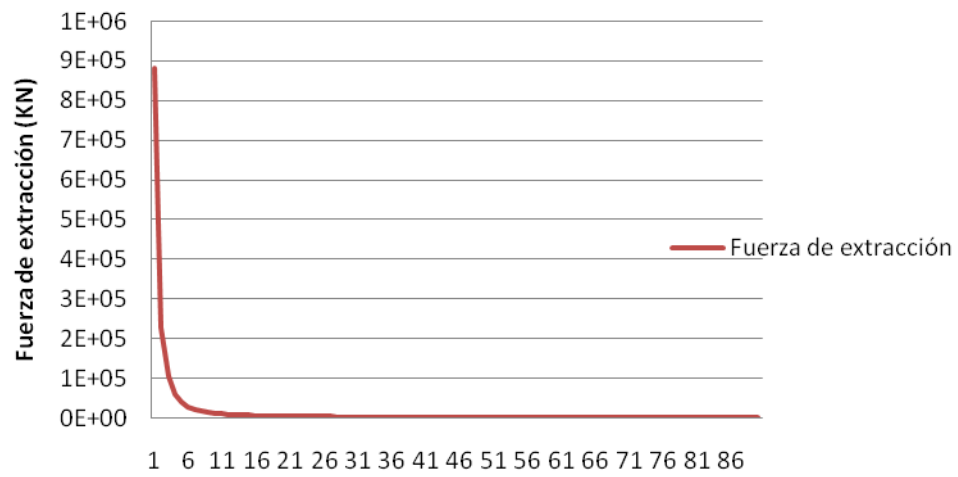
Anexo 1: Tablas de resultados para cada tipo de suelo



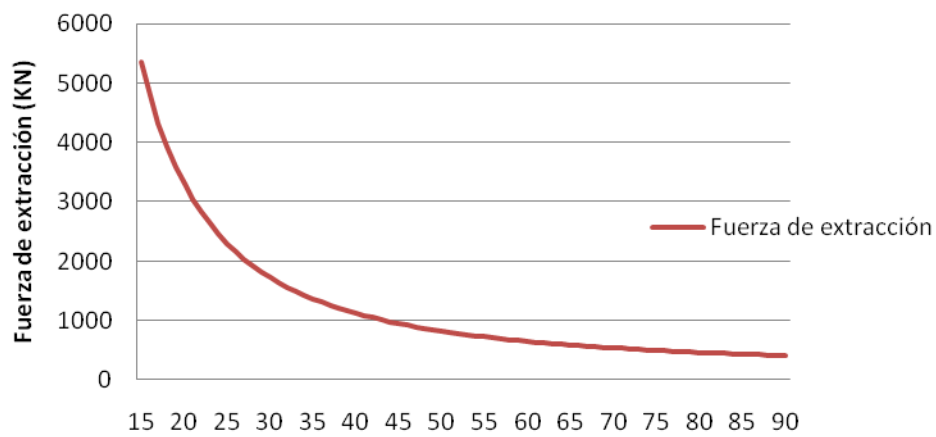




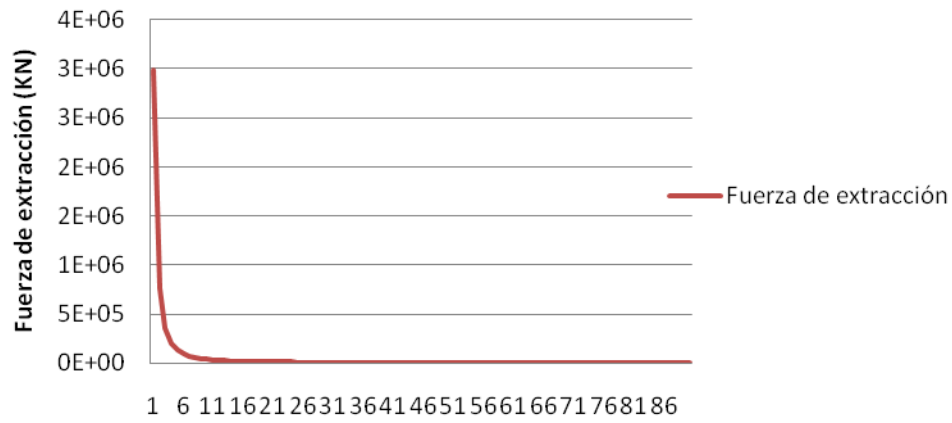
Arcilla baja plasticidad compactación media



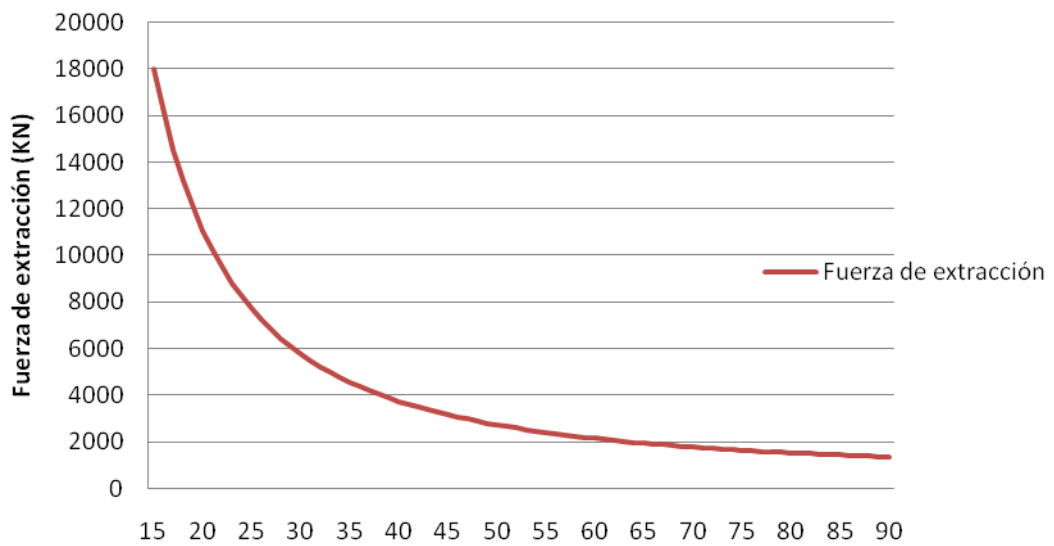
Arcilla baja plasticidad compactación media

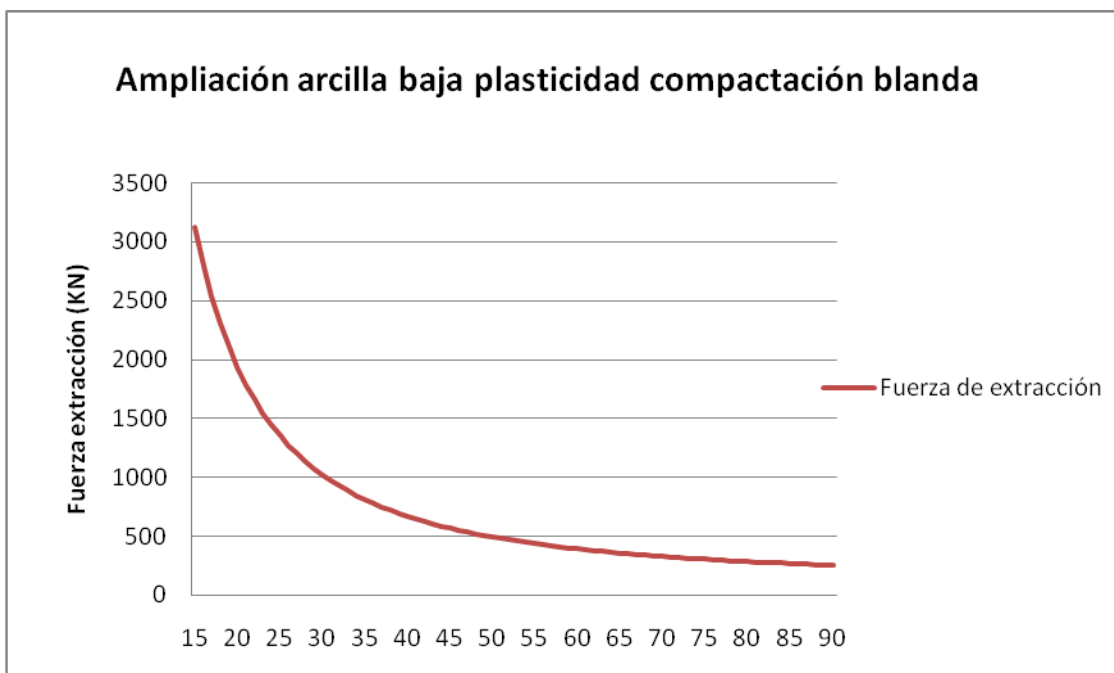
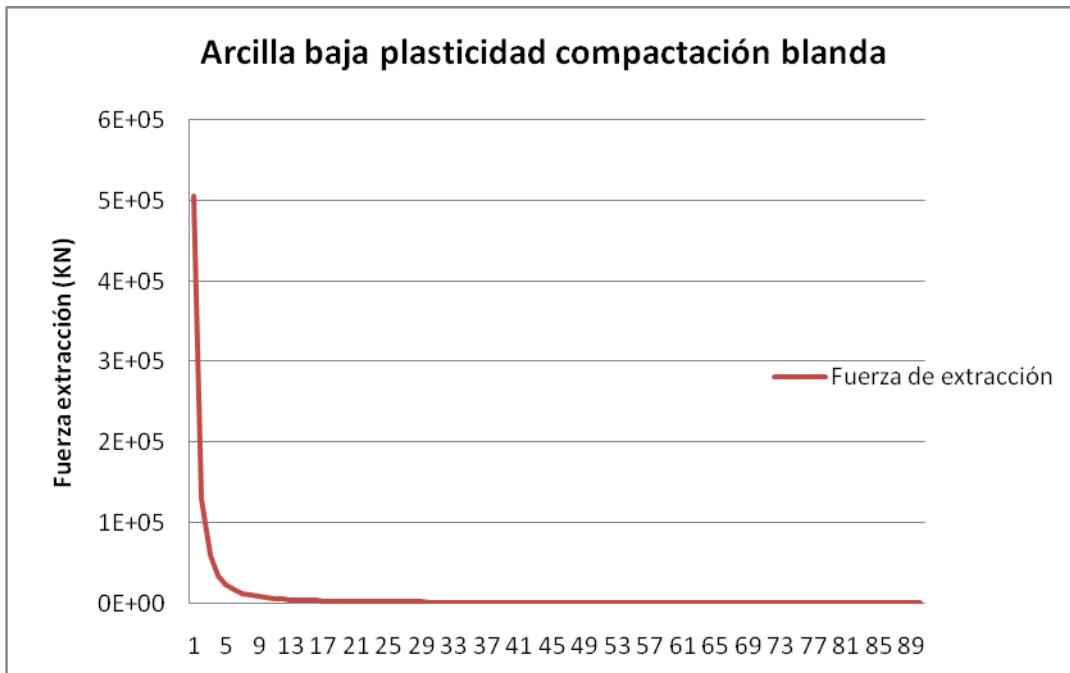


Arcilla baja plasticidad compactación dura

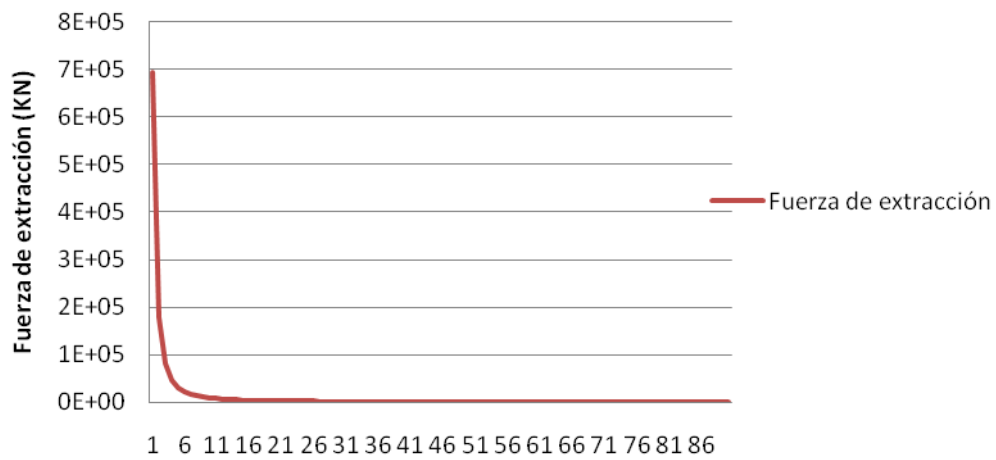


Ampliación arcilla baja plasticidad compactación dura

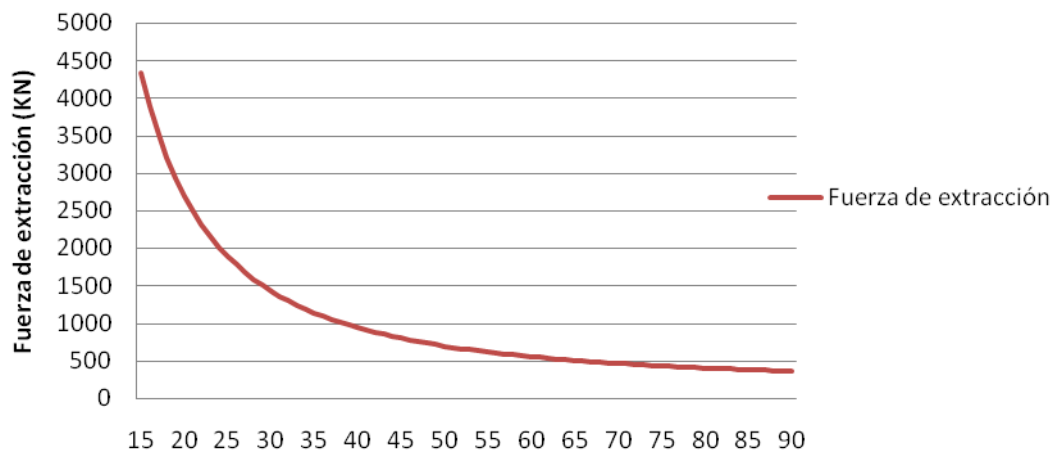


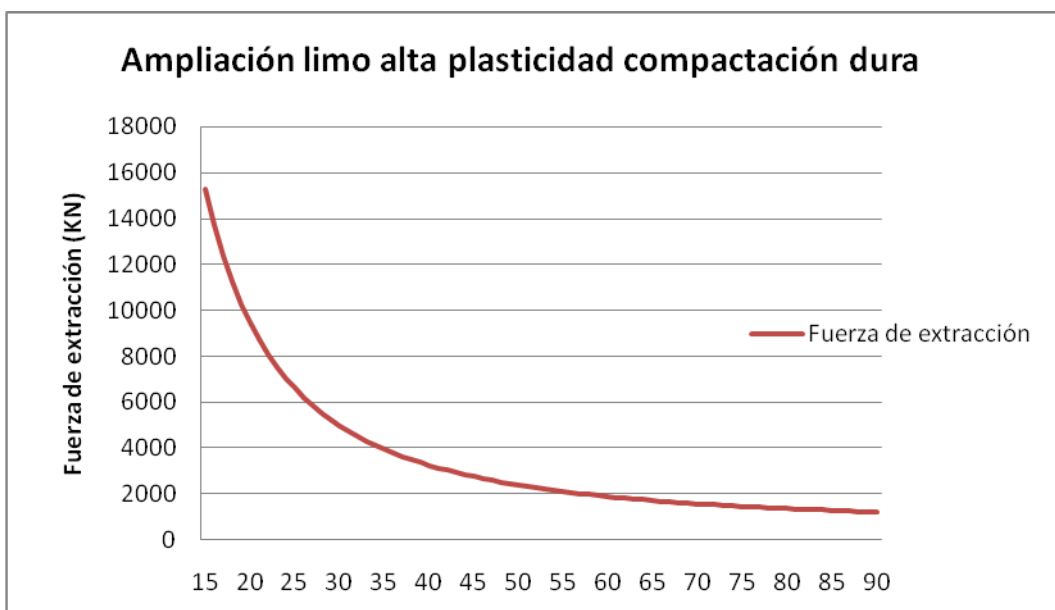
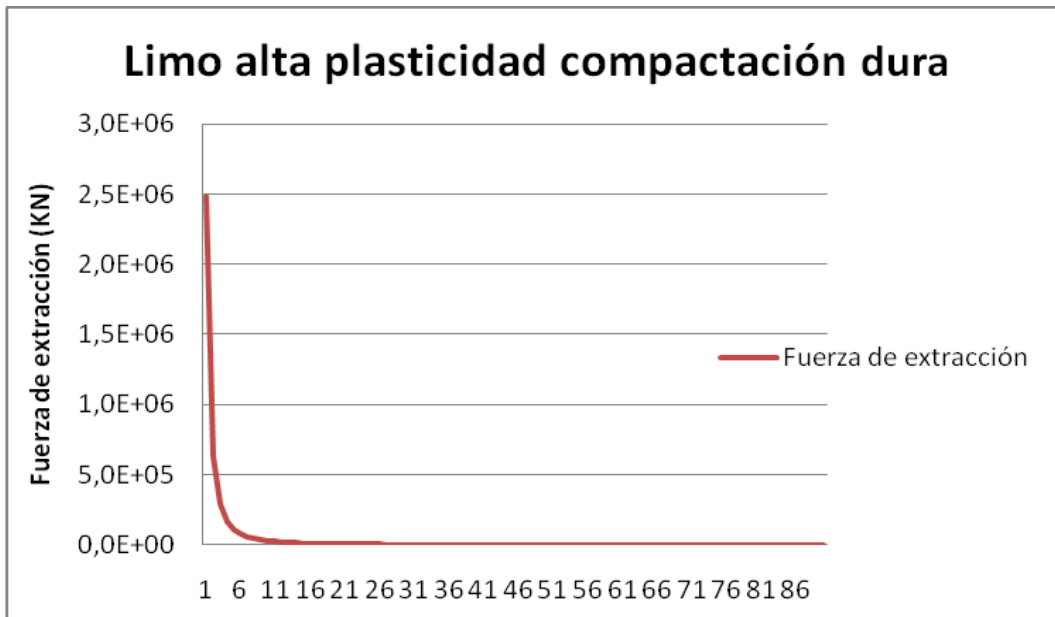


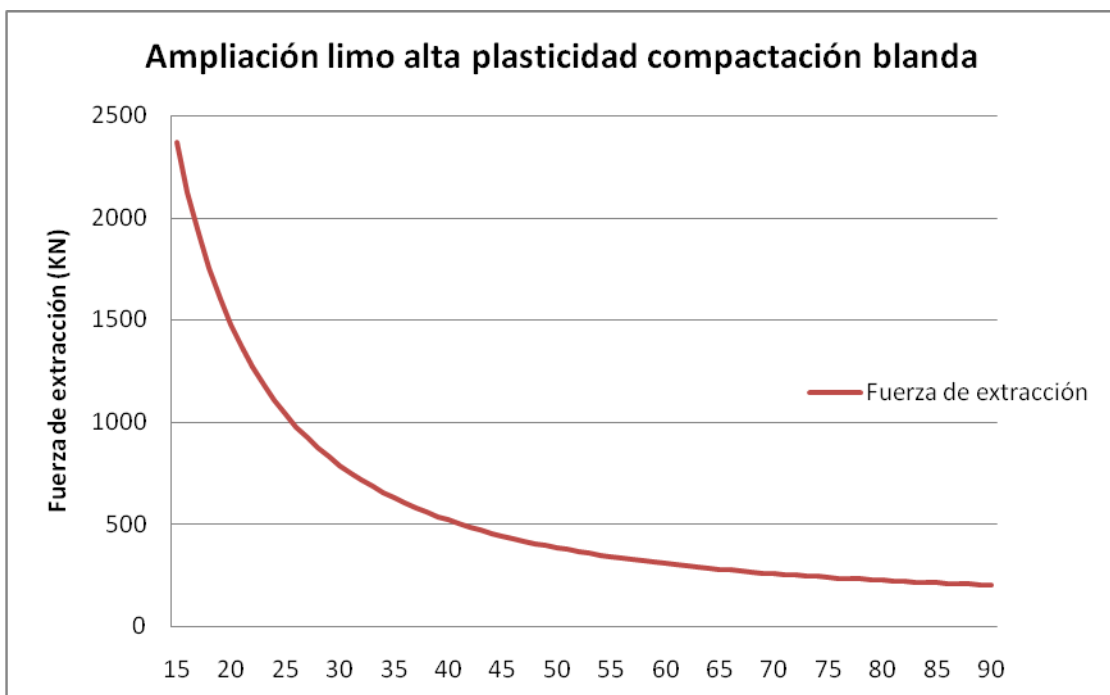
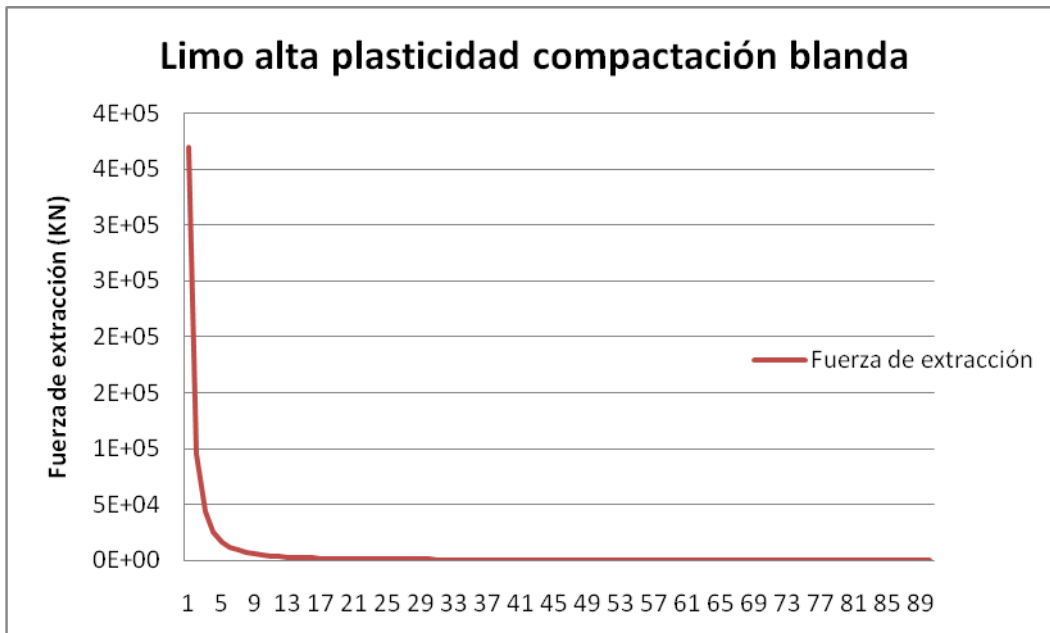
Limo alta plasticidad compactación media

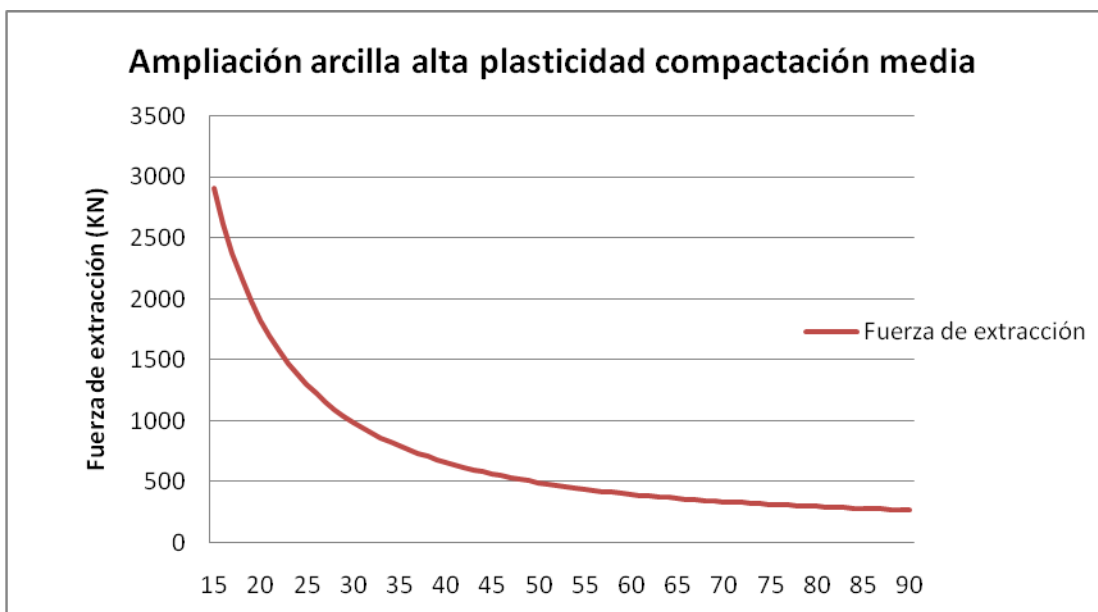
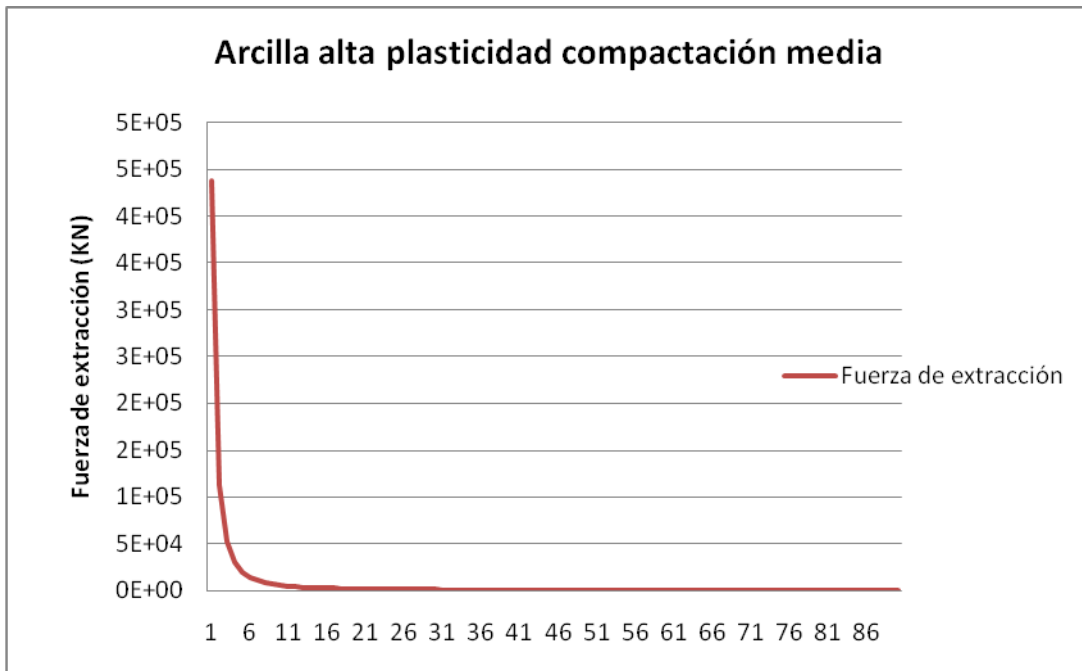


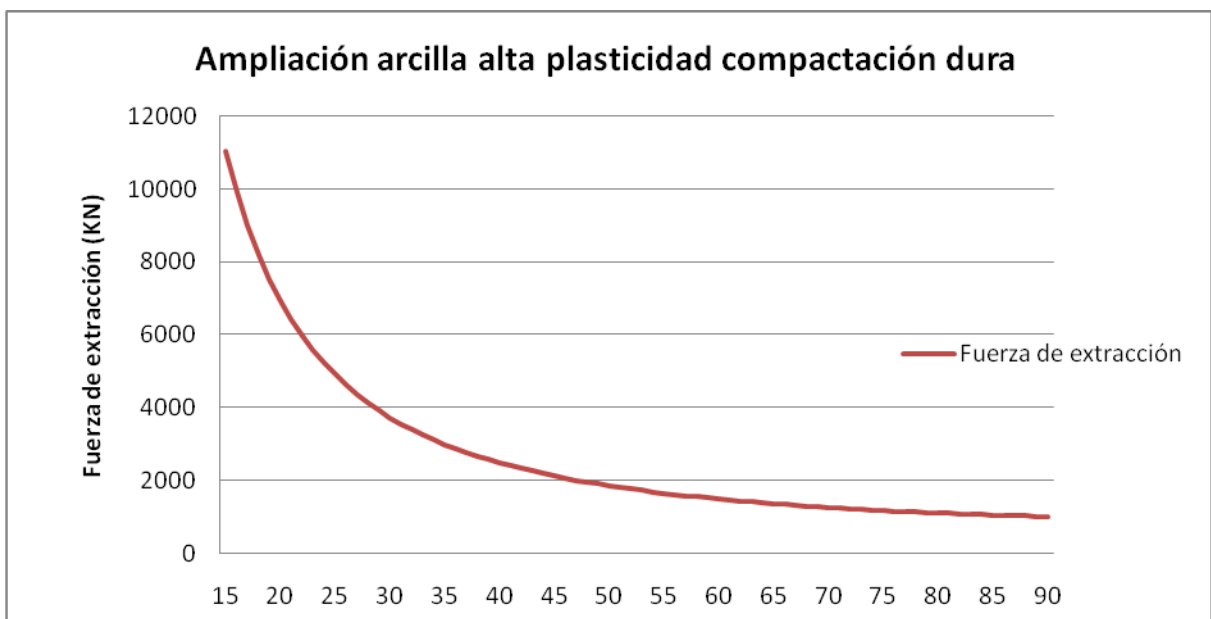
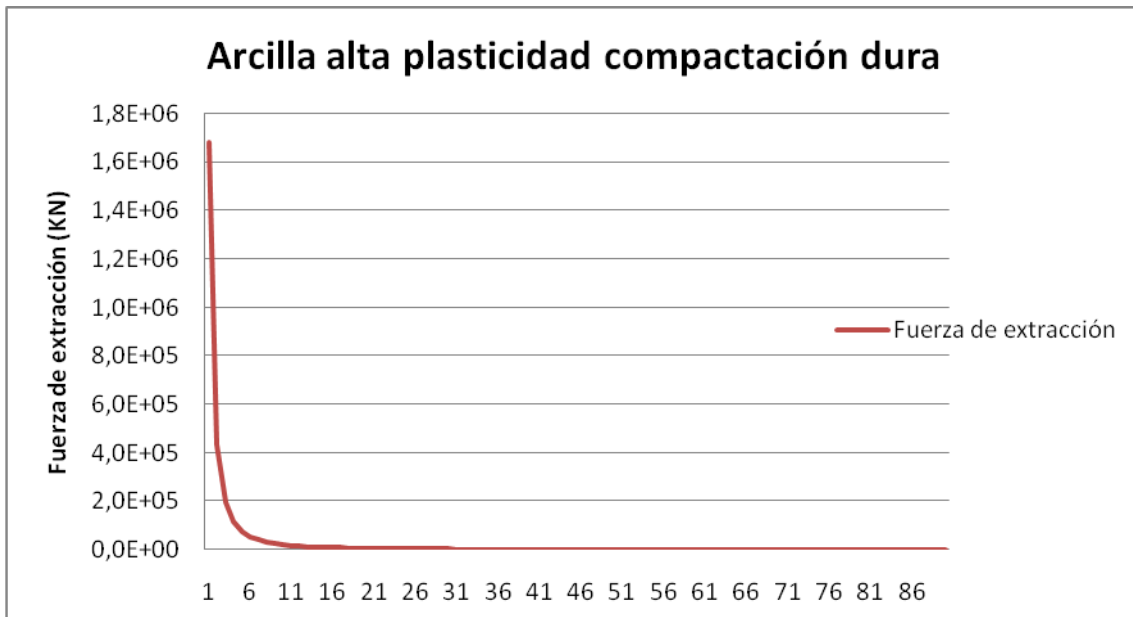
Ampliación limo alta plasticidad compactación media

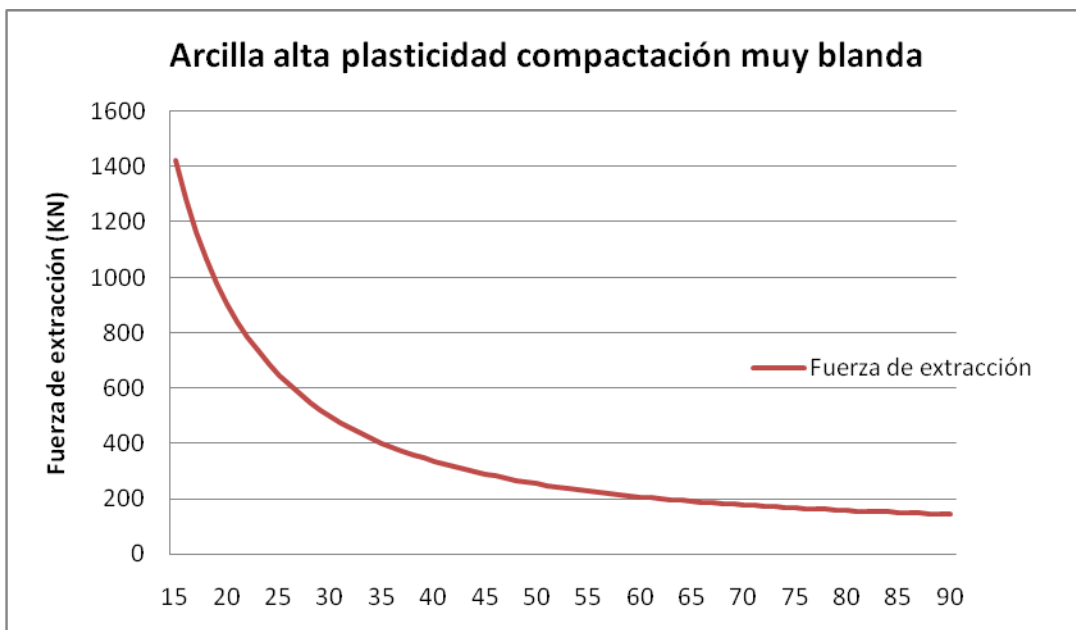
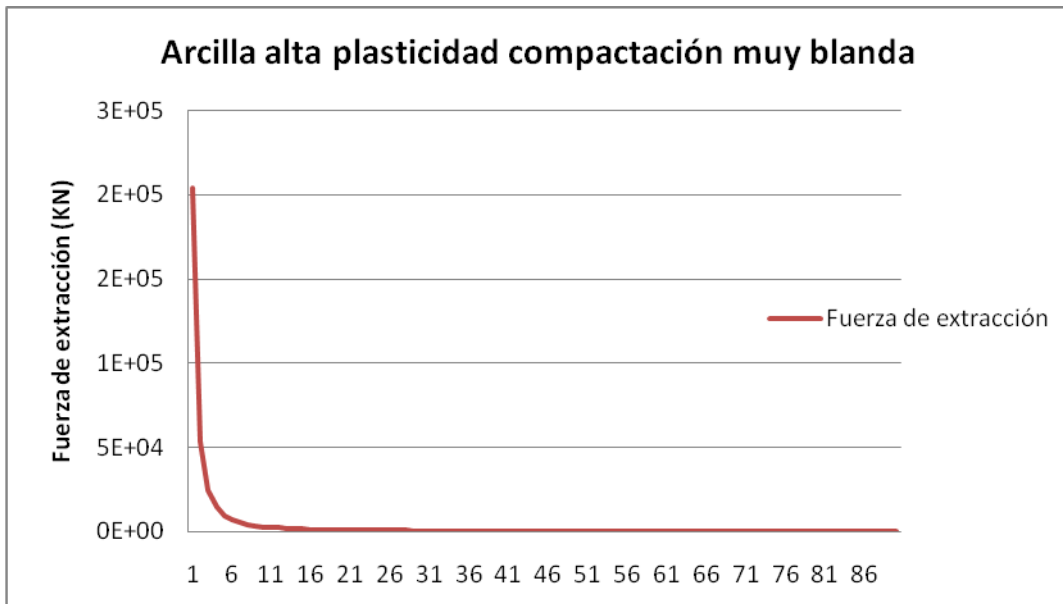












Anexo 2: Consideraciones sobre el anclaje y el dispositivo de extracción

Anexo 2.1: Consideraciones del rendimiento de los discos superiores

Según la patente, el anclaje lleva a parte del disco inferior, dos más de mayor tamaño. A la hora de calcular el trabajo que producen estos discos situados por encima, se puede considerar que el tronco cono formado por el disco inferior formará un ángulo de rozamiento igual que los superiores.

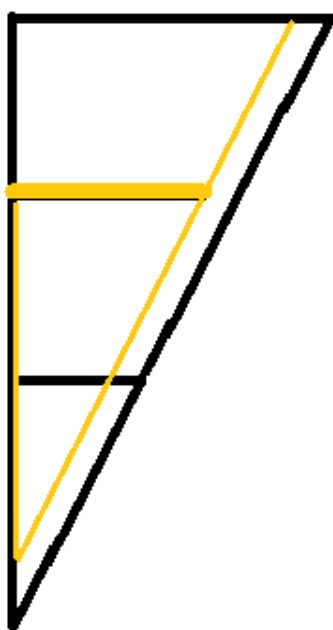


Ilustración A2.1. 1: Ejemplo de disco superior que no aporta resistencia adicional

Por lo tanto es fácil darse cuenta gráficamente que, a no ser que los discos superiores tengan un radio suficientemente grande como para que formen un tronco cono mayor que el inferior, éstos no aportarán nada a nivel de resistencia a la extracción. Además, la fuerza de rozamiento viene definida en función de la profundidad (entre otras cosas), la cual también influye a la baja en el rendimiento del disco superior

En la ilustración A2.1.1 se puede ver un ejemplo. En este caso el radio del disco superior (amarillo) no llega a cortar la superficie del tronco cono inferior (negro). Como el material tiene las mismas características mecánicas y físicas, el ángulo de rozamiento también coincide y se forma un tronco cono de menor medida.

En este caso, cuando se empieza a aplicar una fuerza vertical para extraer el anclaje, primero rompería el terreno del tronco cono superior. El cual está incluido dentro del inferior. Se puede observar que el tronco cono superior tendrá una presión de arena inferior debido a que se encuentra a una profundidad menor. Por tanto, el anclaje aguantaría fijado al suelo hasta que rompiera el terreno en contacto con el tronco cono inferior.

De modo que si se quiere que los discos superiores tengan un rendimiento útil para aumentar la fuerza de extracción necesaria, éstos deben tener un diámetro suficientemente grande para que la geometría de su tronco cono sea mayor que el formado por el disco inferior.

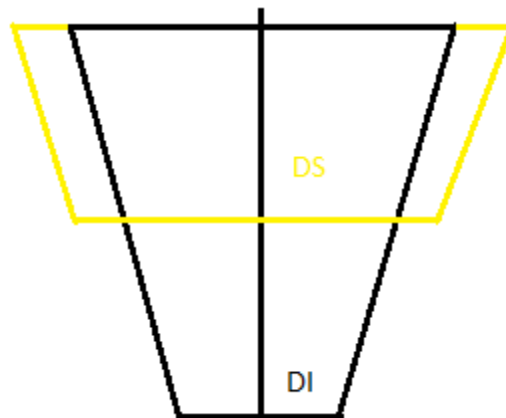


Ilustración A2.1. 2: Ejemplo de disco superior que si aporta resistencia adicional

En la ilustración A2.1.2 se muestra un anclaje con dos discos en donde el disco superior forma un tronco cono de dimensiones mayores que el formado por el disco inferior. De este modo el disco superior le aportaría al inferior una fuerza de rozamiento adicional. Se puede observar que para lograrlo, se necesita un tamaño de disco superior con unas dimensiones bastante grandes, lo cual considero un problema a la hora de instalar el anclaje en la arena. Se puede hacer reducir el tamaño del disco superior acercándolo al inferior de modo que se conseguiría un rendimiento parecido a tener solo el disco superior. Además el hecho de que los dos discos estén muy cerca el uno del otro, puede provocar que el disco inferior no se forme bien debido a que el superior le hace "sombra".

Por estas razones en el diseño del anclaje se propone usar un solo disco en la parte inferior del eje, intentando maximizar el diámetro del mismo sin que sea excesivo y dificulte la instalación.

Como desconozco el par de fuerzas necesario para girar el anclaje durante su instalación, habrá que comprobar durante la fase de ensayos la viabilidad de usar según que tamaños del disco.

Anexo 2.2: Compensación del momento provocado por la componente horizontal durante la extracción

A la hora de realizar el ensayo de extracción, el cable pasa a través de la polea situada en la estructura de extracción para luego unirse al barco. Al desplazarse el barco, éste tira del cable hasta que se tensa y empieza a aumentar la fuerza hasta que el suelo cede y el anclaje se desprende.

Cuando el cable está tenso forma un ángulo α que dependerá de la longitud del cable y la profundidad del agua. Éste ángulo provocará en la parte más alta de la estructura de extracción una fuerza con un momento flector vinculado que hará que la estructura gire sobre el punto B.

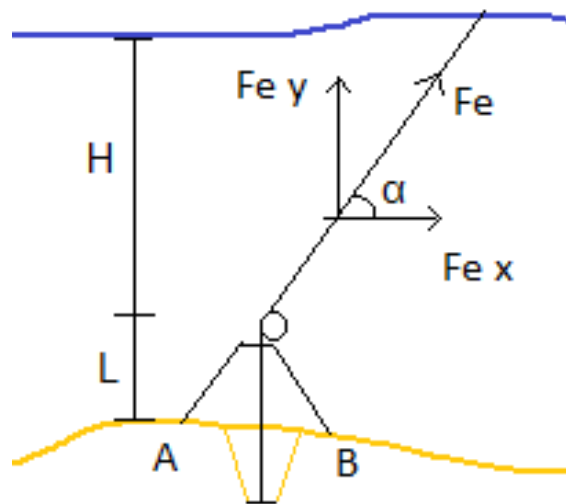


Ilustración A2.2. 1: Esquema de fuerzas que provoca la extracción

Para evitar que la estructura vuelque debido al momento provocado por la componente horizontal, se propone acortar lo máximo posible la longitud del cable de modo que cuando se tense forme un ángulo lo más vertical posible. De éste modo se consigue minimizar la componente horizontal y por lo tanto, el momento que provoca que la estructura vuelque.

Minimizando la componente horizontal solo se consigue disminuir el efecto, pero se debe compensar el momento de alguna manera. la solución que he tomado consiste

en acoplar a la estructura un material que haga de lastre en el punto A para compensar el momento.

A la hora de elegir el material, éste debe ser de densidad alta y precio bajo, ya que solo se necesita que la gravedad haga su efecto. Debido al empuje vertical provocado por el agua, se debe tener en cuenta que el cuerpo sumergido pesará menos que si no lo estuviera.

Para este cálculo uso como material un hormigón de alta densidad: $4000 \text{ Kg}/\text{m}^3$. Considero importante la densidad porque cuanto más volumen tiene el material más empuje vertical recibe, por lo tanto mayor es la diferencia entre el peso sumergido y el peso en seco.

Con las fuerzas como en la ilustración, con los siguientes datos :

$$L = 2 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{agua}} = 1027 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$H = 5 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{Hormigón}} = 4000 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\alpha = 75^\circ$$

$$AB = 3 \text{ m}$$

$$F_e = 330 \text{ KN (arena standard)}$$

Primero se calcula la componente horizontal de la fuerza y el momento en el punto B

$$F_{ex} = F_e \cdot \cos(\alpha) = 33 \cdot 10^4 \cdot \cos(75) = 85.4 \text{ KN} \quad (\text{A1})$$

$$MB = -85410.3 \cdot 2 + \text{Peso sub} \cdot 3 = 0 \quad (\text{A2})$$

De la ecuación de equilibrio **(A2)** se puede obtener la fuerza que debe realizar la masa sumergida. cual ya tiene en cuenta el efecto del empuje.

$$\text{Peso sub} = \frac{85410.3 \cdot 2}{3} = 56940 \text{ N}$$

Se convierte el peso en masa dividiéndolo por la constante gravitatoria

$$masa\ sub = \frac{peso\ sub}{9.81} = \frac{56940}{9.81} = 5810\ Kg$$

Expresamos el empuje en función de la masa de hormigón **(A3)** y lo sustituimos en la ecuación siguiente **(A4)**.

$$Empuje = \rho\ agua \cdot Vh = \frac{masa\ h \cdot \rho\ agua}{\rho h} \quad \textbf{(A3)}$$

$$Masa\ sub = masa\ hormigón - Empuje = masa\ h - \frac{masa\ h \cdot \rho\ agua}{\rho h} \quad \textbf{(A4)}$$

$$masa\ h = \frac{Masa\ sub}{\left(1 - \frac{\rho\ agua}{\rho h}\right)} = \frac{5810}{\left(1 - \frac{1027}{4000}\right)} = 7817\ Kg$$

Con ésta masa en seco de hormigón colocado en el punto A se compensa el momento provocado por la componente horizontal durante los ensayos de extracción en arena estándar.

$$Vh = \frac{masa\ h}{\rho h} = \frac{7817}{4000} = 1.95\ m^3 \approx 2\ m^3 \quad \textbf{(A5)}$$

Con la masa de hormigón pesado que se ha obtenido, equivale a un volumen de unos 2 m^3 . Estos bloques o bloque se deben poner alrededor del punto A, el cual está en el lado opuesto a la dirección hacia donde tira la componente horizontal (Ilustración A.2.2.1). El cilindro que alberga el bloque cilíndrico de hormigón tiene un diámetro de 100 mm mientras que el hormigón tiene las siguientes medidas: diámetro 1320 mm x 1500 mm de altura. Con estas medidas se compensa el momento que se genera en el punto opuesto de la estructura. (Ilustraciones A.2.2.2 y A.2.2.3)

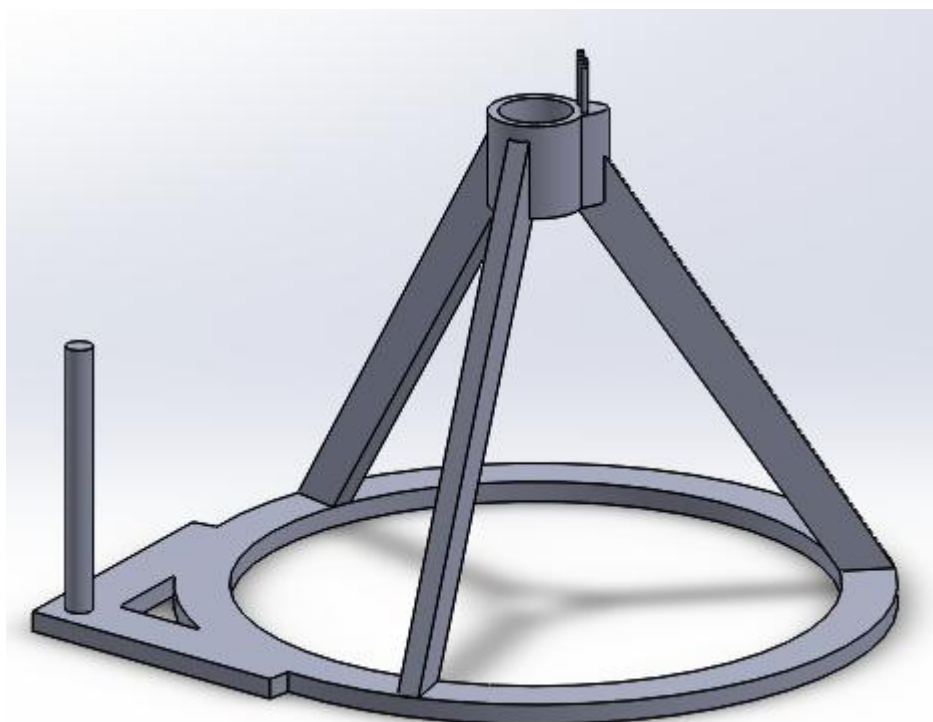


Ilustración A2.2. 2: Pie de la estructura de extracción anti vuelco

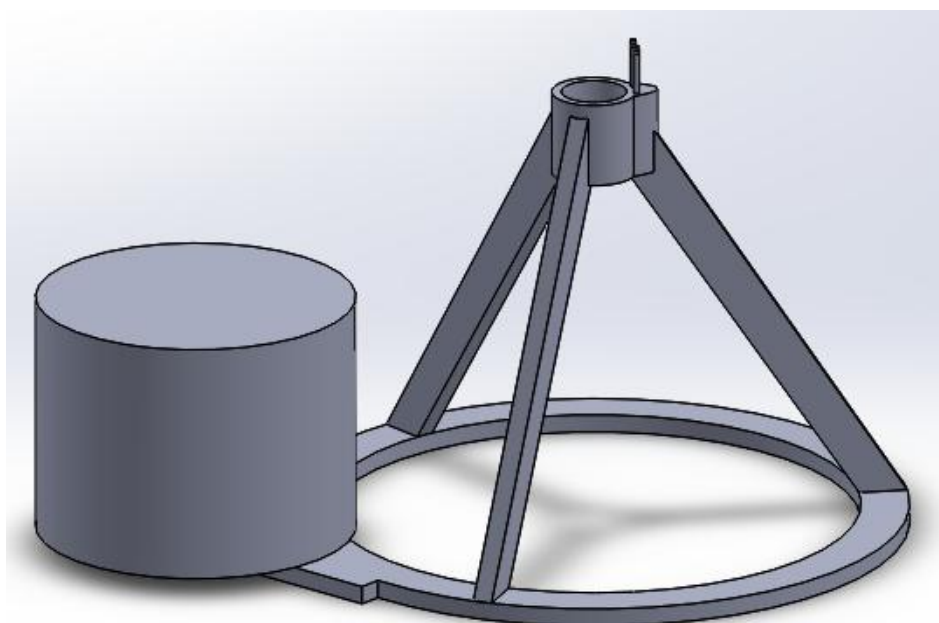


Ilustración A2.2. 3: Pie de la estructura de extracción anti vuelco con su bloque de hormigón.

Anexo 2.3: Consideraciones sobre el material y el acabado del anclaje

Los aceros son sinónimo de buenas prestaciones mecánicas y fiabilidad en todo tipo de trabajos de ingeniería. Dado que el principal problema es de corrosión, se deben descartar aquellos que no tengan buenas características.

El principal problema de los aceros es que la presencia de carbono en su estructura favorece el proceso de oxidación, por lo que el uso de aceros al carbono no sería la mejor opción. Ésto nos descarta la gran mayoría de aceros que se suelen usar en unas condiciones normales de trabajo.

Existen varios tipos de aleaciones conocidas como aceros inoxidable, los cuales tienen como característica principal un contenido muy bajo en carbono, llegando en determinadas aleaciones a ser menor del 0.03%. Todos los aceros inoxidables son aleaciones con un mínimo de un 10,5% de cromo. Suficiente para darles sus características inoxidables. Se les puede añadir otros elementos como el molibdeno para reforzar otras características como la dureza

La clave de los aceros inoxidables es que al contactar con el oxígeno se forma una película de óxido de cromo que protege la superficie creando una coraza contra la corrosión. Otra ventaja es que si ésta coraza se elimina, se vuelve a formar al ponerse en contacto con el oxígeno. Se incluyen más características de éstas aleaciones en el anexo 6.

Finalmente seleccionaría el acero inoxidable de la serie AISI 316 el cual tiene unas características idóneas para el uso en este tipo de condiciones, siendo usado por éste motivo en trabajos de ingeniería naval. El problema de usar este material es que es más caro que otro tipo de acero con menos resistencia a la corrosión como los aceros al carbono corrientes. Por otro lado si se usa un acero corriente se deberá proteger mediante algún tratamiento o protección superficial.

Con lo cual se deberá estudiar las posibilidades y escoger la opción más económica entre un acero inoxidable o un acero con poca resistencia a la corrosión con algún tratamiento superficial.

Además de la protección contra el óxido, También hay que tener en cuenta que el contacto continuo con la arena provoca desgaste por abrasión. Especialmente en la argolla donde las corrientes de agua arrastran arena, la cual va impactando continuamente sobre esa zona. Debido a que el anclaje no tiene la posibilidad de ser extraído para hacerle el mantenimiento correspondiente, se considera la necesidad de proteger el acero de la hostilidad del medio. En éste caso arena y agua de mar.

Para proteger la argolla contra la erosión se propone una solución simple consistente en cubrirla con un material plástico una vez instalado en su posición de uso. Ésto también protegerá la argolla de los continuos movimientos del cabo al que va atado.

En cuanto a la corrosión una de las opciones posibles es proteger el acero mediante pinturas especiales para protección ante la corrosión. Ésta opción se rige por la norma UNE-EN ISO 12944 la cual consta de 8 partes donde constan distintos tipos de procesos de protección contra la corrosión. Para un acero bajo las condiciones de exposición al medio corrosivo en agua o tierra IM3, se ofrecen varios tipos de protección cuyo grosor total máximo entre la primera y la última capa de pintura es de 800µm.

Al final del anexo 6 se puede encontrar las tablas de datos y tratamientos de un fabricante según la norma ISO 12944. En concreto se usaría la combinación de productos especificada en la referencia I o J, los cuales son los especificados para este tipo de exposición al medio.

Éste tratamiento consta de una capa rica en zinc de 75 µm(Interzinc 52), una capa de dos componentes epoxy de 200 µm (intergard 475 HS) y una última última capa que alargará aún más las condiciones anticorrosivas (interfine 878). El fabricante incluye en la ficha técnica de dichos productos la información necesaria para calcular que cantidad de anclajes se pueden pintar con un litro de pintura. Sabiendo lo que cuesta cada producto se puede valorar el precio de la pintura por anclaje en 3.10€ a lo que hay que añadirle el coste de un operario que prepare la pieza y la pintura y proceda a su aplicación en las distintas capas según las instrucciones del fabricante. Con lo cuál este proceso encarece bastante la producción del anclaje.

También se puede proponer un recubrimiento de fibra de vidrio que se aplica en forma de "camisa" la cual una vez sellada aísla la superficie del medio. El problema de este tipo de recubrimientos es que no podemos proteger todas las partes del anclaje del mismo modo. El disco helicoidal sería el gran perjudicado con este tipo de recubrimiento ya que las "camisas" están pensadas para cubrir eficazmente geometrías cilíndricas. Aunque es una solución práctica para proteger el vástago, debo descartarla por no proteger eficazmente toda la superficie del anclaje.

Otra opción puede ser un recubrimiento plástico por inmersión donde se obtienen grosores de capa bastante mayores que con pinturas y protege totalmente la pieza contra este tipo de fenómeno.

Por último en cuanto a la protección superficial, tengo en cuenta la posibilidad de realizar un tratamiento de galvanizado por inmersión en Zinc caliente, una solución económica y eficaz en ambientes con grandes exposiciones a la corrosión. Este tipo de tratamiento tiene otras ventajas además de la protección ante la corrosión que le aporta el Zinc en la superficie del material. El cual con el paso del tiempo reacciona con el oxígeno formando una capa de óxido de Zinc que actúa a modo de aislante. A esto se le añade la característica del autocurado, por la cual ante raspaduras superficiales, se produce una reacción química que taponará la superficie dañada.

Serie galvánica para metales en agua de mar	
Magnesio	
Aleaciones de magnesio	
Zinc	
Aleaciones de aluminio	
Acero galvanizado	
Hierro de fundición	
Acero	
Plomo	
Estaño	
Cobre	
Latón (cobre + zinc)	
Bronce (cobre + estaño)	
Plata	
Oro	
Platino	

Tabla 3: La serie galvánica indica que material es más activo en contacto con el agua de mar.

Esta serie (tabla 3) clasifica los metales de más a menos activos. De esta forma, si se tiene un trozo de acero en contacto con zinc sumergidos ambos en agua de mar o salada, como el zinc es más activo que el acero, se oxidará primero el zinc antes que el acero y mientras haya zinc en contacto con el acero, éste no se verá afectado por la corrosión. Los metales más activos (más arriba en la tabla) protegen a los menos activos (más abajo en la tabla).

La galvanización por inmersión en caliente se obtiene, como ya se ha dicho, por inmersión de la pieza de acero en un baño de zinc fundido a una temperatura de 450°C aproximadamente. Durante la fase de inmersión, se produce una reacción entre el hierro de la pieza y el zinc, generándose una aleación de hierro-zinc que queda adherida a la superficie. El espesor de esta aleación depende del tiempo de inmersión de la pieza en el baño y de la temperatura de éste.

El criterio para determinar la calidad del galvanizado por inmersión son el aspecto superficial o visual, la adherencia y el espesor. Este último es el más relevante, dado que la duración es directamente proporcional al valor de este espesor.

De esta forma, según lo indicado en la Tabla 3 de la página siguiente y teniendo en cuenta el valor de las pérdidas anuales de espesor de zinc, que están estimadas según la norma UNE EN ISO 14713 (ver tabla 4 que se adjunta), para cada una de las diferentes categorías de corrosividad ambiental, es inmediato calcular la duración que puede proporcionar un recubrimiento galvanizado a cualquier pieza de acero.

Espesor de la pieza	Recubrimiento Local (mínimo)		Recubrimiento medio (mínimo)	
	g/m ²	μm	g/m ²	μm
Acero ≥ 6 mm	505	70	610	85
Acero ≥ 3 mm hasta < 6 mm	395	55	505	70
Acero ≥ 1,5 mm hasta < 3 mm	325	45	395	55
Acero < 1,5 mm	250	35	325	45
Piezas moldeadas ≥ 6 mm	505	70	575	80
Piezas moldeadas < 6 mm	430	60	505	70

Tabla 4: Espesores mínimos del recubrimiento. Fuente UNE EN ISO 1461

Categoría corrosiva (Ambientes)		Riesgo de corrosión	Velocidad de corrosión del zinc (μm/año)
C1	Interior: seco	Muy bajo	≤ 0,1
C2	Interior: condensación ocasional	Bajo	0,1 a 0,7
	Exterior: rural en el interior		
C3	Interior: humedad elevada, aire ligeramente contaminado	Medio	0,7 a 2
	Exterior: urbano en el interior o costero de baja salinidad		
C4	Interior: piscinas, plantas químicas, etc.	Elevado	2 a 4
	Exterior: industrial en el interior o urbano costero		
C5	Exterior: industrial muy húmedo o costero de elevada salinidad	Muy elevado	4 a 8

Tabla 5: Pérdidas anuales de espesor de Zinc. Fuente: UNE EN ISO 14713

Para que el proceso de galvanizado sea efectivo, el recubrimiento que se consiga no debe ser una mera deposición superficial de zinc, sino que debe constituirse una verdadera aleación metalúrgica superficial, con al menos 3 capas de aleaciones Fe-Zn y una cuarta y última capa más externa que se constituya de zinc puro. Las aleaciones de las capas intermedias de Fe-Zn que se forman son más duras que el acero base, lo que significa que resistirán muy bien a golpes o rozaduras sin desprenderse.(ilustración A. 2. 3. 1).

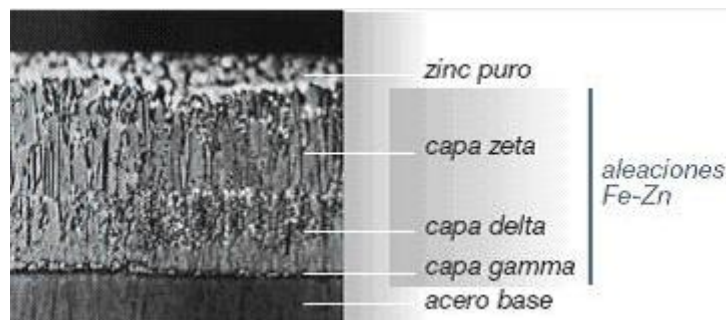


Ilustración A. 2. 3. 1: Detalle de una superficie galvanizada fuente:www.ingemecanica.com

El problema de hacer un galvanizado es el uso de un metal que está clasificado según reglamento (CE) No 1272/2008 como peligroso para el medio ambiente con categoría 1 por ser muy tóxico y de efectos a largo plazo en organismos acuáticos.

Lo cuál representa una contradicción con los principios que motivaron el desarrollo del anclaje.

Por otro lado no existe normativa alguna referente a la prohibición del galvanizado o el uso del Zinc en entornos marinos.

Anexo 3: Comprobación de la estructura de extracción mediante programa de cálculo matricial (CYPE)

Puesto que la estructura debe soportar unos esfuerzos considerables, es útil realizar una comprobación para asegurarse de que el diseño será capaz de resistir los esfuerzos que se le exigirán durante la prueba.

Además este tipo de programas facilitan el dimensionado óptimo de las barras a usar, dando perfiles estandarizados como solución. Lo cual es útil si se quiere optar por algún tipo de perfil en concreto; ya sea por cuestiones de diseño o por facilidades a la hora de cortar y soldar las distintas barras, etc.

Otra característica importante de éste tipo de programa es que dentro de la comprobación de los perfiles, barras y nudos, ya se incluye la verificación del cumplimiento de normativas que se le indique. En el caso de la estructura de extracción, ésta debe cumplir con las normativas referentes a la instrucción de acero estructural (EAE).

Para ello compruebo una estructura similar a la diseñada con el programa CAD. Donde se introducirán los valores calculados para la extracción vertical del anclaje en arenaestándar.

La fuerza de extracción durante la prueba es de unas 33 toneladas, las cuales se descomponen en fuerza horizontal y vertical tal y como se describe en el Anexo 2.2.

El programa realiza las comprobaciones necesarias para cumplir con todas las especificaciones que se le piden y devuelve una dimensión del perfil seleccionado. En éste caso se le pide dimensionar perfiles de acero con forma de tubo rectangular.

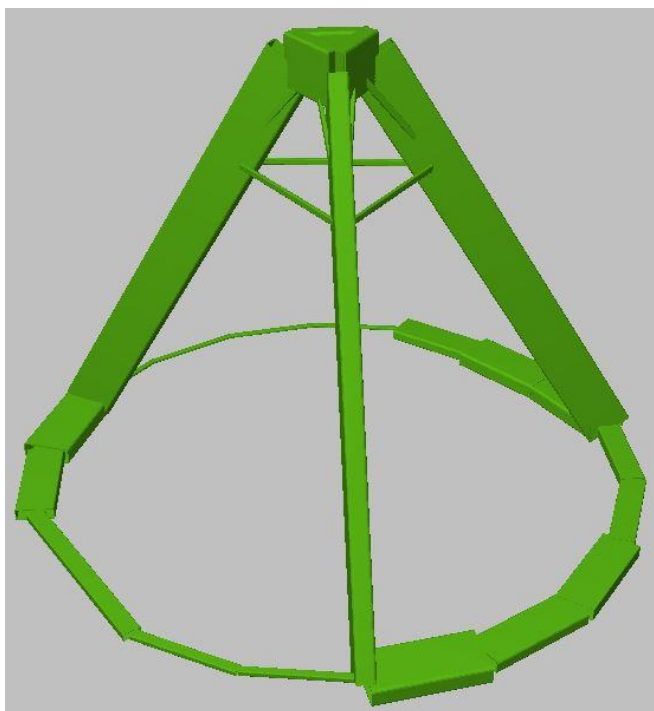


Ilustración A. 3. 1comprobación de dimensionamiento para la solicitud de esfuerzos durante el ensayo de extracción vertical

En la ilustración A3.1 se puede comprobar cómo la estructura soporta los esfuerzos y cumple con la normativa que se le especifica al inicio del cálculo. En este caso se le indica que cumpla la instrucción de acero estructural (EAE).

Las medidas de los perfiles de las patas del trípode y el anillo de base al que van soldadas son iguales. La diferencia es que los perfiles de la base van apoyados al suelo por la parte más ancha, mientras que las patas del trípode están dispuestas tal y como se muestra en la ilustración A3.1.

El programa dimensiona los distintos perfiles según su sollicitación. Debido a que el programa no admite dibujar círculos, la base anular está compuesta por segmentos rectos con nudos entre ellos. Cada segmento recto representa una barra del perfil indicado en las ilustraciones A.3.2 y A.3.3 . Por esta razón en la ilustración A.3.2 los perfiles de la base no son iguales ya que cada uno toma una medida de perfil óptima para el esfuerzo que le corresponde soportar.

Constructivamente, los perfiles de la base y las patas serán del mismo tamaño ya que una de las barras de la base se ha dimensionado del mismo tamaño y por lo tanto el resto del anillo también tomará la misma medida de perfil.

Como la base también tiene que dar estabilidad, considero acertado el dimensionamiento de los perfiles de la base. Aunque en la mayoría de las secciones de la misma no se aprovecha ni mucho menos toda la capacidad de la sección, poner un perfil pequeño haría que la estructura se hundiera demasiado en la arena.

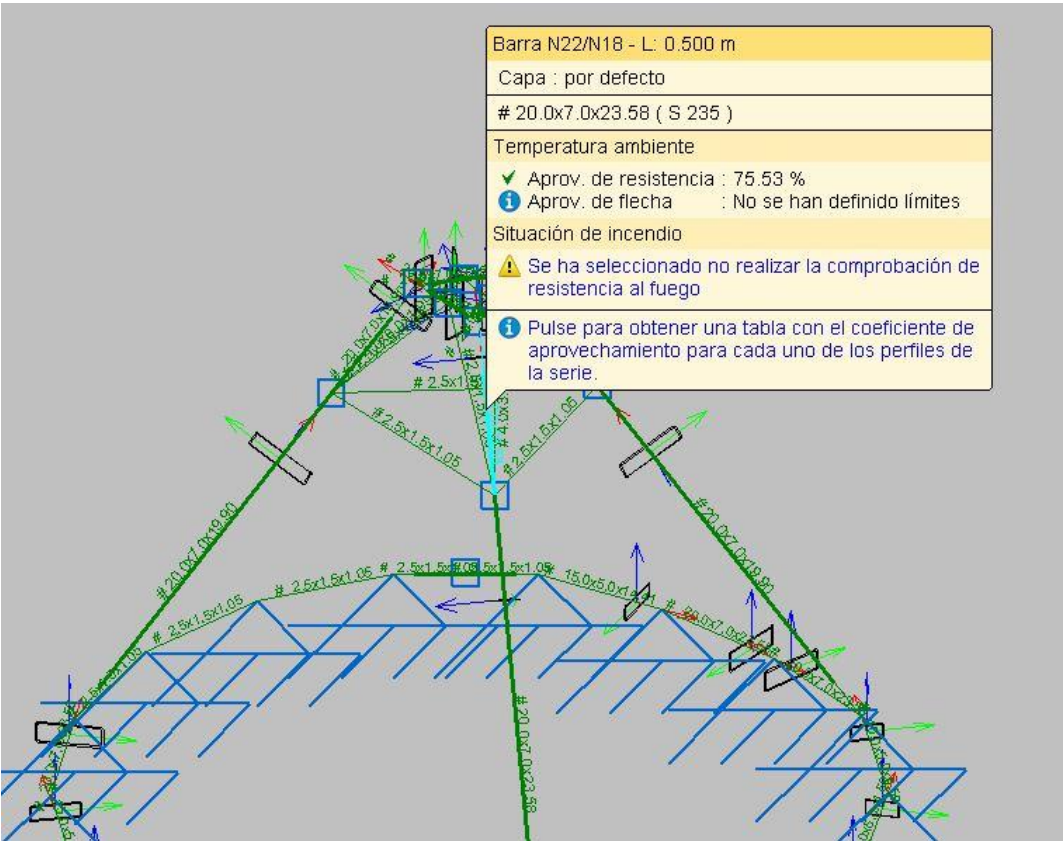


Ilustración A. 3. 2 Captura del programa matricial y detalles de una pata del trípode

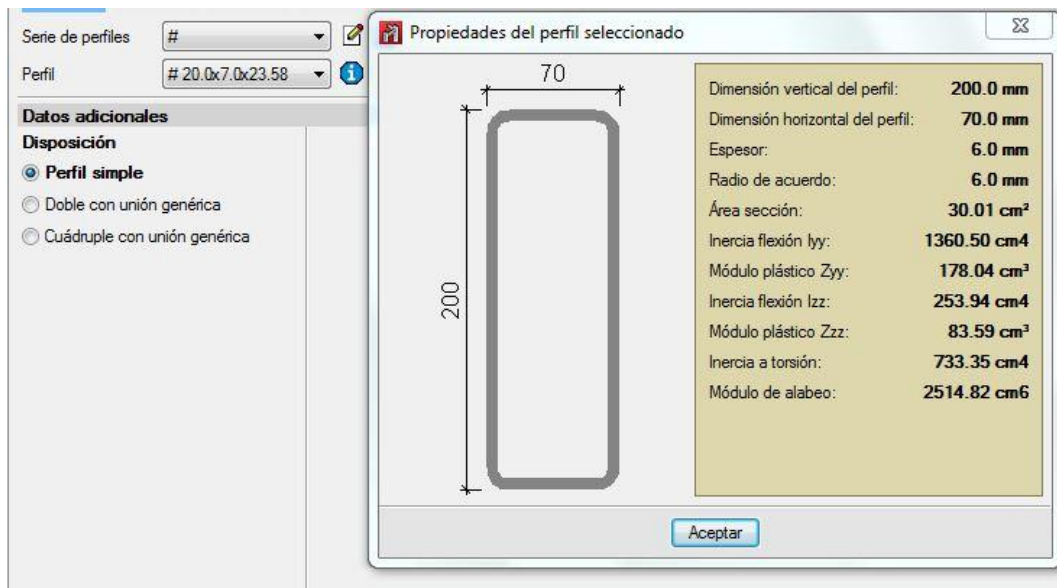


Ilustración A. 3. 3 Captura del programa matricial donde se detalla el perfil que se usará

Anexo 4: Estudio del coeficiente de balasto del terreno.

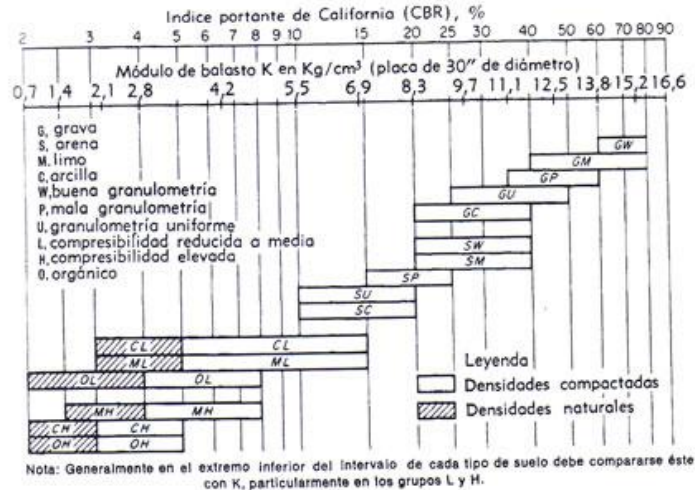
Dado que la estructura de extracción soporta una carga considerable, hay que asegurar que la base de la misma no se clave en la arena al realizar el ensayo.

Para evitar que ésto suceda hay que hacer que la fuerza se reparta por la superficie de la base de la estructura. Cuanta más superficie más fuerza hay que aplicar para que ésta se hunda en el terreno. Estos tipos de problemas geotécnicos son frecuentes en ingeniería civil y en otras ramas de la ingeniería, donde el suelo debe soportar grandes esfuerzos. En estos problemas, se suele recurrir como magnitud de referencia al coeficiente o módulo de balasto del terreno. Esto es una magnitud relacionada con la rigidez del terreno. Se mide aplicando una carga vertical sobre una superficie y midiendo el hundimiento del terreno a partir de la carga aplicada.

A la hora de determinar el módulo de balasto del terreno, se debería analizar una muestra del suelo a estudiar en el laboratorio. Para realizar el ensayo que nos determine el módulo de balasto, se coloca una placa sobre el suelo natural para aplicarle una serie de cargas y medir las deformaciones. El resultado del ensayo se representa en un diagrama tensión deformación. Mediante el ensayo de placa se pueden obtener otros parámetros útiles como la capacidad de carga del suelo para un asentamiento determinado o el coeficiente de elasticidad del suelo.

Hay recogidos en varios libros y documentos de diversos autores valores del módulo de balasto. Así como otros datos frutos del ensayo de placa de carga para los suelos más comunes.

He usado esos datos para determinar el área de la base de la estructura de extracción necesaria para que ésta no se clave demasiado en el terreno. Lo cual podría llevar a resultados erróneos.



Visión primaria	Grupo de suelos y descripción típica	Símbolo	K (kgs/cm ²)
Gravas y Suelos con grava	Gravas con buena granulometría o mezclas de arena y grava. Pocos finos.	GW	14-20
	Mezclas de arcillas-arena-grava, con buena granulometría, excelente trabazón.	GC	11-20
	Gravas con pobre granulometría y mezclas de arena y grava. Pocos finos.	GP	8-14
	Gravas con finos, gravas limosas, gravas arcillosas. Mezclas arcilla, arena y grava con mala granulometría.	GF	7-14
Arenas y suelos Arenosos	Arenas con buena granulometría y arenas con grava. Pocos finos.	SW	7-16
	Mezclas de arenas y arcillas con buena granulometría. Excelente trabazón.	SC	7-16
	Arenas con mala granulometría. Pocos finos.	SP	5,5-9
	Arenas con finos, arenas limosas, arenas arcillosas. Mezclas arena-arcilla con mala granulometría.	SF	5-9
Suelos de grano fino con baja o media plasticidad.	Limos inorgánicos y arenas finas. Polvo rocoso, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad.	ML	4-8,5
	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CL	3,5-6
	Limos orgánicos y limo-arcillas de baja plasticidad.	OL	3-5
Suelos con grano Fino de plasticidad alta	Suelos arenosos finos, con mica o tierra de diatomeas, limos elásticos.	MH	1,5-5
	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta, arcilla gruesas.	CH	1,5-4
	Arcillas inorgánicas de plasticidad media a alta.	OH	1,5-3,5

Figura 3.26. Tabla de valores del módulo de balasto o reacción.
Fuente: Calavera J., 1991.

Partiendo de que la fuerza de extracción es un parámetro conocido y sabiendo que el terreno será arena para un uso estándar del anclaje, se calculará la superficie de base de la estructura necesaria para evitar que ésta clave en el terreno. Según la tabla, para una arena con una granulometría mala, corresponde a un módulo de balasto de unos 8,3 kg/cm³.

Anexo 5: resumen de fórmulas

- (1) Fórmula de Mohr-Coloumb del esfuerzo cortante para materiales granulares.
- (2) Geometría del tronco-cono: altura del triángulo inferior (ilustración 5) o diferencia entre la altura del tronco-cono y la altura cono completo.
- (3) Geometría del tronco-cono: Altura del triángulo grande o altura del cono completo.
- (4) Geometría del tronco-cono: base del triángulo grande o radio superior del tronco-cono.
- (5) Volumen del vástago (cilindro).
- (6) Volumen del disco helicoidal.
- (7) Volumen del anclaje.
- (8) Volumen del tronco-cono de arena sin tener en cuenta el espacio que ocupa el anclaje.
- (9) Volumen de arena excluyendo el espacio que ocupa el anclaje. Solo se usa para determinar la masa de arena que forma el tronco-cono.
- (10) Masa de arena.
- (11) Masa del anclaje.
- (12) Masa total a extraer en seco (si estuviera fuera del agua).
- (13) Empuje hidrostático [Kg].
- (14) Masa a extraer sumergida (con el efecto del empuje).
- (15) Fuerza de rozamiento presente en la superficie del tronco-cono.
- (16) Diferencial del área de un tronco-cono en coordenadas cilíndricas.
- (16.2) Diferencial del área con los parámetros E, G y F introducidos.
- (17) Definición del radio del tronco-cono en función de la altura y la componente acimutal para cada componente cartesiana.
- (18) Expresión de las tensiones normales presentes en la extracción vertical
- (18.2) Tensiones normales presentes en la extracción vertical con la profundidad de la arena expresada desde el origen de coordenadas (ilustración 7).
- (19) Profundidad de la arena desde el origen de coordenadas (ilustración 7).
- (20) Esfuerzo cortante con las tensiones normales desglosadas. Actualización de la ecuación (1).

- (20.1)** Componente vertical del esfuerzo cortante.
- (21)** Fuerza de rozamiento en la superficie del tronco-cono. Actualización de la ecuación (15) con todos sus parámetros.
- (22)** Fuerza necesaria para extraer el anclaje verticalmente. Coincide con la fuerza mínima necesaria para la extracción.
- (23)** Tension normal provocada por una fuerza horizontal en función de la profundidad en la arena. Se basa en obtener los distintos valores de la tensión normal, según la profundidad en la que nos encontramos. Teniendo en cuenta que las tensiones serán menores que la tensión máxima y mayores que la mínima.
- (24)** Expresión que nos relaciona la fuerza horizontal con la tensión que genera.
- (25)** Expresión que nos relaciona el momento implícito en la fuerza con la tensión que genera.
- (26)** Relación entre la tensión máxima y la fuerza horizontal.
- (27)** Relación entre la tensión mínima y la fuerza horizontal.
- (28)** Fuerza de extracción en ángulo como requisito para el cálculo de la fuerza horizontal que se genera.
- (29)** Fuerza horizontal que provoca la extracción en ángulo.
- (30)** Expresión para evaluar la fuerza de extracción adicional que provoca la extracción en ángulo.
- (31)** Fuerza vertical hacia abajo que provoca la componente horizontal de la fuerza durante una extracción en ángulo.
- (32)** Fuerza vertical necesaria para una extracción en ángulo.
- (33)** Fuerza de extracción en ángulo.
- (A1)** Cálculo de la componente horizontal durante un ensayo de extracción en un ángulo de 75° .
- (A2)** Cálculo del momento en B para evitar el volcado de la estructura.
- (A3)** Expresión del empuje hidrostático en función de la masa de hormigón.
- (A4)** Masa de hormigón sumergida en función de la masa de hormigón.
- (A5)** Masa de hormigón en seco necesaria para evitar el volcado de la estructura.

Anexo 6: Características de materiales y datos de fabricantes

Los aceros inoxidable son aleaciones de hierro con un mínimo de un 10,5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo.

La aleación AISI 316(Fe/Cr18/Ni10/Mo3) es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Se añade molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión especialmente en entornos que contienen cloruros. El bajo contenido en carbono de la aleación 316L otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.



Acero Inoxidable - AISI 316L - Vara Fe/Cr18/Ni10/Mo 3

Última actualización
2 de octubre de 2015

FF217935

Imprimir esta página

Diámetro : 38,1 mm



Si el producto mostrado no es exactamente el requerido por favor háganoslo saber mandándonos un mensaje

Haga clic en el precio a la cesta de la compra (Los precios están en EUR)

Tamaño

Código pedido	Longitud	1 Pza	2 Pzas	5 Pzas
306-200-12	100 mm	EUR 128,00	EUR 156,00	EUR 244,00
646-786-96	200 mm	EUR 146,00	EUR 191,00	EUR 368,00
074-921-58	500 mm	EUR 207,00	EUR 341,00	
448-880-79	1000 mm	EUR 331,00		

<http://www.goodfellow.com/catalogue>

UNS S32760 es un acero inoxidable súper dúplex equivalente a A182 F55 con una microestructura austenítica y ferrítica 50:50. El alto contenido de cromo y molibdeno del súper dúplex hace que esta aleación S32760 sea extremadamente resistente a la oxidación uniforme tanto por ácidos orgánicos como inorgánicos, sobre todo aquellos que contienen cloruro.

El contenido de molibdeno y cromo más alto que la media también confiere a esta aleación UNS S32760 mayor calidad en cuanto a resistencia térmica ya que también ha sido diseñada como una aleación de acero inoxidable súper dúplex con alta resistencia a la tensión y a la deformación, desgaste, fuerte soldabilidad, resistencia a la fisuración por corrosión bajo tensión, oxidación de uniones, fatiga por corrosión y excelente dureza.

UNS S32760 se utiliza en la fabricación de equipos para el sector de petróleo y gas, plataformas offshore, termocanjeadores, procesamiento de materias químicas, recipientes a presión y calderas, además de en el sector petroquímico y plantas de destilación, incluyendo tuberías de agua salada.

UNS S32750 es la calidad súper dúplex más común, equivalente a A182 F53, que combina una alta resistencia a la tensión y a los impactos, con un coeficiente bajo de expansión térmica y alta conductividad térmica.

Los altos niveles de cromo (25%), molibdeno (4%) y nitrógeno ofrecen una resistencia excelente a la fatiga, oxidación de uniones y corrosión en general, lo que significa que la aleación UNS S32750 ha sido diseñada para su uso en aplicaciones difíciles que precisan una resistencia excepcional a la tensión y a la corrosión como procesamiento de sustancias químicas, petroquímicas y plataformas mar afuera, así como equipos de agua salada.

Otros usos de S32750 incluyen termocanjadores, recipientes a presión y calderas, sistemas de lucha contra incendios, plantas de destilación, plantas de osmosis inversa de alta presión y tuberías de agua salada, torres de absorción, conductos y tuberías y sistemas de gases para el sector de la energía.

UNS S32750 también tiene excelentes propiedades mecánicas, lo que significa que puede utilizarse una calidad ligera de S32750 para lograr la misma resistencia de diseño que una aleación de níquel más gruesa, lo que ahorra peso y costes generales de fabricación.

UNS S32760

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N	W	PREN	Fe
Min	•	•	•	•	•	24.00	6.00	3.00	0.50	0.20	0.50	40.00	0.00
Max	0.03	1.00	1.00	0.030	0.010	26.00	8.00	4.00	1.00	0.30	1.00	•	0.00

(PREN = % Cr + 3.3% Mo + 16% N)

Condition: UNS S32760 Solution Annealed and Water Quenched

U.T.S	109 KSI Min	(750 N/mm ²)
0.2% Proof Stress	80 KSI Min	(550 N/mm ²)
Elongation	25 %	
Red of Area	45 %	
CVN Impacts @ -40°C (-40°F)	50 Joules	(37 ft-lbf)

NACE MR0175 limits the supply hardness to 28 HRC max.

UNS S31803 es un acero inoxidable dúplex equivalente a A182 F51 creado como una aleación austenítica ferrítica de níquel cromo hierro con la adición de molibdeno.

Diseñada para combinar una resistencia mejorada a la fisuración por corrosión bajo tensión, fatiga y oxidación de uniones, S31803 tiene aproximadamente el doble de resistencia que cualquier otra aleación de acero inoxidable austenítico normal. Esto quiere decir que la aleación UNS S31803 puede utilizarse como una alternativa muy satisfactoria para las especificaciones de acero inoxidable normal en las que se precisa una resistencia más alta a la tensión y a la corrosión.

Como material dúplex, UNS S31803 ofrece los beneficios de una alta resistencia a la tensión y a la corrosión, además de una expansión térmica baja, conductividad térmica

más alta que los aceros austeníticos, alta absorción de energía y excelente maleabilidad y soldabilidad.

Los usos de la aleación UNS S31803 incluyen bridas de tuberías de acero de aleación laminado o forjado, principalmente para el sector petroquímico, accesorios y válvulas forjados para aplicaciones de alta temperatura, termo-canjeadores, tanques químicos, refinerías, piezas de compresores para plantas de desalinización de agua del mar y piezas para recipientes a presión para el sector offshore.

UNS S31803

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	PREN	Fe
Min	•	•	•	•	•	21.00	4.50	2.50	0.08	33.00	0.00
Max	0.03	1.00	2.00	0.030	0.020	23.00	6.50	3.50	0.02	•	0.00

(PREN = % Cr + 3.3% Mo + 16% N)

Condition: UNS S31803 Solution Annealed and Water Quenched

U.T.S	90 KSI Min	(620 N/mm ²)
0.2% Proof Stress	65 KSI Min	(450 N/mm ²)
Elongation	25 %	
Red of Area	45 %	
CVN Impacts @ -40°C (-40°F)	40 Joules	(30 ft-lbf)

Los aceros al carbono son los más extendidos en la industria en general por su versatilidad y buenas propiedades mecánicas. además ofrecen un precio muy competitivo debido al volumen de producción que se demanda y por tanto la industrialización del proceso de fabricación de dichos aceros. Las propiedades mecánicas y la composición química de estas aleaciones se rige según la norma UNE EN 10025 y sus partes.

Norma	Calidades	Límite elástico mínimo R_{eH}						Resistencia a la tracción R_m		Alargamiento mínimo A $L_{0.01} 5,65 \sqrt{S_0}$ %				Ensayo de flexión por choque	
		MPa						MPa						Temperatura	Energía mín. absorbida
		Espesor nominal (mm)						Espesor nominal (mm)		Espesor nominal (mm)					
		≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	>100 ≤125	°C	J
EN 10025-2: 2004	S235JR S235JO S235J2*	235	225		215		195	360-510	350-500	26	25	24	22	+20 0 -20	27 27 27
	S275JR S275JO S275J2*	275	265	255	245	235	225	410-560	400-540	23	22	21	19	+20 0 -20	27 27 27
	S355JR S355JO													+20 0	27 27
	S355J2 S355K2	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	-20 -20	27 40
	S450JO	450	430	410	390	380	380	550-720	530-700	17				0	27
	E295*	295	285	275	265	255	245	470-610	450-610	20	19	18	16		
	E335*	335	325	315	305	295	275	570-710	550-710	16	15	14	12		
	E360*	360	355	345	335	325	305	670-830	650-830	11	10	9	8		

Boyas para acuicultura y fondeo



DESCRIPCIÓN

- Boyas para acuicultura y fondeos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Fabricada mediante rotomoldeo en Polietileno (PE) anti-UV de media-alta densidad.
- Flexibilidad y alta resistencia al impacto.
- Gran estabilidad de flotación.
- Tubo y platos de acero galvanizado en caliente.
- Opciones de relleno:
 - Espuma de Poliestireno. (EPS)
 - Espuma de Poliuretano. (PUR)
- Colores: amarillo, verde, rojo. Otros colores bajo pedido.
- Disponibles en varios volúmenes: 500, 700, 1.000, 1.400 y 2.000 litros.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

TIPO	PESO TOTAL		DIMENSIONES			FLOT. TOTAL		FLOT. UTIL	
	EPS	PUR	Ø	A	ESP.	EPS	PUR	EPS	PUR
BA-05	---	69,5 kg	907 mm	1.116 mm	± 8 mm	---	373 kg	---	186,5 kg
BA-07	84 kg	110 kg	1.081 mm	1.365 mm	± 9 mm	604 kg	579 kg	302 kg	289,5 kg
BA-10	---	144 kg	1.236 mm	1.519 mm	± 9 mm	---	840 kg	---	420 kg
BA-14	---	181 kg	1.236 mm	1.880 mm	± 9 mm	---	1.195 kg	---	597,5 kg
BA-20	---	219 kg	1.370 mm	1.872 mm	± 9 mm	---	1.745 kg	---	872,5 kg

* Peso Total = Peso boya + Sistema de sujeción.

* Flotabilidad Total = Empuje - Peso pieza.

* Flotabilidad Útil = Flotabilidad sobresaliendo el 50 % de la boya.

<http://www.rotogal.com/fichas/boya-fondeo.pdf>

Nuova Rade Boya Amarre Biconica 22 cm Naranja, Blanca o amarilla.



Diámetro: 22 cm

- Altura total: 54 cm
- Flotabilidad total: 5,5 Kg
- Flotabilidad útil: 2,7 Kg
- Volumen: 6 litros

precio: 6.95€

Nuova Rade Boya Amarre Biconica



- Diámetro: 28 cm
- Altura total: 64 cm
- Flotabilidad total: 10 Kg
- Flotabilidad útil: 5 Kg
- Volumen: 11 litros

precio:9.95€

Nuova Rade Boya Amarre Biconica 32 cm Naranja, Blanca o amarilla.



Diámetro: 32 cm

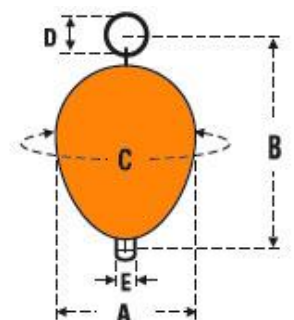
- Altura total: 75 cm
- Flotabilidad total: 24 Kg
- Flotabilidad útil: 12 Kg
- Volumen: 26 litros

Boya de Fondeo Hercules Plus



Código	A Diámetro* (cm)	B Largo* (cm)	C Circunferencia* (cm)	D Diámetro "ojo" (cm)	E (cm)	Flotabilidad* (cm)	Peso Kg
51020	30	38,5	95	8	4 x 6	14	1,5
51021	40	52	136	10	6 x 8	32	2,5
51022	50	65	160	12	6 x 8	55	3,5
51023	60	78	210	12	6 x 8	85	4,5

*Medida de inflación normal : 0.15 bar. Temperatura 20°C.



precio: 79.95€

Boya de Fondeo Blanca Plastimo



Color Blanco Flotabilidad 9,5 kg
Altura total 39 cm Total Útil 3,5 kg
Ø 25 cm precio: 5.95€

Dinamómetros para el ensayo

DYNAFOR™ LLX. Controlar una carga, medir un esfuerzo.

CONFORME CEM. Norma EN 55022 y EN 50082.2 sobre perturbaciones radio-eléctricas.

- Precision +/- 0.2 %
- Control por teclado flexible (Arranque/paro, Tara, Valores máximos)
- Opcional ISO 376
- Posibilidad de conexión por cable unicamente en los modelos IP 65
- Caja en plástico < 50 Tn
- Caja de madera > 50 Tn



DYNAFOR™ LLX								
Autonomía 550 horas (3 pilas LR6)								
Modelo	Capacidad (T.)	Sensibilidad de lectura (Kg.)	I.P. 65			I.P. 66		
			Código	A, B, C	Precio €	Código	A, B, C	Precio €
LLX-0,250	0,25	0,1	075059	B	1.712,00	098109	B	1.745,00
LLX-0,500	0,5	0,2	075069	A	1.763,00	086039	B	1.745,00
LLX-1,250	1,25	0,5	075079	B	1.742,00	098159	B	1.719,00
LLX-2,500	2,5	1	075089	A	1.996,00	098189	B	1.730,00
LLX-5	5	2	075099	A	2.032,00	098219	B	1.957,00
LLX-12,5	12,5	5	075109	A	2.226,00	098249	B	2.141,00
LLX-25	25	10	075119	A	2.962,00	098279	B	2.448,00
LLX-50	50	20	075129	B	4.574,00	098309	B	3.487,00
LLX-100	100	50	075139	B	10.839,00	098339	B	36.346,00
LLX-250	250	100	075149	B	35.647,00	098369	B	Consultar

Estos precios incluyen: el aparato DYNAFOR, el embalaje, 1 certificado de ajuste.

DYNAFOR MWX+



Dinamómetros equipados de forma permanente de un grillete de suspensión y de un gancho con cierre de seguridad. Opción de lectura a distancia vía radio.

DYNAFOR™ MWX+: Los aparatos DYNAFOR™ MWX+ y MWX+ TR forman parte de la gama de ganchos pesadores, particularmente recomendables para el uso de evaluación de masas suspendidas (kg) en el sector industrial.

Precisión: 0,1%.

Gama disponible de 500 kg a 25 t.

Modelo	CMU	Precisión +/- (kg)	Visualización mínimo (kg)	Incremento (kg)	Visualización máximo (kg)	Peso (kg)
MWX	0,5 t	0,50	0,20	0,20	550	4,30
MWX	1 t	1	0,50	0,50	1100	4,30
MWX	2 t	2	1	1	2200	4,30
MWX	3,2 t	3,20	1	1	3520	4,30
MWX	5 t	5	2	2	5500	9
MWX	6,3 t	6,30	2	2	6930	9
MWX	12,5 t	12,50	5	5	13750	20,50
MWX	25 t*	25	10	10	27500	24

* Suministrado sin grillete ni gancho

http://www.tractel.com/es/series.php?id_serie=9

Dinamómetro Electrónico DILLON Modelo ED-2000 R-LINK 50T. Rango 10-50000 Kg.

ED-2000 R-LINK	1T	2T	5T	10T	20T	50T
Capacidad Máxima [kg]	1000	2000	5000	10000	20000	50000
Graduación Mínima [kg]	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00	10.0
Norma	NEMA 4X, IP55					
Unidades	Kilogramo, Libra, Newton o Tonelada					
Display	6 Dígitos LCD de 22.5 [mm] de altura					
Indicadores	Unidad de Peso, Peso Peak, Batería Baja					
Comunicación	RS232C, Bi-Direccional					
Función	Hold, mantiene Peso "Peak"					
Duración Batería	200 horas aproximadamente, sin Indicador Remoto a Radio Frecuencia					
	48 horas aproximadamente, con Indicador Remoto a Radio Frecuencia					
Temperatura Operación	-20 °C ~ +60 °C					
Alimentación Eléctrica	Batería Estándar 9 [Volts], Alcalina					
Construcción	Aleación de Aluminio				Acero Inoxidable	
Incluye	Grilletes Crosby, Maleta de Transporte, Batería 9V Alcalina					
Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso						

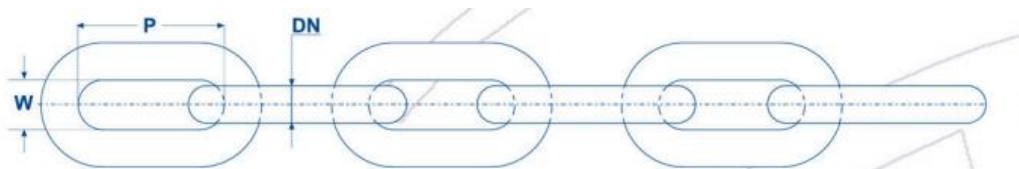
<http://www.logismarket.cl/ip/pesamatic-dinamometro-digital-con-visor-remoto-dinamometro-digital-con-visor-remoto-rf-dillon-490391.pdf>

Dinamómetro Ron 2501. Válido para la ejecución de pruebas de bollard pull.

Cat no.	Full range		Resolution		Load cell weight		H1 (max.)		H2 (max.)		B (max.)		L		øD1 (max.)		øD2 (min.)		Matching anchor shackle size*
	tons	kgs	lbs	kgs	lbs	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch		
S-005	0.5	0.2	0.5	0.3	0.7	125	4.9	92	3.7	16	0.7	100	4	31	1.3	17	0.66	½ ⅞ ¾	
S-01	1	0.5	1	0.3	0.7	125	4.9	92	3.7	16	0.7	100	4	31	1.3	17	0.66	½ ⅞ ¾	
S-02	2	1	2	0.3	0.7	125	4.9	92	3.7	16	0.7	100	4	31	1.3	17	0.66	½ ⅞ ¾	
S-03	3	1	2	0.3	0.7	137	5.4	100	4	19	0.75	100	4	38	1.5	21	0.82	⅝ ½	
S-05	5	2	5	0.5	1	147	5.8	105	4.2	26	1	100	4	43	1.7	23	0.9	⅝ ¾	
S-10	10	5	10	1.4	3.1	195	7.7	131	5.2	41	1.6	100	4	61	2.4	36	1.4	1 ¼, 1 ½, 1	
S-12	12.5	5	10	1.4	3.1	195	7.7	131	5.2	41	1.6	100	4	61	2.4	36	1.4	1 ¼, 1 ½, 1	
S-15	15	5	10	2.5	5.5	220	8.7	141	5.6	43	1.7	100	4	74	3	43	1.7	1 ½	
S-20	20	10	20	2.5	5.5	220	8.7	141	5.6	43	1.7	100	4	74	3	43	1.7	1 ½	
S-25	25	10	20	3.7	8	240	9.4	150	5.9	58	2.3	100	4	87	3.4	44	1.7	1 ½	
S-30	30	10	20	3.7	8	240	9.4	150	5.9	58	2.3	100	4	87	3.4	44	1.7	1 ½	
S-40	40	20	50	8	17	320	12.6	195	7.7	71	2.8	100	4	115	4.5	60	2.3	2, 1 ½	
S-50	50	20	50	8	17	320	12.6	195	7.7	71	2.8	100	4	115	4.5	60	2.3	2, 1 ½	
S-80	80	50	100	18	40	405	16.9	255	10	97	3.8	100	4	145	5.7	76	3	2 ½	
S-100	100	50	100	28	60	450	17.7	275	10.8	121	4.8	155	6.2	165	6.5	81	3.18	CROSBY No. 2160 125t	
S-125	125	50	100	28	60	450	17.7	275	10.8	121	4.8	165	6.6	165	6.5	81	3.18	CROSBY No. 2160 125t	
S-200	200	100	200	57	121	575	22.6	350	13.8	145	5.7	165	6.6	210	8.3	106	4.2	CROSBY No. 2160 200t	
S-250	250	100	20	106	225	800	31.5	490	19.3	178	7.0	200	8	260	10.2	138	5.4	CROSBY No. 2140 250t or No. 2160 300t	
S-300	300	100	200	106	225	800	31.5	490	19.3	178	7.0	245	9.7	260	10.2	138	5.4	CROSBY No. 2160 300t	

<http://www.eilon-engineering.com/code/2501/tension.html>

Cadenas de sujeción de la boya



Ø mm	largo interior mm	ancho interior mm	carga de prueba kN	carga de rotura kN	peso aprox. kg/m
14	56	22,4	52	105	4
16	64	25,6	67	135	5,2
18	70	28	80	161	6,2
20	82	32,8	110	220	8,5
22	88	35,2	126	252	9,8
24	96	38,4	154	309	11,7
26	104	41,6	181	362	13,7
28	112	44,8	209	418	15,9
30	120	48	239	478	18,3
32	128	51,2	271	542	20,8
34	136	54,4	304	609	23,5
36	144	57,6	340	681	26,3
38	152	60,8	377	755	29,3
40	160	64	416	833	32,5
42	168	67,2	456	912	35,8
44	176	70,4	502	1004	39,3
46	184	73,6	544	1088	43
48	192	76,8	590	1181	46,8
50	200	80	637	1274	50,8

disponible en otras medidas

acabado galvanizado o negro

<http://www.spya.es/datos/remolque/catalogo.pdf>

Taladros y atornilladores hidráulicos subacuáticos.

<http://www.egamaster.com/es/herramienta-para-uso-subacu%C3%A1tico.html>

Cadena de Fondeo Galvanizada



Apropiada para fondeo manual, sujeción de boyas, anclas y otros usos en ambiente marino.

- Se suministra por metros o en bidones de 50 m.

- Precio por metro: diámetro 8mm 4.60€
 diámetro 10mm 7.85€
 diámetro 12mm 11.15€
 diámetro 14mm 15.95€

Cadena Calibrada DIN 766 6mm



Especial para molinetes; se adapta a la mayoría de los barbotenes.

Fabricada en acero galvanizado al fuego según normas DIN 766.

Se suministra en tramos sueltos.

El PVP indicado corresponde a 1 metro de cadena.

Diámetro de Varilla: **6mm**

Peso por metro: **0,90 Kg**

Carga de Rotura: **1.400 Kg**

Carga Máxima de Uso: **900 Kg**

Cables de acero para ensayo



6x36WS+IWRC

DIN 3064 - remolque, fondeo, elevación

Ø mm	peso kg/m	c. rotura kg	
		1770N/mm²	1960N/mm²
8	0,26	4150	4690
10	0,42	6400	7240
12	0,60	9230	10200
14	0,82	12600	14380
16	1,07	16400	18550
18	1,35	20800	23400
20	1,67	25600	28750
22	2,02	31000	35100
24	2,41	36900	41200
26	2,83	43300	48600
28	3,28	50300	57100
30	3,76	57900	64400
32	4,28	65700	73900
34	4,89	75200	83600
36	5,42	83100	92800
38	6,05	93250	103500
40	6,69	103000	114700
42	7,39	113800	126500
44	8,10	124000	138700
46	8,85	136300	151500
48	9,64	148000	165100
50	10,42	160400	178200
52	11,30	173000	193100
54	12,17	187300	208100
56	13,10	201000	224200
58	14,03	216000	240200
60	15,04	231600	257300
62	16,01	246600	274000

<http://www.spya.es/datos/remolque/catalogo.pdf>

Cabos de fondeo



FILLERFLEX®

Ø mm	peso kg/100m	c. rotura t
18	22	7
20	28	9
22	35	11
24	40	13
28	52	17
32	65	22
36	82	28
40	98	31
44	125	42
48	148	50
52	161	54
56	200	67
60	216	70
64	245	81
72	324	107



GAMA 98®

Ø mm	peso kg/100m	c. rotura t
80	390	150
92	510	200
103	640	250
112	750	300
120	850	350
130	1030	400
137	1140	450
144	1250	500
159	1530	600
170	1730	700
182	1980	800
193	2220	900
201	2420	1000
224	2970	1250

Características

resistencia mojado/seco:	85-90%
absorción de agua:	positiva
absorción de energía:	excelente
alargamiento:	alto
flotabilidad:	negativa
resistencia química:	buena
resistencia UV:	muy buena
resistencia a la abrasión:	muy buena
peso específico:	1,14
punto de fusión:	260°C

<http://www.spya.es/datos/remolque/catalogo.pdf>

Pinturas anticorrosión que cumplen con la norma ISO 12944

Select your ISO 12944 compliant system

The coating systems described in this brochure have been evaluated against ISO and ASTM test standards and self certified to ISO 12944 part 6.

International Protective Coatings does not routinely recommend systems for Design Lives <5 years in C4 or C5 environments.

ISO 12944 ENVIRONMENT	DESIGN LIFE/DURABILITY <5 YEARS	DESIGN LIFE/DURABILITY 5-15 YEARS	DESIGN LIFE/DURABILITY >15 YEARS
C1	A	A	A
C2	A	A	B
C3	B or C	B or C	D, E or F
C4	#	G or H	G or H
C5I and C5M	#	I or J	I or J

REFERENCE	COATING SYSTEM	CONTAINS FREE ISOCYANATE (1)	SYSTEM VOC	AESTHETIC DURABILITY (2)	CORROSION RESISTANCE (3)
A	Interlac 665 or Intergard 345 @ 80µm	No	<40g/m ²	★	★
B	Intergard 345 (4) @ 160µm	No	<73g/m ²	★	★★
C	Intercure 99 (5) @ 160µm	Yes	<40g/m ²	★★★★	★★★
D	Intercure 99 (6) @ 200µm	Yes	<50g/m ²	★★★★	★★★
E	Intercure 200HS Interthane 990 (7) @ 150µm @ 50µm	Yes (6)	<80g/m ²	★★★★ (8)	★★★
F	Intercure 200HS Interline 878 @ 150µm @ 50µm	No	<60g/m ²	★★★★★	★★★
G	Intercure 200HS Interline 878 @ 205µm @ 75µm	No	<85g/m ²	★★★★★	★★★★
H	Interzinc 52 Intergard 475HS Interthane 990 (7) @ 75µm @ 155µm @ 50µm	Yes	<112g/m ²	★★★★ (8)	★★★★★
I	Interzinc 52 Intergard 475HS Interthane 990 (7) @ 75µm @ 200µm @ 50µm	Yes	<126g/m ²	★★★★ (8)	★★★★★
J	Interzinc 52 Intergard 475HS Interline 878 @ 75µm @ 200µm @ 60µm	No	<100g/m ²	★★★★★	★★★★★

<http://www.international-pc.com/markets/infrastructure/Documents/iso-12944.pdf>

INTERZINC 52 - PRIMER - 10L

152P



colour
None ▼

£345.60 INC. TAX

£288.00 EX. TAX

ADD TO CART

http://www.firestoppingshop.com/product/interzinc_52_primer

Intergard 475HS

[« Back](#)



Pack Size

Colour Required

From: £243.99

£203.33 ex VAT

Add to Cart



<http://www.paints4trade.com/intergard-475hs-258420-p.asp>

Interfine 878

[« Back](#)



Pack Size

Colour Required

From: £243.99

£203.33 ex VAT

Add to Cart



<http://www.paints4trade.com/interfine-878-258436-p.asp>

Categoría de corrosión Im1, Im2 e Im3

Tipo de pintura	Sistema	Espesor seco (micrómetros)
Imprimación epoxi rica en zinc	1 × C-Pox Primer ZN905	60 µm
Epoxi tolerante de superficie	2 × C-Pox ST165 MP-WN	400 µm
	Espesor total	460 µm
Epoxi de alquitrán	2 × Aralcin CoalTar HB	400 µm
	Espesor total	400 µm

<http://www.cinprotective.cin.pt/portal/attachs.pdf?CONTENTITEMOID=A9838080809680GC&CLASSTOKEN=scpdescriaocategoria&ATTRIBUTEID=ficheiro>



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Pliego de condiciones

"CÁLCULO DE UN FONDEO ECOLÓGICO Y DISPOSITIVO DE ENSAYO PARA EL SISTEMA"

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA MECÁNICA
por **Joan Ramos Valls**

Barcelona, 14 de Octubre de 2015

Director: David Sánchez Molina
Departamento de Resistencia de materiales i elasticidad en la
ingeniería (DRMEE)
Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)

Índice pliego de condiciones

1. Pliego de condiciones generales.....	107
1.2 Reglamentos y normativa.....	107
1.2. Responsabilidades en la ejecución.....	107
1.3. Plazo de ejecución de la instalación.....	108
1.4. Materiales defectuosos.....	108
1.5. Pruebas y ensayos.....	108
2. Pliego de condiciones técnicas.....	109
2.1. Especificaciones de materiales y equipos.....	109
2.1.1. Anclaje	109
2.1.2. cabo de amarre.....	109
2.1.3. Cadenas.....	109
2.1.4. Boyas.....	109
2.1.5. Galvanizado del anclaje.....	110
2.2 Condiciones de ejecución.....	110
2.3. Personal.....	101
3. Pliego de condiciones administrativas.....	102
3.1 Pago de la obra.....	102
3.2. Precios.....	102
3.3. Responsabilidades.....	113
3.4. Rescisión del Contrato.....	113
3.5. Liquidación por Rescisión del Contrato.....	114

1. Pliego de condiciones generales

El Contratista deberá atenerse en la ejecución de los trabajos a las condiciones especificadas en los capítulos de éste Pliego de Condiciones, respecto a las condiciones que deben reunir los materiales, forma de ejecución de la instalación, normativa de ensayos a que deberán someterse las muestras realizadas. El alcance del contratista incluye la realización de todos los planos de los materiales utilizados que no sean normalizados, lista de dichos materiales y sus especificaciones y el trabajo de montaje y puesta a punto de la instalación.

1.2 Reglamentos y normativa

Todas las acciones se ejecutaran cumpliendo con las prescripciones y normas técnicas que establezca la memoria de este proyecto y el presente pliego de condiciones, así como todas las normas técnicas de obligado cumplimiento para este tipo de instalaciones, tanto en el ámbito estatal, como autonómico y municipal.

1.2. Responsabilidades en la ejecución

El contratista revisará toda la documentación del proyecto. Pondrá en conocimiento del responsable técnico de la instalación , las dudas de interpretación del proyecto que pudiera tener.

El contratista es el único responsable de la ejecución de las obras que haya contratado. No tendrá derecho a indemnización alguna por el mayor precio a que pudieran costarle los materiales ni por las erradas maniobras que cometiese durante la instalación, siendo todas ellas de su cuenta y riesgo e independiente de la inspección del director de la obra. Será asimismo responsable ante los tribunales de los accidentes que por su inexperiencia o descuido ocurran en la instalación, en cuyo caso, si no fuese persona competente en los trabajos, tendrá obligación de hacerse representar por otra que tenga para ello los debidos conocimientos.

El contratista está obligado a realizar todo cuanto sea necesario para la correcta ejecución de la obra, aún cuando no se encuentre explícitamente expresado en el Pliego de Condiciones o en los documentos del Proyecto.

1.3. Plazo de ejecución de la instalación

La obra se ejecutará en el plazo que se estipule en el contrato suscrito con la propiedad o en su defecto, en el que figure en las condiciones del presente Pliego de Condiciones.

1.4. Materiales defectuosos

El ingeniero dará orden a los contratistas de sustituir los materiales y aparatos defectuosos por otros que satisfagan las condiciones de calidad exigidas en el presente pliego de condiciones.

1.5. Pruebas y ensayos

Los gastos ocasionados por pruebas y ensayos corren por cuenta de los contratistas, pudiéndose repetir aquellos que no ofrezcan las suficientes garantías.

2. Pliego de condiciones técnicas

Este pliego de condiciones hace referencia a las exigencias de tipo técnico que ha de cumplir el contratista en la realización de la instalación. Estas exigencias afectan a los materiales utilizados, y al montaje realizado en la instalación. El incumplimiento de estas condiciones, es motivo de penalización.

2.1. Especificaciones de materiales y equipos

2.1.1. Anclaje

Tanto el vástago como el disco helicoidal están hechos en acero S235JR según especificaciones mecánicas y de composición regidas por la norma UNE EN 10025 y sus partes.

2.1.2. cabo de amarre

El cabo de amarre será de nylon y deberá tener un diámetro suficiente para el tamaño de la embarcación que se va a fondear.

2.1.3. Cadenas

Las cadenas deben ser de acero normalizado según norma UNE-EN 24565 y galvanizado según norma DIN 766 .

2.1.4. Boyas

Boyas de polietileno lineal estabilizado fabricadas conforme a la norma ISO 9001 en color amarillo.

2.1.5. Galvanizado del anclaje

El anclaje se galvanizará en caliente según las normas ISO 14713 y 1461 con no menos de 200 µm de grosor de capa.

2.2 Condiciones de ejecución

Se realizará un estudio previo de la situación concreta del proyecto donde se instalarán los anclajes como parte del mismo. Ésto es delimitar la zona de fondeo y estipular el uso de los anclajes para la elección del equipo y materiales en función de las necesidades.

La instalación debe empezar con un estudio del terreno donde se recogerá muestras del suelo granular para ejecutar ensayos de granulometría y resistencia a la cizalladura según normas NLT 104, UNE103101 con tamices según norma UNE 7050 para el ensayo granulométrico y UNE 103401 para el de corte directo.

La instalación de los anclajes se realizará por un equipo de buzos manualmente o con la ayuda de un atornillador hidráulico subacuático ligero (Ilustración PC 1).

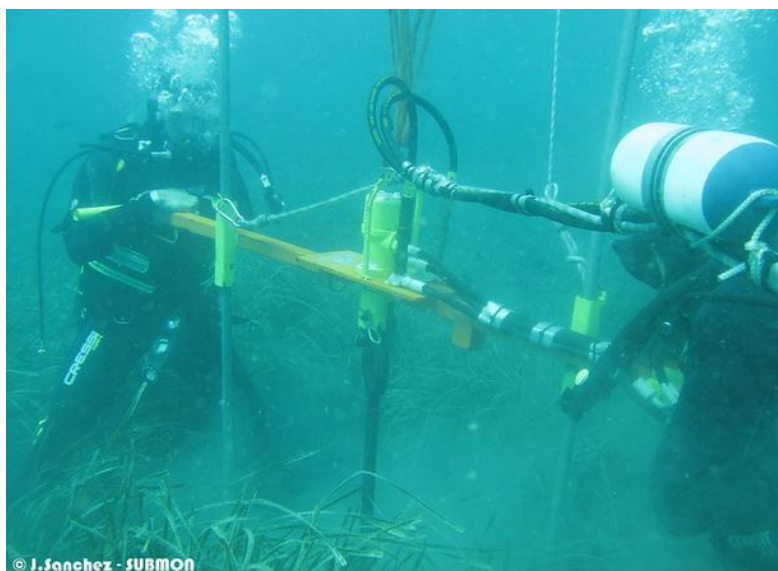


Ilustración PC 1: Buzos instalando un fondeo ecológico con la ayuda de una máquina hidráulica ligera (fuente Submon.org)

Una vez el anclaje está en su posición, se equipará con el material de fondeo adecuado a las características del uso que se le va a dar. (Amarre de boyas de señalización o balizamiento, fondeo de embarcaciones ligeras, instrumentación científica, anclaje de pantalanés, etc.)

La boya intermedia se usará para evitar que la cadena se arrastre por el fondo marino y evitar dañar las especies de algas que convivan con el anclaje (ilustración PC 2).

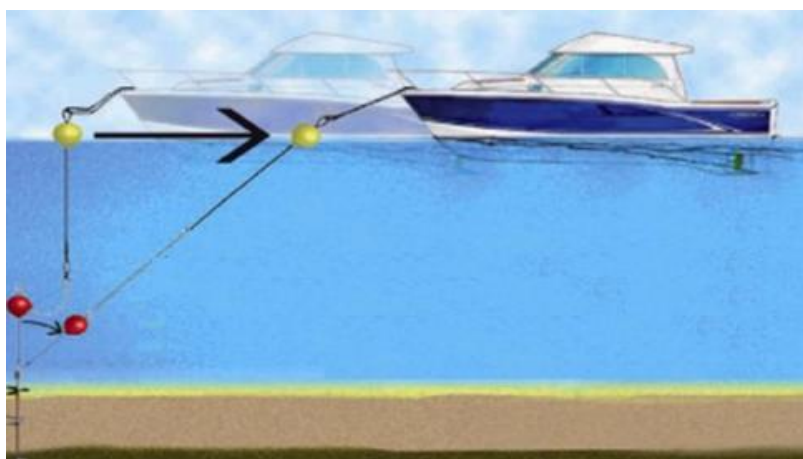


Ilustración PC 2: Esquema de la instalación del fondeo ecológico con boya intermedia (fuente dokma.com)

2.3. Personal

El contratista desplazará a la instalación, al número de buzos que sea necesario para el correcto montaje y puesta a punto de la instalación. Los buzos tendrán la titulación necesaria para realizar trabajos submarinos y la suficiente experiencia para la correcta realización de la instalación. Siempre habrá un buzo que será el jefe de equipo, con la contrastada experiencia, que coordinará al resto de los buzos, de manera que recibirá las instrucciones del responsable técnico, y transmitirá dichas instrucciones al resto de los buzos. El Contratista está obligado a separar de la obra a aquel personal que, a juicio del responsable técnico de la obra, no cumpla con las obligaciones que se le encomiendan, ya sea por falta de experiencia, ya sea porque trabaje desmotivado, o porque obre de mala fe.

3. Pliego de condiciones administrativas

3.1 Pago de la obra

En el contrato se fijarán detalladamente las condiciones y plazos en los que se realizarán los diferentes pagos de los importes correspondiente a la obra. También se detallarán las fechas en las que se realizarán las certificaciones de cada parte de la instalación. Se realizarán abonos parciales 30 días después de cada certificación. Las liquidaciones parciales no supondrán en ningún caso un justificante de aprobación o recepción de la obra. Acabada la obra se procederá a la liquidación final, que se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el contrato. Quedando pendiente el 5% de retención, que se abonará una vez se realice la recepción definitiva de la instalación.

3.2. Precios

El Contratista presentará el presupuesto, al formalizarse el contrato, con la relación de precios de todas las partidas de la obra que integran el proyecto. Estos precios de cada partida, al ser aceptados, tendrán valor contractual y se aplicarán a las posibles variaciones que puedan producirse. Estos precios unitarios, se entiende que comprenden la ejecución total de la obra, incluyendo todos los trabajos complementarios, materiales auxiliares, gastos de personal y otros gastos repercutidos. En el caso que se deban realizar trabajos no contemplados en el proyecto, se acordará el importe de dichos trabajos, entre el responsable técnico de la obra y el contratista, antes de empezar la obra. Se presentará a la propiedad para su aprobación. El contrato contendrá la adquisición de todos los materiales, transporte, mano de obra, medios auxiliares para la ejecución de la obra en los plazos planificados, así como la reconstrucción de las unidades defectuosas, la reconstrucción de las obras complementarias y las derivadas de las modificaciones que se introduzcan durante la ejecución. La totalidad de los documentos que componen el Proyecto Técnico de la

obra, serán incorporados en el contrato y tanto el Contratista como la Propiedad tendrán que firmar los testimonios de conocimiento y aceptación.

3.3. Responsabilidades

El Contratista es el responsable de la correcta ejecución de la obra según lo que especifica el proyecto y el contrato. Como consecuencia de ello, estará obligado a rehacer toda obra defectuosa sin coste alguno, así como su correcta reconstrucción. El hecho que el responsable técnico de la obra haya revisado previamente la obra, no exime al contratista de la responsabilidad de su reconstrucción. El contratista es responsable de los accidentes o daños que, por errores , inexperiencia o métodos de trabajo inadecuados, se produzcan en la propiedad, vecinos, empresas y operarios que también estén trabajando en las inmediaciones o terceros en general. El Contratista es el único responsable del incumplimiento de las disposiciones vigentes en material laboral respecto a su personal, y por lo tanto, de los accidentes que puedan sobrevenir y de los derechos que puedan derivarse de ellos.

3.4. Rescisión del Contrato

Se consideran causas de rescisión del contrato las siguientes:

1. Modificación del proyecto, cuando constituya una modificación superior al 30% del valor de la obra presupuestada.
2. Finalización del plazo de ejecución de la obra sin que se haya ejecutado completamente ésta.
3. Subcontratar la totalidad o parte de la obra a terceros sin la autorización del Técnico Director y la Propiedad.
4. La suspensión de las obras ya iniciadas, siempre que el plazo de suspensión sea superior a 4 meses.
5. Incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique mala fe. O bien, cuando se actúe de mala fé, en la ejecución de los trabajos.

3.5. Liquidación por Rescisión del Contrato

Siempre que se rescinda el contrato por las causas expuestas anteriormente o bien por acuerdo de ambas partes, se abonarán al Contratista las unidades de obra ejecutadas, así como los materiales acopiados a pie de obra que estén en buenas condiciones y sean necesarios para la obra. La rescisión del contrato lleva implícita la retención de la fianza para obtener los posibles gastos de conservación del periodo de garantía y los derivados del mantenimiento hasta la fecha de nueva adjudicación.

