

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESCUELA DE DOCTORADO DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL

TESIS DOCTORAL

**DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE NUEVA METODOLOGÍA DE
PREDISEÑO DE CIMENTACIONES DE GRAVEDAD PARA
AEROGENERADORES OFFSHORE**

PhD THESIS

**DEVELOPMENT AND VALIDATION OF NEW METHODOLOGY FOR
PRE-DESIGNING GRAVITY BASED FOUNDATIONS FOR OFFSHORE
WIND TURBINES**

Presentada por: **MARINA LLAMA VÉLEZ**

Dirigida por: **Prof./Dr. FRANCISCO BALLESTER MUÑOZ**

Prof./Dr. JOKIN RICO ARENAL

Santander, octubre de 2018

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS.....	i
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUCTURA.....	3
CAPÍTULO 2. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE Y DE LA TÉCNICA.....	5
2.1. ESTADO DEL SECTOR EÓLICO MARINO	5
2.2. ESTADO DEL ARTE DE LAS CIMENTACIONES DE GRAVEDAD.....	8
2.3. NORMATIVA Y ESPECIFICACIONES	17
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE DISEÑO	23
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	23
3.2. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS BÁSICOS.....	26
3.2.1. REVISIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE PROYECTO.....	26
3.2.2. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y DE INSTALACIÓN...	28
3.2.3. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS EN SERVICIO	31
3.3. PROPUESTA ALTERNATIVAS	34
3.4. DETERMINACIÓN DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA	38
3.4.1. CARGAS PERMANENTES	38
3.4.2. CARGAS MEDIOAMBIENTALES	40
3.5. VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	55
3.5.1. VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS EN CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	56
3.5.2. VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS EN SERVICIO.....	59
3.6. ANÁLISIS MULTICRITERIO	63
3.6.1. PLANIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	64
3.6.2. ESTIMACIÓN DE COSTES.....	70
3.6.3. ASIGNACIÓN DE VALORES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	72

3.7.	REVISIÓN ESTRUCTURAL DE LA SOLUCIÓN	75
3.7.1.	REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS Y CÁLCULO DE CARGAS	75
3.7.2.	MODELO ESTRUCTURAL	80
3.7.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
3.7.4.	MODIFICACIÓN DEL DISEÑO.....	83
3.8.	DEFINICIÓN DE LA BANQUETA Y PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN	83
3.8.1.	DEFINICIÓN DE LA BANQUETA	84
3.8.2.	DEFINICIÓN DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN	87
CAPÍTULO 4.	VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	93
4.1.	INTRODUCCIÓN	93
4.2.	REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS BÁSICOS.....	94
4.2.1.	REVISIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE PROYECTO.....	94
4.2.2.	REVISIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	95
4.2.3.	REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS EN SERVICIO	96
4.3.	PROPUESTA DE ALTERNATIVAS	96
4.3.1.	ALTERNATIVAS DE GEOMETRÍA ANALIZADAS	97
4.3.2.	ALTERNATIVAS DE INSTALACIÓN ANALIZADAS	99
4.3.3.	DETERMINACIÓN DE GEOMETRÍA BÁSICA PARA LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS	100
4.4.	DETERMINACIÓN DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA	103
4.5.	VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	108
4.6.	ANÁLISIS MULTICRITERIO	118
4.6.1.	PLANIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	118
4.6.2.	ESTIMACIÓN DE COSTES.....	127
4.6.3.	ASIGNACIÓN DE VALORES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	137
4.7.	REVISIÓN DE LA SOLUCIÓN	141
4.7.1.	REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS Y CÁLCULO DE CARGAS	142
4.7.2.	MODELO ESTRUCTURAL	144
4.7.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	145
4.7.2.	MODIFICACIÓN DEL DISEÑO.....	158
4.7.3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL DISEÑO MODIFICADO	168
4.8.	DEFINICIÓN DE LA BANQUETA Y PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN	177

4.8.1. DEFINICIÓN DE LA BANQUETA	177
4.8.2. DEFINICIÓN DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN	182
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	187
5.1. CONCLUSIONES.....	187
5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	190
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	193

ANEXO I: Listado de patentes

ANEXO II: Esquema de geometrías

ANEXO III: Resultados del diseño básico

ANEXO IV: Planos

ANEXO V: Patente ES2593263B1

RESUMEN

Debido a la reducida experiencia existente en el diseño e instalación de cimentaciones de gravedad (también conocidas como GBF), se cuenta con pocos ejemplos y lecciones aprendidas que sirvan de base para analizar la viabilidad de estas estructuras como cimentaciones en proyectos eólicos offshore. La implantación de un parque eólico offshore es una tarea con largo periodo de maduración, en la que es necesario contar con una solución preliminar que permita realizar estudios de viabilidad suficientemente detallados, partiendo de información limitada.

Tras la revisión de la normativa y directrices que se aplican a tal efecto, se llega a la conclusión de que los procedimientos actuales no son óptimos para la determinación del prediseño de este tipo de estructuras. Éstos requieren un nivel de detalle de la información metoceanica y geotécnica que habitualmente no está disponible en las etapas iniciales del proyecto. Además, la verificación estructural de una geometría determinada requiere de largos procesos para la determinación de cargas y análisis de numerosas combinaciones de éstas mediante métodos de elementos finitos, lo que imposibilita el análisis simultáneo de varias geometrías para la identificación de la opción más adecuada. Además, el desarrollo de un prediseño requiere aunar conocimientos expertos de diferentes áreas, como la geotecnia, la ingeniería náutica, la ingeniería de la construcción o el cálculo estructural.

En este contexto, se desarrolla una metodología que sintetice y simplifique los conocimientos requeridos de cada una de las áreas, ofreciendo un enfoque integral y ordenado del proceso de prediseño. Para ello, se desarrolla un trabajo de identificación de los aspectos de mayor impacto en la realización del prediseño, y basándose en dichos aspectos se propone un procedimiento para la obtención de cargas y verificación de requerimientos. La formulación para obtención de cargas hidrodinámicas es verificada mediante ensayos físicos y simulaciones numéricas.

Para la selección de alternativas de estudio, se analizan diferentes metodologías de análisis multicriterio, optándose por el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) junto con el método TOPSIS. Se identifican los procedimientos para realizar un análisis estructural que permita verificar la idoneidad de la estructura durante todas las fases de construcción, instalación y operación, proponiéndose un número limitado de combinaciones de carga que permitan verificar los estados límites últimos y el análisis modal del conjunto.

La Tesis recoge, además de la metodología, la aplicación de ésta a un caso de estudio. Se proporcionan valores de referencia y lecciones aprendidas durante el proceso de prediseño, que culmina en la obtención de una solución satisfactoria que verifica los

requisitos establecidos, por lo que se concluye que la metodología se ha validado. Gracias al estudio realizado se conoce que dicha solución cuenta con aspectos de altura inventiva e innovación suficientes para solicitar una patente, por lo que se procede a solicitarla, siendo esta favorable.

ABSTRACT

Due to the limited experience in the design and installation of gravity based foundations (also known as GBF), there are few examples and lessons learned to serve as a basis for analysing the viability of these structures as foundations in offshore wind projects. The implementation of an offshore wind farm is a task with a long maturation period, in which it is necessary to have a preliminary solution that allows carrying out sufficiently detailed feasibility studies, starting from limited information.

After reviewing the regulations and guidelines applied to this effect, it is concluded that the current procedures are not optimal for determining the pre-design of this type of structures. These require a level of detail of geotechnical and metoceanic information that is usually not available in the initial stages of the project. In addition, the structural verification of a given geometry requires long processes for the determination of loads and analysis of numerous combinations of these by means of finite element methods, which makes it impossible to simultaneously analyse several geometries to identify the most suitable option. In addition, the development of a pre-design requires combining expert knowledge from different areas, such as geotechnics, nautical engineering, construction engineering or structural calculation.

In this context, a methodology is developed that synthesizes and simplifies the required knowledge of each of the areas, offering an integral and orderly approach to the pre-design process. To achieve this, a work of identification of the aspects of greater impact in the realization of the predesign is developed and based on these aspects a procedure is proposed for the obtaining of loads and verification of requirements. The formulation to obtain hydrodynamic loads is verified by means of physical tests and numerical simulations.

For the selection of study alternatives, different multi-criteria analysis methodologies are analysed, opting for the Analytic Hierarchy Process (AHP) together with the TOPSIS method. The procedures for carrying out a structural analysis are identified to verify the suitability of the structure during all the phases of construction, installation and operation, proposing a limited number of load combinations that allow the ultimate limit states and the modal analysis of the whole to be verified.

The Thesis includes, in addition to the methodology, its application to a case study. Reference values and lessons learned during the pre-design process are provided, which culminates in the obtaining of a satisfactory solution that verifies the established requirements, for which reason it is concluded that the methodology has been validated. Thanks to the study carried out, it is known that this solution has aspects of sufficient inventive height and innovation to apply for a patent.

AGRADECIMIENTOS

El contenido de esta Tesis es fruto de un trabajo individual, pero sin duda no habría tenido lugar sin la colaboración y esfuerzo de un equipo de personas que han aportado su conocimiento a la consecución de los objetivos perseguidos, y sin los cuales no habría disfrutado tanto recorriendo este camino.

En primer lugar, quiero agradecer el trabajo de los Profesores Francisco Ballester y Jokin Rico como Directores de esta Tesis. Gracias por su tutelaje diario, sus mentes inquietas, su incansable tesón y sus extensos conocimientos y experiencia, con los que guiaron el timón de este proyecto que pudo llegar a buen puerto. Trabajar con ellos estos años ha sido una experiencia enormemente enriquecedora, no solo a nivel académico sino humano, y espero que podamos continuar haciéndolo muchos años más.

Me gustaría agradecer encarecidamente al Departamento de Tecnológica de Iberdrola Renovables Energía, en especial a las personas con las que trabajamos estrechamente en la búsqueda de la solución óptima de GBF: Antón Navarro, Cristina Heredero y César Yanes. Personas cuya implicación en el proyecto resultó crucial y de los que guardaré siempre un recuerdo maravilloso.

También quiero agradecer el apoyo profesional y personal de mis compañeros, especialmente Silvia Suárez, Francisco Díez, Alfonso González y César González, auténticos fenómenos con los que he tenido la suerte de contar en el desarrollo de esta tesis. Por supuesto quiero agradecer la ayuda de Dani Jato y Jorge Rodríguez de GITECO, indispensables en el desarrollo de este trabajo.

Me gustaría agradecer el enorme apoyo, cariño y comprensión que me ha brindado mi familia, incluyendo en este apartado a mis amigos, a quienes estoy deseando volver a ver, y mi compañero perruno Ollie, que ha compartido conmigo muchas más horas de oficina de las que le gustaría. Gracias a mis padres por su ayuda incondicional y su paciencia ilimitada, por el apoyo que he recibido a lo largo de toda mi vida y por los valores que me han transmitido. Por último, quiero expresar mi gratitud a Pedro, que ha sido faro en los días de tempestad y que es para mí un ejemplo de tenacidad, paciencia, bondad e integridad.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El presente documento recoge el desarrollo de una metodología para el prediseño de cimentaciones de gravedad (también conocidas como GBF, por sus siglas en inglés) para aerogeneradores offshore y su validación en un caso de estudio concreto.

El reto de diseño de una GBF consiste en definir una estructura con suficiente peso propio para resultar estable en servicio, al tiempo que su construcción e instalación no resulten ser procesos excesivamente complejos, para conseguir así una solución segura, económica y competitiva. Dado que existe una reducida experiencia en el diseño e instalación de este tipo de estructuras, y que existe un amplio abanico de condicionantes en cada proyecto, a priori resulta complejo identificar qué tipo de estructura y estrategia de construcción e instalación resultará óptima en cada caso.

Para el diseño de estas estructuras se recurre a las directrices de los estándares de certificación desarrollados por empresas como DNV GL. En ellos se establecen las metodologías de cálculo de cargas y las combinaciones de éstas con las que deben realizarse las verificaciones. Dado el elevado detalle de la información requerida para la estimación de las cargas, la complejidad de dicha estimación y el elevado número de casos que deben verificarse, el procedimiento no resulta abarcable en las etapas iniciales de un proyecto de diseño de un parque eólico, ya que sus tiempos de maduración son muy elevados. Es preciso contar con una herramienta ágil que permita obtener una solución *ad hoc* con al que realizar los estudios de viabilidad preliminares.

Además, existe limitada experiencia en la definición de los procesos constructivos y de instalación de manera que estos conduzcan a una solución económicamente competitiva, y que no involucren fases o procedimientos que perjudiquen el diseño. Esto debe tenerse en cuenta desde las fases iniciales de diseño para evitar grandes modificaciones una vez avanzado el proyecto.

La compañía Iberdrola Renovables Energía identificó esta problemática en el año 2014, y solicitó la colaboración de GITECO (Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción de la Universidad de Cantabria) y la empresa de base tecnológica INGECID para la realización del prediseño de una cimentación de gravedad para un potencial emplazamiento.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo de esta tesis es establecer y validar una metodología para facilitar el prediseño de cimentaciones de gravedad para aerogeneradores offshore, de manera ágil y con un enfoque que considere multitud de factores. Dicho objetivo general puede detallarse más específicamente en los siguientes objetivos:

- Revisión de las aproximaciones actuales al problema de diseño de las cimentaciones de gravedad para aerogeneradores offshore, mostrando los puntos débiles de dichas aproximaciones y su ámbito de aplicación.
- Identificación de los aspectos más relevantes para el diseño básico de una cimentación, en las diferentes fases del proceso de diseño, fabricación e instalación de las estructuras.
- Desarrollo de una metodología para la estimación de cargas hidrodinámicas basado en formulación empírica, y verificación de ésta mediante comparación con resultados obtenidos en ensayos físicos y numéricos.
- Estudio de los sistemas de evaluación multicriterio y desarrollo de una metodología de análisis para el apoyo en la toma de decisiones de selección de alternativas.
- Desarrollo de un modelo de estimación de costes para la comparación de alternativas, partiendo de una planificación básica para la construcción e instalación de cimentaciones de gravedad.
- Implementación de una segunda fase de análisis estructural que permita identificar los aspectos críticos del diseño tanto en fases transitorias de construcción e instalación como en operación.
- Estudio de los métodos para la determinación de la geometría y material requeridos para la banqueta y protección contra la socavación.
- Validación de la metodología desarrollada mediante su aplicación a un caso de estudio, y obtención de una solución optimizada que verifique los requerimientos establecidos.

- Análisis de los resultados de la validación de la metodología de manera que se realizan recomendaciones y propuestas de tipo práctico para el diseño de cimentaciones de gravedad para aerogeneradores offshore.

1.3. ESTRUCTURA

El presente documento se estructura de la siguiente manera:

El Capítulo 1 consiste en una introducción en la que se recoge la motivación para el desarrollo de la tesis, resaltando las ventajas que implica emplear la metodología propuesta en la etapa de prediseño de un parque eólico offshore, y los objetivos específicos que se persigue alcanzar con dicho desarrollo.

El Capítulo 2 recoge una revisión del estado del arte y de la técnica en cuanto a la tecnología de cimentaciones de parques eólicos offshore, particularmente de las cimentaciones de gravedad. En dicho capítulo se realiza también una revisión del estado de conocimiento de prediseño de cimentaciones, detallando su relación con los estándares de diseño más comúnmente empleados.

En el Capítulo 3 se define la metodología propuesta, basada en una aproximación holística pero simplificada del problema de prediseño de la cimentación. Se identifican las pautas a seguir para realizar el prediseño. Se señalan los parámetros relevantes y requisitos de diferente naturaleza, los procedimientos para realizar la verificación de dichos requerimientos y para evaluar la idoneidad de varias soluciones planteadas. Como parte de los procedimientos, se propone un método de estimación de cargas hidrodinámicas basado en formulaciones empíricas, que se valida mediante la realización de ensayos físicos y numéricos.

En el Capítulo 4 se recoge el caso práctico de aplicación de la metodología a un proyecto concreto de prediseño de cimentación de gravedad para aerogeneradores offshore. Se evalúan mediante un análisis multicriterio los diseños básicos de varias soluciones propuestas, identificando la alternativa que mejor se adapta a las condiciones particulares del caso. Se realiza un análisis estructural de mayor detalle sobre la solución seleccionada, que permite identificar los aspectos críticos de la misma. Se propone una modificación de la estructura y se verifica su adecuación a los requerimientos del proyecto.

Finalmente, el Capítulo 5 recoge las conclusiones del trabajo realizado, analizando los resultados obtenidos en relación con los objetivos propuestos inicialmente, y las futuras líneas de investigación que abre la metodología propuesta.

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE Y DE LA TÉCNICA

2.1. ESTADO DEL SECTOR EÓLICO MARINO

La energía eólica marina ha experimentado un avance drástico en los últimos 15 años, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías y diseños que permiten abordar los importantes retos que implica la instalación de parques eólicos en el medio marino.

En 2017, la potencia total instalada ya superaba los 18,8 GW (Ref. [1]), de los cuales la gran mayoría corresponde a parques ubicados en costas europeas (15,7 GW, Ref. [2]). Países como Alemania o Reino Unido, cuya potencia eólica offshore instalada supera los 5.000 MW en el caso del primero y se aproxima a los 7.000 MW en el caso del segundo, han potenciado la investigación y desarrollo en el ámbito de la eólica offshore. Junto con Dinamarca, Holanda y Bélgica, con potencias instaladas cercanas a 1.000 MW, representan los cinco mercados que condensan el 98% de la capacidad conectada en Europa.

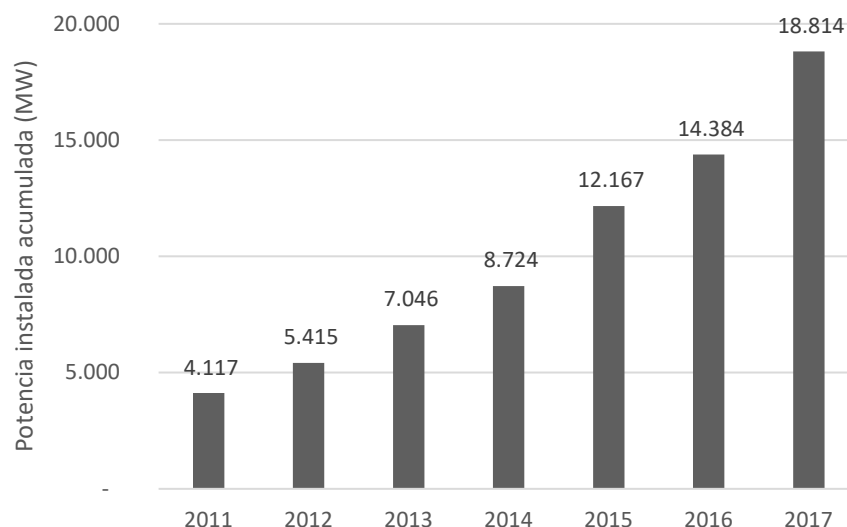


Figura 1: Potencia instalada acumulada correspondiente a parques eólicos offshore a nivel mundial entre los años 2011 y 2017 (Fuente: Ref. [1])

La inclusión de la energía eólica marina en el mix energético de estos países está motivada, en parte, por la necesidad de reducir las emisiones de carbono para cumplir con los objetivos de 2020, ya que permiten generar energía a escala de gigawattios en emplazamientos relativamente cercanos a grandes poblaciones, sin la emisión de CO₂ que tienen asociadas otras fuentes de energía como el carbón o el gasóleo.

Otra de sus principales ventajas es la mayor eficiencia que se obtiene en el medio marino frente a los parques ubicados en tierra, gracias a la reducción de interferencias debidas a vegetación o edificios, por lo que los vientos son más uniformes y constantes.

En la actualidad, la perspectiva de crecimiento apunta a un importante aumento de la capacidad instalada a nivel mundial en los próximos años, pudiendo alcanzar los 400 GW en 2045 (Ref. [3]).

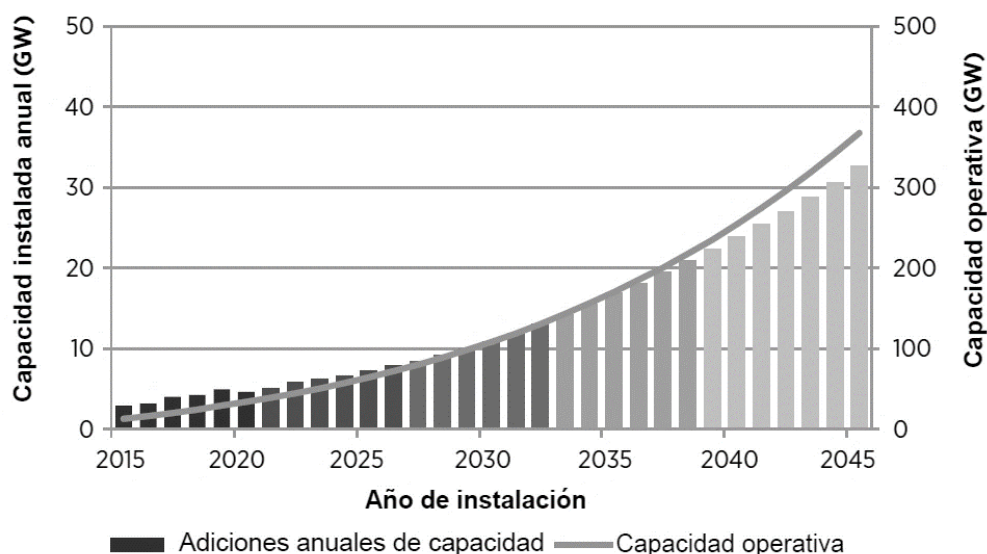


Figura 2: Previsión de crecimiento global de la potencia instalada anualmente y la capacidad operativa entre los años 2016 y 2045 (Fuente: Ref. [3])

En 2017, el tamaño medio de la turbina instalada en Europa fue de 5,9 MW, un 23% superior al año anterior. La profundidad media de los parques instalados ha sido cercana a los 28 m, con una distancia media a la costa de 41 km (Ref. [2]). Los estudios de mercado prevén que se alcancen potencias de 10 MW en 2030 y 15 MW en 2045 (Ref. [3]). En cuanto a la profundidad, se prevé que existen suficientes emplazamientos con profundidades inferiores a los 45 m hasta 2040, por lo que por el momento los nuevos parques se instalarán en profundidades intermedias (20-45 m).

Por todo ello, el sector se encuentra actualmente ante el reto de proporcionar soluciones técnicas que permitan instalar parques a mayores profundidades y con aerogeneradores más potentes. No obstante, para alcanzar los objetivos propuestos en cuanto a energía eólica marina, es necesario que los costes de instalación y producción se vean reducidos.

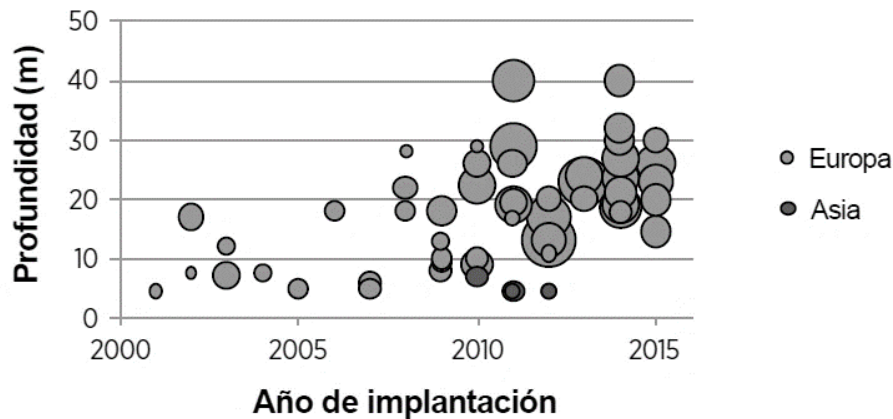
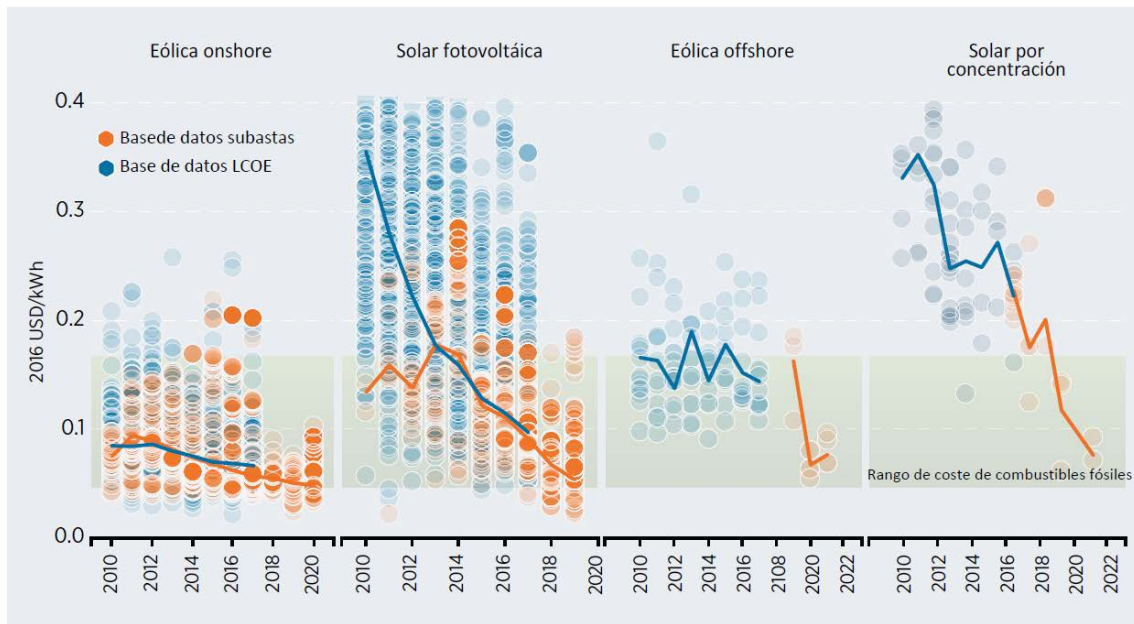


Figura 3: Profundidad de instalación de proyectos de escala comercial puestos en servicio a nivel mundial, 2011-2015 (Fuente: Ref. [3])

En los últimos años se han producido avances en este sentido, especialmente gracias a las innovaciones en la tecnología de la turbina, pero se estima que se podrá reducir el coste de generación de energía mediante aerogeneradores offshore de los 170 \$/MWh estimados en 2015 hasta los 95 \$/MWh en 2030, gracias principalmente a las innovaciones tecnológicas en toda la cadena de suministro (Ref. [3]), entre ellas las cimentaciones, que suponen aproximadamente un 5% de este coste. Se espera que en 2020 las principales fuentes de energía renovable sean competitivas frente a los combustibles fósiles (Figura 4).

Tabla 1: Comparación de las características de proyectos tipo puestos en servicio en 2001 y 2015 (Fuente: Ref. [3])

	Parque eólico típico	
	2001	2015
Profundidad LAT (m)	10	25
Distancia a puerto (km)	20	40
Potencia del parque eólico (MW)	60	300
Velocidad a 100 m sobre el MSL (m/s)	9	9,8
Número de turbinas	30	75
Potencia de la turbina (MW)	2	4
Diámetro del rotor (m)	90	130
Cimentación	Monopilote	Monopilote



2.2. ESTADO DEL ARTE DE LAS CIMENTACIONES DE GRAVEDAD

Actualmente, la mayor parte de las cimentaciones empleadas en parques eólicos offshore son de tipo fijo, principalmente monopilote, jacket o cimentaciones de gravedad. Aproximadamente el 87% de las cimentaciones instaladas en la actualidad son de tipo monopilote (Ref. [2]). Las cimentaciones tipo GBF han sido empleadas principalmente en profundidades bajas, en el inicio del desarrollo de la tecnología offshore. Para las aguas más profundas y mayores tamaños de aerogenerador, se han empleado estructuras metálicas diferentes al monopilote (tipo jacket, trípode o tripilote).

No obstante, la localización de parque eólicos en fondos marinos rocosos complica notablemente el proceso de instalación, ya que las soluciones tradicionales deben hincarse en el lecho marino. A medida que se ocupan los emplazamientos en aguas poco profundas y con fondos marinos no rocosos, resulta cada vez más necesario desarrollar soluciones que permitan realizar la instalación en esas condiciones de manera económicamente eficiente.



Figura 5: Esquemas de cimentaciones tipo GBF, trípode, monopilote y jacket (Fuente: Ref. [5])

Las cimentaciones de gravedad actualmente representan el 2% de las cimentaciones instaladas (Ref. [2]), con un total de 283 unidades. Han sido empleadas mayormente en profundidades entre 4 y 15 m, si bien existen experiencias recientes en profundidades superiores, como es el caso de Thornton Bank, con profundidades en torno a 30 m (Ref. [6]).

Las GBFs son estructuras de hormigón armado que se colocan sobre el fondo marino, y que cuentan con un peso suficiente para garantizar la estabilidad del conjunto frente a la acción de oleaje, corrientes y cargas del aerogenerador. Una vez instaladas, se rellenan normalmente con material como arena o mineral de hierro para incrementar su peso propio.

La geometría más habitual consiste en una base, que puede adoptar diferentes configuraciones (Figura 6), y un mástil, de forma cilíndrica o troncocónica. Esta forma viene definida porque las estructuras deben ser capaces de albergar lastre para incrementar su peso propio, al tiempo que presentar una superficie esbelta, especialmente en la zona de menor profundidad donde la fuerza de choque de la ola es mayor, de modo que se reduzca el área de impacto.



Figura 6: Ejemplos de cimentaciones tipo GBF (Skanska Boskalis Offshore, Vici-Ventus, STRABAG, Ref. [7]; Thornton Bank, Ref. [6])

Además de ser especialmente adecuadas en aquellos emplazamientos en los que el hincado resulta complejo, presentan ventajas desde el punto de vista medioambiental, ya que al no requerir operaciones de hincado no se produce generación de ruido. También resultan ventajosas desde el punto de vista de durabilidad, ya que el hormigón presenta un mejor comportamiento en ambientes marinos que el acero.

Asimismo, ya que el coste del hormigón no está sometido a las fluctuaciones a las que se ve sometido el coste del acero, las soluciones GBF presentan una ventaja económica frente a los monopilotes o jackets. Su mayor rigidez, frente a las soluciones anteriores, hace que sean económicamente más eficientes en proyectos de turbinas de gran tamaño en aguas más profundas.

Sus principales desventajas se relacionan con su elevado volumen, que dificulta la construcción y transporte. Por otra parte, son necesarios trabajos de preparación del terreno y protección contra la socavación que pueden alcanzar grandes superficies y tener cierto impacto en el ecosistema bentónico.



Figura 7: Construcción de las cimentaciones para el proyecto Thornton Bank en el puerto de Ostende (Fuente: Ref.: [6])

Su proceso de fabricación habitualmente implica la construcción en tierra, aunque existen otras opciones como la construcción sobre pontona, en dique seco o cajonero. En cualquier caso, se realiza empleando encofrado deslizante, trepante o elementos prefabricados. Los parques con un elevado número de unidades requerirán que el proceso constructivo esté en cierta medida industrializado, para ser económicamente viables.

Habitualmente el transporte de la cimentación se lleva a cabo mediante pontona o grúas de gran capacidad (llamadas *Heavy Lifting Vessels*, HLV), también empleadas para el fondeo. Un ejemplo de HLV es la embarcación RAMBIZ, que cuenta con una capacidad de elevación de 3.300 t (Figura 8). Posteriormente se realiza la instalación de torre, nacelle y rotor pudiendo emplearse para ello embarcaciones tipo *jack-ups* (Figura 48: Embarcación para instalación de aerogeneradores offshore Aeolus 2.0 (Fuente: Van Oord)Figura 48).



Figura 8: Grúa RAMBIZ fondeando una cimentación del parque Thornton Bank (Fuente: Ref. [6])

Actualmente se trabaja en soluciones que puedan transportarse de manera autoestable mediante remolcadores, como las propuestas por Sea Tower y el consorcio Bam & Van Oord, o soluciones que se transportan con aerogenerador completo instalado, como por ejemplo la solución Sea Breeze de Ocean Resource (Ref. [8]).

Una vez en la ubicación final, la cimentación es fondeada en el lecho marino, sobre el que se ha instalado una banqueta. Posteriormente, se lastra con arena u otro material de densidad elevada, para asegurar estabilidad en operación. Por último, se instala una o varias capas de material alrededor de la cimentación para evitar la socavación que puede producirse en el fondo, y que podría provocar el fallo de la estructura. Estas operaciones se realizan con embarcaciones de dragado tipo draga de tolva de succión en marcha (TSHD por sus siglas en inglés) o de colocación de material tipo Fall Pipe, específicamente aquellas que cuentan con un posicionamiento dinámico (DPFPV, por sus siglas en inglés).

En la Tabla 2 se recogen las principales cimentaciones de gravedad instaladas hasta el momento. La mayor parte de ellas se ha instalado en aguas poco profundas, y presentan una geometría similar, formada por una base de sección hexagonal y un mástil cilíndrico. Presentan un diámetro relativamente reducido, debido a la poca profundidad en la que

se instalan, y se transportan mediante embarcación (4-6 cimentaciones por viaje) o grúa. En muchas ocasiones se emplea la grúa EIDE Barge 5, que cuenta con una capacidad de elevación máxima de 1.450 t (Figura 9). El fondeo se realiza también mediante grúa.

Tabla 2: Detalles de las instalaciones actuales de GBF (Fuente: Ref. [8] y elaboración propia)

Proyecto	País	Fecha inst.	Dist. costa	Aero.	Uds.	Prof.	Diseñador	Puerto	Embarcación
Thornton Bank Phase 1	Bélgica	2009	27 km	5 MW	6	30 m	COWI	Oostende	RAMBIZ
Arkona-BeckenSüdost	Alemania	2006	35 km	Mást. Met.	1	24 m	ZüblinAG (Strabag)	Lubmin	HLV
Vindeby	Dinamarca	1991	1,8 km	0,45 MW	11	2-4 m	MT Højgaard	Onsevig Harbour	HLV
Tunø Knob		1995	5,5 km	0,5 MW	10	4-7 m	Skanska	-	HLV
Middelgrunden		2000	4,7 km	2 MW	20	3-6 m	MT Højgaard & Wain's	Burmeister	EIDE Barge 5
Nysted (Rødsand1)		2003	10,8 km	2,3 MW	72	6-10 m	COWI	Nyborg	EIDE Barge 5
Avedøre Holme (demo)		2009	0 km	3,6 MW	3	2 m	Arkil A/S	-	HLV
Sprogø		2009	10,6 km	3 MW	7	1-16 m	NIRAS	Kalundborg Port, DK	EIDE Barge 5
Rødsand2		2010	9 km	2,3 MW	90	4-10 m	COWI	Nyborg	EIDE Barge 5
Lillgrund	Suecia	2008	11,3 km	2,3 MW	48	4-8 m	COWI	Nyborg	EIDE Barge 5
Kårehamn		2013	3,8 km	3 MW	16	8-20 m	COWI	Esbjerg	RAMBIZ
Fecamp (demo)	Francia	2015	15 km	Mást. Met.	1	30 m	Seatower	Le Havre	Sin grúa
Blyth	Reino Unido	2018	6,5 km	8 MW	5	29-39 m	BAM	Newcastle	Sin grúa

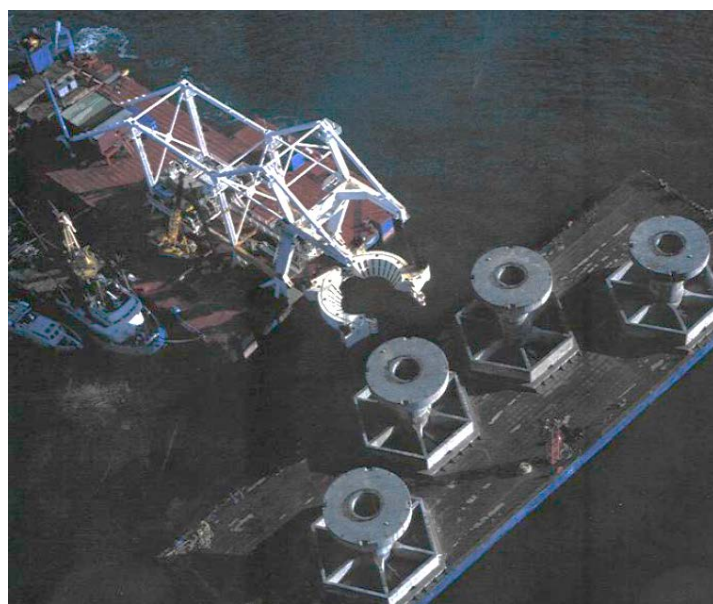


Figura 9: EIDE BARGE 5 durante la instalación de GBF en Nysted Offshore Windfarm (Fuente: Ref. [9])

Por otra parte, el proyecto Thornton Bank, desarrollado por C-Power en el periodo 2004-2009, supone un ejemplo de cimentación de gravedad instalada en profundidades intermedias. Durante la primera fase se construyeron e instalaron en el Mar Báltico, a 30 km de Zeebruges (Bélgica), 6 turbinas de 5 MW empleando cimentaciones de tipo GBF.

La geometría de las cimentaciones se adapta a cada una de las seis posiciones en las que se instalaron las GBFs, pero como valores generales se señala que tienen una losa inferior de diámetro 23,5 m, una base troncocónica de diámetro inferior 17 m y un mástil cilíndrico de diámetro exterior 6,5 m y 0,5 m de espesor. El cono tiene una altura de 17 m y el mástil varía entre 20 y 26 m. La cimentación se encuentra postesada mediante 32 tendones, y el peso total varía entre 2.800 y 3.000 t, con una cuantía media de hormigón de 1.085 m³ y 215 t de acero.

Su construcción se realizó en el puerto de Ostende (Bélgica), en seis posiciones predefinidas. Se instalaron a profundidades de aproximadamente 25-30 m, empleando para su transporte la grúa HLV RAMBIZ (Figura 8). Se realizó una preparación del terreno, mediante dragado de unos 90.000 m³ por cimentación, y la instalación de una banquetta formada por una capa de material grueso (2.500 t) y material fino (1.200 t). Tras su fondeo, las cimentaciones se rellenaron con la arena (peso específico 15,80 – 19,24 kN/m³), empleando aproximadamente un volumen de 2.000 m³ por GBF. Algunas de las cimentaciones requerían lastrado con material de alta densidad debido a las condiciones geotécnicas más desfavorables, por lo que se empleó mineral de hierro. Por último, se colocó una protección contra la socavación alrededor de la cimentación, compuesta por dos capas de diferente material, alcanzando un diámetro de hasta 62,5 m.



Figura 10: Estructura tipo cajón de DRACE (dcha.) y Seatower (dcha.) para cimentación de mástil meteorológico (Fuente: Ref. [8])

Recientemente, la solución propuesta por el consorcio BAM y Van Oord ha sido instalada en el parque eólico offshore de Blyth. Las cinco cimentaciones fueron construidas en el dique seco del puerto de Tyne (Newcastle, Reino Unido), en un periodo de 12 meses, y fueron transportadas mediante remolcadores a su emplazamiento. Los aerogeneradores instalados tienen una potencia de 8,3 MW y han sido suministrados por Vestas. La estructura diseñada tiene una altura de 60 m, un diámetro en base de unos 30 m y un volumen de hormigón de 1.800m³ (Ref. [10]).

Si bien es cierto que no ha habido otras experiencias de instalación de GBF para aerogeneradores, se han instalado varias estructuras para soportar mástiles metálicos, como es el caso de los cajones flotantes de Drace (Figura 10), la estructura Seatower en Fécamp (Figura 10) y la estructura de Zublin-Strabag en Alemania.

Numerosas empresas se encuentran desarrollando o han desarrollado propuestas de cimentaciones GBF. Las características de las más relevantes se recogen en la Tabla 3. La mayor parte de ellas son autoflotantes, y requieren alguna preparación del terreno. Existe una tendencia a evitar las HLV no sólo por su elevado coste, sino por su escasez.

Tabla 3: Principales diseños de GBF desarrollados (Fuente: Ref. [8])

Nombre/Compañía	Geometría/Materiales	Transporte/Fondeo	Preparación del terreno
Bam & Van Oord GBS Consortium	Estructura de hormigón en torno a un monopilote de acero	Autoflotante, no requiere grúa	Banqueta, no requiere skirt
JV - Boskalis, Grontmij & Skanska GBS	Híbrido hormigón-acero	Autoflotante, no requiere grúa	Banqueta, base plana, no requiere skirt.
Gravitas (JV - Hochtief, Costain and Arup)	Hormigón	Autoflotante, no requiere grúa	Skirt. Diseñada para adaptarse a pendientes y superficie sedimentaria
Seatower	Híbrido hormigón-acero	Autoflotante, no requiere grúa	No requiere dragado ni barcos especializados. Skirt poco profunda
Sea Breeze (Ocean Resource)	Hormigón, lastrado con agua	Autoflotante, no requiere grúa. Transporte con WTG	-
GBF (Ramboll, BMT Nigel Gee, Freyssinet Consortium)	Hormigón	Embarcación auxiliar especializada. Transporte con WTG	-
Strabag and Boskalis Offshore Consortium	Hormigón pretensado, placas pen pase para transferencia de cargas	Grúa auxiliar	Puede requerir pequeñas skirts (dependiendo terreno)

Otras soluciones interesantes desarrolladas y que presentan tipologías diferentes a las anteriores, son:

- VICI VENTUS: cimentación de hormigón para profundidades entre 30 y 100 m, que no requiere de HLV. Para una profundidad de 40 m y una turbina de 5 MW, la solución propuesta tendría un diámetro de la base de 34 m, un volumen de hormigón de 1.790 m³, una cuantía de armado de 650 t y 5.151 t de lastre sólido (Ref. [11]).
- ESTEYCO: cimentación de hormigón prefabricado con una torre telescópica autoinstalable, que se transporta como una plataforma autoflotante con el aerogenerador instalado. La torre telescópica propicia que el centro de gravedad sea más bajo, lo que favorece la estabilidad durante la instalación. Esta solución es válida para profundidades entre 20 y 60 m, y aerogeneradores hasta 8 MW. El calado requerido es inferior a 8 m, y requiere aproximadamente 8-10 Ha de superficie para la construcción de 60 unidades en un año. Un prototipo, llamado ELISA, ha sido instalado en Gran Canaria (PLOCAN) en el marco del Proyecto ELICAN (Ref. [12]).
- TITAN: un concepto diferente, consistente en una plataforma metálica tipo *jack-up*, que permanece en superficie y se ancla al terreno mediante tres pilares. El diseño estándar se realizó para 3,6 y 5 MW, para profundidades de 35 a 45 m. Permite realizar el transporte con el aerogenerador ya instalado, y no requiere preparación del terreno, pudiendo instalarse en 2 días. La longitud de cada uno de los brazos es de aproximadamente 37 m (Ref. [13]).



Figura 11: Cimentación propuesta por ESTEYCO (izqda.) y Titan (dcha.) (Fuente: (Ref. [12] y Ref. [13])

Durante los últimos 15 años se han registrado un gran número de patentes de GBF en todo el mundo, a pesar de que no se han realizado apenas publicaciones al respecto en revistas indexadas. Esto muestra el interés de la industria por el desarrollo de esta tipología de cimentación. En el ANEXO I se recoge en análisis de cerca de 20 patentes relacionadas con cimentaciones de gravedad, realizadas la mayor parte de ellas entre los años 2000 y 2018.

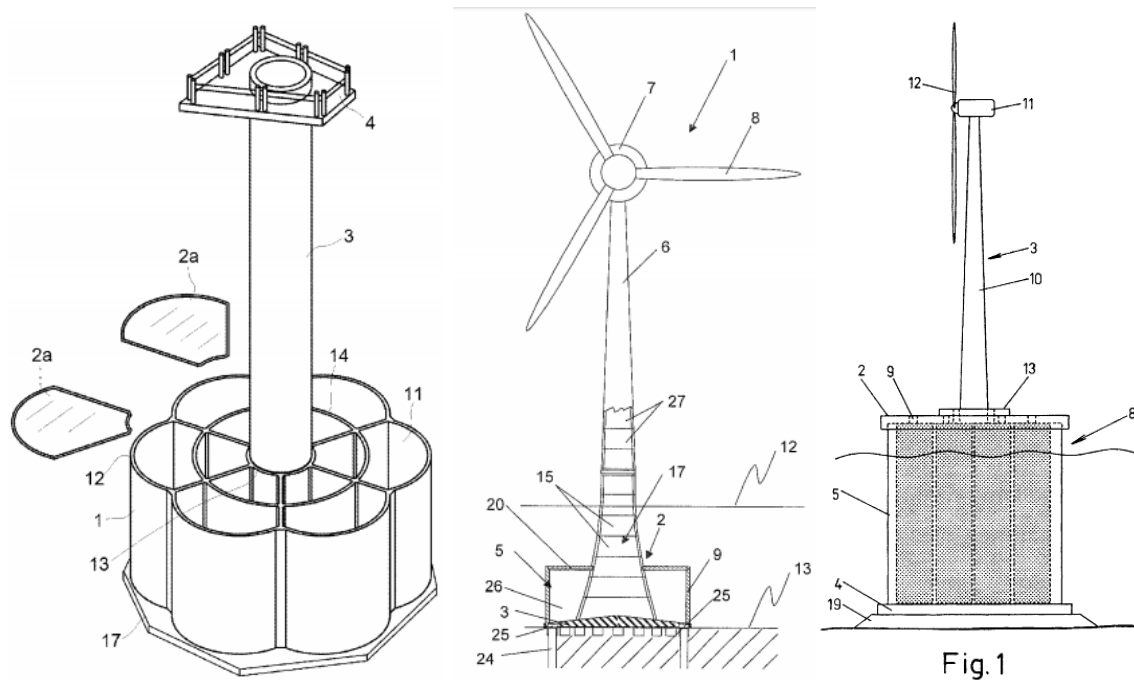


Figura 12: Ejemplos de patentes de estructuras GBF (Fuente: Ref. [14], [15], [16])

2.3. NORMATIVA Y ESPECIFICACIONES

Por lo general, el diseño de estructuras offshore se basa en una combinación del método de elementos finitos (FEM, por sus siglas en inglés), y las recomendaciones de estándares como DNV-OS-J101 (Ref. [17]) y Eurocódigos 2 y 3 (Ref. [18] y [19]).

En sus inicios, el diseño de cimentaciones de gravedad para aerogeneradores eólicos offshore se realizó empleando los estándares desarrollados para la industria de Oil&Gas, como el estándar “ISO 19903:2006 Petroleum and natural gas industries - Fixed concrete offshore structures”. Estos estándares no están desarrollados para estructuras de soporte de aerogeneradores, y resultan demasiado conservadores, por lo que la industria eólica *offshore* se unió para desarrollar estándares que se ajusten mejor al sector, en términos tanto de propiedades de fatiga del material como en interacción suelo-estructura. Esto ha tenido un gran impacto en las cantidades de material empleadas (especialmente acero), reduciendo por ello los costes.

En los diseños existentes se ha empleado principalmente el mencionado documento DNV-OS-J101: “Design of offshore wind turbine structures” (Ref. [17]), que consiste en un estándar para el diseño de estructuras offshore para aerogeneradores, en el que se tienen en cuenta las fases de construcción, transporte, instalación e inspección. Se encuentra armonizada con lo dispuesto en el estándar internacional IEC 61400-3: “Wind Turbines / Part 3: Design Requirements for Offshore Wind Turbines” (Ref. [20]), publicado por la Comisión Electrotécnica Internacional. Ambos documentos se basan en que el diseño debe basarse en las condiciones externas específicas del emplazamiento.

Por su parte, GL publicó su estándar *“GL Rules and Guidelines: IV Industrial services / Part 2: Regulations for the Certification of Offshore Wind Energy Turbines”* (Ref. [21]), que es un conjunto de regulaciones para la certificación de aerogeneradores offshore publicado en 2005 y actualizada en 2012.

GL y DNV se fusionaron en 2013, en la compañía DNV GL AS. Dicha compañía publicó en 2016 (y actualizó en 2018) un estándar que deroga a los anteriores creados por DNV y GL, con título *“DNVGL-ST-0126: Support structures for wind turbines”* (Ref. [22]), que debe emplearse junto con el documento de definición de cargas y combinaciones de diseño *“DNVGL-ST-0437: Loads and site conditions for wind turbine”* (Ref. [23]). Dichos documentos se encuentran alineados con lo recogido en el estándar anteriormente empleado DNV-OS-J101 (Ref. [17]), si bien pueden encontrarse algunas diferencias en los requerimientos que exigen. En el estándar DNV-OS-J101 (Ref. [17]) se hace referencia a una condición que resulta crítica: “las cimentaciones de gravedad, a diferencia de las cimentaciones pilotadas, son diseñadas con el objetivo de evitar cargas de tracción (levantamiento) entre la parte inferior de la estructura de soporte y el lecho marino”. En el nuevo estándar no se hace referencia a esta condición.

El American Bureau of Shipping desarrolló el estándar *“ABS #176 Guide for Building and classing – Bottom-founded offshore wind turbine installations”* (Ref. [24]), con directrices alineadas con los documentos anteriores.

En la especificación de servicio de DNV-GL *“DNVGL-SE-0073: Project certification of wind farms according to IEC 61400-22”*, (Ref. [25]) se establecen las diferentes fases dentro del proceso de certificación de un parque eólico. El diseño de la llamada “subestructura”, que sería la cimentación de gravedad, forma parte de la Fase II de certificación, posterior a la certificación de las bases de diseño (Fase I) y condiciones del emplazamiento. La Fase II, certificación del diseño incluye el análisis con cargas integradas.

Para realizar dichas verificaciones, debe contarse con información geotécnica y metoceanía (condiciones de viento, oleaje, marinas, ventanas temporales) de detalle, validez y certificada, y que deben calcularse de acuerdo con lo establecido en IEC 61400-3 (Ref. [20]) o DNV-OS-J101 (Ref. [17]). Se señala que los datos referentes a condiciones metoceanías deben provenir de medidas específicas del emplazamiento, soportadas por información histórica. En la medida de lo posible, las mediciones específicas del emplazamiento se correlacionarán con los datos de un lugar cercano para el que existan mediciones a largo plazo. El período de seguimiento de las mediciones in situ será suficiente para obtener datos fiables para el diseño.

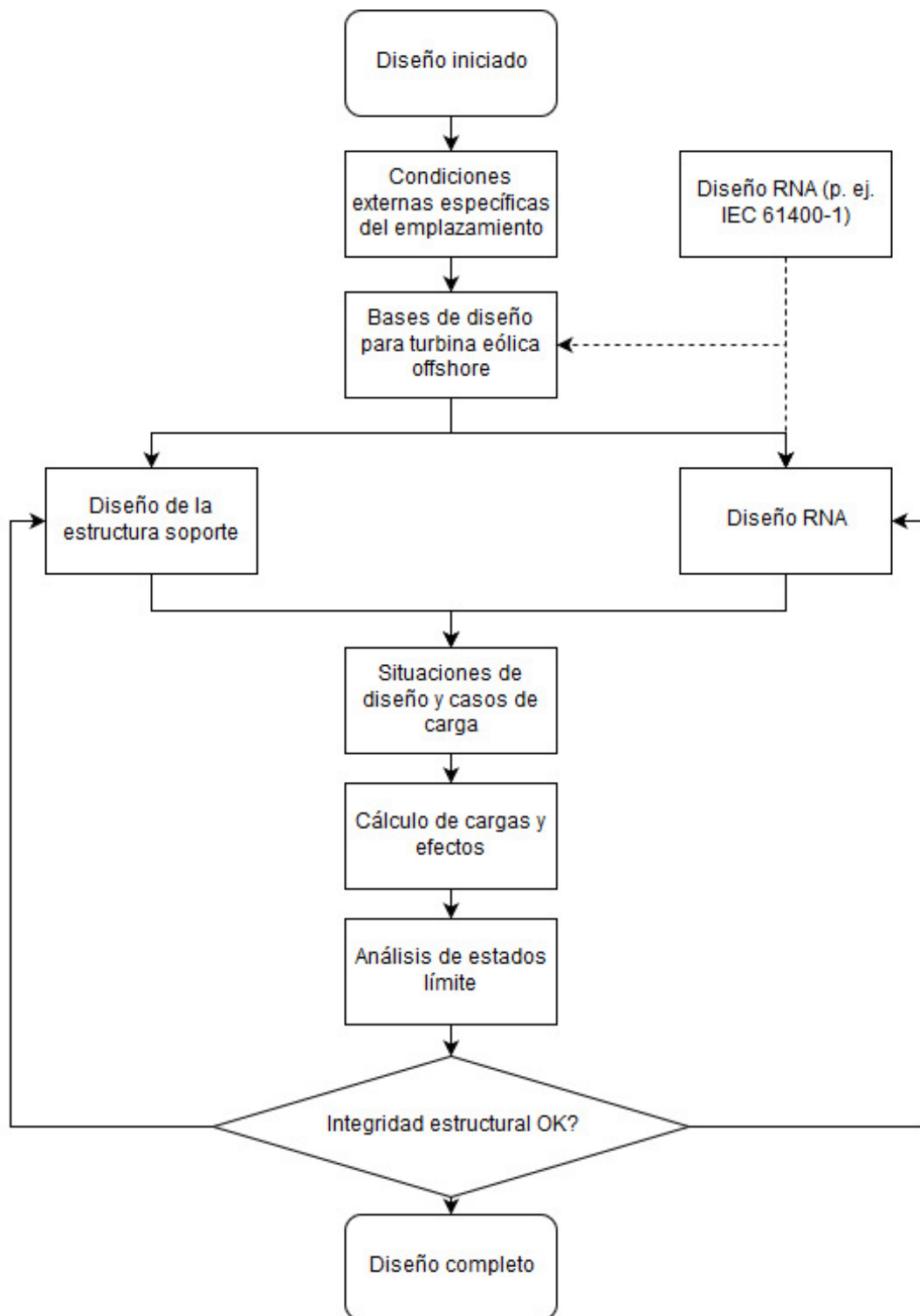


Figura 13: Flujo de trabajo para el diseño de aerogeneradores offshore (Fuente: Ref. [20])

Además, se requiere que los casos de diseño empleados para las comprobaciones de los estados límites último, fatiga, servicio (si es relevante) y/o accidente cumplen con la normativa IEC 61400-3 (Ref. [20]). En ella se establecen 34 casos que deben de ser validados. En el documento de DNV GL Ref. [23], los casos mínimos son 31, ampliables

con otros 11 casos adicionales, en los que se combinan diferentes condiciones meteoceánicas. Un ejemplo de casos de carga propuestos se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Ejemplo de casos de carga de diseño con diferentes combinaciones medioambientales (Fuente: Ref. [20])

Situación de diseño	DLC	Condición de viento	Condición de oleaje	Direc. de viento y oleaje	Corriente	Nivel de agua	Otras condiciones	Estado Límite
Producción de energía	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	Para extrapolación de cargas extremas (solo RNA)	U
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS distrib. prob. conj. H_s , T_p , V_{hub}	MIS, MUL	Sin corriente	NWLR o $\geq$ MSL		F
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U
	1.4	ECD $V_{hub} = V_r - 2 \text{ m/s}$, V_r , $V_r + 2 \text{ m/s}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	MIS; dir. Viento cambia	NCM	MSL		U
	1.5	EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U
	1.6a	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SSS $H_s = H_{s,SSS}$	COD, UNI	NCM	NWLR		U
	1.6b	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SWH $H_s = H_{s,SHW}$	MIS, MUL	NCM	NWLR		U

Los casos de viento a los que se hacen referencia en la Tabla 4 se corresponden con un modelo normal de turbulencia (NTM), modelo de turbulencia extrema (ETM), Cambio de dirección extremo (EDC) y modelo de la velocidad de viento extremo (EWM). Las condiciones de oleaje se calculan para estado de mar normal (NSS), estado de mar severo (SSS) y altura de ola severa (SWH). La dirección de viento y oleaje puede ser co-direccional (COD) o desalineada (MIS), unidireccional (UNI) o multidireccional (MUL). La corriente será simulada mediante modelo normal de corriente (NCM) o sin corriente. El nivel de agua se corresponde al nivel medio (MSL) o al rango normal del nivel de agua (NWLR). Los estados límite se corresponden a último (U) o fatiga (F). Para profundizar en las condiciones meteoceánicas que deben simularse y las combinaciones de carga propuestas, véase el estándar IEC 61400-3 (Ref. [20]).

Por otra parte, DNV-GL ha publicado en 2016 la especificación de servicio “*DNVGL-SE-0441: Type and component certification of wind turbines*” (Ref. [26]), en el que se recoge la estrategia de certificación por niveles. Se propone que existan cuatro niveles de certificación (A-D), de modo que el nivel D certifique un diseño conceptual, y el A el nivel de certificación más elevado. El entregable de dicha certificación es una “Declaración de Viabilidad (*“Statement of Feasibility”*)”, y tiene una validez de 3 años. Quiere esto decir que, dada la complejidad y exigencia computacional que exige la certificación de una solución para un parque, se contempla realizar una aproximación con diferentes niveles de detalle.

En la publicación “*Design methods for offshore wind turbines at exposed sites*” (Ref. [27]), se propone que el diseño sea el resultado del flujo de trabajo mostrado en la Figura 14. Como se observa, el proceso parte de un prediseño. El documento “*Design of support Structures for Offshore Wind Turbines*” (Ref. [28]) propone un proceso de diseño similar. No partir de un prediseño adecuado pueden traducirse en importantes retrasos en el proyecto, con el incremento de costes que ello conlleva.

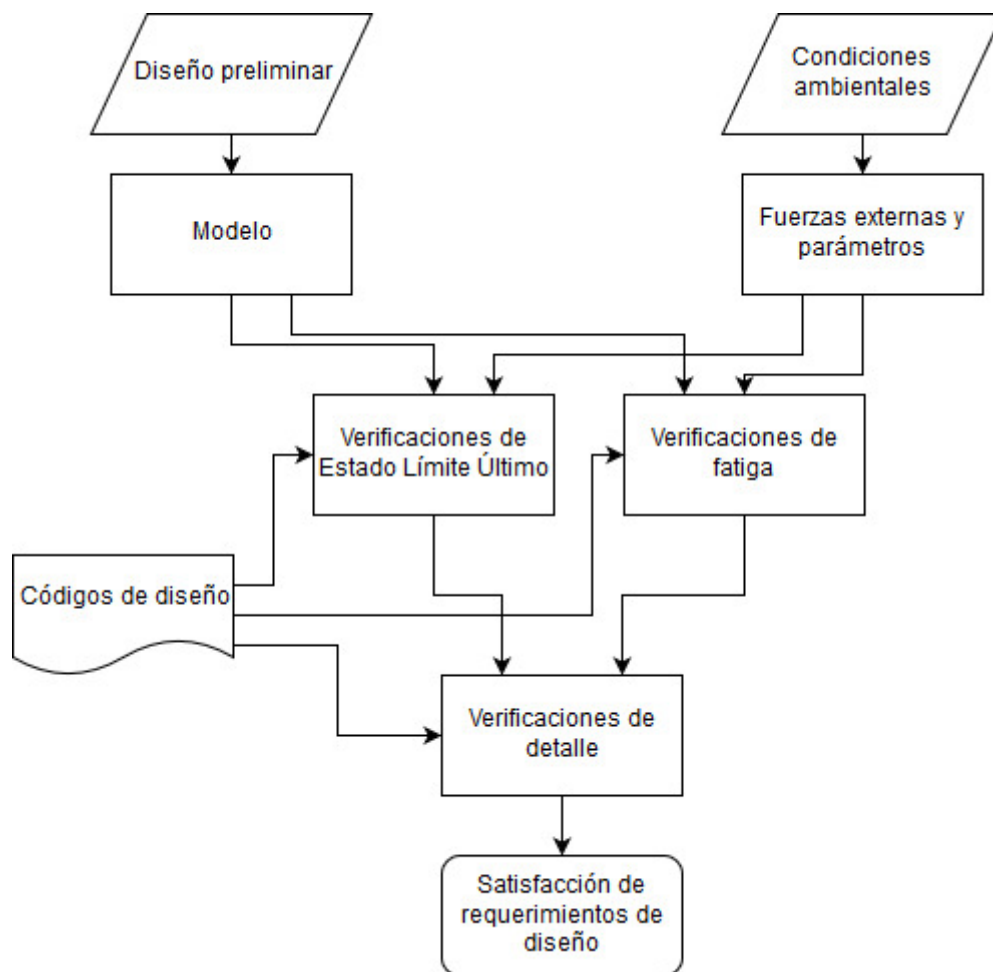


Figura 14: Descripción básica del proceso de diseño de estructuras para aerogeneradores offshore (Fuente: Ref. [27])

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El reto de diseño de una GBF consiste en definir una estructura con suficiente peso propio para resultar estable en servicio, al tiempo que su construcción e instalación no resulten ser procesos excesivamente complejos, para conseguir así una solución segura, económica y competitiva. Dado que existe una reducida experiencia en el diseño e instalación de este tipo de estructuras, y que existe un amplio abanico de condicionantes en cada proyecto, a priori resulta complejo identificar qué tipo de estructura y estrategia de construcción e instalación resultará óptima en cada caso.

El prediseño de la estructura debe tener en cuenta un elevado número de factores, tales como condiciones ambientales y geotécnicas del emplazamiento, así como condicionantes constructivos y de instalación, por lo que debe realizarse un enfoque holístico del proceso de diseño, que asegure la consecución de una solución técnica y económicamente viable para desarrollar con mayor detalle en las etapas posteriores del proyecto. El artículo *“Foundations for offshore wind turbines”* (Ref. [29]) revisa los trabajos anteriores de diseño de cimentaciones offshore y presenta algunos cálculos sencillos para dimensionar cimentaciones, además de recoger las principales dificultades y las deficiencias en las estrategias de diseño actuales.

En este caso, se propone una metodología de diseño basada en una aproximación a la solución mediante iteraciones, siguiendo el modelo de diseño en espiral (Ref. [30]). El método de diseño en espiral fue propuesto en 1988 por B.W. Boehm, para optimizar el desarrollo de software. El método se presenta como alternativa los métodos existentes, tales como el método en cascada, en los que el diseño se realiza de manera secuencial. Los métodos secuenciales cuentan con el inconveniente de que los requerimientos deben conocerse con gran detalle desde las etapas tempranas del proyecto.

En la referencia *“The Business Case for Spiral Development in Heavy-Lift Launch Vehicle Systems”* (Ref. [31]) se señala el hecho de que intentar satisfacer todos los requerimientos desde el inicio del proceso (lo que se conoce como *“big bang delivery”*), y que el producto no vaya a ser probado hasta la etapa final del proyecto, provoca que los errores en los requerimientos o diseño no sean descubiertos hasta que es demasiado tarde para repararlos. Se identifica que se trata de una estrategia con un elevado riesgo, y que los errores en la consideración de requerimientos resultan muy penalizadores desde el punto de vista económico.

El método propuesto permite considerar los principales requerimientos desde las etapas tempranas del proyecto, abarcando las dos primeras iteraciones de diseño para obtener una solución validada. El proceso se esquematiza en el flujograma de la Figura 16.

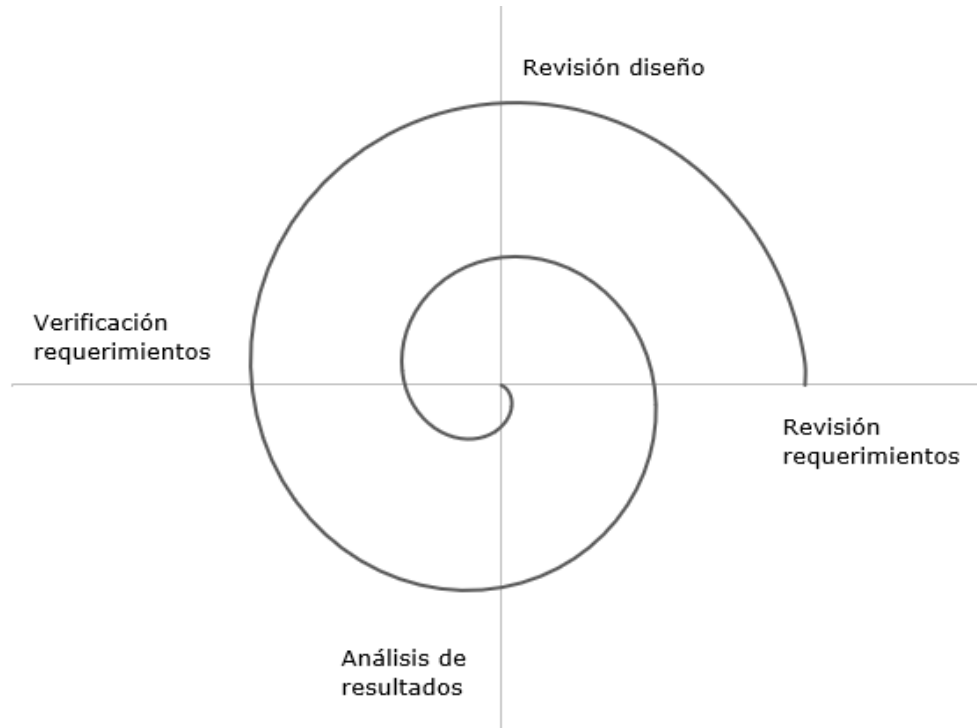


Figura 15: Esquema del proceso de diseño en espiral de la metodología propuesta

La primera iteración consiste en una evaluación de varias soluciones a través de un análisis multicriterio, y tiene como resultado una propuesta de geometría básica optimizada. Para ello se revisan los requerimientos básicos, procedentes tanto de las especificaciones del proyecto como de los condicionantes de construcción e instalación. Posteriormente se realiza una propuesta de alternativas, a la vista de los requerimientos, y se calculan las cargas actuantes. Se obtiene la geometría básica óptima que verifique los requerimientos para cada una de las soluciones y todas ellas se someten a un análisis multicriterio para determinar la que mejor satisface los condicionantes del proyecto.

La segunda iteración parte de la geometría determinada en la primera iteración, y tiene en cuenta los requerimientos estructurales, de comportamiento dinámico y de tensiones sobre el terreno. Incluye el análisis mediante el método de elementos finitos (FEM). Los resultados del análisis de la estructura pueden derivar en modificaciones de la geometría, que den lugar a nuevas iteraciones. Como resultado de las iteraciones, se obtiene un prediseño que verifique los principales requerimientos del proyecto, y que sirva de base para los posteriores cálculos de detalle, con un nivel de desarrollo TRL 1 (concepto probado).

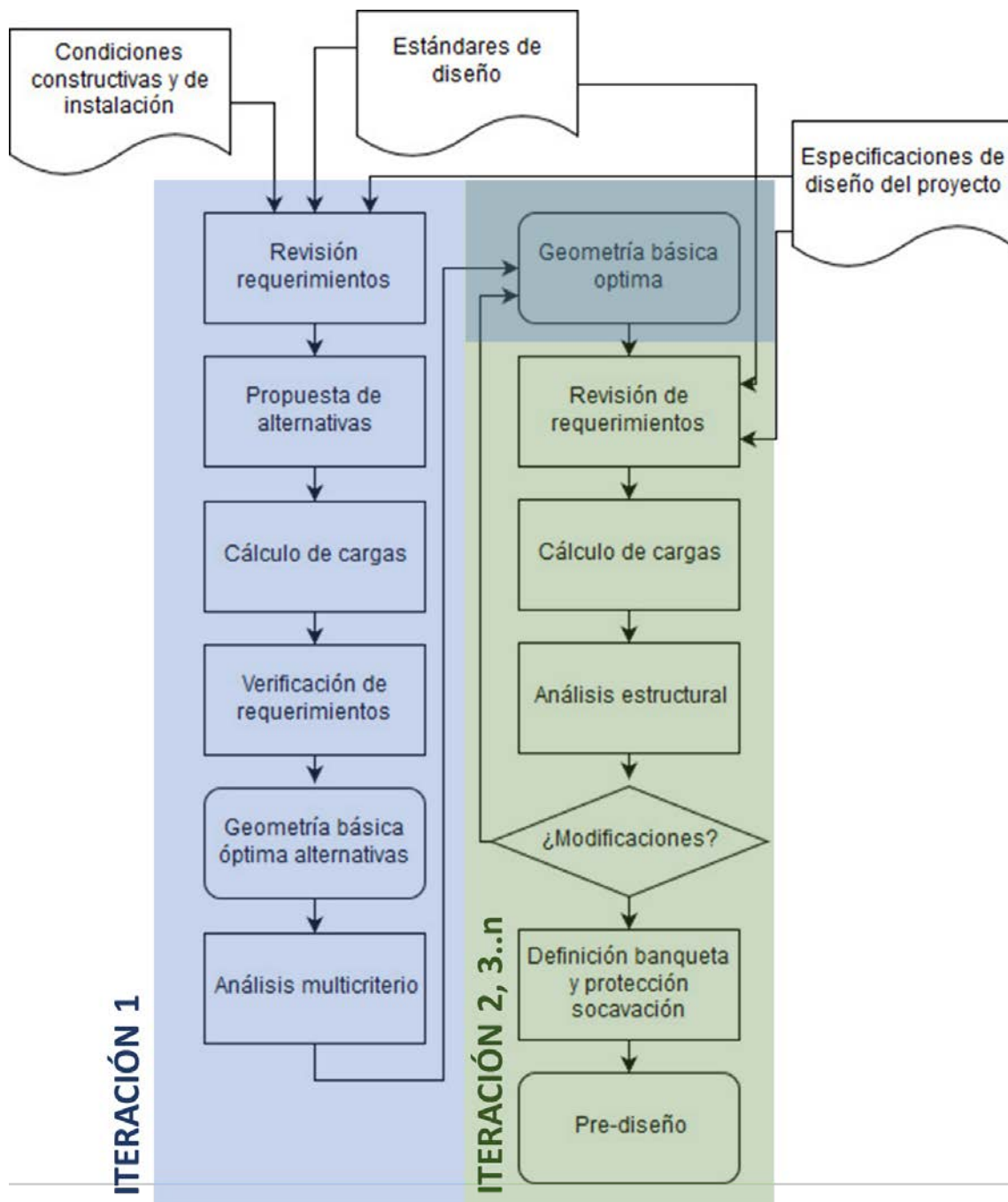


Figura 16: Flujograma de la metodología de diseño

La herramienta creada para el cálculo de cargas, verificación de requerimientos y análisis multicriterio en la primera iteración se desarrolla en MsExcel (Ref. [32]), ya que es un producto altamente programable de uso generalizado, que permite realizar los cálculos ágilmente para varias geometrías. Para los análisis estructurales posteriores se emplea software específico de FEM.

3.2. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS BÁSICOS

Las características básicas del emplazamiento y del aerogenerador, o los requerimientos y objetivos de los procesos de construcción e instalación, pueden ser aspectos críticos a la hora de determinar la geometría de la cimentación, por lo que deben ser tenidos en cuenta desde el inicio del proyecto.

3.2.1. REVISIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE PROYECTO

Se realiza una recopilación y análisis de la información disponible sobre el proyecto. En una fase preliminar del mismo es probable que no se cuente con información de detalle sobre el emplazamiento o las características del parque eólico. La información disponible provendrá de ensayos geofísicos y batimetrías, y podrá determinarse la existencia de capas de diferente resistencia en el terreno. En cálculos posteriores se requerirá conocer la consolidación del terreno, para tener en cuenta el análisis de las cargas cíclicas (especialmente en suelos arenosos).

Para los cálculos iniciales, será necesario contar con ciertos parámetros, por lo que aquellos que no se encuentren disponibles deberán ser estimados. En el Apéndice F del estándar DNVGL-ST-0437 (Ref. [23]) se señalan los parámetros de diseño requeridos, pero para el prediseño pueden ser reducidos. La Tabla 5 y la Tabla 6 recogen los parámetros básicos necesarios para la primera aproximación del diseño básico, referentes al emplazamiento y aerogenerador.

Tabla 5: Parámetros del emplazamiento

Parámetros básicos del emplazamiento	
DIST	Distancia a la costa (km)
LAT	Nivel correspondiente a la marea astronómica más baja (m)
MSL	Nivel medio (m)
MHWS	Nivel medio de las pleamares vivas (m)
HAT	Nivel correspondiente a la marea astronómica más alta (m)
EWSL	Nivel extremo de las aguas (m)
$H_{s,RP=50yr}$	Altura significativa de ola para RP= 50 años (m)
$H_{max,RP=50yr}$	Altura máxima de ola para RP= 50 años (m)
$T_{0,RP=50yr}$	Periodo de ola asociado (s)
$U_{c,0,RP=50yr}$	Velocidad de corriente en superficie para RP=50 años (m/s)
$U_{wind,ref}$	Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie para RP=50 años (m/s)

La Figura 17 muestra los diferentes niveles de agua. El nivel extremo de las aguas (EWSL) también se conoce como nivel más alto de las aguas (HSWL en la Figura 17) y se corresponde con el nivel de marea astronómica más alta (HAT) más la marea de tempestad positiva.

Tabla 6: Parámetros del aerogenerador y torre

Parámetros básicos de aerogenerador y torre	
$Unit_{WTG}$	Número de aerogeneradores instalados (u)
Pot	Potencia del aerogenerador (MW)
ϕ_{WTG}	Diámetro de palas (m)
$H_{HUB,LAT}$	Altura del HUB sobre LAT (m)
$H_{HUB,INT}$	Altura del HUB sobre interfaz torre-GBF (m)
$\phi_{MAST,SUP}$	Diámetro en interfaz torre-GBF (m)
W_{WTG}	Peso del aerogenerador (t)
CDG_{WTG}	CDG del aerogenerador (+LAT) (m)
W_{torre}	Peso de la torre metálica (t)
CDG_{torre}	CDG torre metálica (+LAT) (m)

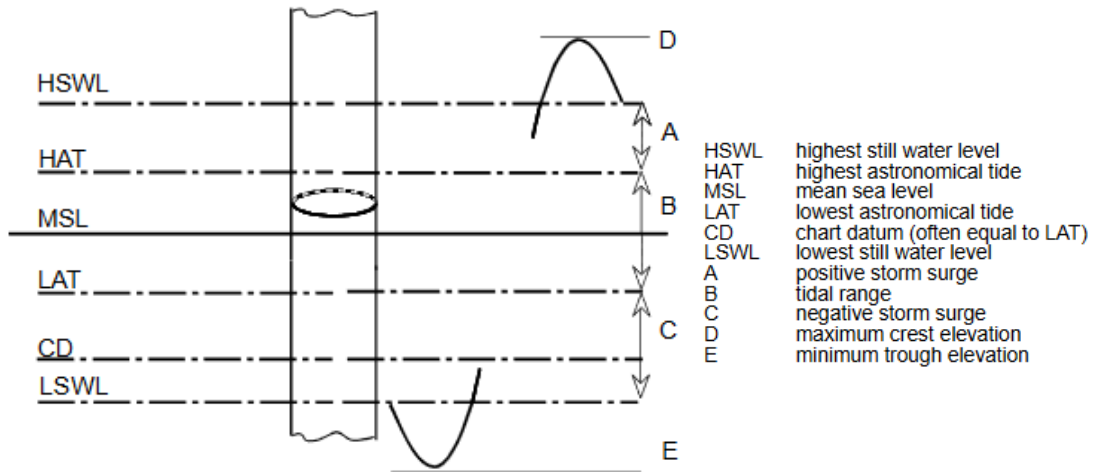


Figura 17: Esquema de los distintos niveles de agua (Fuente: Ref. [20])

También resulta necesario definir algunos parámetros geotécnicos para realizar la verificación de la estabilidad de la estructura. Dichos parámetros se enumeran en la Tabla 7. (Ref. [33]) recoge que el parámetro que mayor influencia tendrá en el cálculo de la capacidad portante del terreno será el ángulo de rozamiento, muy superiormente al peso específico o la cohesión. Deberá considerarse la posibilidad de que en el emplazamiento exista transporte de sedimentos.

Tabla 7: Parámetros básicos característicos del terreno y de la banqueta

Parámetros básicos de terreno y banqueta	
ϕ	Ángulo de rozamiento interno ($^{\circ}$)
ϕ_c	Ángulo de rozamiento interno de la interfaz GBF-banqueta ($^{\circ}$)
γ'	Peso específico (kN/m^3)
c	Cohesión (kN/m^2)

3.2.2. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y DE INSTALACIÓN

La estrategia constructiva en muchas ocasiones implica unas limitaciones o condiciones que deben verificarse. Las posibles alternativas constructivas dependerán de la ubicación, tipología de la cimentación, disponibilidad de instalaciones, etc.

- La construcción en tierra permite que se ejecuten varias cimentaciones simultáneamente. Posteriormente son transportados por medios hidráulicos hasta un pórtico o rampa de botadura. La capacidad de elevación del pórtico de botadura puede limitar el tamaño de la base. En este caso puede realizarse la construcción en tierra de una parte de la cimentación, y continuarse en el agua, con la cimentación parcialmente sumergida.
- La construcción en cajonero reduce el ritmo constructivo, ya que no existe un elevado número de cajoneros en el mundo, y su producción puede ser de una base a la semana aproximadamente. Además, limitan las dimensiones máximas de la base que puede construirse (Tabla 8). Puede valorarse la posibilidad de construir un cajonero *ex profeso*, para un elevado número de unidades. Por otra parte, la ocupación de puerto es muy inferior, lo que puede resultar ventajoso en algunos casos.



Figura 18: Ejemplo de construcción en cajonero y remolque de la base

- La construcción en dique seco puede ser una alternativa competitiva. Dependiendo de la geometría del dique seco disponible, puede limitar las dimensiones de la GBF o el número máximo de GBF fabricadas simultáneamente. Si no se encuentra disponible en el puerto, puede plantearse una construcción *ex profeso*, si existe perspectiva de fabricación de un gran número de unidades.

- La construcción sobre una pontona puede limitar el peso y diámetro de la cimentación, por las dimensiones de las pontonas disponibles.

Tabla 8: Características de los principales cajoneros de empresas constructoras españolas

Nombre	Empresa propietaria	Dimensiones			Puntal de la pontona (m)	Volumen desplazado (t)
		Longitud (m)	Manga (m)	Puntal (m)		
Mar de Aneto	FCC	51,70	32,00	28,20	3,00	7.765,00
Mar de Enol	FCC	60,00	40,00	26,30	N.D.	N.D.
Mar del Teide	FCC	34,20	28,02	34,00	3,00	4.255,00
Nakahara Co. Ltd	FCC	60,00	40,00	N.D.	4,30	N.D.
Tarifa I	Drace	55,00	45,00	26,00	N.D.	13.500,00
Balea	Acciona	32,00	25,00	N.D.	N.D.	N.D.
Kugira	Acciona	75,00	49,00	56,00	N.D.	15.000,00
Sato Levante	OHL	60,00	35,00	N.D.	N.D.	N.D.

En cuanto a los procesos de instalación, es necesario conocer cuáles son los puertos cercanos y sus características principales (calado mínimo, área e instalaciones disponibles para construcción, diques secos, distancia al emplazamiento). Si existe una estrategia predefinida de transporte e instalación, como la construcción *ad hoc* de una embarcación para transporte e instalación, debe ser considerada a la hora de proponer alternativas.

En el artículo “*A multi-criteria port suitability assessment for developments in the offshore wind industry*” (Ref. [34]) se aplica un método multicriterio para evaluar la idoneidad de los puertos para el desarrollo de industria eólica marina. Se señala que los factores claves para la selección del puerto son la distancia al emplazamiento del parque eólico, la capacidad portante de los muelles y el calado.

Sobre la profundidad del puerto, se señala que para una GBF diseñada para una profundidad de 25 m, el puerto debe tener un calado de 7,5 m, de acuerdo con “*GIS-based approach for port selection and bottleneck identification for the deployment of Self-Buoyant Gravity Based Foundations*” (Ref. [35]).

La Tabla 9 recoge las características de los principales puertos españoles como valores de referencia de los calados que pueden encontrarse. La Tabla 10 muestra las características de algunos puertos de Reino Unido.

Capítulo 3 Metodología de diseño

Tabla 9: Calado máximo en los principales puertos españoles (Fuente: elaboración propia a partir de información de Memorias Anuales publicadas en Puertos del Estado)

	Carrera máx marea (m)	Canal de Entrada		Boca de Entrada		Buque	Muelle
		Ancho (m)	Calado (m)	Ancho (m)	Calado (m)	Calado Max (m)	Calado Max (m)
Pasaia	5,00	80,0	10,0	180,0	20,0	8,5	12,0
Bilbao	4,90	375,0	14-30	500,0	30,0	22,7	30,0
Santander	5,43	150,0	11,5	1.700,0	18,0	14,5	13,0
Gijón	4,98	490,0	20,0	840,0	25,0	18,3	23,0
Avilés	4,60	920,0	12,8	160,0	12,8	14,6	14,0
Ferrol	4,33	160,0	11,3	546,0	20,0	18,3	20,0
Ferrol (San Cibrao)	4,30	191,0	17,9	305,0	20,0	18,0	17,0
A Coruña	4,50	600,0	23,5	800,0	21,0	16,5	16,5
Vilagarcía	4,21	110,0	9,0	200,0	9,0	13,2	13,0
Marín	4,00	-	-	5.500,0	6,0	16,7	14,0
Vigo	4,00	10.740,0	38,0	2.222,0	38,0	14,4	14,0
Huelva	3,99	200,0	13,0	300,0	13,0	18,2	13,0
Cádiz	3,90	250,0	13,0	300,0	11,5	17,0	11,0
Algeciras	1,21	-	-	665,0	25,0	23,0	17,0

Tabla 10: Características de posibles puertos para fabricación de GBF en Reino Unido (Fuente: Ref. [8])

#	Nombre	Características
1	Puerto de Ardersier	Puerto de aguas profundas. Antiguo astillero McDermott Fabrication Yard y puerto O&G
2	Aberdeen	Calado máximo: 13,6 m (Albert Basin)
3	Dundee (Forth Ports)	Calado máximo: 8,9 m
4	Blyth & Tyne	Calado máximo: 10 m (Blyth)
5	Humber /Hull	Calado máximo: 10,4 m. Potencial emplazamiento para construcción de WTG
6	Thamesport	Evaluated como potencial emplazamiento de fabricación de GBF
7	Portland	Evaluated como potencial emplazamiento de fabricación de GBF
8	Clydeport (Hunterston)	-
9	Glensanda site	Cantera in situ con instalaciones de producción de hormigón y áridos
10	Kishorn Port Limited	Calado máximo: 10-13 m. Cantera in situ con instalaciones de producción de hormigón y áridos
11	Cromarty Firth	Diques secos

Otras características importantes a tener en cuenta en la selección del puerto del puerto son disponibilidad de espacio, no tener restricciones de marea, disponibilidad de dicho espacio día y noche, disponibilidad de muelles de gran longitud, espacio de almacenamiento próximo a los mismos y calados y anchura de muelles y canales de entrada apropiados para las embarcaciones requeridas. Los requerimientos de dimensiones de muelle pueden reducirse significativamente (~40%) si las operaciones se realizan durante 24 h al día, en comparación con 12 h diarias (Ref. [8]).

Por otra parte, durante las operaciones de botadura y transporte en el interior y exterior del puerto, así como durante el fondeo, deberán considerarse según cada estrategia cuáles son las limitaciones respecto a francobordo, calado, flotabilidad, estabilidad y tiro.

Debe considerarse además que ciertas EAs pueden limitar, además del tiro, el diámetro máximo de la cimentación.

3.2.3. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS EN SERVICIO

Durante la fase de operación, la subestructura debe garantizar la estabilidad del conjunto, soportando las cargas actuantes. En el caso de las estructuras GBF, estas cargas se identifican en el estándar DNVGL-ST-0126 (Ref. [22]):

1. Cargas permanentes son, por ejemplo, la masa de la estructura, masa de lastre permanente y equipos, presión hidrostática interna y externa (de carácter permanente), y la reacción sobre la torre metálica.
2. Cargas variables son, por ejemplo, el personal, cargas de operación de la grúa, impactos de embarcaciones, cargas de defensas, cargas asociadas con las operaciones de instalación, cargas de lastre y equipo variables, materiales almacenados, equipamiento, gases, fluidos y presión de fluidos, botes salvavidas, cargas de las plataformas de acceso de personal y estructuras internas (escaleras y plataformas), impactos de embarcaciones de servicio.
3. Cargas medioambientales son, por ejemplo, las cargas de viento, incluyendo las de operación de la turbina, cargas hidrodinámicas introducidas por las olas y corrientes (incluyendo fuerzas de arrastre y de inercia), terremotos, efectos de las mareas, crecimiento marino, cargas de nieve y hielo.
4. Cargas de accidentes son, por ejemplo, objetos caídos, impactos por colisión, explosiones, fuego, carga de rotura de ola de gran tamaño, impacto accidental de embarcación, helicóptero u otro objeto.
5. Cargas de deformación son, por ejemplo, cargas de temperatura, deformaciones de construcción, asentamiento de cimentaciones.

Para la realización de un diseño básico, no obstante, se realizan una serie de simplificaciones, y se seleccionan aquellas cargas que se consideran más relevantes. Las cargas permanentes considerada incluyen el peso de la estructura, el peso de lastre permanente, el empuje vertical y el peso del aerogenerador y torre metálica. Las cargas medioambientales serán las procedentes de la acción del viento, oleaje y corriente.

Estas últimas se definen en función de un determinado periodo de retorno, y se combinan entre sí, por lo que es necesario considerar cuáles son las combinaciones que se realizan para la verificación del diseño básico. El estándar DNV-OS-J101 (Ref. [17]),

actualmente no vigente, propone una serie de casos básicos que pueden emplearse cuando la información disponible es limitada (Tabla 11).

Tabla 11: Combinaciones de carga propuestas para cálculo de cargas medioambientales (Fuente: Ref. [17]).

Estado límite	DLC	Viento	Oleaje	Corriente	Hielo	Nivel de agua
ELU	1	50 años	5 años	5 años		50 años
	2	5 años	50 años	5 años		50 años
	3	5 años	5 años	50 años		50 años
	4	5 años		5 años	50 años	MSL
	5	50 años		5 años	50 años	MSL

La combinación de cargas pésima suele ser la correspondiente a la turbina en operación con un estado de mar extremo (Ref. [29]), por lo que es la que se aplicará en este método. Esta situación se corresponde con el caso DLC 6.1c de los recogidos en el estándar de referencia IEC 61400-3 (Ref. [20]).

Tabla 12: Caso de cargas de diseño empleado para verificar la estabilidad geotécnica en servicio (Ref. [20])

Situación de diseño	DLC	Condición de viento	Condición de oleaje	Direc. de viento y oleaje	Corriente	Nivel de agua	Otras condiciones	Estado Límite
Estacionado	6.1c	RWM viento estable $V(z_{hub})=V_{red50}$	EWB $H = H_{50}$	MIS, MUL	ECM	EWSL		U

En este caso, las condiciones de viento se calculan según un modelo de velocidad de viento reducida (RWM). Este modelo considera que la velocidad de viento extrema será independiente de la altura de ola extrema, por lo que considerar ambas simultáneamente resulta demasiado conservador. Por ello se reduce la velocidad de viento extrema, de acuerdo con la Ec.(1):

$$v_{red,50}(z) = 1,1v_{ref}(z/z_{ref})^{0,11} \quad (1)$$

Siendo $v_{red,50}(z)$ la velocidad reducida para un periodo de retorno de 50 años [m/s], v_{ref} la velocidad de referencia [m/s], z la altura de cálculo de la velocidad del viento [m] y z_{ref} la altura de referencia [m/s].

La condición de oleaje se corresponde con la altura extrema de ola (EWH), para un periodo de retorno de 50 años. Las direcciones de viento y oleaje se consideran desalineadas (MIS) y en múltiples direcciones (MUL), y el modelo de corriente se define con un modelo normal (ECM), que se define como la combinación de las corrientes generadas por el viento y las inducidas por la rotura de las olas (si hay) asociadas a periodos de retorno de 50 años.

El estándar de diseño DNVGL-ST-0126 (Ref. [22]) señala en la “*Section 7: Geotechnical design*”, una serie de requerimientos que se aplican en el diseño de cimentaciones. Los principales modos de fallo recogidos son fallo de la capacidad portante, deslizamiento, vuelco y grandes desplazamientos o asientos. Además, se señala que el objeto del diseño es evitar las cargas de tracción (levantamiento) entre la base de la cimentación y la superficie del fondo.

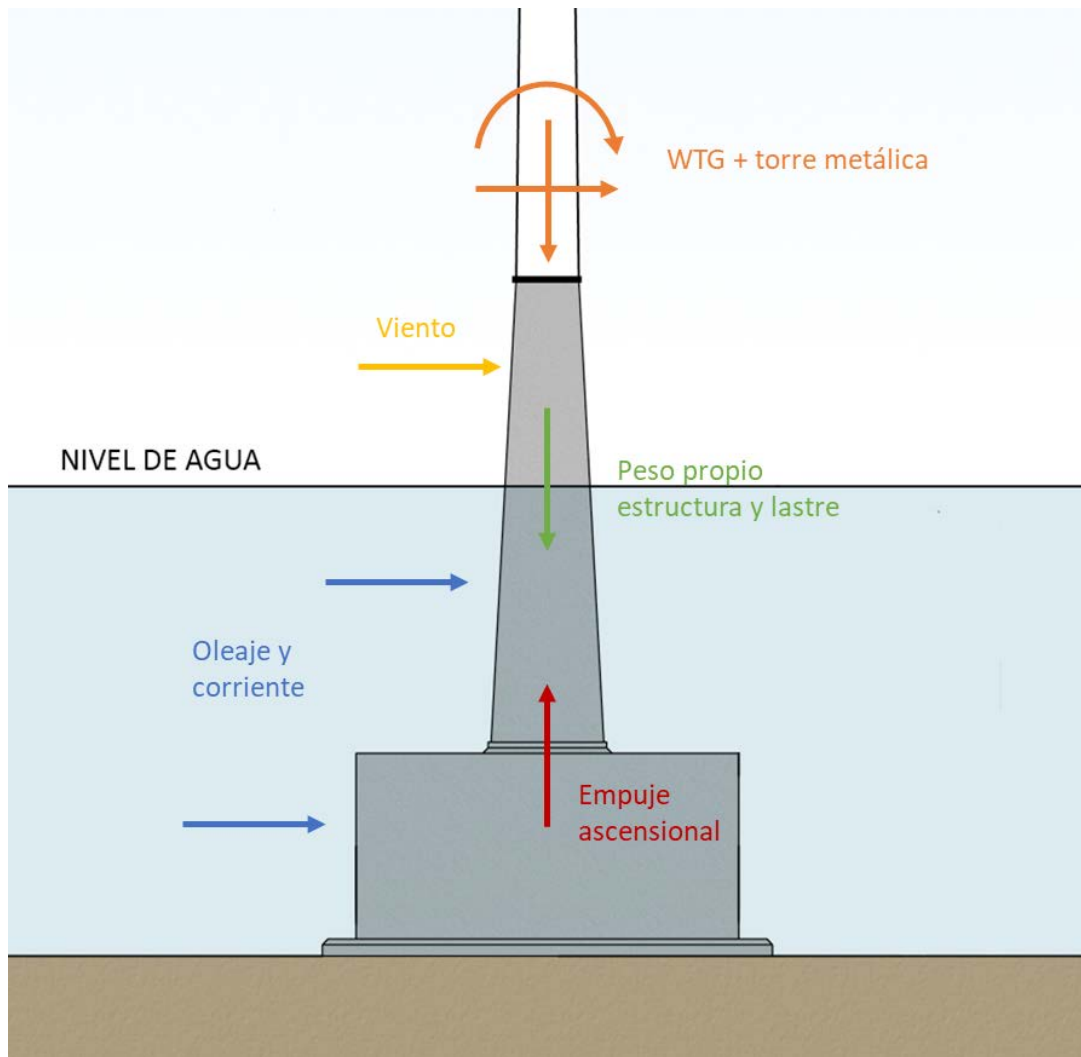


Figura 19: Esquema de cargas actuantes sobre la estructura

En el mismo documento se propone que el diseño se realice mediante el método de coeficientes parciales, que se basa en la mayoración o minoración de las cargas y resistencias de materiales, de modo que se tengan en cuenta las incertidumbres y variabilidad en las cargas y en los métodos de análisis. El principio sobre el que se basa es que el nivel de seguridad de un elemento es satisfactorio cuando la carga de diseño no excede la resistencia de diseño. Los factores dependerán del tipo de análisis. En este caso, el factor de minoración aplicado a los materiales es 1,15, mientras que las cargas desfavorables se mayoran por 1,35.

3.3. PROPUESTA ALTERNATIVAS

Se propone realizar un análisis de varias alternativas, que permita determinar las fortalezas y debilidades de diferentes tipologías de cimentación y estrategias de instalación. De este modo, se define la matriz de alternativas propuestas $[M]$, cuyos elementos S_{ij} corresponden a cada una de las alternativas, con una geometría seleccionada $G_i < i = 1, 2, \dots, m >$, con una estrategia de construcción o instalación determinada $I_j < j = 1, 2, \dots, n >$. Esto permite recoger de manera sistemática y organizada el análisis de alternativas.

Tabla 13: Matriz de alternativas propuestas

$$M =$$

	I_1	I_2	...	I_n
G_1	S_{11}	S_{12}	...	S_{1n}
G_2	S_{21}	S_{22}	...	S_{2n}
...	...	...	...	...
G_m	S_{m1}	S_{m2}	...	S_{mn}

Las posibles geometrías surgen de la revisión del estado del arte, ya sea proveniente de la industria o a través del análisis de patentes. Por lo general, se trata de estructuras huecas, de hormigón, que se apoyan sobre una losa inferior que reparte las cargas en el terreno. Son más estrechas a nivel de superficie para reducir las cargas hidrodinámicas debidas al impacto del oleaje y con una base de mayor diámetro para albergar el lastre y aportar estabilidad. La base normalmente será de sección circular para evitar incremento de cargas y aumento de la socavación que se produce con otras geometrías como la hexagonal. El centro de gravedad bajo también resulta beneficioso para conseguir soluciones que sean flotantes y estables durante el transporte. Su geometría puede estar relacionada también con el medio constructivo empleado.

Por otra parte, pueden clasificarse según sus características en cuanto a modo de transporte e instalación. Se contemplan soluciones flotantes y estables, soluciones que deben instalarse mediante embarcaciones auxiliares específicas (en adelante EA), y soluciones que se instalan mediante pontonas y grúas de gran capacidad. La mayor parte de las GBFs instaladas hasta el momento han empleado pontonas o *Heavy Lifting Vessels* (HLV), si bien las nuevas soluciones definidas tienden hacia estrategias de GBFs flotantes y estables, que ofrecen importantes ventajas logísticas.

Para la definición de alternativas, también es recomendable realizar una revisión de otros tipos de estructuras marítimas tradicionalmente empleadas con otras finalidades, como son las dedicadas al sector *Oil&Gas*, subestaciones o mástiles meteorológicos. Debe tenerse en cuenta que la fabricación e instalación de este tipo de estructuras difiere conceptualmente de las eólicas, ya que suele tratarse de estructuras singulares.

En el caso de los parques eólicos, en los que se realiza una instalación de un elevado número de unidades, deben evitarse las estructuras cuya instalación requiera costosos equipos auxiliares.



Figura 20: Prototipo de la solución Seatower con faldones o "skirts" que se insertan en el lecho marino (Fuente: windpoweroffshore.com)

Algunas de las alternativas propuestas para optimizar los procesos de construcción e instalación contemplan:

- Disposición de faldones (Figura 20) y realización de grouting en la base de la cimentación (Seatower)
- Disposición de un hueco en la base, relleno de material fino para evitar que éste se desplace y se pierda debido a la acción de las cargas cíclicas (Thornton Bank).
- Disposición de un mástil metálico en lugar de hormigón (Seatower, Bam&Oord GBS).
- Instalación de la cimentación mediante embarcaciones creadas específicamente (GBF Freyssinet).
- Instalación de cimentaciones que sean autoestables (Boskalis&Grontmij&Skanska GBS, Seatower,...).
- Instalación de la cimentación con aerogenerador y torre metálica integradas con la cimentación, ya que la simplificación de procesos reduce notablemente el coste de instalación, posibilita la instalación en zonas con reducida infraestructura marítima y reducen impactos durante la instalación (Sea Breeze).

- Disposición de torre telescópica prefabricada en sustitución del mástil, dado que con ello se consigue una mayor estabilidad en el transporte (STEYCO).
- Empleo de cajones cuadrados para la base, lo que simplifica considerablemente el proceso constructivo (DRACE).
- Empleo de rigidizadores que compartimenten el interior de la cimentación (Gravitas).

Una vez propuestas las alternativas recogidas en la matriz $[D]$ de tamaño $\langle m \times n \rangle$, se establecen unos criterios generales para fijar los parámetros que se mantendrán constantes y los que se modificarán para obtener la geometría óptima.

Si bien en etapas más avanzadas del proyecto la altura de la cimentación varía de un punto a otro dentro del emplazamiento, en el prediseño la altura se mantendrá constante. La altura se calcula a partir de la posición del interfaz respecto al LAT, que puede calcularse de acuerdo con la Ec. (2):

$$h_{INT} = \max \left(ESWL + H_{c,RP=50yr} + AG; BL + \frac{\Phi_{WTG}}{2} - h_{HUB,INT} \right) \quad (2)$$

donde $ESWL$ es la diferencia entre el nivel extremo de agua y el LAT [m]; $H_{c,RP=50yr}$ es la altura de cresta correspondiente a la ola máxima con periodo de retorno 50 años [m]; AG es el *air gap*, una distancia de seguridad de 1,5 m de acuerdo con 2.3.4g de API RP 2A (Ref. [36]); BL es el *blade limit*, la altura que debe separar el LAT de la punta de las palas y que toma un valor de +22 m MHWS de acuerdo con “UK Maritime and Coastguard Agency guidance note 371” (Ref. [37]), siendo MHWS el nivel *Mean High Water Springs*; Φ_{WTG} el diámetro del rotor [m] y $h_{HUB,INT}$ la altura del hub sobre la interfaz torre-GBF [m].

En caso de no conocerse la altura máxima de ola para un periodo de retorno de 50 años, $H_{max,RP=50yr}$, puede obtenerse a partir de la altura significativa, $H_{s,RP=50yr}$, de acuerdo con la Ec. (3), asumiendo que la altura de ola sigue una distribución de Rayleigh (Ref. [38]).

$$H_{max,RP=50yr} = 1,86 \cdot H_{s,RP=50yr} \quad (3)$$

Una vez conocida la altura de la interfaz h_{INT} , se conoce la altura total de la cimentación, h_{GBF} , según la Ec. (4):

$$h_{GBF} = h_{INT} + LAT \quad (4)$$

A continuación se determinan los parámetros que se modifican, que serán aquellos relacionados con la geometría de la base, principalmente su diámetro y altura (h_{BASE} , $\varnothing_{BASE}$), dado que son los que mayor influencia tienen en su estabilidad (Ref. [33]), manteniéndose el resto de propiedades con valores fijos: espesores, diámetros de mástil, número de compartimentos para lastre, ...

Por otra parte, el calado con el que la cimentación sale de puerto (c_{port}) puede resultar un parámetro de diseño, ya que un mayor o menor calado implica una mayor o menor flotabilidad, que en algunos casos deberá verse compensada mediante lastre. Dicho lastre podría afectar a las cargas permanentes, dependiendo de la estrategia seguida. En definitiva, cada geometría básica quedará definida mediante tres parámetros, h_{BASE} , $\varnothing_{BASE}$, c_{port} .

Por otra parte, es necesario definir de manera general la banqueta y la protección contra la socavación, para que puedan compararse adecuadamente las soluciones. Se realizan una serie de hipótesis para el análisis comparativo, que posteriormente se validarán para la solución seleccionada.

Dado que la función de la banqueta es proporcionar una superficie nivelada que transmita correctamente las cargas al terreno, se determina que deberá hacerse un dragado previo de la zona de instalación. De acuerdo con la información proporcionada por el operador Jan De Nul, coincidente con las referencias consultadas (Ref. [39] señala ± 500 mm, Ref. [40] señala ± 250 mm), la tolerancia en la operación de dragado para nivelación es de 40 cm. La profundidad mínima de la banqueta es de 400 mm, por lo que se establece como valor adecuado 800 mm.

La distancia desde el borde de la losa inferior al inicio del talud de la banqueta se fija en 3 m, un valor razonable dado que se desconoce la precisión de colocación de las embarcaciones de instalación de la banqueta y la precisión de colocación de la GBF durante la instalación.

Por otra parte, la normativa hace escasa referencia a los sistemas de protección a la socavación y las dimensiones o características que deben cumplir en el caso de GBFs. El principal requisito que establece es el de garantizar que no se produzca socavación bajo la cimentación durante su vida útil, dejando libertad a la hora de diseñar el sistema que sirva a tal objetivo.

Se propone aplicar un sistema de protección mediante la colocación de material granular de un tamaño determinado alrededor de la estructura, previniendo así la posible socavación. El espesor de la protección propuesta es de 1 m. En cuanto a la extensión que es necesario proteger, en "*Scour and Scour protection*" (Ref [41]) recomienda que la zona protegida contra la socavación tenga un área de diámetro $\varnothing_{SP} =$

$2,5 \varnothing_{GBF}$, siendo $\varnothing_{GBF}$ el diámetro de la losa inferior de la GBF. En Thornton Bank, el diseño genérico se realizó con una protección contra la socavación de $2,5 \varnothing_{GBF}$. Sin embargo, en determinados emplazamientos fue necesario instalar el sistema de protección contra la socavación en una extensión mayor, entre $2,9$ y $3,9 \varnothing_{GBF}$.

3.4. DETERMINACIÓN DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

Las cargas deben calcularse cada vez que se realice una modificación de los parámetros determinantes de la solución (h_{BASE} , $\varnothing_{BASE}$, C_{port}). Las cargas horizontales debidas a oleaje, viento y corriente son las dominantes (Ref. [9]), produciendo aproximadamente el 60-75% del momento volcador, a pesar de que las cargas de viento sobre en el aerogenerador se aplican a gran distancia de la base.

3.4.1. CARGAS PERMANENTES

Las cargas se obtienen directamente a través del volumen de hormigón o acero de la estructura, así como el volumen disponible para lastre en el interior de la estructura. En función del peso requerido para aportar estabilidad, pueden emplearse distintos tipos de lastre, como arena ($\rho = 1,9 \text{ t/m}^3$), hormigón ciclópeo ($\rho = 2,3 \text{ t/m}^3$) o lastre de alta densidad ($\rho = 3,4 \text{ t/m}^3$).

El lastre de hormigón ciclópeo puede emplearse en puerto para contrarrestar la flotabilidad de las soluciones que lo requieran, de modo que esta sea igual a cero para un calado determinado. El lastre de alta densidad ha sido empleado en proyectos con Thornton Bank o Karehamn. Es bombeable, recuperable de la GBF y reutilizable (Ref. [6]).

La cantidad de lastre deberá ser calculada para satisfacer los criterios de estabilidad geotécnica, así como otros requerimientos de operación. El porcentaje de llenado de la estructura puede variar para que las cargas se encuentren en el rango de verificación de la estabilidad geotécnica, como se muestra en la Figura 21 y Figura 22.

Si el lastre es muy bajo, la estructura puede fallar por vuelco o levantamiento por excesiva excentricidad. En caso de ser muy elevado, pueden producirse asientos excesivos o fallar la capacidad portante del terreno.

El empuje vertical debe calcularse para cada nivel de agua de estudio, pues lógicamente varía con la profundidad de diseño.

En cuanto al peso de aerogenerador y torre, el valor debe ser proporcionado por el tecnólogo. Para estudios genéricos, puede emplearse la información disponible proporcionada por NREL (Ref. [42]) para un aerogenerador de 5 MW, en "*Description of fan 8MW reference wind turbine*" (Ref. [43]) para aerogeneradores de 8 MW y en

“Description of the DTU 10 MW Reference Wind Turbine” (Ref. [44]) para aerogeneradores de 10 MW.

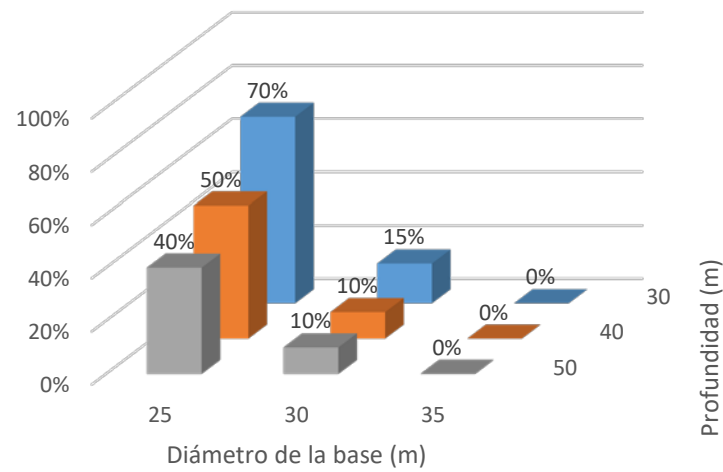


Figura 21: Límite inferior de lastre requerido para verificar la estabilidad geotécnica (Fuente: Ref. [45])

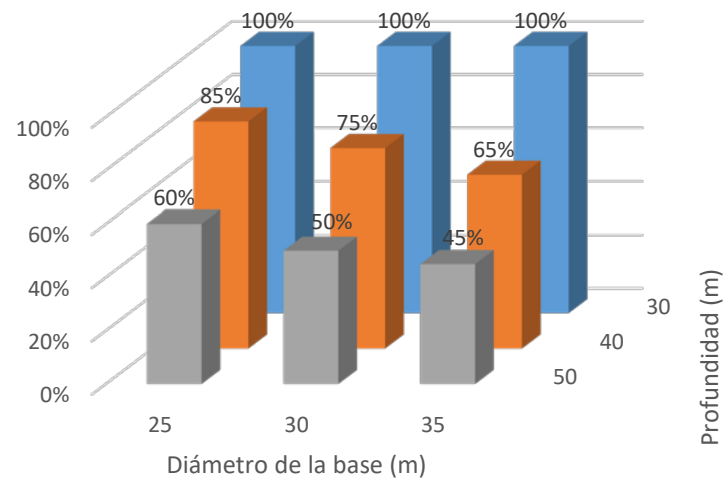


Figura 22: Límite superior de lastre requerido para verificar la estabilidad geotécnica (Fuente: Ref. [41])

Tabla 14: Masas de los componentes de aerogenerador y torre metálica para varios tamaños de aerogenerador (Fuente: Ref. [43])

	5 MW	8 MW	10 MW
Masa Hub	56.780 kg	90.000 kg	105.520 kg
Masa Nacelle	240.000 kg	285.000 kg	446.036 kg
Masa Palas	17.740 kg	35.000 kg	41.716 kg
Masa Torre	347.460 kg	558.000 kg	605.000 kg
Altura torre	87,6 m	106,3 m	115,6 m

3.4.2. CARGAS MEDIOAMBIENTALES

Las cargas medioambientales consideradas en este caso incluyen la acción del viento, oleaje y corriente. No se consideran cargas de hielo, puesto que se consideran específicas de algunas zonas concretas. El Anexo E del estándar de referencia (Ref. [20]) ofrece orientación para el cálculo de la carga de hielo.

3.4.2.1. CARGAS DE VIENTO

La acción del viento sobre la estructura se refleja por un lado en las cargas resultantes sobre aerogenerador y torre, y por otro en la acción del viento sobre la sección de la cimentación que se encuentra por encima del nivel del mar.

Al igual que en el caso de las cargas permanentes del aerogenerador y de la torre metálica, las cargas de viento serán proporcionadas por el fabricante. En caso de no contar con dichas cargas, puede recurrirse a aerogeneradores de referencia como NREL 5 MW (Ref. [42]), que proporciona un estudio con las cargas correspondientes a aerogenerador flotante y aerogenerador en tierra, así como información para calcular su comportamiento dinámico. De acuerdo con el documento “*Dynamic Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine*” (Ref. [46]), las fuerzas y momento resultantes en la base de una torre metálica de 87,60 m de altura son las recogidas en la Tabla 15.

Tabla 15: Cargas extremas en base de torre del aerogenerador de 5 MW de NREL (Fuente: Ref. [46])

CARGAS EXTREMAS		
F_H	1.810	kN
F_V	9.380	kN
M	153.000	kN.m

La fuerza generada por la acción del viento sobre la estructura se calcula para cada sección de acuerdo con la Ec. (5).

$$F_w = \frac{1}{2} C_{aero} \rho_{aire} A V^2 \quad (5)$$

donde F_w es la carga de viento [N]; C_{aero} es el coeficiente aerodinámico, dependiente de la forma y superficie [-]; ρ_{aire} es la densidad del aire [kg/m³]; A es la superficie de la estructura proyectada sobre un plano normal al viento [m²]; y V es la velocidad del viento en el centro de la sección [m/s].

La densidad del aire se toma como 1,225 kg/m³. El coeficiente de forma puede calcularse, pero se adopta un valor de predimensionamiento de 0,65.

3.4.2.2. CARGAS HIDRODINÁMICAS DE OLAJE Y CORRIENTE

Para la determinación de las cargas hidrodinámicas, es necesario partir de unas condiciones de corriente, oleaje y nivel de agua, y determinar, a partir de ellas, las condiciones cinemáticas de las partículas de agua.

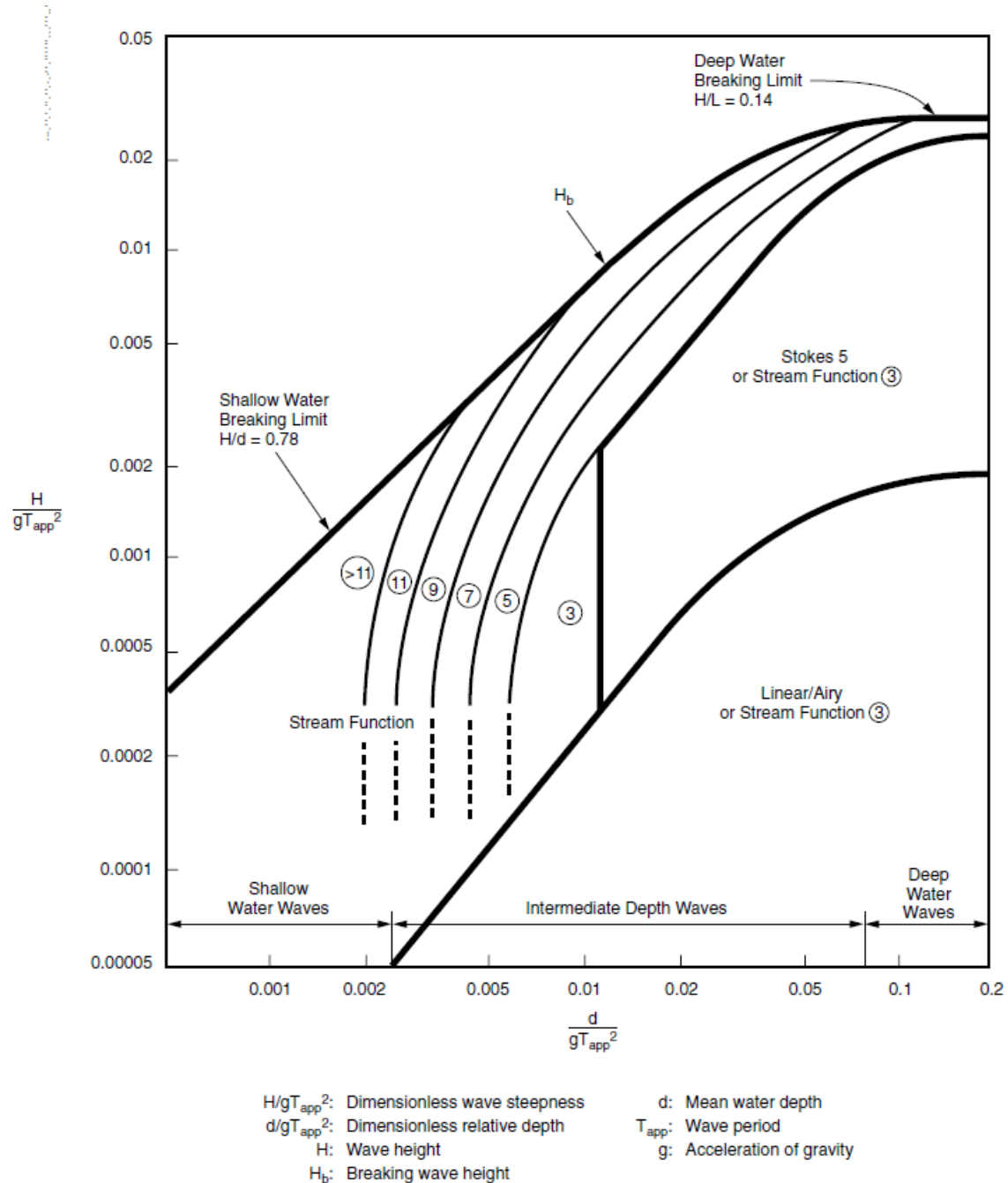


Figura 23: Regiones de aplicación de las distintas teorías de oleaje, según API (Fuente: Ref. [36])

En “*Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms*” (Ref. [36]) se señala que primeramente debe seleccionarse el modelo cinemático de las partículas. Para ello se recurre al gráfico de la Figura 23. No obstante, con objeto de simplificar los cálculos, la

metodología propone que se recurra al modelo de Airy. Se ha demostrado que en la fase inicial del proyecto este modelo es suficientemente preciso.

La velocidad y aceleración horizontal de las partículas se calcula de acuerdo con las Ec. (6) y (7).

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z-d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta \quad (6)$$

$$a_x = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh[2\pi(z-d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta \quad (7)$$

donde u es la velocidad horizontal de la partícula [m/s]; H es la altura de ola [m]; g es la aceleración de la gravedad [m/s²]; T es el periodo de ola [s]; L es la longitud de onda de la ola [m]; z es la distancia desde el nivel del mar [m], positivo en sentido ascendente; d la profundidad de diseño [m] (valor positivo).

El perfil de corriente se determina mediante una función potencial, reflejada en Ec. (8):

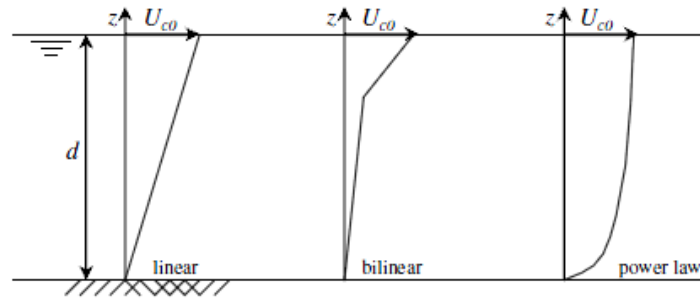


Figura 24: Esquema de perfiles de corriente

$$u_c = u_{0,c} \left(\frac{h+z}{h} \right)^{1/7} \quad (8)$$

donde u_c es la velocidad horizontal de la corriente [m/s]; $u_{0,c}$ es la velocidad de la corriente en superficie [m/s]; h es la profundidad de diseño [m], siendo $h>0$; y z es la distancia desde la superficie, positivo en sentido ascendente.

La formulación descrita tan solo es aplicable hasta el nivel del mar. No obstante, deben tenerse en cuenta las presiones hidrodinámicas también por encima de dicho nivel. Para ello, se aplica el método de Wheeler (Ref. [47]), una técnica empírica empleada frecuentemente para proporcionar una representación más realista de la cinemática de la ola en la zona cercana a la superficie.

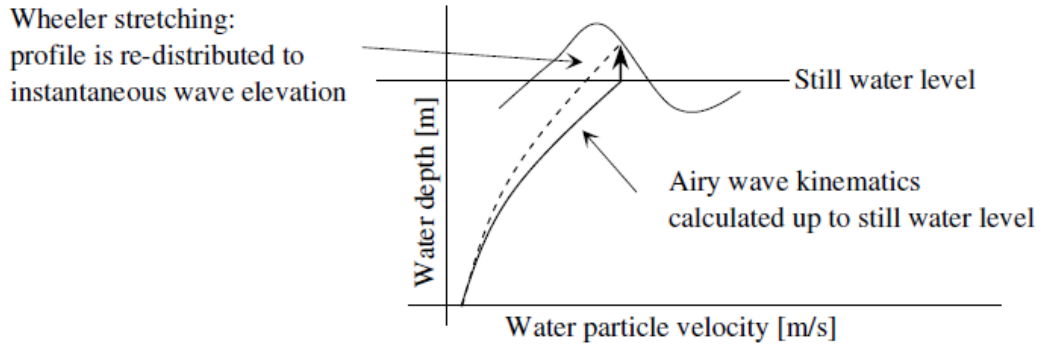


Figura 25: Consideración de las presiones hidrodinámicas por encima del MSL (Fuente: Ref. [47])

Una vez calculada la velocidad y aceleración de las partículas, se emplea formulación empírica, la Ec. de Morison (9), para obtener las cargas horizontales (Ref. [20]). La ecuación de Morison se utiliza desde 1950 para estimar la fuerza ejercida por el oleaje sobre estructuras tubulares. En el documento “*Bases para la obtención de las acciones de diseño del oleaje en aerogeneradores marinos*” (Ref. [48]) se recopila la información relativa a los valores de los diferentes parámetros de la ecuación. Con la ecuación de Morison se calcula la fuerza para diferentes secciones de la estructura a lo largo de toda la profundidad (Figura 26).

$$F_{H,w} = F_M + F_D = C_M \rho \pi \frac{D^2}{4} a_x dz + C_D \rho \frac{D}{2} u^2 dz \quad (9)$$

donde $F_{H,w}$ es la fuerza horizontal [N]; F_M es la componente de inercia, dependiente de la aceleración [N]; F_D es la componente de arrastre, debida a la velocidad [N]; C_M es el coeficiente de inercia [-]; D es el diámetro de la cimentación en la sección de cálculo [m]; a_x es la componente horizontal de la aceleración [m/s^2]; ρ es la densidad del medio [t/m^3]; C_D es el coeficiente de arrastre [-]; u es la componente horizontal de la velocidad [m/s] y dz es la altura de la sección de cálculo [m].

Al estar la velocidad y la aceleración debidas al oleaje en fase (90°) se considera que la fuerza máxima corresponderá al momento de velocidad máxima o de aceleración máxima, nunca a las dos actuando de manera concomitante. Se considera siempre la velocidad debida a la corriente.

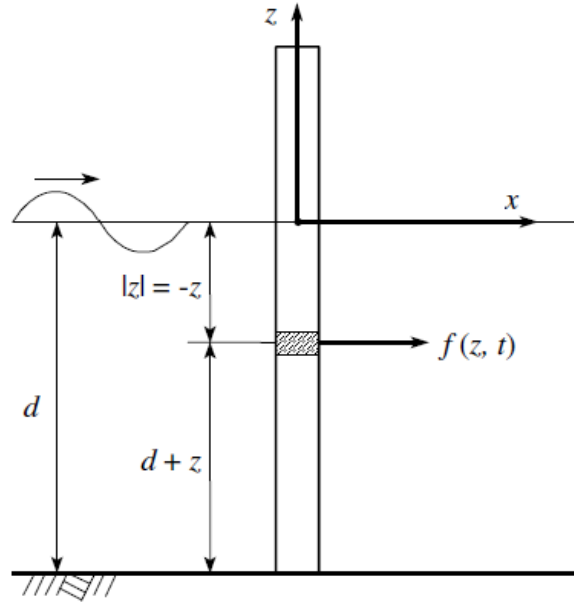


Figura 26: Esquema de nomenclatura para el cálculo de la fuerza hidrodinámica en una sección

El coeficiente de arrastre C_D depende de C_{DS} y del número de Keulegan-Carpenter KC , y se puede calcular mediante la relación:

$$C_D = C_{DS} \cdot \psi(C_{DS}, KC) \quad (10)$$

donde ψ es el factor de amplificación por la estela:

$$\psi(KC) = \begin{cases} C_\pi + 0,10 (KC - 12), & \text{si } 2 \leq KC < 12 \\ C_\pi - 1, & \text{si } 0,75 \leq KC < 2 \\ C_\pi - 1 - 2(KC - 0,75), & \text{si } KC \leq 0,75 \end{cases} \quad (11)$$

Previamente debe calcularse el número KC según la Ec. (12).

$$KC = 2u_m T_2 / \emptyset \quad (12)$$

donde u_m es la máxima velocidad orbital debida al oleaje [m/s]; T_2 es la duración de medio ciclo de ola [s] y $\emptyset$ es el diámetro efectivo [m].

Para obtener el factor de amplificación es necesario conocer también C_π , empleando la Ec. (13).

$$C_\pi = 1,50 - 0,024 \cdot \left(\frac{12}{C_{DS}} - 10 \right) \quad (13)$$

El coeficiente de inercia C_M se obtiene empleando la Ec. (14).

$$C_M = \begin{cases} 2, & \text{si } KC < 3 \\ \max\{2 - 0,044 (KC - 3); 1,6 - (C_{DS} - 0,65)\}, & \text{si } KC \geq 3 \end{cases} \quad (14)$$

En Ref. [27] se señala que Morison es un método adecuado para monopilotes y trípodes, mientras que para estructuras de gravedad debe emplearse el método de difracción. La condición para la aplicación del método de Morison se relaciona con la esbeltez del elemento, obtenida según la Ec. (15).

$$\frac{D}{\lambda} < 0,2 \quad (15)$$

donde D es la longitud significativa del miembro estructural, en este caso el diámetro [m]; y λ es la longitud de onda de la ola incidente [m]. Esta condición debe ser verificada para todas las estructuras propuestas. Como se muestra en el siguiente apartado, la aplicación de la ecuación de Morison resulta válida y conservadora en los casos de las estructuras consideradas.

3.4.2.3. ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE CARGAS HIDRODINÁMICAS

Con el objetivo de validar la formulación empírica recogida en la sección anterior, se realizaron ensayos físicos y numéricos en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), que permitieron comprobar que los resultados obtenidos aplicando la formulación empírica descrita son conservadores.

Los casos de oleaje sobre los que se realizaron los análisis son principalmente cuatro, y representan las condiciones de oleaje máximo para un periodo de retorno de 50 años, para dos profundidades diferentes. Además, se analizaron otros 12 casos, con objeto de obtener información sobre el comportamiento y magnitud de los esfuerzos en condiciones de servicio.

Tabla 16: Características de los casos de ensayo

Caso	d (m)	Tp (s)	H (m)
1	34,00	13,40	14,80
2	54,40	13,40	14,80
3	34,00	18,00	14,80
4	54,40	18,00	14,80

Tabla 17: Características de los casos adicionales de ensayo

Caso	d (m)	Tp (s)	H (m)
5	54,40	3,00	2,00
6	54,40	4,50	4,50
7	54,40	6,00	8,00
8	54,40	7,50	11,75
9	54,40	9,00	12,75
10	54,40	11,00	14,00
11	34,00	3,00	2,00
12	34,00	4,50	4,50
13	34,00	6,00	8,00
14	34,00	7,50	11,75
15	34,00	9,00	12,75
16	34,00	11,00	14,00

Los análisis realizados se dividieron en tres líneas:

- Ensayos en modelo físico a escala reducida, reproduciendo el comportamiento de la cimentación para varias profundidades, por ondas monocromáticas y oleaje irregular escalar.
- Simulaciones numéricas empleando un modelo matemático computacional de fluidos (CFD), reproduciendo el comportamiento de la cimentación para dos profundidades con oleaje regular.
- Empleo de formulaciones empíricas existentes para el cálculo de los esfuerzos sobre la cimentación.

Adicionalmente se realizaron ensayos en canal para verificar la estabilidad de la protección contra la socavación (véase sección §4.8.2).

La determinación de los esfuerzos mediante formulaciones empíricas se llevó a cabo por la Dirección del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPyC) del CEDEX, el estudio con el modelo computacional de Fluidos se ha desarrollado en el Área de Estudios Portuarios del CEDEX y a realización de los ensayos en modelo físico a escala reducida en el Laboratorio de Experimentación Marítima del CEDEX.

La formulación empírica empleada se basa en las ecuaciones de Froude – Krilov y Morison. Los resultados correspondientes a la primera no se incluyen puesto que la formulación contiene un coeficiente empírico con un rango de variabilidad importante que debe ajustarse para cada estructura y estado de carga, por lo que tan solo se emplea para verificar el orden de magnitud.

Las conclusiones extraídas del análisis de los resultados de la formulación de Morison se resumen en los siguientes puntos:

1. La combinación de condiciones de oleaje y geometría hace que este sea, según el método empleado, un caso con claro predominio de las fuerzas de inercia sobre las de arrastre, en el que la máxima fuerza / momento volcador ocurre aproximadamente al paso por el nivel medio ascendente.
2. Las fuerzas resultan, en orden de magnitud, de 30-40 kN en los calados de 54,40 y 34 m respectivamente, siendo mayores en la situación de menor calado.
3. Los momentos volcadores respecto al fondo muestran también un crecimiento con el menor calado, aunque no tan acusado.
4. En igualdad de calados, la fuerza (y el momento) muestra una dependencia más ligera del periodo, siendo algo mayor para menor periodo.

Asimismo, los resultados confirman que la contribución al momento volcador por parte de la base cilíndrica (con mayor ponderación inercial dado su elevado diámetro) es muy importante en todos los casos, llegando a superar el 50% del total en el Caso 4.

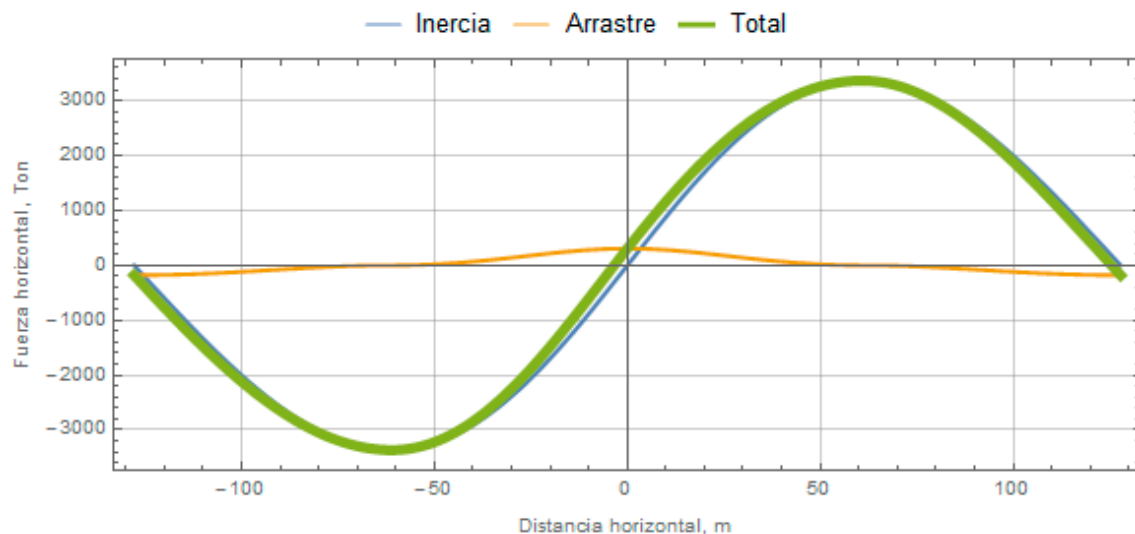


Figura 27: Resultados de fuerza horizontal sobre la estructura al paso de la ola obtenidos con formulaciones empíricas, para el Caso 2

En cuanto a los análisis mediante CFD, el modelo empleado es el modelo computacional de dinámica de fluidos, FLUENT, de ANSYS Iberia S.A.

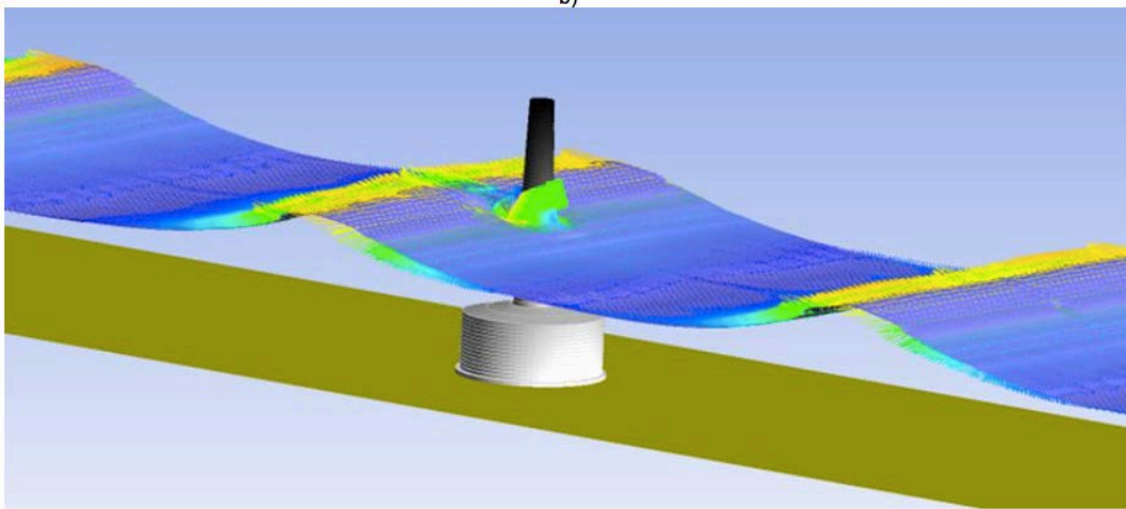


Figura 28: Evolución de la superficie libre y la velocidad superficial del agua

En todos los casos analizados, en modelo numérico se han reproducido ondas monocromáticas no lineales de tercer orden. La elección de dicha teoría de ondas frente a la lineal, tradicionalmente asumida, se basa en la magnitud de las alturas de ola y periodos establecidos como representativos de los temporales de retorno de 50 años en los dos posibles emplazamientos de la zona de proyecto. El efecto de la no linealidad produce una asimetría en las ondas, con crestas más pronunciadas y senos más achatados que contribuyen a aumentar la celeridad de la onda.

Al igual que en los ensayos empíricos, en todos los casos destaca que los antinodos (máximos, o crestas y mínimos, o senos) de las fuerzas coinciden con los nodos (pasos por cero o nivel de la superficie libre en reposo) de la onda incidente y viceversa. Esta variación indica un predominio del régimen de las fuerzas de inercia, dependientes de la aceleración del fluido, frente a las fuerzas de arrastre (Figura 29).

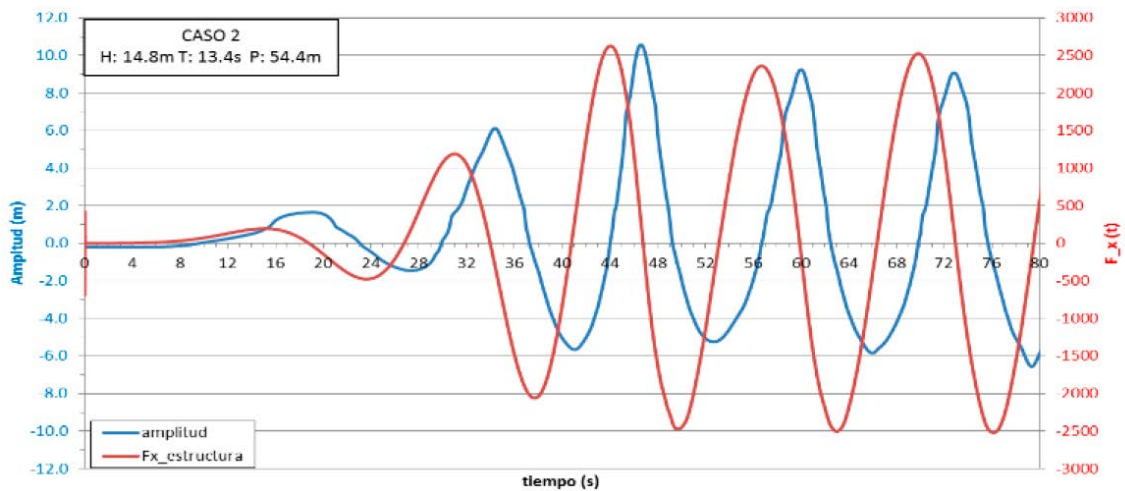


Figura 29: Evolución temporal de la superficie libre y fuerza horizontal obtenidos mediante modelo numérico, para el Caso 2

En cuanto a la distribución de las fuerzas en el instante del momento máximo en las 67 secciones de 1 m de altura, se observa que independientemente de la profundidad del emplazamiento y de la onda de ensayo, las fuerzas mayores se localizan en la base destacando una brusca reducción en la zona de transición que une la base cilíndrica con el fuste troncocónico. Por ello, los mayores momentos son debidos a estas cargas horizontales (Figura 30), si bien las zonas altas del fuste tienen un aporte relevante por el elevado brazo.

En cuanto a los ensayos en modelo físico, se realizan sobre un modelo fabricado en chapa de acero al carbono de 4mm de espesor, que reproduce la geometría exterior a escala 1/30.

Durante los ensayos realizados sobre el modelo físico, se miden los esfuerzos y presiones producidos por el oleaje sobre la estructura mediante una célula de carga y las presiones en 24 puntos del modelo, todos ellos pertenecientes a las paredes verticales de la cimentación, mediante sensores de presión.

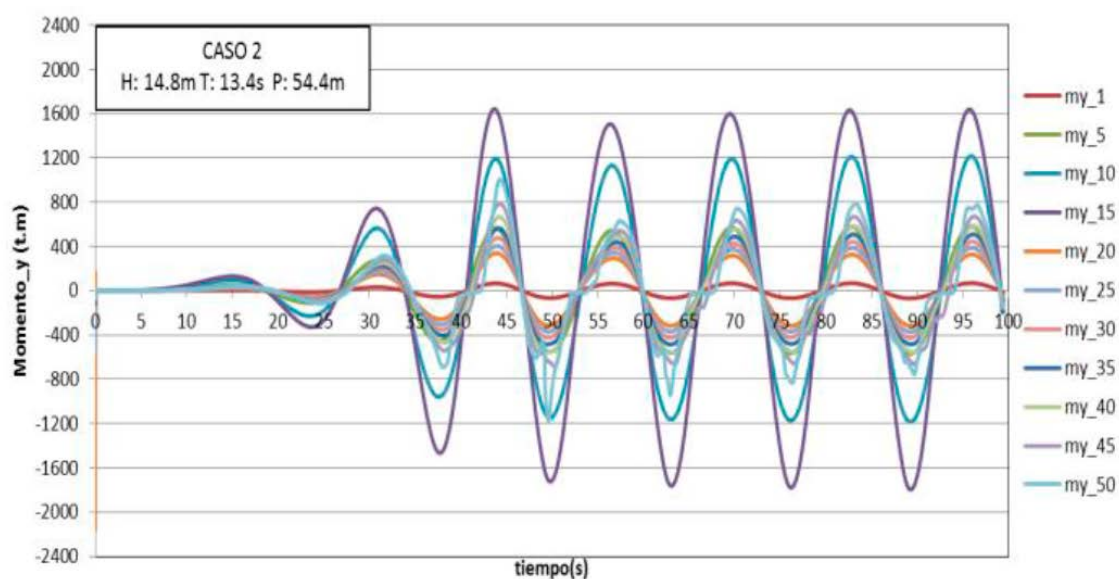


Figura 30: Evolución temporal del momento de vuelco en varias secciones obtenidos mediante modelo numérico, para el caso 2

La instalación elegida para la realización de los ensayos físicos fue el Canal de Oleaje y Viento de Gran Escala del CEDEX (Figura 31), empleado para la realización de ensayos de estructuras marítimas sometidas a la acción del oleaje, y en su caso viento, con objeto de minimizar las distorsiones que se producen a menores escalas. El canal cuenta con una longitud de 96 m y una anchura de 3,60 m, y tiene posibilidad de generar oleaje irregular hasta 1,60 m de altura medida en el canal.

Se adoptó la escala 1/30 por dos motivos principalmente. Dicha escala es la mayor a la que, con las características de la instalación, era posible reproducir alguno de los oleajes

extremos. Además, permite mantener una distancia suficiente entre el modelo y los cajeros del canal de manera que su proximidad no afecte a los resultados de los ensayos, como consecuencia de la difracción del oleaje sobre la estructura y la reflexión sobre aquéllos.

La instrumentación dispuesta en el modelo y en el canal de ensayos se compuso por cuatro tipos de equipos de medida:

1. Célula de carga, cuya misión es registrar los esfuerzos (fuerzas y momentos) F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z , provocados sobre la cimentación, como consecuencia de la acción del oleaje.
2. Sensores de presión, cuya misión es registrar las presiones ejercidas por el oleaje en diferentes partes de la cimentación.
3. Sondas eléctricas capacitivas, cuya misión es registrar la sobreelevación del agua en el modelo y en varias secciones del canal.
4. Perfilador de velocidades UVP, para medir las velocidades de las partículas en el fondo durante los ensayos de estabilidad de la protección contra la socavación (véase sección §4.8.2).



Figura 31: Canal de Oleaje y Viento de Gran Escala del CEDEX

En cuanto a la simulación de las olas de los casos de interés, se consideraron intervalos de $\pm 1s$ y $\pm 1m$ en el entorno de los periodos y alturas de ola de dichos casos. Para evitar distorsiones en los resultados en los esfuerzos registrados como consecuencia de la

Capítulo 3 Metodología de diseño

metodología seguida durante la calibración de los oleajes se impuso a las olas encontradas una condición de máximo local de grupo, de manera que la ola considerada debía ser mayor que la precedente y la siguiente a ella.

Como resultado de los ensayos físicos, además de las series temporales con los resultados de esfuerzos y presiones, se obtienen unas fichas en las que, para cada toma de datos, se agrupan los resultados individualizados de las diferentes olas pertenecientes a los intervalos de interés considerados (Figura 32), aproximadamente 80 olas por cada caso de interés.

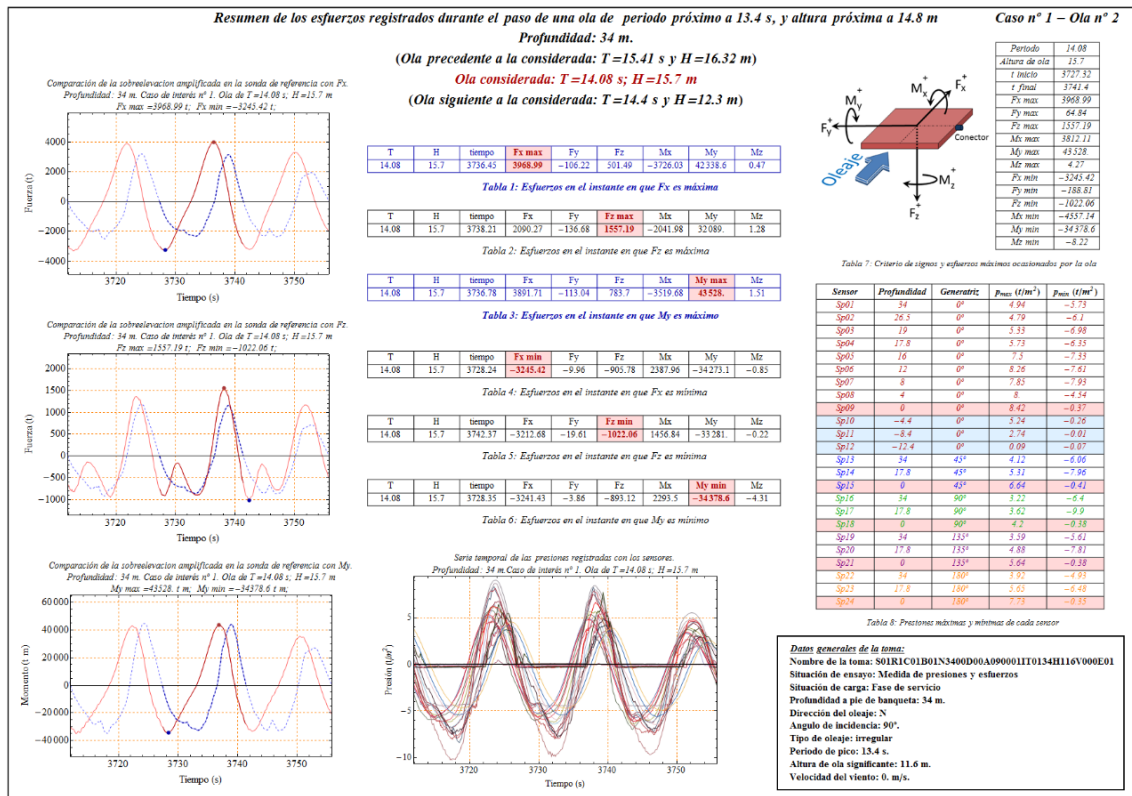


Figura 32: Ejemplo de ficha de resultados para ola correspondiente al Caso 1

Las concusiones finales del estudio fueron que la formulación propuesta se mantenía en todos los casos conservadora, resultando la fuerza horizontal en torno a un 30% superior a la calculada mediante simulaciones numéricas y ensayos físicos.

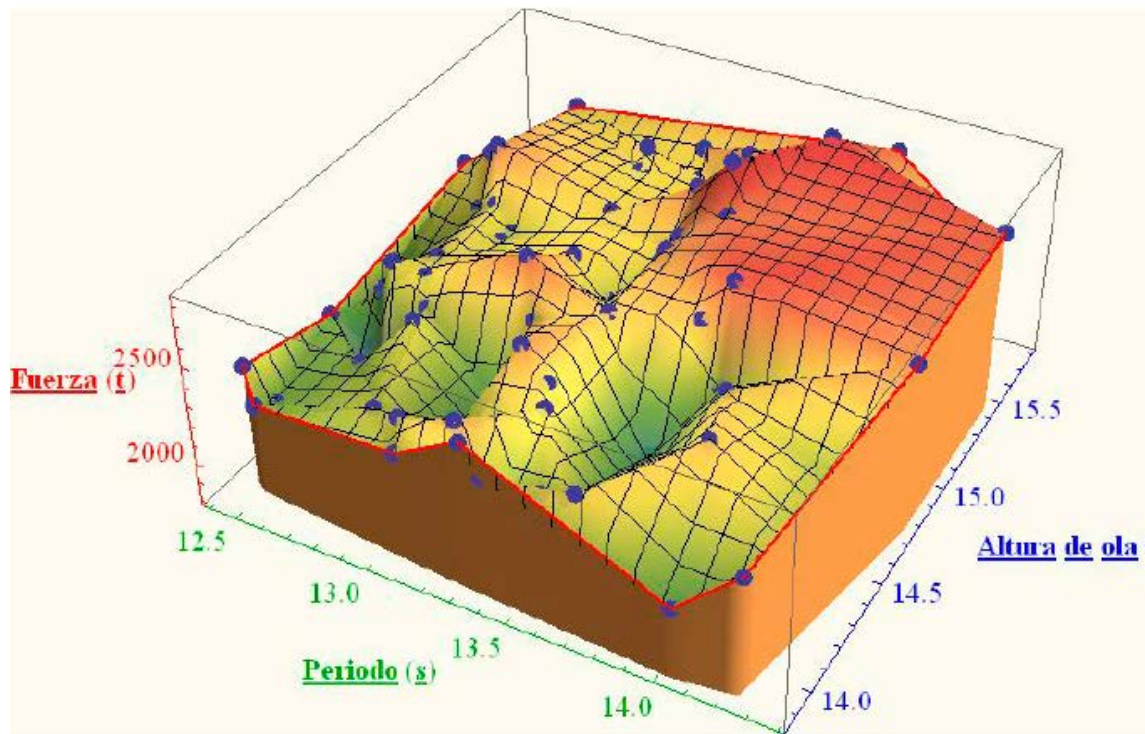


Figura 33: Variación de los valores máximos positivos de la fuerza horizontal obtenidos para el conjunto de olas incluidas en el intervalo de interés del Caso 2.

Tabla 18: Comparación de cargas hidrodinámicas obtenidas mediante modelo físico, modelo numérico y formulación empírica

#	Condiciones hidrodinámicas			Fx (MN)			
	d (m)	T (s)	H (m)	M. físico	M. numérico	Morison	%
1	34,00	13,40	14,80	34,96	35,83	42,51	18,67%
2	54,40	13,40	14,80	24,27	25,68	33,94	32,14%
3	34,00	18,00	14,80	37,51	38,86	49,85	28,28%
4	54,40	18,00	14,80	26,75	25,90	32,36	20,96%

Tabla 19: Comparación de momento volcador procedente de cargas hidrodinámicas obtenidas mediante modelo físico, modelo numérico y formulación empírica

#	Condiciones hidrodinámicas			M (MN.m)			
	d (m)	T (s)	H (m)	M. físico	M. numérico	Morison	%
1	34,00	13,40	14,80	400,82	386,87	468,85	16,97%
2	54,40	13,40	14,80	359,41	398,03	465,61	16,98%
3	34,00	18,00	14,80	438,05	436,97	513,43	17,21%
4	54,40	18,00	14,80	375,04	355,47	453,21	20,84%

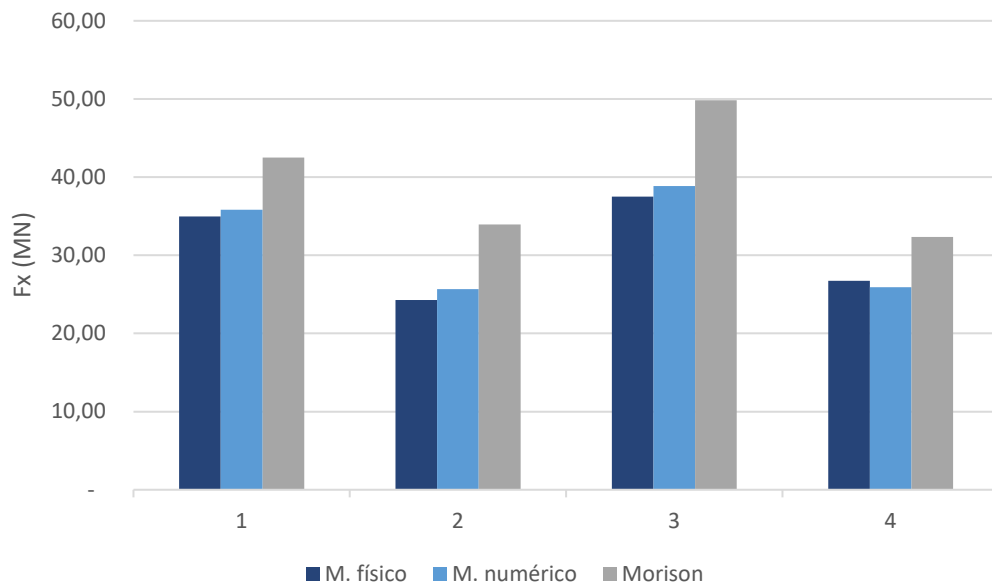


Figura 34: Comparación de resultante horizontal obtenida mediante modelo físico, numérico y formulación empírica

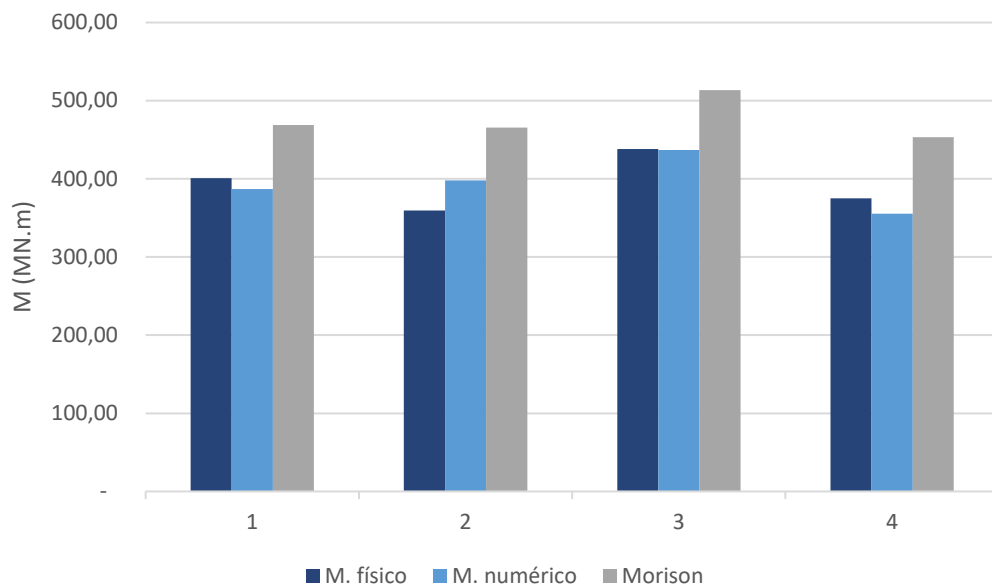


Figura 35: Comparación de momento volcador obtenido mediante modelo físico, numérico y formulación empírica

El momento volcador toma un valor aproximadamente un 20% mayor en el caso de la formulación empírica, lo que quiere decir que la cimentación se encuentra sobredimensionada. Si se redujese el momento para ajustarlo a los valores obtenidos mediante los ensayos físicos y numéricos, el volumen de hormigón podría reducirse en aproximadamente un 5%.

Por otra parte, las simulaciones numéricas mostraron una diferencia en la distribución de cargas horizontales. La Figura 36 muestra el perfil de cargas para dos casos ensayados, a diferente profundidad y con diferente periodo. La apreciable

sobrestimación de la formulación empírica frente al CFD en toda la base es debido a que, en esta parte de la estructura, la formulación empírica pierde representatividad adquiriendo relevancia el régimen de difracción.

A la vista de los resultados, se corrigió el perfil de cargas, minimizando las cargas sobre la base y mayorando las cargas sobre el mástil. Tras el ajuste, las fuerzas y momentos obtenidos con la formulación empírica siguen resultando conservadores.

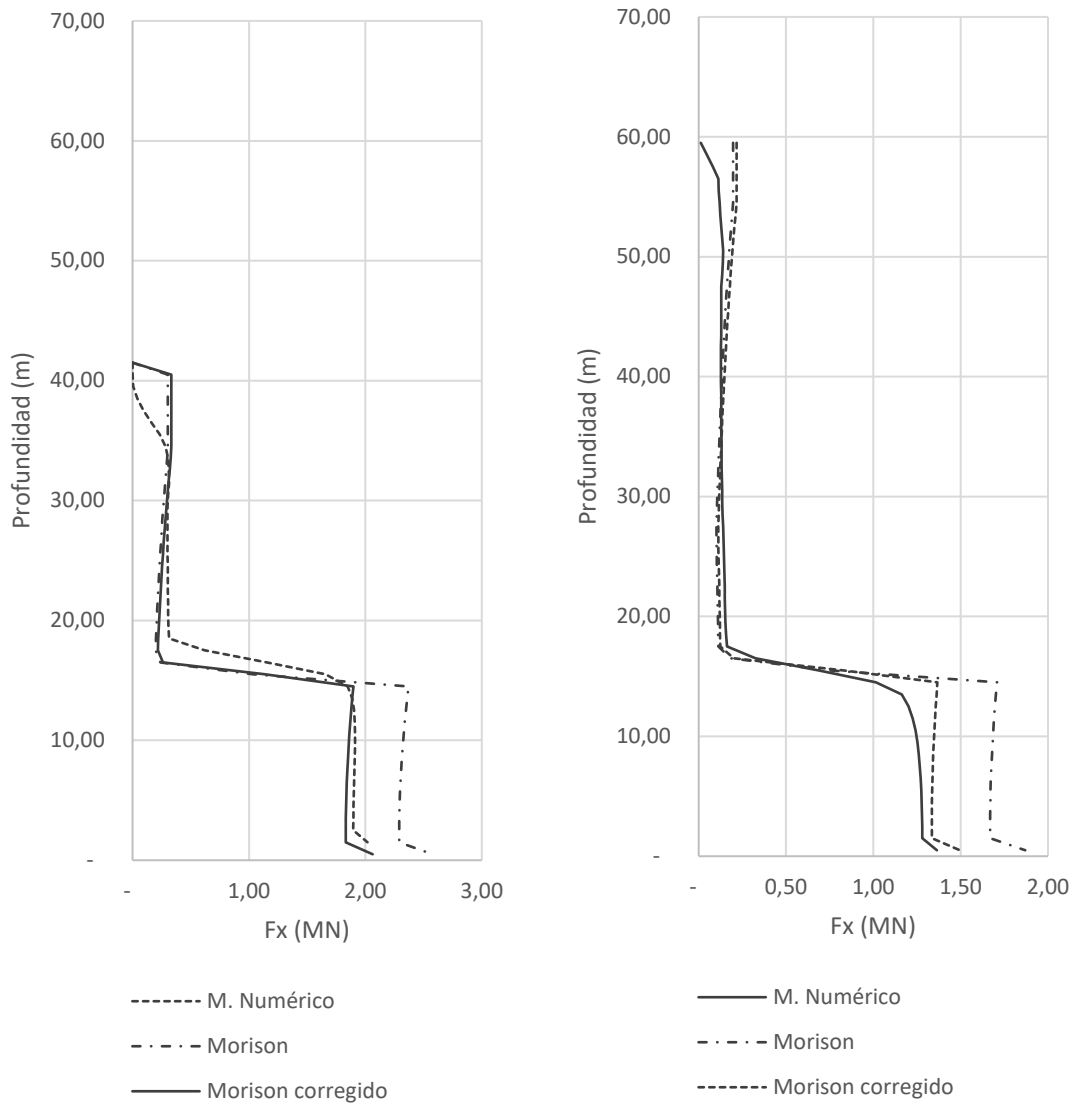


Figura 36: Perfil de cargas de Caso 1 (izqda.) y Caso 4 (dcha.)

En cuanto a los casos adicionales de estudio, los resultados muestran que las situaciones con menor periodo no producen cargas directas en las partes inferiores de la estructura debido a la atenuación hidrodinámica. No obstante, pueden producir momentos de cierta entidad respecto al fondo ya que la acción se concentra en la parte superior de la columna.

Se realiza también un análisis de sensibilidad de las variaciones del periodo para ambas profundidades y la altura de ola máxima. Se verifica que los máximos momentos se obtienen para periodos en torno a los 11-13 s. Obviamente estos resultados deben considerarse desde la perspectiva de la factibilidad de estas condiciones en el clima extremo del emplazamiento correspondiente.

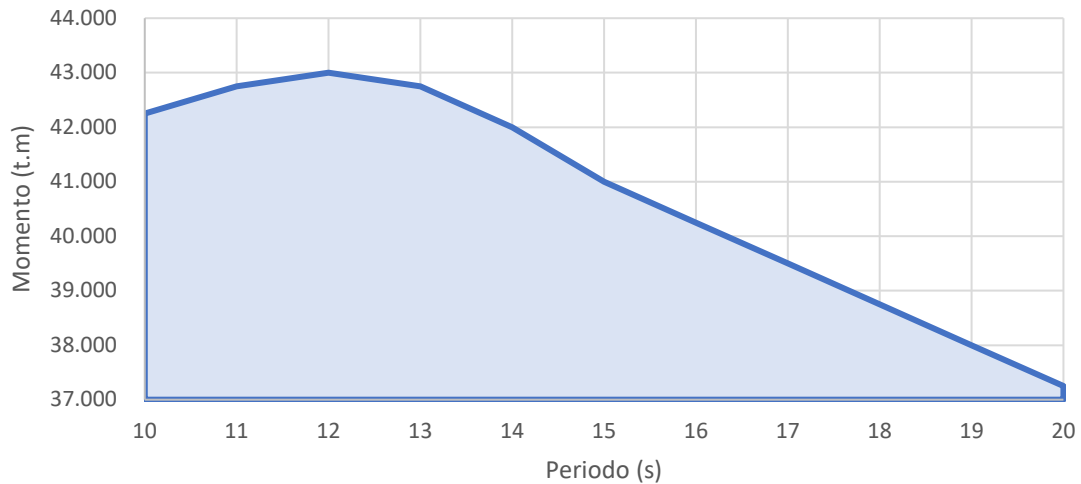


Figura 37: Variación del momento horizontal con el periodo, para $d = 54,4$ m, empleando la fórmula de Morison

3.5. VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Tras definir la geometría básica para cada alternativa de la matriz $[D]$, y definida la metodología para calcular las cargas actuantes, se somete cada una de las alternativas a un proceso de diseño básico, a través del cual se verifica que se cumplen los requerimientos establecidos.

El proceso de diseño seguirá el flujo descrito en el esquema de la Figura 38. Partiendo de la geometría y situación de calado inicial, que son definidos mediante tres parámetros (h_{BASE} , $\emptyset_{BASE}$, C_{port}), se determinarán las cargas y se verificará que cumple los requerimientos. En caso de no cumplirse, se verifica si aumentando la altura o el diámetro se consigue una geometría que sí satisfaga los requisitos.

Los criterios de selección entre soluciones válidas serán escoger la geometría de menor diámetro, ya que reduce las exigencias constructivas y de transporte, así como la ocupación de lecho marino y extensión de la protección contra la socavación, y menor calado, para que el rango de puertos potenciales sea mayor. De este modo se obtiene una solución optimizada definida por los parámetros $h_{BASE,opt}$, $\emptyset_{BASE,opt}$, $C_{port,opt}$.

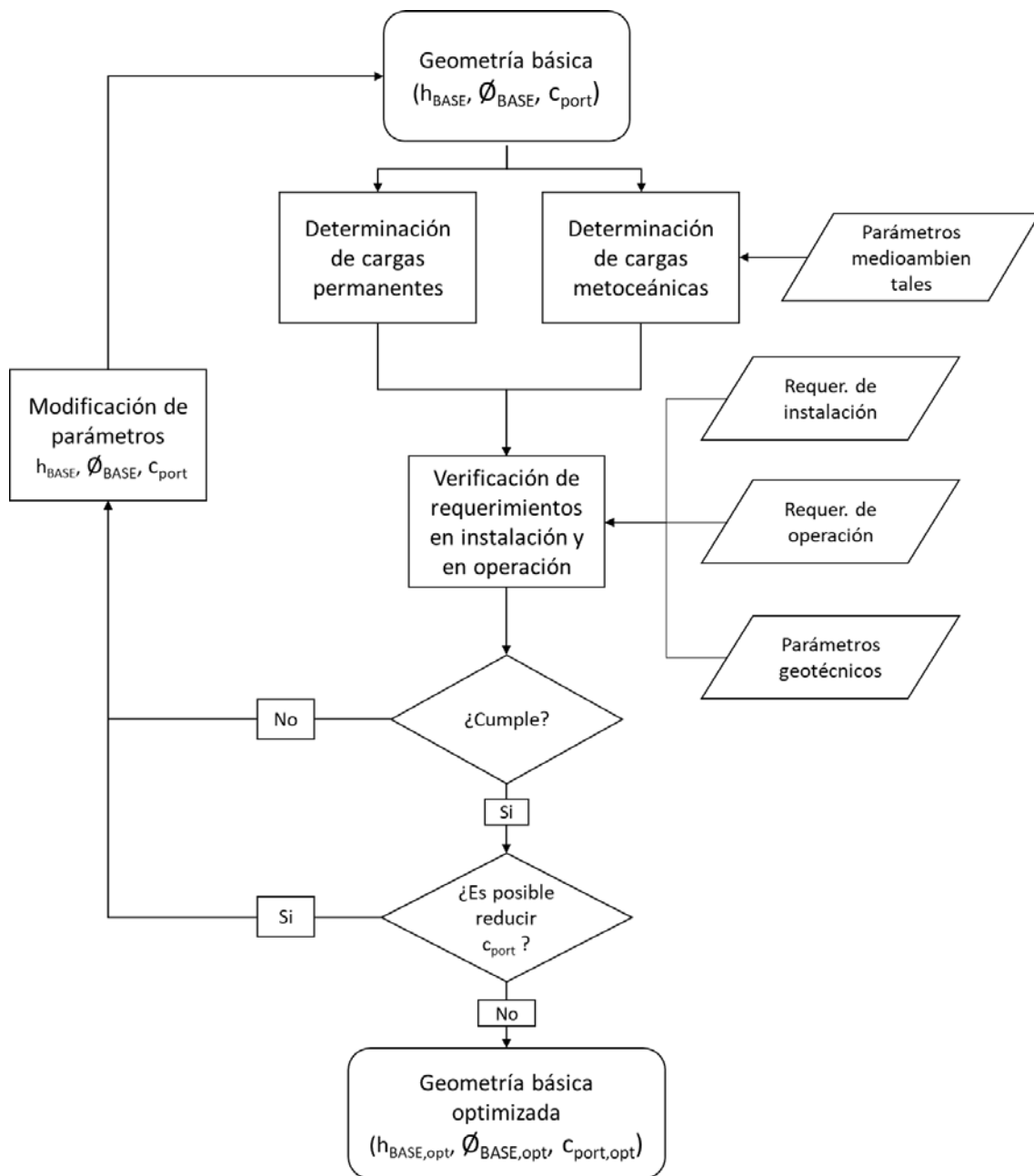


Figura 38: Proceso de ejecución del diseño básico

3.5.1. VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS EN CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

Las dimensiones de la estructura pueden verse limitadas por las características de los procesos constructivos o las instalaciones y medios de transporte y fondeo. Además, dependiendo de la estrategia de instalación seleccionada, la estructura puede tener ciertos requerimientos de flotabilidad o estabilidad. Para verificar su cumplimiento, se propone realizar unos cálculos básicos.

3.5.1.1. FLOTABILIDAD NEUTRA

La propiedad de flotabilidad es aquella que le permite al elemento sostenerse dentro de un fluido (Ref. [49]). La flotabilidad viene establecida por el principio de Arquímedes, que establece que “un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de la masa del volumen del fluido que desaloja”.

Para que la flotabilidad sea neutra, el empuje debe ser igual al peso del elemento.

$$V_1 + V_2' = \nabla \cdot \rho_w \cdot 9,8 \quad (16)$$

Donde V_1 es la resultante del peso propio de la estructura [kN], que puede en algunos casos incluir el peso de la torre metálica y aerogenerador; V_2' es el peso del lastre en el interior de la GBF para transporte (pudiendo ser agua, hormigón ciclópeo, o ambos) [kN]; ∇ es el desplazamiento del elemento sumergido [m^3]; y ρ_w la densidad del fluido, en este caso agua [t/m^3].

En algunas estrategias de transporte las EAs pueden requerir que, si bien la cimentación no tenga una flotabilidad neutra, la flotabilidad negativa no supere un cierto valor de tiro, que debe ser aportado por dichas EAs.

3.5.1.2. ESTABILIDAD ESTÁTICA

Para un cuerpo sumergido, con un centro de gravedad G, y un centro de carena B, siendo éste el punto en el que se aplica la fuerza de empuje, el elemento debe desplazar un volumen tal que se encuentre en flotabilidad neutra, y ambos centros deben estar alineados en la misma vertical, para que el cuerpo permanezca estable en flotación (Ref. [50]).

En caso de que una fuerza externa provoque una pequeña inclinación del elemento (θ), inferior a 15° , sucederá que una cuña emergerá del agua y otra del mismo volumen se sumergirá, haciendo que se modifique el centro de carena de B a B1. Las verticales de B-G y B1 se intersecan en un punto llamado metacentro (M).

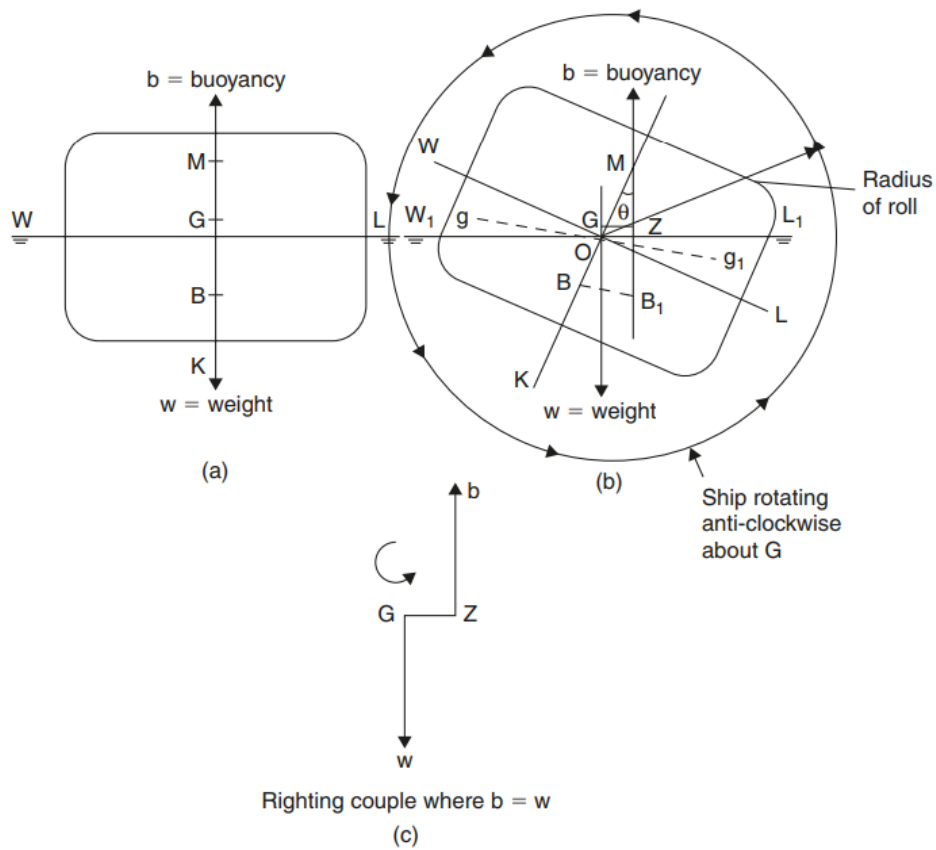


Figura 39: Esquema de posición de la altura metacéntrica (Fuente: Ref. [50])

La distancia vertical entre G y M es denominada altura metacéntrica (GM). Si G se encuentra por debajo de M, es decir, la altura metacéntrica es positiva, el elemento se encuentra en equilibrio estable. GM puede calcularse a partir de BM.

$$BM = \frac{I_{GBF}}{\nabla} \quad (17)$$

Donde I_{GBF} será la inercia del área en el plano de la superficie [m^4]; y ∇ es el volumen desplazado por el elemento [m^3].

Por otra parte, debe tenerse en cuenta el efecto de las llamadas superficies libres (Ref. [45]). En el caso de que en el interior del elemento hubiese algún fluido que pueda moverse libremente, éste se inclinaría al inclinarse el elemento sumergido, modificando el centro de gravedad del conjunto (G_v). El efecto de la superficie libre se tiene en cuenta mediante una reducción de la altura metacéntrica, de valor GG_v .

$$GG_v = \frac{I_t}{\nabla} \quad (18)$$

Donde I_t es la inercia de las superficies libres [m^4] y ∇ es el volumen desplazado por el elemento [m^3].

3.5.2. VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS EN SERVICIO

Como se ha señalado, el estándar de diseño DNVGL-ST-0126 (Ref. [22]) señala en “*Section 7: Geotechnical design*”, una serie de requerimientos que se aplican en el diseño de cimentaciones. Los principales modos de fallo recogidos son fallo de la capacidad portante, deslizamiento, vuelco y grandes desplazamientos o asientos. Además, se señala que el objeto del diseño es evitar las cargas de tracción (levantamiento) entre la base de la cimentación y la superficie del fondo.

Para la verificación del diseño básico, se consideran tan solo tres posibles modos de fallo, que resultan ser los casos determinantes en el diseño de cimentaciones: levantamiento de la base, capacidad portante del terreno y deslizamiento.

3.5.2.1. LEVANTAMIENTO DE LA BASE

Para asegurar que no existe levantamiento en la base de la GBF se recurre al concepto de núcleo central. El núcleo central se define como la zona de la sección donde ha de estar aplicado el esfuerzo normal para que las tensiones normales sean en toda la sección del mismo signo, o tracción o compresión, y por tanto la línea neutra no corta a la sección. Podemos obtener el perímetro del núcleo central como lugar geométrico de los antipolos e de todas las rectas tangentes al contorno de la sección (Ref. [51]).

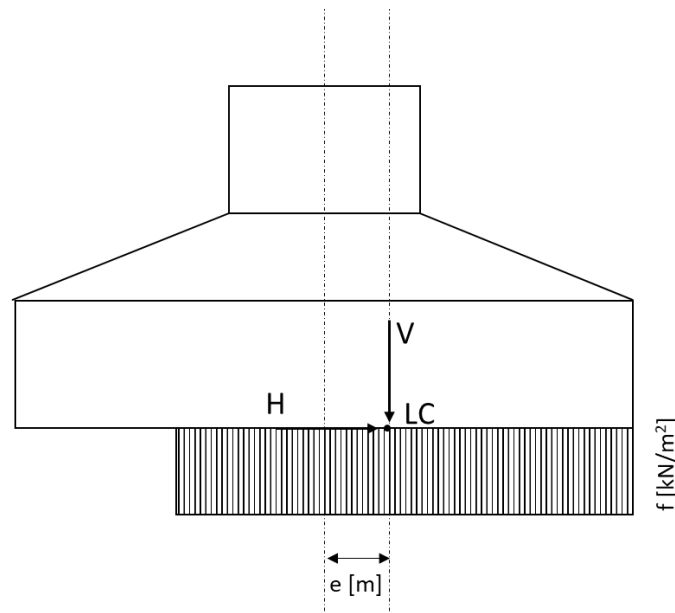


Figura 40: Esquema de aplicación de carga excéntrica (Fuente: Ref. [17])

Para una sección circular de radio R , el núcleo central será un círculo concéntrico con el dado, de radio a (Ref. [52]), de acuerdo con la Ec. (19).

$$a = \frac{R}{4} \quad (19)$$

Las fuerzas actuantes en la cimentación, incluidas aquellas procedentes del aerogenerador, se transmiten hasta la base de ésta, combinándose en dos fuerzas resultantes H y V (horizontal y vertical respectivamente). El punto de aplicación de dichas fuerzas en la interfaz cimentación – terreno es LC (load centre), cuando LC está distanciado de la línea central de la cimentación existe una excentricidad e . Dicha excentricidad se calcula con la Ec. (20). El cálculo de levantamiento de la base se realizará con cargas extremas sin mayorar.

$$e = \frac{M}{V} \quad (20)$$

Donde M es el momento resultante volcador [MN.m] y V es la resultante de la fuerza vertical [MN].

La limitación puede expresarse según la Ec. (21):

$$\frac{e}{\phi_{GBF}} = 0,125 \quad (21)$$

3.5.2.2. CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO

El estándar DNV-OS-J101 (Ref. [17]) proporciona en su Apéndice G la formulación para el cálculo de la capacidad portante del terreno. En muchos casos este requerimiento puede resultar un aspecto determinante para el dimensionamiento (Ref. [8]).

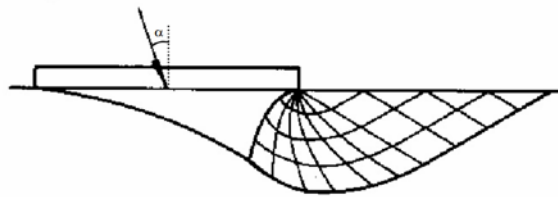


Figura 41: Modo de fallo por carga excéntrica según Brinch Hansen [53]

Dado que existe una excentricidad de la carga, es necesario hacer uso del concepto de área efectiva, consistente en suponer que se plastifica una zona centrada con la carga, quedando descargado el resto (Ref. [53]).

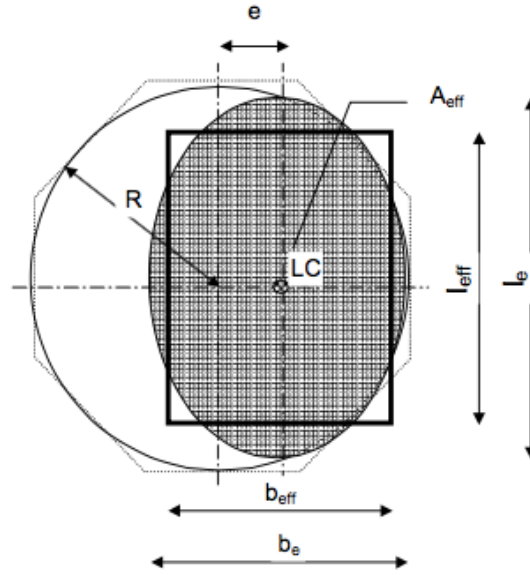


Figura 42: Esquema del área efectiva en cimentación circular (Fuente: Ref. [17])

El área efectiva se define como:

$$A_{eff} = 2 \cdot \left[R^2 \cdot \arccos(e/R) - e \cdot \sqrt{R^2 - e^2} \right] \quad (22)$$

Donde e es la excentricidad [m], y R el radio de la base [m]. Los ejes principales del área efectiva son:

$$b_e = 2 \cdot (R - e) \quad (23)$$

$$l_e = 2 \cdot R \cdot \sqrt{1 - (1 - b_e/2R)} \quad (24)$$

El área efectiva puede representarse como un rectángulo cuyos lados sean:

$$l_{eff} = \sqrt{A_{eff} \cdot l_e / b_e} \quad (25)$$

$$b_{eff} = \left(l_{eff} / l_e \right) \cdot b_e \quad (26)$$

Para calcular la capacidad portante del terreno, se asume que existe homogeneidad entre las capas de éste, y se aplica la ecuación de Brinch Hansen (Ref. [53]).

$$q_d = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma' b_{eff} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (27)$$

Donde q_d es la capacidad portante del terreno de diseño [kN/m²]; q es la sobrecarga debida al peso del terreno en la profundidad de la cimentación [kN/m²]; c es la cohesión [kN/m²]; γ' es el peso específico del terreno [kN/m³] sumergido y b_{eff} es el lado del área efectiva [m].

Deberá verificarse que:

$$FS_1 = \frac{Q_d}{V_d} > 1 \quad (28)$$

Siendo Q_d la carga última de hundimiento de diseño [MN] y V_d la carga vertical de diseño [MN]. La carga última de hundimiento se calcula según la Ec. (29).

$$Q_d = \frac{q_d}{A_{eff}} \quad (29)$$

3.5.2.3. DESLIZAMIENTO

La cimentación está sometida a una carga horizontal, por lo que debe verificarse que existe una resistencia al deslizamiento suficiente. El estándar DNV-OS-J101 (Ref. [17]) propone la siguiente formulación:

$$D_d = A_{eff} \cdot c + V_d \cdot \tan \phi_c \quad (30)$$

Donde D_d es la resistencia al deslizamiento [kN]; A_{eff} es el área efectiva [m²]; c es la cohesión [kN/m²]; V_d es la resultante de la fuerza vertical de diseño [kN]; ϕ_c es el ángulo de rozamiento interno [°], en este caso de la banqueta con la cimentación. Deberá verificarse entonces:

$$FS_2 = \frac{D_d}{H_d} > 1 \quad (31)$$

Siendo H_d la resultante horizontal de diseño [kN].

Se propone además otra verificación:

$$\frac{H_d}{V_d} > 0,4 \quad (32)$$

No obstante, el deslizamiento no suele resultar ser un criterio que condicione la geometría de la estructura (Ref. [45]).

3.6. ANÁLISIS MULTICRITERIO

Durante las últimas décadas, se han desarrollado multitud de metodologías analíticas para la comparación cuantitativa de varias alternativas para problemas específicos. Algunos de los más importantes son el AHP (Analytical Hierarchy Process) (Ref. [54]), el TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) (Ref. [55]), el QDF (Quality Function Deployment) (Ref. [56]) y la matriz de Pugh (Ref. [57]).

El análisis multicriterio representa una técnica que permite optimizar el proceso de toma de decisiones en caso de múltiples parámetros. Existen múltiples ejemplos del empleo de estas metodologías de evaluación en la toma de decisiones sobre soluciones de estructuras soporte de aerogeneradores offshore.

El artículo *“A Multi-Criteria Decision-Making Method to Compare Available Support Structures for Offshore Wind Turbines”* (Ref. [58]) proporciona una metodología sistemática para la clasificación y evaluación de opciones de soporte para aerogeneradores offshore, basada en el método TOPSIS. Por su parte, *“Multi - criteria decision - making model for assessing the sustainability index of wind-turbine support systems: application to a new precast concrete alternative”* (Ref. [59]) presenta un Sistema de toma de decisiones multicriterio basado en el método MIVES como modelo para la evaluación de los índices de sostenibilidad de los diferentes tipos de torres de aerogenerador existentes. *“Multi-criteria decision analysis of offshore wind turbines support structures under stochastic inputs”* (Ref. [60]) recoge información de expertos mediante encuestas y cuestionarios, e implementa la metodología propuesta en una herramienta numérica para la toma de decisión sobre la tipología de cimentación en unas condiciones dadas. En *“Multi-criteria assessment of offshore wind turbine support structures”* (Ref. [61]) también se propone una metodología de evaluación sistemática de cimentaciones para molinos eólicos offshore, en este caso concretamente para una turbina de 5,5 MW. Por último, la referencia ya mencionada *“A multi-criteria por suitability assessment for developments in the offshore wind industry”* (Ref. [34]) evalúa la importancia relativa de los criterios a la hora de seleccionar un puerto para implantar la industria relacionada con el sector de aerogeneradores offshore, empleando el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).

La bibliografía consultada incluye el coste estimado como uno de los criterios de análisis más relevantes, en algunos casos incluyendo el coste de mantenimiento, junto con criterios de desempeño en operación, medioambientales, de facilidad de instalación, de riesgo de certificación, o de impacto social.

Por ello, se propone realizar una estimación del coste de las alternativas que van a evaluarse. Para ello se partirá de una planificación estimada para la construcción e instalación de cada una de las alternativas diseñadas, que se detalla en los siguientes

apartados. La estimación de costes se basa en la información procedente de bases de precios como “*Base de precios de referencia de la Dirección General de carreteras*” (Ref. [62]) en el caso de los costes de construcción y “*A guide to cost standards for dredging equipment*” (Ref. [63]) y “*Comparative evaluation of different offshore wind turbine installation vessels for Korean west-south wind farm*” (Ref. [64]) para las operaciones marítimas.

3.6.1. PLANIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

El artículo “*Assembly, transportation, installation and commissioning of offshore wind farms*” (Ref. [65]) señala la importancia de realizar una correcta planificación para minimizar los costes, si bien no existe una estrategia óptima de instalación de parques eólicos offshore, ya que dependerá de factores como el tamaño de parque, la distancia a la costa, la profundidad y condiciones climáticas. La estrategia óptima puede definirse como aquella que minimice el coste y el riesgo. A continuación, se propone una planificación detallada del proceso de construcción e instalación.

3.6.1.1. PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Para la planificación de la construcción se deberá tener en cuenta la máxima superficie disponible, o medios auxiliares que puedan resultar críticos. Las alternativas constructivas que pueden analizarse son construcción mediante cajonero, dique seco o ejecutados sobre el puerto. Debe tenerse en cuenta durante el diseño del proceso que muchas de las soluciones requerirán un postesado.

La construcción en cajonero es un método ampliamente extendido para la construcción de cajones flotantes. El sistema se basa en la inmersión progresiva y controlada de la plataforma flotante y el cajón durante la construcción, empleando un encofrado deslizante. Los elementos del cajonero son:

- Plataforma flotante o pontona: está compartimentada en varios tanques de lastrado, que permiten su inmersión controlada.
- Torres laterales: complementan la estabilidad de la pontona. Hay diferentes tipos de configuraciones (dos torres, cuatro torres).
- Sistema constructivo: formado por la estructura de soporte, conocida como paraguas, el encofrado deslizante, las guías y las grúas.
- Sistema de elevación: equipo hidráulico utilizado para levantar y descender el sistema constructivo.
- Equipamientos auxiliares: grúas y distribuidores de hormigón.



Figura 43: Cajonero flotante KUGIRA (Fuente: Acciona)

El cajonero opera en aguas protegidas, y no requiere adaptación del puerto para su implantación. Normalmente requerirá un calado adicional al de la cimentación de 1 m (Ref. [66]). También debe señalarse que el curado se produce en agua salada, algo que no está considerado un procedimiento normal en los estándares habituales de hormigón, si bien existen experiencias que garantizan que la calidad del hormigón no se ve afectada por estas circunstancias (Ref. [67]).

Como se ha recogido en la sección §3.2.2, si existe superficie disponible en puerto, o en dique seco, puede construirse en seco empleando encofrado deslizante o trepante para la construcción de la base y el mástil. Posteriormente se trasladará al agua mediante una rampa o pórtico, o bien una embarcación grúa de gran capacidad (Ref. [6]). Una alternativa es la construcción de la base en tierra y su subsecuente botadura, para continuar la construcción del mástil con parte de la estructura fondeada. Esta técnica también es empleada para la construcción de cajones flotantes.

En el caso de instalar la torre metálica y el aerogenerador en puerto, deberá considerarse el espacio requerido para el acopio e instalación, así como los medios auxiliares necesarios.

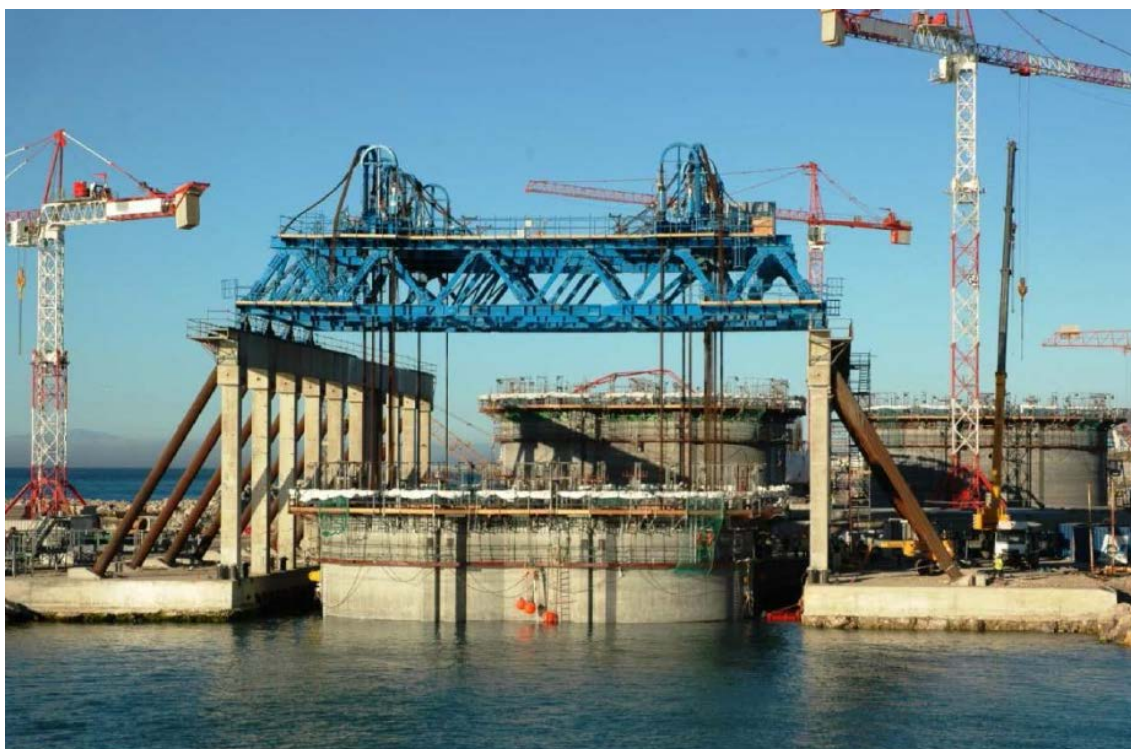


Figura 44: Pórtico para botadura de cajones flotantes (Fuente: Bouygues Construction)



Figura 45: Continuación de construcción de cajón flotante una vez botado (Fuente: Bouygues Construction)

3.6.1.2. PLANIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

A continuación, se estudia la planificación para la instalación de las cimentaciones, que incluye el proceso de transporte y fondeo, así como la preparación del terreno, el lastrado definitivo y la colocación de la protección contra la socavación. Para la planificación de la instalación es necesario definir el periodo de instalación. Dicho periodo dependerá de la limitación de altura de ola significativa con el que las embarcaciones puedan operar, así como de la distancia del puerto al emplazamiento, la velocidad de navegación y el tiempo necesario para la operación de instalación. La Tabla 20 muestra las ventanas temporales necesarias para varios tipos de estrategia de instalación, ya sea con el conjunto del aerogenerador instalado (WTG – *Wind Turbine Generator*), izada mediante grúa auxiliar o de manera autoestable.

Tabla 20: Limitaciones de transporte e instalación (Fuente: Ref. [8])

	Condiciones met.		Factor limitante		Distancia de tránsito	Ventana temporal
	Transporte	Instalación	Transporte	Instalación		
Flotante con WTG	$H_s = 2,5 \text{ m}$	$H_s = 2,5 \text{ m}$	Velocidad del viento < 20 kn para remolque	No hay información	Ilimitado (cuestionable, debería ser similar a la solución flotante)	24 h (+ 8 h para lastrado)
Flotante sin WTG	$H_s = 3,0 \text{ m}$	$H_s = 1,5 \text{ m}^*$	Capacidad de retención de remolcadores en tormenta	Asegurar las operaciones de posicionamiento, lastrado y contacto con el terreno	100 M entre puertos seguros.	24 h
Izada con WTG	$H_s = 2,5 \text{ m}$	$H_s = 1,5 - 2,5 \text{ m}$	Dependiente de la solución: - Transporte en barcaza: capacidad de retención de remolques en tormenta - Transporte por embarcaciones: capacidades de la embarcación + Coste	Proceso de lastrado	Depende de la solución: - Transporte en barcaza: 50 M - Transporte por embarcaciones: hasta 300 M (por incremento de la velocidad)	2 días para barcasas 0,5-1 día para embarcaciones
Izada sin WTG	$H_s = 1,0 - 2,5 \text{ m}$	$H_s = 1,0 - 2,0 \text{ m}$	Similar al anterior	Similar al anterior	Dependiendo de la solución, similar al anterior	24 h

En caso de requerir de EAs específicas para el transporte o fondeo, deberá definirse el número de éstas disponible. Puede darse el caso de que, con dicho número, no pueda realizarse la instalación de las cimentaciones en el periodo requerido.

El resto de las operaciones marítimas, consistentes en el dragado y preparación de banquetas, y lastrado y colocación de protección contra la socavación, se realizarán con

el número de embarcaciones necesarias para que en ningún caso resulten cuello de botella, ya que el coste de estas operaciones será en todo caso inferior al de las EAs requeridas para el transporte y fondeo.

Las operaciones de dragado y colocación de banquetta deben realizarse inmediatamente antes de la instalación de la cimentación, en la medida de lo posible, para evitar el movimiento de material.

El proceso de dragado puede realizarse mediante una draga de tolva de succión en marcha (TSHD por sus siglas en inglés). La misma embarcación puede ser empleada para el lastrado de la cimentación. Los operadores de embarcaciones cuentan con modelos de capacidad hasta 46.000 m³ (Ref. [68]), si bien la media se encuentra en torno a 18.000 m³.



Figura 46: TSHD Gerardus Mercator (Fuente: Jan De Nul)

La colocación de la banquetta y la protección contra la socavación se realiza mediante embarcaciones tipo Fall Pipe, específicamente aquellas que cuentan con un posicionamiento dinámico (DPFPV, por sus siglas en inglés). La capacidad aproximada de carga de estas embarcaciones puede alcanzar hasta 33.500 t (Ref. [69]).



Figura 47: DPFPV Rollingstone (Fuente: Deme)

En caso de realizar la instalación de torre metálica y aerogenerador una vez instalada la GBF, se emplean embarcaciones tipo *jack-up* o plataforma auto-elevadora, que cuentan con grúas de gran capacidad.



Figura 48: Embarcación para instalación de aerogeneradores offshore Aeolus 2.0 (Fuente: Van Oord)

El artículo “*Offshore wind installation vessels - A comparative assessment for UK offshore rounds 1 and 2*” (Ref. [70]) ofrece una recopilación de la experiencia de rendimiento de embarcaciones de instalación de parques eólicos en Reino Unido, así como una metodología para la planificación de las operaciones de instalación en etapas más avanzadas del proyecto. También se ofrecen unos valores de referencia de duración de las actividades marítimas y sus límites de operación y valores medios obtenidos en los casos recopilados.

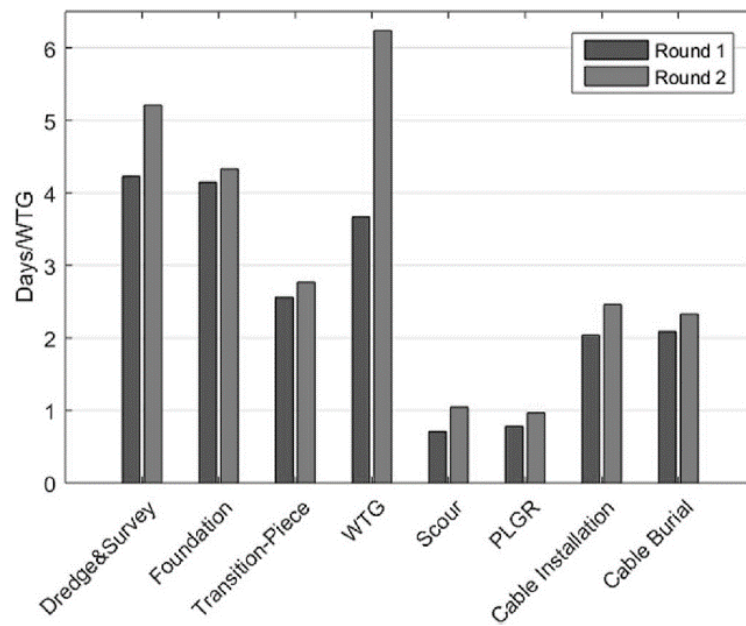


Figura 49: Ratio de instalación medio en días/WTG (±1 S.D.). (Fuente: [70])

3.6.2. ESTIMACIÓN DE COSTES

La estructura de costes propuesta se divide en dos capítulos principales, construcción de la GBF e instalación, que a su vez se subdividen de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 21.

Tabla 21: Estructura de costes propuesta

Capítulo	Unidades	Descripción
1	Construcción	
1.1	m ³	Hormigón
1.2	kg	Acero
1.3	m ²	Encofrado
1.4	kg	Postesado
1.5	u	Op. Transporte en puerto
1.6	u	Equipo auxiliar
2	Instalación	
2.1	d	Dragado
2.2		Instalación de la banqueta
2.2.1	d	Operación de instalación de banqueta
2.2.2	m ³	Material de la banqueta
2.3		Instalación de lastre
2.3.1	d	Operación de instalación de lastre
2.3.2	m ³	Material de lastre
2.4		Instalación de la protección contra la socavación
2.4.1	d	Operación de instalación de protección contra la socavación
2.4.2	m ³	Material de la protección contra la socavación
2.5	d	Instalación WTG

Los costes de construcción se estiman a partir del coste unitario, que puede obtenerse de bases de precios (Ref. [62]) o estimarse a partir de experiencias o valores proporcionados por suministradores. Los costes de construcción se componen principalmente de las siguientes partidas: hormigón armado, hormigón en masa, acero pasivo, acero estructural si es el caso, y encofrado.

Cada uno de estos costes unitarios incluye la mano de obra, material, equipamiento auxiliar, amortización de equipos y grúas según corresponda. En el caso de requerir un pórtico para la botadura, se considera el coste por cada operación de movimiento de la GBF desde la superficie de construcción hasta el agua. Adicionalmente puede considerarse también la pieza de conexión con la torre y las válvulas necesarias para la instalación del lastre en los compartimentos interiores de la GBF. También se puede considerar el coste de los remolcadores que trasladan las cimentaciones en el interior del puerto, desde posiciones de construcción o montaje a zonas de almacenamiento temporal. Se recomienda considerar los costes indirectos, así como gastos generales y beneficio industrial.

Los costes de las operaciones marítimas se consideran teniendo en cuenta los alquileres diarios, basados en la bibliografía disponible (Ref. [63]). Se recomienda considerar el coste de alquiler durante la totalidad del periodo en los que se requiere que la embarcación se encuentre disponible, en lugar de considerar únicamente por día de operación.

Los costes de material empleado para el lastrado, la banqueta y la protección contra la socavación, se considerarán partiendo de los costes unitarios o costes proporcionados por los suministradores, según la disponibilidad de información.

Por último, el coste de la instalación de torre metálica y aerogenerador dependerá en gran medida de si la operación se realiza en puerto o en mar abierto. En el primer caso, serán necesarias grúas de gran capacidad en el puerto. En el segundo, embarcaciones tipo *jack-up* que realicen la instalación en el emplazamiento.

En la estructura propuesta no se consideran los costes de ocupación del puerto, puesto que son altamente dependientes de acuerdos realizados con el mismo, ni el coste de compra y transporte de aerogenerador y torre metálica, dado que el objetivo de la estimación de costes es comparar diferentes soluciones y estos costes serían comunes a todas ellas. Igualmente, tampoco se consideran los costes de mantenimiento ni retirada de la GBF una vez finalizada su vida útil.

3.6.3. ASIGNACIÓN DE VALORES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para llevar a cabo la asignación de valores y análisis de resultados, se propone emplear dos métodos: proceso analítico jerárquico (AHP) (Ref. [54]) para la definición de la importancia relativa entre varios criterios, o ponderación de los mismos, y método TOPSIS (Ref. [71]), para la identificación de la solución más próxima a la ideal.

3.6.3.1. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

El proceso analítico jerárquico (Ref. [54]) es una técnica empleada para obtener la importancia relativa entre varios criterios. Consiste en realizar comparaciones por pares entre sus elementos constitutivos, de acuerdo con una escala de valores de comparación (Tabla 22).

Tabla 22: Escala de comparación (Fuente: Ref. [54])

Término lingüístico (i respecto a j)	Valor numérico	
	a_{ij}	a_{ji}
Extremadamente menos importante	1/9	9
Muy fuertemente menos importante	1/7	7
Fuertemente menos importante	1/5	5
Moderadamente menos importante	1/3	3
Igualmente importante	1	1
Moderadamente más importante	3	1/3
Fuertemente más importante	5	1/5
Muy fuertemente más importante	7	1/7
Extremadamente más importante	9	1/9

Se crea una matriz recíproca $[C]$ de dimensiones $n \times n$, siendo n el número de criterios considerados, formada por elementos que verifican la expresión $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$. La consistencia de las comparaciones efectuadas se evalúa mediante el radio de consistencia C.R., que responde a la Ec. (33):

$$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.} \quad (33)$$

Donde C.I. es el índice de consistencia (Ec. (34)), y R.I. es el índice de consistencia aleatoria (Tabla 23), que representa la media de todos los índices de consistencia de una comparación por pares generada de forma aleatoria. Se considera que la matriz es consistente cuando C.R. es inferior a un valor de 0,1.

$$C. I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (34)$$

Siendo λ_{max} el mayor autovalor de la matriz $[C]$, y n el número de criterios considerados.

Tabla 23: Índice de consistencia aleatorio

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I	-	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Se realiza una normalización de la matriz $[C]$, y se obtiene el vector de prioridad $[W]$.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (35)$$

3.6.3.2. TOPSIS (TECHNIQUE FOR ORDER PREFERENCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION)

El método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) fue desarrollado en 1981 por Hwang y Yoon (Ref. [71]). El concepto básico es que la mejor alternativa es aquella que tenga una mayor distancia con respecto a la Solución Ideal Negativa, y la menor distancia con respecto a la Solución Ideal Positiva. El análisis permite tener en cuenta tanto atributos cuantitativos como cualitativos, y proporciona una herramienta para la toma de decisiones minimizando la subjetividad. El proceso de aplicación de la metodología se esquematiza en la Figura 50.

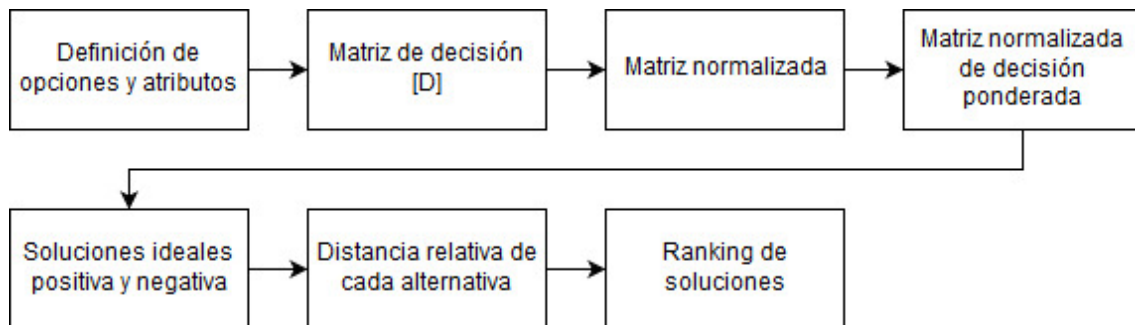


Figura 50: Esquema del proceso TOPSIS

El funcionamiento puede describirse de acuerdo con los siguientes pasos:

- Definición de la matriz de toma de decisiones $[D]$: los elementos de la matriz representan el valor r_{ij} de cada alternativa $A_i < i=1, 2, \dots, m >$ respecto a cada uno de los criterios $C_j < j=1, 2, \dots, n >$.

$D =$

	C_1	C_2	...	A_n
A_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2n}
...	...	...	...	...
A_m	r_{m1}	r_{m2}	...	r_{mn}

- Normalización de la matriz de toma de decisiones: los valores normalizados n_{ij} se calculan según la Ec. (36).

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\max(r_j)} \quad (36)$$

- Construcción de la matriz normalizada de decisión ponderada: se calcula el valor ponderado v_{ij} según Ec. (37).

$$v_{ij} = w_j \cdot n_{ij} \quad (37)$$

Donde w_j es el peso del criterio j , de forma que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

- Determinación de la solución ideal positiva (PIS) y negativa (NIS): teniendo en cuenta que cada criterio puede ser positivo (beneficio) o negativo (coste), se definen los valores de unas soluciones teóricas que representen la solución ideal positiva y negativa.

$$A^+ = [(\max_i v_{ij} \nabla j \in J), (\min_i v_{ij} \nabla j \in J')]$$

$$A^- = [(\min_i v_{ij} \nabla j \in J), (\max_i v_{ij} \nabla j \in J')]$$

Donde J serán los criterios de beneficio y J' los criterios de coste.

- Cálculo de la distancia de cada alternativa a A^+ y A^- : la medida de la distancia se determina utilizando la distancia Euclídea n -dimensional según las Ec. (38) y (39):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (38)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (39)$$

- Cálculo de la cercanía relativa de cada alternativa a la solución ideal: la cercanía relativa de una alternativa A_i con respecto a la solución ideal se define mediante la Ec. (40).

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, m \quad (40)$$

Donde R_i es el valor de cercanía relativa a la solución ideal positiva de cada alternativa A_i y está comprendido entre 0 y 1, siendo mejor cuanto más se aproxime a la unidad.

3.7. REVISIÓN ESTRUCTURAL DE LA SOLUCIÓN

Una vez identificada la solución óptima entre las alternativas planteadas, se realiza la verificación estructural de ésta. La verificación debe tener en cuenta las diferentes fases que atraviesa la estructura (construcción, botadura, transporte, fondeo, operación, ...), y las cargas asociadas a cada una de dichas fases.

El objetivo del análisis es la identificación de posibles áreas problemáticas desde el punto de vista de tensiones admisibles. Para ello, se analizan las tensiones en los diferentes elementos de la estructura en las distintas fases de su vida útil. Además, se verifica el comportamiento dinámico y las tensiones en el terreno.

3.7.1. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS Y CÁLCULO DE CARGAS

La normativa de aplicación empleada será principalmente el Eurocódigo 2 (Ref. [18]) o 3 (Ref. [19]), según corresponda, y los estándares referentes al cálculo de estructuras soporte para aerogeneradores, como DNVGL-ST-0126 (Ref. [22]) junto con el estándar “DNVGL-ST-C502: Offshore concrete structures” (Ref. [72]).

En el análisis se consideran seis tipos de cargas, que podrán ser diferentes en cada una de las fases consideradas:

1. Peso propio: correspondiente a los elementos de la estructura.
2. Lastre: varía en función de las fases de instalación, pudiendo ser de hormigón ciclópeo, agua, arena u otros materiales. Se sitúa en los compartimentos interiores de la base y en el interior del mástil. Además de su peso, debe considerarse el empuje horizontal que ejerce sobre las paredes interiores de la cimentación, perpendicular a las mismas y que se calcula de la siguiente manera:
 - **Empuje activo del terreno**: se considera cuando el elemento de contención se deforma hacia el exterior, y se obtiene de acuerdo con la Ec. (41):

$$e_a = p'_v + K_A \gamma' z \quad (41)$$

Siendo p'_v el empuje debido a la sobrecarga o peso del relleno por encima del punto considerado [N/m^2]; K_A el coeficiente de empuje al reposo (Ec. (42)) [-]; ϕ el ángulo de rozamiento interno del relleno [$^\circ$]; γ' el peso específico

sumergido del relleno $[N/m^3]$ y z la profundidad desde el punto considerado hasta el punto en que se evalúa el empuje $[m]$.

$$K_A = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (42)$$

- **Empuje pasivo del terreno:** se considera cuando el elemento de contención es comprimido contra el terreno, y se obtiene de acuerdo con la Ec. (43).

$$e_p = p'_v + K_p \gamma' z \quad (43)$$

Siendo p'_v el empuje debido a la sobrecarga o peso del relleno por encima del punto considerado $[N/m^2]$; K_p el coeficiente de empuje al reposo (Ec. (44)) [-]; ϕ el ángulo de rozamiento interno del relleno $[^\circ]$; γ' el peso específico sumergido del relleno $[N/m^3]$; z la profundidad desde el punto considerado hasta el punto en que se evalúa el empuje $[m]$.

$$K_p = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \quad (44)$$

3. Empuje ascensional del agua: corresponde a una fuerza vertical ascendente equivalente al peso de agua desplazada por la cimentación.
4. Cargas hidrostáticas: ejercidas por la presión del agua sobre los elementos sumergidos, en dirección normal al elemento. La presión producida por el agua a una profundidad h viene dada por la Ec. (45):

$$e_w = \gamma_w Z \quad (45)$$

Siendo Z la altura del nivel piezométrico en el punto de determinación del empuje $[m]$. Dado que la cimentación en su situación final se encuentra rellena de lastre y agua, el empuje hidrostático se produce en ambas caras de cada elemento estructural, compensándose sus efectos.

5. Cargas hidrodinámicas: ejercidas por el movimiento de las partículas de agua debido al oleaje y la corriente. Pueden considerarse varias combinaciones de velocidad de viento, oleaje (definido por la altura de ola y su periodo), velocidad de corriente y nivel de marea.
6. Cargas aplicadas: incluyen las cargas producidas por la operación del aerogenerador, incluyendo el peso de aerogenerador y torre metálica, las cargas de anclaje a la EA durante el transporte, en su caso, y las cargas de postesado si las hubiera.

Las cargas se derivan del análisis de las fases constructivas, de instalación y de operación. Algunos aspectos que deben considerarse en el análisis de las fases son las diferencias de presión entre caras de elementos y las cargas concentradas:

- El transporte mediante EA, en los casos en los que se requiera, puede implicar unión a la cimentación mediante varios puntos en muros o losas, que deberán soportar el tiro que realiza ésta.
- La introducción del lastre de agua que se lleva a cabo durante el fondeo se realiza de manera controlada, por lo que la cantidad de lastre de agua a introducir será progresiva y definida, tanto si la cimentación tiene compartimentos interiores como si se trata de una única cavidad. Por ello, puede darse la circunstancia de que los muros o losas de la cimentación se encuentren sometidos a grandes presiones hidrostáticas en su cara exterior (correspondientes a la columna de agua de profundidades de 30-50 m) y que dicha presión hidrostática no se encuentre compensada en la cara interior del elemento, pues el interior de la cimentación se encuentre parcialmente vacío de agua.
- La introducción del lastre definitivo (material sólido mezclado con agua), en el caso de GBFs con compartimentos interiores, se lleva a cabo mediante válvulas dispuestas en los muros o losas superiores. El llenado se realiza válvula a válvula, por lo que puede suceder que, durante alguna de las fases de llenado, una cara del muro que separa compartimentos esté sometida a la carga del lastre definitivo y la otra cara se encuentre sometida tan solo a la presión de lastre de agua.

Las cargas se introducen en el modelo, distribuidas en cada elemento que lo forma. En el caso de las cargas hidrodinámicas, se conoce el perfil de cargas en la vertical de la estructura, pero no la distribución horizontal. Para ello se realiza una estimación a partir de la información proporcionada por los ensayos numéricos y físicos realizados, descritos en la sección §3.4.2.3.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los mayores esfuerzos sobre las diferentes secciones de la estructura durante el paso de la ola tienen lugar entre los instantes de paso por cero ascendente hasta la cresta. Conocidas las presiones en varias secciones de la estructura, además de la resultante en la sección, se realiza un ajuste según una ecuación de la forma:

$$p_a = F_{x,sección}(C_1 \sin \alpha * C_2 \cos \alpha) + \frac{C_3}{\eta} \quad (46)$$

que permite conocer la presión en un instante dado p_a , [t/m²], para un punto de la sección de estudio, situado en un ángulo α , siendo $\alpha_0 = 0^\circ$ el frente de ataque de la

ola, en función de la fuerza resultante horizontal de la sección, $F_{x,sección}$ [t] y de la elevación de la ola en ese instante, η [m].

Los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 son diferentes para las secciones de la base y del mástil, tomando valores de acuerdo con lo expresado en la Tabla 24.

Tabla 24: Coeficientes de ajuste de presión horizontal

Sección	C_1	C_2	C_3
Base	-0,00199	0,02009	0,21896
Mástil	0,00932	0,03357	0,76519

La Figura 51 y la Figura 52 muestran un ejemplo de ajuste en una sección de la base y una sección del mástil respectivamente, para varios instantes de tiempo ente el cero ascendente y la cresta.

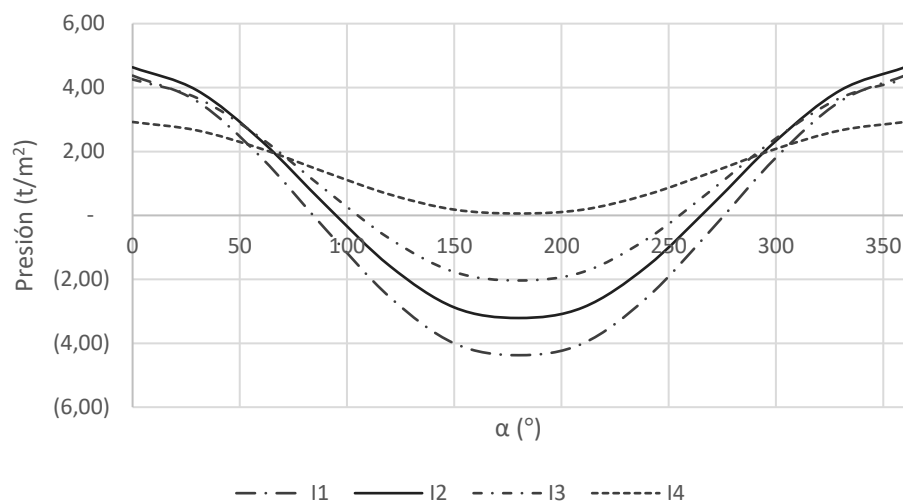


Figura 51: Ejemplo de distribución de presiones en sección base

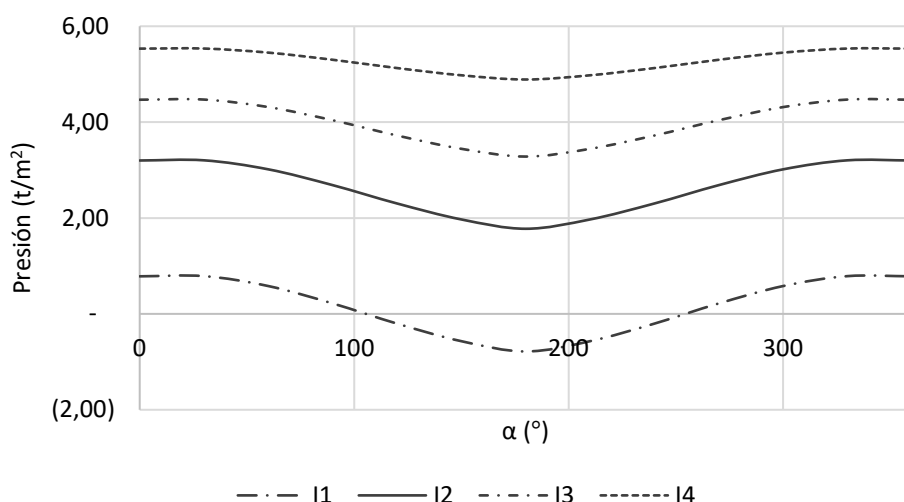


Figura 52: Ejemplo de distribución de presiones en sección mástil

Los requerimientos del análisis estructural son la verificación de tensiones en el terreno, la verificación de estados límite y el análisis modal. La verificación de estados límite consiste en una comprobación de limitación de tensiones de compresión en el hormigón, apertura de fisura y control de deflexiones para el ELS, y las tensiones en hormigón y acero para el ELU frente a sollicitaciones normales, cortante y torsión.

Al igual que para la verificación del diseño básico, se selecciona un único caso de combinación de cargas correspondiente al ELU (Tabla 12). Las cargas correspondientes al ELS deben estimarse a partir de la información disponible.

El análisis modal de la estructura permite obtener las frecuencias de vibración de ésta, que deben estar fuera del rango de frecuencias de operación del aerogenerador. Para el análisis modal es necesario definir las características geométricas de la torre metálica que se coloca sobre la estructura. Los diseños de torre metálica se realizarán y verificarán para cada una de las posiciones, pero deberá asumirse una geometría básica para la realización del proceso de prediseño de cimentaciones. Es preciso conocer las dimensiones aproximadas (diámetro superior, diámetro inferior, espesores) y la distribución aproximada de las masas. En cuanto al aerogenerador, es necesario conocer su masa y el rango de frecuencias admisibles.

Los coeficientes aplicables a materiales se recogen en la Tabla 25. Los coeficientes aplicables a las cargas en Estado Límite Último (ELU) y Estado Límite en Servicio (ELS) se muestran en la Tabla 26.

Tabla 25: Coeficientes parciales de seguridad de los materiales (Fuente: Ref. [22])

Estado límite	Hormigón γ_c	Acero pasivo y activo γ_s
ELU	1,5	1,15
ELS	1	1

Tabla 26: Coeficientes parciales de seguridad de las cargas para ELU y ELS (Fuente: Ref. [22])

Estado límite	Cargas permanentes G	Cargas variables Q	Cargas medioambientales E	Cargas postesado P
ELS	1	1	1	1
ELU 1	1,3	1,3	0,7	0,9/1,1
ELU 2	1	1	1,3	0,9/1,1

La clase de exposición se conoce mediante la Tabla 4.1 del Eurocódigo 2 (Ref. [18]). En el caso de las cimentaciones de gravedad puede considerarse como clase XS2, puesto que está permanentemente sumergida, a excepción de una parte del mástil cuya clase de exposición será la XS3, ya que pertenece a una zona de marea, salpicaduras y aspersiones.

3.7.2. MODELO ESTRUCTURAL

Se prepara el modelo de elementos finitos cumpliendo con la geometría definida. El tipo de modelo dependerá de la geometría de la alternativa seleccionada. En caso de tratarse de una estructura de sección circular (con diámetro constante o variable), puede representarse mediante un modelo de elementos tipo viga, ya que estos son suficientes para representar los esfuerzos de tipo axial, momento flector, momento torsor y cortante en una dirección. Este tipo de elementos se podrá emplear en el mástil y en ocasiones en la base (p. ej. cimentaciones tipo Thornton Bank), ya que permiten agilizar el proceso de modelado e introducción de cargas.

Para cimentaciones con secciones en las que deban conocerse los esfuerzos en dos direcciones debe recurrirse a elementos tipo placa. Los modelos con elementos tipo placa se emplean por ejemplo en bases en las que hay elementos interiores como rigidizadores.

El modelo incluye las masas e inercias de torre metálica y aerogenerador, para la simulación de los modos de vibración.

3.7.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizan tres aspectos diferentes: las tensiones en el terreno, las tensiones en los elementos que forman la estructura y los modos de vibración de la estructura.

3.7.3.1. TENSIONES EN EL TERRENO

El análisis de la distribución de tensiones verticales en el terreno se emplea para verificar que no se producen levantamientos de la base, es decir, que el terreno se encuentra en todos los casos comprimido. Se obtienen también los valores de compresión máxima que sufrirá el terreno, que proporcionan un orden de magnitud de la tensión que sufrirá, pero que deben complementarse con análisis de la capacidad portante.

3.7.3.2. VERIFICACIÓN DE ESTADOS LÍMITE

Se obtiene la cuantía de postesado y la armadura requerida para soportar los esfuerzos y garantizar que la apertura de fisura es inferior al límite establecido. Se analizan los resultados para identificar puntos críticos, elementos que requieren un armado excesivo o que deben aumentar su espesor. Se verifica también que el número de tendones de postesado requeridos sea razonable (p. ej. en el caso de Thorton Bank se dispusieron 32 tendones (Ref. [6])).

3.7.3.3. MODOS DE VIBRACIÓN

El diseño de los elementos de soporte del aerogenerador debe tener en cuenta las frecuencias naturales del mismo, con el objetivo de evitar que puedan entrar en resonancia si sus modos de vibración coinciden. Dichas frecuencias pueden representarse en un diagrama de Campbell (Figura 53).

La frecuencia natural (1P) se corresponde con la velocidad rotacional del rotor, ya que hace que una pala pase por delante de la torre. El resto de frecuencias naturales corresponden con los múltiplos de la frecuencia de giro del rotor (NP). Las líneas horizontales representan los modos de curvatura de la torre y de elementos empleados para el diseño del aerogenerador.

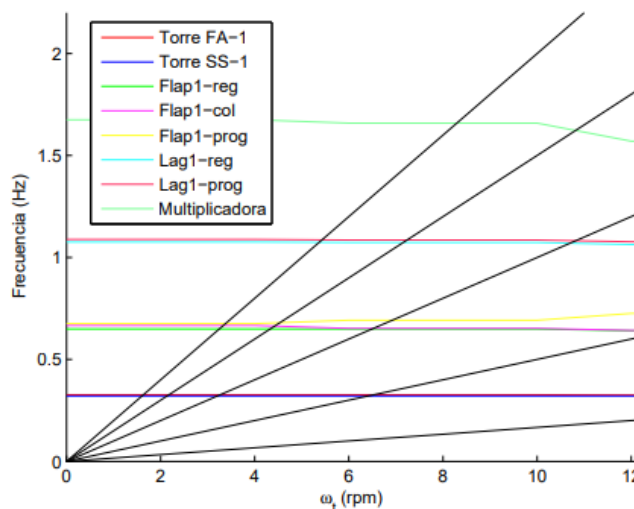


Figura 53: Diagrama de Campbell correspondiente a la turbina NREL de 5 MW (Fuente: Ref. [73])

El aerogenerador trabaja a un rango de velocidades que se encuentran entre $v_{w, \text{cut-in}}$, velocidad con la que comienza a proporcionar potencia, y $v_{w, \text{nom}}$, velocidad con la que consigue proporcionar la potencia nominal.

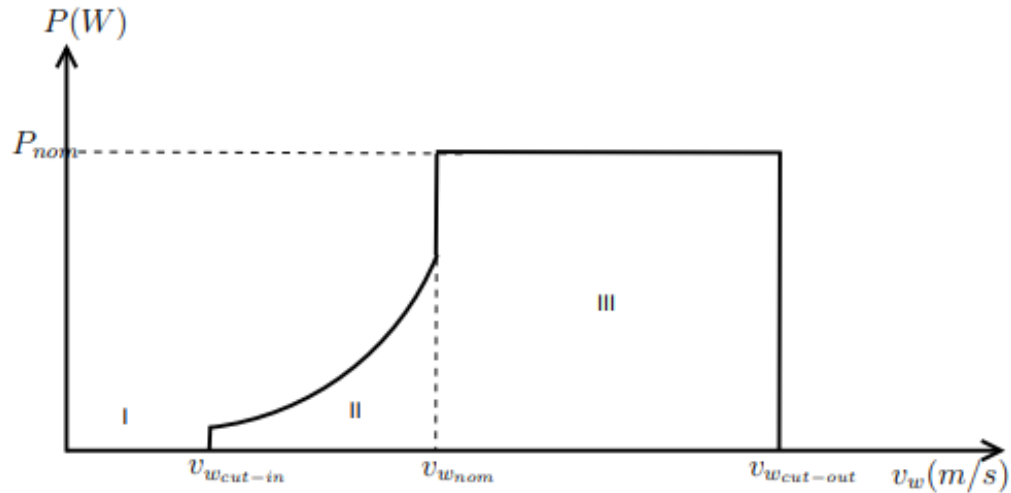


Figura 54: Curva de potencia ideal del aerogenerador (Fuente: Ref. [73])

A partir de estas velocidades se definen los rangos 1P y 3P que deben ser evitados. Se recomienda que se eviten en al menos un 10% (Ref. [74]). La Figura 55 muestra los rangos de frecuencia aceptables para los aerogeneradores de referencia NREL (5 MW), LeanWind (8MW) y DTU (10 MW).

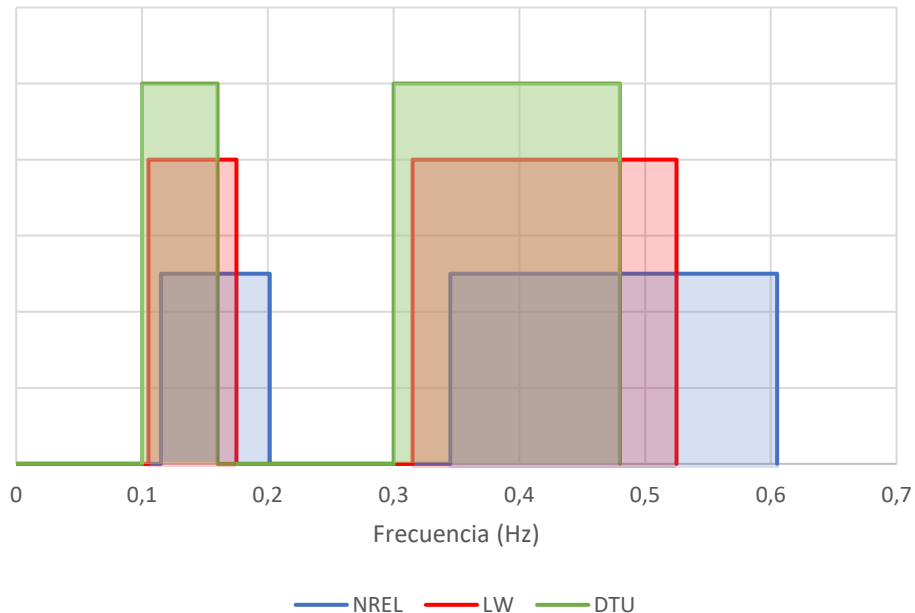


Figura 55: Rangos de frecuencia a evitar para tres aerogeneradores de referencia (Fuente: Ref. [43])

3.7.4. MODIFICACIÓN DEL DISEÑO

Identificados los elementos críticos del diseño, debe procederse a la modificación de la solución para solventar la problemática. La estrategia de modificación del diseño puede implicar cambios en la geometría básica (aumento de espesores, modificación de diámetro o longitud de elementos interiores, ...), o en la estrategia de construcción, transporte y fondeo, en caso de identificarse fases transitorias conflictivas.

Una vez propuesta la nueva geometría, se realiza el diseño básico de la solución modificada, verificando que se satisfacen los requerimientos establecidos. Posteriormente se realiza el análisis estructural. Al modificar el diseño, desaparecerán los puntos críticos anteriormente identificados, pero pueden aparecer nuevos puntos críticos. En ese caso deberá repetirse el proceso de modificación, puesto que no se trata de una solución válida.

Para evitar el realizar un número elevado de iteraciones de cálculo, algunos aspectos a tener en cuenta cuando se realiza el diseño conceptual de la solución son, por ejemplo, evitar que aquellos elementos que, debido al proceso constructivo o de instalación, vayan a estar sometidos a una diferencia de presiones entre sus caras, resulten tener una luz elevada. También debe reducirse en la medida de lo posible, la esbeltez del mástil, y los ángulos entre elementos que transmitan las cargas del mástil deben ser lo más próximos a 180° posible, para evitar la concentración de cargas.

3.8. DEFINICIÓN DE LA BANQUETA Y PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN

Para una correcta definición del prediseño, se considera interesante realizar una estimación de las características de la banqueta sobre la que se coloca la estructura, así como analizar la formulación existente para la definición de la protección contra la socavación y proponer un método de cálculo para la determinación de las características de dicha protección.

En el caso de la primera, se recoge a continuación la información existente para la definición del tamaño de material en cada una de las capas, así como algunas consideraciones para la determinación de su diámetro.

Para el cálculo de la protección contra la socavación, se plantea la metodología recogida en los estándares de referencia de DNVGL-ST-0126 (Ref. [22]), en la que se plantea que la posible socavación debe ser considerada y que las GBF requieren de protección contra la misma.

3.8.1. DEFINICIÓN DE LA BANQUETA

La estructura se coloca sobre una banqueta de apoyo, que transmite y reparte las cargas al lecho marino, al tiempo que ofrece una superficie más uniforme. Para la definición de dicha banqueta, deben identificarse los materiales y espesores de las capas que conforman la banqueta, así como la extensión en la que debe colocarse, verificando su estabilidad en todas las fases de la vida útil de la estructura.

El diseño de las capas de la banqueta debe impedir el arrastre de las partículas más finas de cada capa a través de la red de poros de las capas adyacentes, así como la del substrato. Además, se debe mantener la continuidad en la permeabilidad, de tal manera que no se produzcan cambios bruscos en la zona de transición de capas.

El método utilizado en la definición de las granulometrías se basa en el criterio de Terzaghi (Ref. [75]). Se define como D_x el diámetro que permite pasar el X % de la muestra.

3.8.1.1. LIMITACIÓN DE ARRASTRE DE PARTÍCULAS FINAS

Con el fin de impedir la pérdida del material fino de una capa filtrante subyacente o del material original del substrato, a través de los intersticios de la capa adyacente, han de satisfacerse dos requisitos:

- Las siguientes relaciones D_{15}^G/D_{85}^F deben ser inferiores a 5 (Ref. [76]).

$$\frac{D_{15}^G}{D_{85}^F} \leq 5 \quad (47)$$

El superíndice G representa la capa de material más grueso, mientras que por el contrario el F identifica a la capa de material más fino.

- Además, se ha de cumplir que la relación D_{50}^G/D_{50}^F esté comprendida entre 5 y 60 (Ref. [77]).

$$5 < \frac{D_{50}^G}{D_{50}^F} < 60 \quad (48)$$

La forma y la granulometría de los granos que componen las capas tienen influencia sobre el rango de valores que debe cumplir la relación anterior, pudiendo distribuirse según *“Principles governing the design and construction of economic revetments for protecting the banks of rivers and canals for ocean and inland navigation”* (Ref. [78]) en:

1. Elementos redondeados homogéneos entre 5 y 10.
2. Elementos angulares homogéneos (grava machaqueo), ente 10 y 30.

3. Elementos bien clasificados entre 12 y 60.

La uniformidad de la propia capa tiene un papel fundamental para que no se produzca el arrastre de partículas finas por los poros. Para minimizar este efecto, se debe definir una granulometría bien clasificada, mediante el estudio de la relación D_{60}/D_{10} . Esta relación sería igual a 1 en el caso de esferas iguales, por lo que un valor de 2 se considera muy buena granulometría. Los valores inferiores a 5 definen suelos muy uniformes (Ref. [79]).

La velocidad del agua en circulación a través de las capas será inferior a 0,50 m/s, para evitar el arrastre las partículas finas.

Los requisitos expuestos en este apartado permitirán describir las curvas granulométricas, en base a los porcentajes que pasan por las aperturas de tamiz que correspondan, definiendo D_{85} , D_{50} y D_{15} .

3.8.1.2. CONTINUIDAD DE LA PERMEABILIDAD

Para obtener una permeabilidad suficiente que no genere variaciones importantes en la permeabilidad del conjunto se utiliza la relación entre los $\frac{D_{15}^G}{D_{15}^F}$, que debe ser superior o igual a 5, no superando el valor de 40 (Ref. [79]).

$$40 \geq \frac{D_{15}^G}{D_{15}^F} \geq 5 \quad (49)$$

De forma análoga, esta relación depende de la forma y la granulometría por lo que se puede concretar más los valores que la Ec. (49) ha de cumplir, limitando el rango de solución:

1. Elementos redondeados homogéneos (grava de gravera), entre 5 y 10.
2. Elementos angulares homogéneos (grava de machaqueo), ente 6 y 20.
3. Elementos bien clasificados entre 12 y 40.

Para impedir la obturación del filtro, se recomienda también que, para cada capa:

$$D_5 > 0,75 \text{ mm} \quad (50)$$

3.8.1.3. RECOMENDACIONES PARA DEFINICIÓN DEL ESPESOR DE CAPA

Las partículas con un tamaño menor a 20 mm quedarán limitadas al 10% del peso del material. Esta limitación del tamaño menor de partículas es una recomendación y norma de buena práctica en la conformación de banquetas para limitar el arrastre de material (Ref. [66]).

Se asume que se va a producir arrastre de finos hasta un tamaño determinado, y esto es función de la velocidad de corriente y oleaje sobre esta capa. Para limitar este efecto se debe planificar la colocación de capas de forma que esté expuesta el mínimo posible a las acciones del mar.

Para los espesores mínimos de las capas se recomienda:

- Arena fina no inferior a 400 mm.
- Grava 400 mm.
- Para tamaños mayores de árido, se considera 3 veces el tamaño máximo del material.

La justificación para los dos primeros es en base al Pliego de Prescripciones técnicas. PG-3 (Ref. [80]), donde se recomiendan capas menores a 300 mm para su compactación en obras de carretera. Teniendo en cuenta que este proceso no se realiza bajo el agua implicando esta situación mayores dificultades. Por tanto, se considera que un valor mínimo ha de ser de 400 mm.

Para grandes tamaños de árido el espesor debe permitir que las partículas encajen unas entre otras en una misma capa, transmitiendo correctamente los esfuerzos. Esto hace necesario que exista una altura mínima de dos veces el tamaño máximo del material. No obstante, al no haberse tenido en cuenta las condiciones bajo el agua, se decide establecer una altura mínima de tres veces el tamaño máximo del material.

3.8.1.4. DEFINICIÓN DEL DIÁMETRO DE LA BANQUETA

La proximidad del talud de la banquetta de escollera a la base de la cimentación conlleva una disminución de la capacidad portante de la misma, cuantificable a efectos de reducción de resistencia frente a hundimiento, vuelco plástico y estabilidad global fundamentalmente.

Por esta razón, es adecuado definir el diámetro mínimo de la banquetta para el cual la cimentación mantenga intactas sus condiciones de estabilidad, así como el diámetro a partir del cual un mayor diámetro no produce efecto en las capacidades resistentes de la estructura.

En “ROM 0.5-05, *Geotechnical Recommendations for Design of Marine & Harbour Works*” (Ref. [81]) se contempla esta situación, proporcionando una metodología de cálculo basada en la incorporación de un nuevo coeficiente de corrección en la fórmula polinómica de Brinch-Hansen.

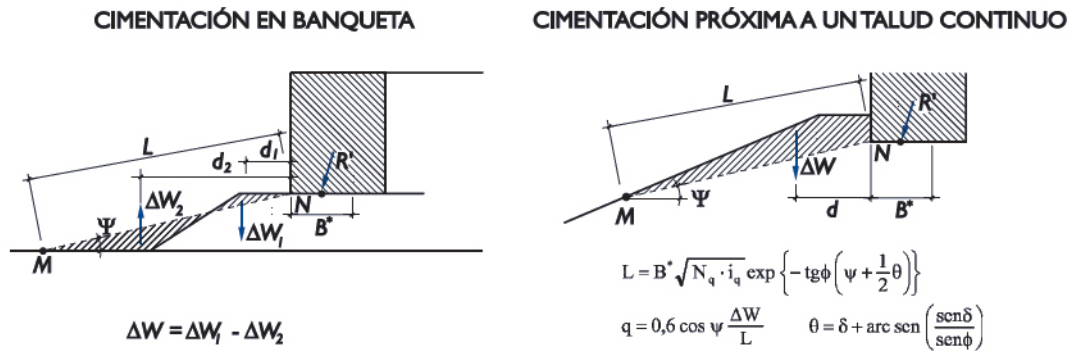


Figura 56: Cimentación sobre banqueta y próxima a un talud (Fuente: Ref. [81])

Esta formulación, no obstante, está sujeta a las limitaciones de cálculo convencionales de la presión de hundimiento, donde se deben tomar en cuenta consideraciones tales como la presencia de suelos homogéneos en profundidad, y la implicación de fuerzas horizontales y momentos como factores de corrección y el desarrollo de una base efectiva equivalente, respectivamente.

Por ello, se considera conveniente el cálculo mediante el método de elementos finitos, que permite llegar a una solución de mayor precisión. Así, se posibilita estudiar con certeza los márgenes de seguridad.

3.8.2. DEFINICIÓN DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN

Si bien el estándar de referencia DNVGL-ST-0126 (Ref. [22]) establece que las estructuras GBF deben instalarse con protección contra la socavación, no se ofrecen directrices sobre cómo debe calcularse. En el apéndice D del mencionado estándar se ofrecen directrices tan sólo para el cálculo de la socavación en torno a un pilote vertical.

En el artículo *"Scour Protection around gravity based structures using small size rock"* (Ref. [82]) también se señala que las guías de diseño no ofrecen tamaños mínimos de escollera ni espesores de las capas en relación con la socavación esperada, ni se encuentran disponibles ecuaciones que tengan en cuenta el efecto combinado de oleaje y corriente. Se define un método para la determinación de las características de la protección contra la socavación a partir del método propuesto por Khalfin (Ref. [83]), que Hoffmans y Verheij (Ref. [84]) modificaron para adaptarlo a GBFs, en el que se tiene en cuenta tan solo la corriente.

No obstante, este modelo propuesto tan solo ha sido verificado en modelos a escala. Se opta por seguir un enfoque basado en la determinación del tamaño mínimo de partícula que debe tener para que se cumplan las siguientes dos condiciones: que no se produzca socavación a lo largo del tiempo por el efecto continuado de la corriente constante y que no se produzca el arrastre puntual de material debido a la máxima acción que pueda

llegar a ocurrir durante la vida útil. Por ello, para este cálculo se considera un periodo de retorno de 50 años tanto para las corrientes como para el oleaje.

El siguiente organigrama resume las bases del procedimiento que se ha empleado para estimar el tamaño mínimo del material de protección:

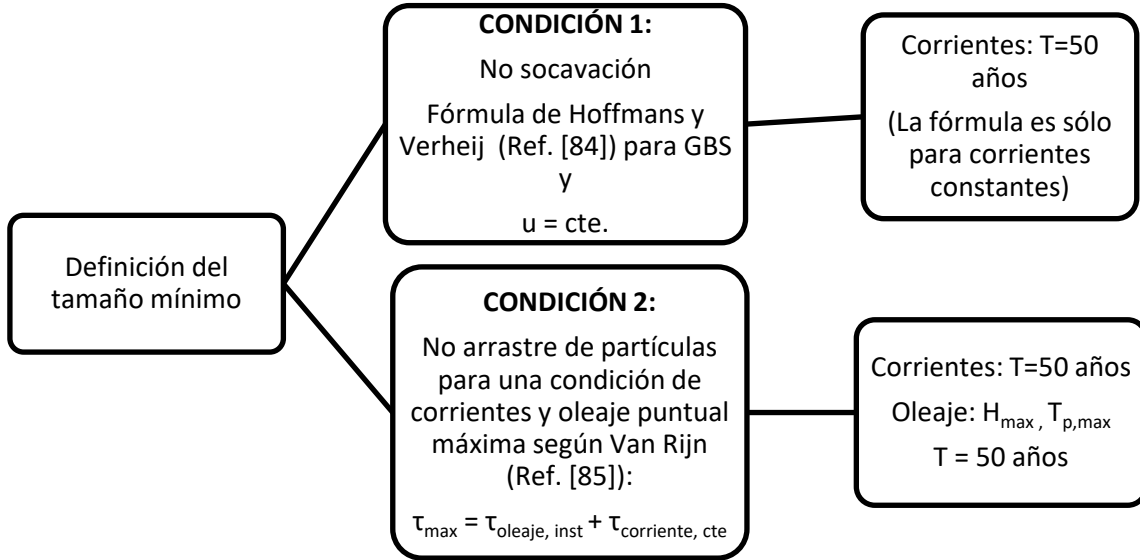


Figura 57: Organigrama de la definición del tamaño mínimo del material de protección

La primera condición se verifica aplicando la ecuación de cálculo de la profundidad de la socavación. A partir de ella, bastará con aplicar la condición de que la profundidad de socavación debe ser igual a cero para obtener la velocidad crítica de partícula con la que se inicia el movimiento. La ecuación para el cálculo de la profundidad de socavación es:

$$\frac{S}{\phi_{GBF}} = 8,96 \left(2 \frac{0,5\alpha_c U}{U_{cr}} - 1 \right) \left(\frac{h_{GBF}}{D_c} \right)^{1,43} \left(\frac{(0,5\alpha_c U)^2}{gh} \right)^N \quad (51)$$

Con $\frac{U}{U_{cr}}=1$ para $U \geq U_{cr}$ y $N = 0,83 \left(\frac{h_{GBF}}{\phi_{GBF}} \right)^{0,34}$

Donde S es la profundidad de socavación [m]; ϕ_{GBF} es el diámetro de la losa inferior de la GBF [m]; U es la velocidad de la corriente promediada con la profundidad [m/s]; U_{cr} es la velocidad crítica de partícula en la que se inicia el movimiento [m/s]; g es la aceleración debida a la gravedad [m/s²]; h_{GBF} es la altura total de la cimentación [m]; h es la profundidad [m]; α_c es un factor de influencia que representa la modificación del flujo en torno a la estructura, causada por la presencia de la estructura [-].

La velocidad de flujo promediada con la profundidad U es multiplicada por $0,5\alpha_c$ con $\alpha_c = 2$ para una estructura circular y $\alpha_c = 2,3$ para cimentación de sección rectangular, para expresar las turbulencias adicionales que se generan en las esquinas de la estructura.

En el libro “*Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*” (Ref. [85]), se realiza un repaso a diferentes enfoques y formulaciones para la determinación del movimiento de partículas sometidas a la acción de corrientes u oleaje. En él puede encontrarse la formulación necesaria para obtener la velocidad crítica de partícula en la que se inicia el movimiento, así como otras formulaciones para la determinación del movimiento de partículas. En dicho documento se recoge que la velocidad crítica de partícula se corresponde a la mínima velocidad de corriente que inicia el movimiento de los sedimentos para un determinado tamaño de partícula. El parámetro de Shields se emplea para calcular el inicio del movimiento.

$$\theta = \frac{u_*^2}{(s-1)gD} = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho)gD} \quad (52)$$

Donde u_* es la velocidad de fricción [m/s]; ρ_s es la densidad de las partículas [t/m³]; ρ es la densidad del fluido [t/m³]; s es la densidad relativa, ρ_s/ρ [-]; τ_b es la tensión a cortante de la banqueta [kPa] y D es el tamaño de partícula [m].

Cuando θ alcanza el valor crítico θ_{cr} , se corresponde con el inicio del movimiento de sedimentos. El factor θ_{cr} depende de las condiciones hidráulicas en torno a la banqueta, la forma de las partículas y la posición relativa de éstas. Una vez calculado el parámetro crítico de Shields, es posible obtener el tamaño mínimo de partícula que se movería, para evitar dicho tamaño.

Sin embargo, la velocidad en torno a la banqueta no está definida de manera precisa, por lo que es preferible emplear la velocidad crítica promediada con la profundidad $\bar{u}_{cr}$ como parámetro característico. La velocidad crítica promediada con la profundidad puede obtenerse de la tensión cortante de la banqueta empleando la ecuación Chézy. Asumiendo condiciones de flujo hidráulico áspero ($u_*k_s/\nu > 70$), la velocidad crítica promediada con la profundidad ($\bar{u}_{cr}$) para una banqueta plana puede expresarse como:

$$\bar{u}_{cr} = 5,75u_{*,cr} \log \frac{12h}{k_s} \quad (53)$$

Siendo $u_{*,cr} = \theta_{cr}^{0,5}[(s-1)gd_{50}]^{0,5}$ y $k_s = \alpha d_{90}$

Donde $u_{*,cr}$ es la velocidad crítica de fricción [m/s]; h es la profundidad [m]; k_s es la aspereza efectiva de la banqueta [m]; α es el coeficiente que depende del tamaño del sedimento ($\alpha = 1$ para piedras $d_{50} > 0,1$ m y $\alpha = 3$ para arena y grava) y d_{90} es el tamaño de partícula que supera el 90% del tamaño del resto [m].

La ecuación puede expresarse como:

$$\bar{u}_{cr} = 5,75 \theta_{cr}^{0,5} [(s-1)gd_{50}]^{0,5} \log \frac{12h}{\alpha d_{90}} \quad (54)$$

Empleando la Ec. (54), tomando $\alpha = 3$ y $d_{90} = 2d_{50}$ y la curva de Shields, la velocidad crítica promediada por la profundidad para partículas de arena en el rango de 0,0001 a 0,002, Van Rijn, (Ref. [85]) propone :

$$\begin{aligned} \bar{u}_{cr} &= 0,19[d_{50}]^{0,1} \log \left(\frac{12h}{3d_{90}} \right) \text{ para } 0,0001 \leq d_{50} \leq 0,0005 \text{ m} \\ \bar{u}_{cr} &= 8,50[d_{50}]^{0,6} \log \left(\frac{12h}{3d_{90}} \right) \text{ para } 0,0005 \leq d_{50} \leq 0,002 \text{ m} \end{aligned} \quad (55)$$

Existen numerosas expresiones para determinar la velocidad crítica promediada para la grava y piedra ($d_{50} \geq 0,002 \text{ m}$) en la bibliografía. Neill (Ref. [86]) y Maynord (Ref. [87]) proponen, respectivamente, las siguientes:

$$\bar{u}_{cr,Neill} = 1,4[(s-1)gd_{50}]^{0,5} \left[\frac{h}{d_{50}} \right]^{1/6} \quad (56)$$

$$\bar{u}_{cr,Maynord} = 1,3[(s-1)gd_{50}]^{0,5} \left[\frac{h}{d_{50}} \right]^{1/6} \quad (57)$$

Por otra parte, se define el tamaño mínimo d_{50} para evitar el movimiento debido a la corriente instantánea, producida por la acción del oleaje más la corriente, aplicando la Ec. (58).

$$\tau_{b,cw} = \tau_{b,c} + \tau_{b,cr} \quad (58)$$

donde

$$\begin{aligned} \tau_{b,cr} &= (\rho_s - \rho)gd_{50}\theta_{cr} \\ \tau_{b,w} &= \left(\frac{1}{4} \right) \rho f_w \hat{U}_\delta^2 \\ f_w &= \exp \left(-6 + 5,2 \left(\frac{\hat{A}_\delta}{k_s} \right)^{-0,19} \right) \\ \tau_{b,c} &= \frac{\rho g (\bar{u})^2}{18^2 \log^2 \left(\frac{12h}{k_s + 3,3v/u_{*,c}} \right)} \end{aligned}$$

El tamaño mínimo de la protección contra la socavación será el valor máximo de los dos obtenidos.

El tamaño del material se calcula analíticamente, con el objetivo de evitar el arrastre del material de protección durante toda la vida útil de la estructura, considerando para ello combinaciones de cargas extremas con períodos de retorno de 50 años. No obstante, una situación de cargas excepcional, así como la escasa información empírica de la que se dispone para poder realizar un cálculo analítico preciso, podría llevar a situaciones en las que el material, una vez instalado, sufriera cierto nivel de daño.

Dado que se trata de un sistema de protección, el arrastre de algunos elementos no supondría la ruina de la estructura. El material de protección puede sufrir cambios durante su vida útil siempre y cuando el material inferior, base de la cimentación, se mantenga intacto.

En cuanto a la definición de la extensión de la protección, puede estimarse a partir de un estudio de la zona de influencia de la cimentación en el terreno bajo las cargas de servicio, mediante un software que emplea el método de elementos finitos.

Dadas las características de la cimentación y de los casos de carga, se propone desarrollar un modelo 2D de elementos finitos bajo deformación plana. De acuerdo con la normativa “*DNV Classification Notes 30.4*” (Ref. [88]), la transformación de una base circular a una base rectangular en deformación plana se debe realizar desarrollando una superficie equivalente de igual área y momento de inercia. Los dos criterios expuestos aportan como consecuencia una base de área $A = B \cdot L$, donde:

$$B = \sqrt{3} \cdot R \quad (59)$$

$$L = \pi R / \sqrt{3} \quad (60)$$

El momento se introduce simulando un par de fuerzas distanciado la dimensión B entre los bordes de la cimentación.

El modelo elasto-plástico de Mohr-Coulomb, con el cual se modelan las capas más profundas del suelo, involucra cinco parámetros fundamentales: El módulo de Young E y el coeficiente de Poisson ν para la elasticidad del suelo, el ángulo de rozamiento interno ϕ y la cohesión c para la resistencia y plasticidad, y ψ como el ángulo de dilatación.

En contraste con un modelo elasto-plástico perfecto, la superficie de fluencia de un modelo de plasticidad endurecible no es fija en el espacio de las tensiones principales, ya que ésta puede expandirse debido a deformaciones plásticas. Por ello y dadas las características de algunos suelos, puede ser necesario emplear el modelo constitutivo Hardening-Soil, o modelo de plasticidad endurecible.

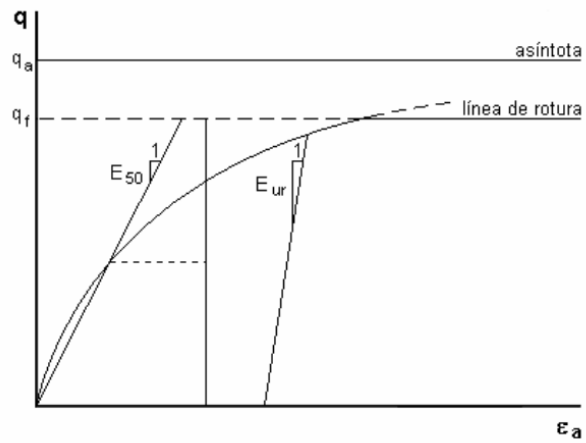


Figura 58: Modelo hiperbólico Hardening-Soil

Se analiza la extensión que es necesario proteger para que la socavación no tenga afección en los coeficientes de seguridad de la estructura, para las cargas analizadas.

CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA

4.1. INTRODUCCIÓN

Para la validación de la metodología se presenta un caso de estudio realizado como parte de un proyecto con la empresa Iberdrola Renovables Energía. El departamento de Dirección de Prospectiva y Tecnología de Iberdrola Renovables Energía deseaba realizar un estudio sobre posibles soluciones GBF para emplazamientos en estudio. Dado que se trataba de estudios de viabilidad, estas soluciones debían proponerse partiendo de información inicial limitada y con plazos reducidos.

Por ello, se tomó la decisión de desarrollar una herramienta que permitiese analizar varias geometrías y estrategias de construcción e instalación, y realizar comparaciones entre ellas para obtener una solución optimizada para cada emplazamiento.

Posteriormente, se decidió realizar el análisis estructural detallado de la estructura seleccionada, lo que permitió identificar posibles aspectos de mejora, y llevó a una solución de prediseño satisfactoria sobre la que se realizó una patente (Ref. [89]).

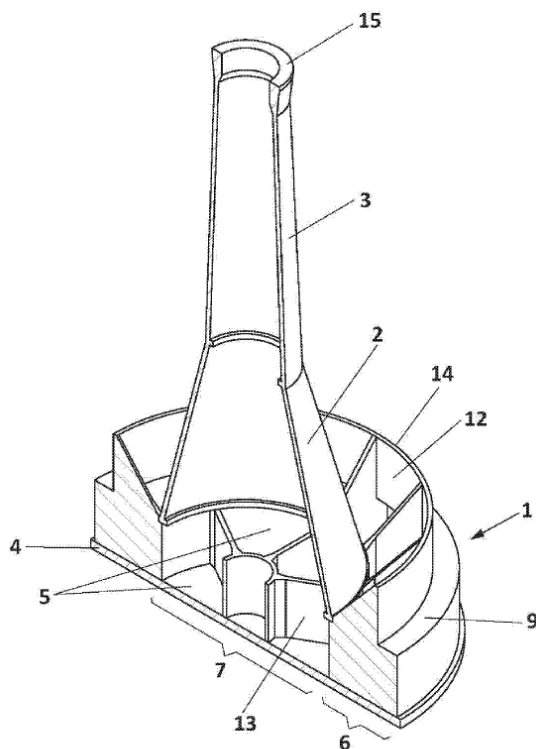


FIG. 1

Figura 59: Imagen de la patente resultado del proyecto realizado en colaboración con la empresa Iberdrola (Ref. [89])

4.2. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS BÁSICOS

En diversas reuniones mantenidas con Iberdrola Renovables Energía, y tras la recopilación de la información disponible, se definen las especificaciones de diseño de la estructura y los diferentes requerimientos que se deben satisfacer.

4.2.1. REVISIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE PROYECTO

El caso de estudio consiste en un parque eólico situado en las aguas del Mar Céltico, con una capacidad total de 500 MW. Se instalan 100 turbinas de 5 MW de potencia. Dada la presencia de terrenos rocosos en el emplazamiento, se propone el diseño de una cimentación tipo GBF.

Tras la recopilación de información referente a las condiciones meteoceánicas, geotécnicas y especificaciones del aerogenerador, se obtienen los parámetros básicos para la definición del caso, y se recogen en la Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29.

Tabla 27: Parámetros básicos del emplazamiento

Parámetros básicos del emplazamiento		Valor
DIST	Distancia a la costa	40 km
LAT	Nivel correspondiente a la marea astronómica más baja	28-41 m
MSL	Nivel medio	+6,00 LAT
MHWS	Nivel medio de las pleamares vivas	+11,60 LAT
HAT	Nivel correspondiente a la marea astronómica más alta	+12,00 LAT
EWSL	Nivel extremo de las aguas	+13,40 LAT
$H_{s,RP=50yr}$	Altura significativa de ola para RP= 50 años	8,65 m
$H_{max,RP=50yr}$	Altura máxima de ola para RP= 50 años	14,8 m
$T_{0,RP=50yr}$	Periodo de ola asociado	13,4-18 s
$U_{c,0,RP=50yr}$	Velocidad de corriente en superficie para RP=50 años	2,05 m/s
$U_{wind,ref}$	Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie para RP=50 años	30,1 m/s

Tabla 28: Parámetros básicos del aerogenerador

Parámetros básicos de aerogenerador y torre		Valor
$Unit_{WTG}$	Número de aerogeneradores instalados	100 u
Pot	Potencia del aerogenerador	5 MW
$\varnothing_{WTG}$	Diámetro de palas	135 m
$H_{HUB,LAT}$	Altura del HUB sobre LAT	90 m
$H_{HUB,INT}$	Altura del HUB sobre interfaz torre-GBF	4 m
$\varnothing_{MAST,SUP}$	Diámetro en interfaz torre-GBF	6 m
W_{WTG}	Peso del aerogenerador	365,45 t
CDG_{WTG}	CDG del aerogenerador (+LAT)	100,07 m
W_{torre}	Peso de la torre metálica	360,22 m
CDG_{torre}	CDG torre metálica (+LAT)	55,84 m

Tabla 29: Parámetros básicos de terreno y banqueteta

Parámetros básicos de terreno y banqueteta		Valor
ϕ	Ángulo de rozamiento interno	38°
ϕ_c	Ángulo de rozamiento interno de la interfaz GBF-banqueta	32°
γ'	Peso específico	11,5 kN/m ³
c	Cohesión	0 kN/m ²

4.2.2. REVISIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

Se realiza una revisión de los puertos cercanos y se verifica que existen instalaciones con calados de aproximadamente 12-13 m, que no disponen de dique seco, pero que cuentan con áreas que podrían adaptarse para realizar construcción en tierra y áreas para el acopio temporal de GBFs hasta su transporte al emplazamiento final. Se limita el calado al que puede sacarse la cimentación del puerto a 11,5 m (R₁), suponiendo que el calado del puerto es de 13 m.

En cuanto a la instalación, se mantienen varias alternativas de estudio. Se contempla la posibilidad de construcción de una EA específica para el proyecto, que pueda aportar flotabilidad o estabilidad a la estructura en las fases en las que resulte necesario. En este aspecto, se contacta con un diseñador que proporcionará la información básica a tener en cuenta en el prediseño.

Se establece como requisito que el tiro máximo que debe soportar la EA sea inferior a 3.500 t en todo momento (R₂), y que el diámetro de la cimentación sea igual o inferior a 35 m (R₃). Estas restricciones se encuentran en el mismo orden de magnitud que los valores permitidos por los equipos empleados para transporte y fondeo de cimentaciones de gravedad, como se explica en el apartado §2.2.

Se establece que durante el transporte la altura metacéntrica deberá ser superior a 1 m (R₄). En referencias consultadas (Ref. [45]) señala 0,5 m como valor mínimo para el transporte, pero se considera que es conveniente contar con un margen de seguridad superior.

Por último, se establece que las geometrías que sean susceptibles de perder su estabilidad por la acción de una ola (tipo cajón con losa horizontal) y sean transportadas de manera autoestable, deberán hacerlo asegurando un francobordo superior a 2 m (R₅), para asegurar que no se producen inestabilidades durante el transporte al superar las olas la altura de la losa superior.

Tabla 30: Requerimientos de instalación

Requerimientos de instalación				
#	Requerimiento	Parámetro		Límite
R ₁	Calado en puerto	C _{port}	Calado en puerto	≤ 11,50 m
R ₂	Tiro emb. aux.	F	Flotabilidad	≥ -3.500 t
R ₃	Diámetro máx.	Ø _{conex}	Diámetro de conexión	≤ 35,00 m
R ₄	Autotransportable	H _{m,port}	Altura metacéntrica en transporte	≥ 1,00 m
R ₅	Autotransportable 2	fb	Francobordo en transporte	≥ 2,00 m

4.2.3. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS EN SERVICIO

Todas las soluciones deben ser verificadas frente a levantamiento (R₆), capacidad portante (R₇) y deslizamiento (R₈). El requisito R₆, referente al levantamiento, resulta determinante para el diseño de muchas de las alternativas. El resto de requerimientos operativos son ampliamente satisfechos en todos los casos.

Tabla 31: Requerimientos operacionales

Requerimientos operacionales				
#	Requerimiento	Parámetro		Límite
R ₆	Levantamiento	e/Ø _{GBF}	Excentricidad/diámetro Losa inferior	≤ 0,125
R ₇	Capacidad portante	FS ₁	Factor de Seguridad	≥ 1
R ₈	Deslizamiento	FS ₂	Factor de Seguridad	≥ 1

Para las verificaciones en servicio se aplican las combinaciones de carga y factores de seguridad establecidos en §3.2.3.

4.3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Tras la revisión del estado del arte y valorando los condicionantes específicos del proyecto, se opta por analizar cuatro geometrías diferentes. Estas geometrías representan los conceptos más frecuentemente propuestos, así como nuevas alternativas que se consideran potencialmente competitivas, y permiten identificar los puntos críticos y comportamientos de cada tipología.

Las diferentes estrategias de transporte e instalación planteadas buscan abarcar un amplio espectro de posibilidades, así como obtener información de las posibles mejoras que puede suponer utilizar otros materiales, como puede ser emplear parte de lastre de alta densidad en lugar de arena, o mástil metálico en lugar de mástil de hormigón.

Tabla 32: Matriz de alternativas de estudio

		I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
		Instalación mediante embarcación auxiliar, HD	Instalación mediante embarcación auxiliar	Autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	GBF + WTG autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	Mástil metálico, autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar
G_1	Base cilíndrica con rigidizadores	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}
G_2	Base circular con celdas	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_{25}
G_3	Base cónica	S_{31}	S_{32}	S_{33}	S_{34}	S_{35}
G_4	Base cilíndrica + cónica	S_{41}	S_{42}	S_{43}	S_{44}	S_{45}

La combinación de las alternativas planteadas (Tabla 32) representa las 20 soluciones que se analizan.

4.3.1. ALTERNATIVAS DE GEOMETRÍA ANALIZADAS

Todas las geometrías analizadas están formadas por una losa inferior, una base y un mástil, siendo todos los elementos de hormigón armado salvo en los casos puntuales en los que se analiza la instalación de un mástil metálico.

- GEOMETRÍA 1 (G_1): Base cilíndrica con rigidizadores

La geometría propuesta (Figura 60) consiste en una base de sección circular constante, con un cilindro interior concéntrico. Entre ambos cilindros se dispone de una serie de rigidizadores radiales, creándose entre ellos compartimentos que posteriormente serán rellenados con lastre. El cilindro interior se prolonga hasta el mástil, que tiene forma troncocónica. La losa superior que une la base y el mástil tiene una ligera inclinación.

- GEOMETRÍA 2 (G_2): Base cilíndrica con celdas

Solución basada en la geometría de los cajones flotantes (Figura 60), consistente en una base de sección circular, maciza, en la que se disponen celdas circulares, que posteriormente albergarán el lastre. Sobre la base se dispone de una losa horizontal. El mástil tiene forma troncocónica. En este caso, la proporción de armado será inferior al anterior, aumentando notablemente la cantidad de hormigón.

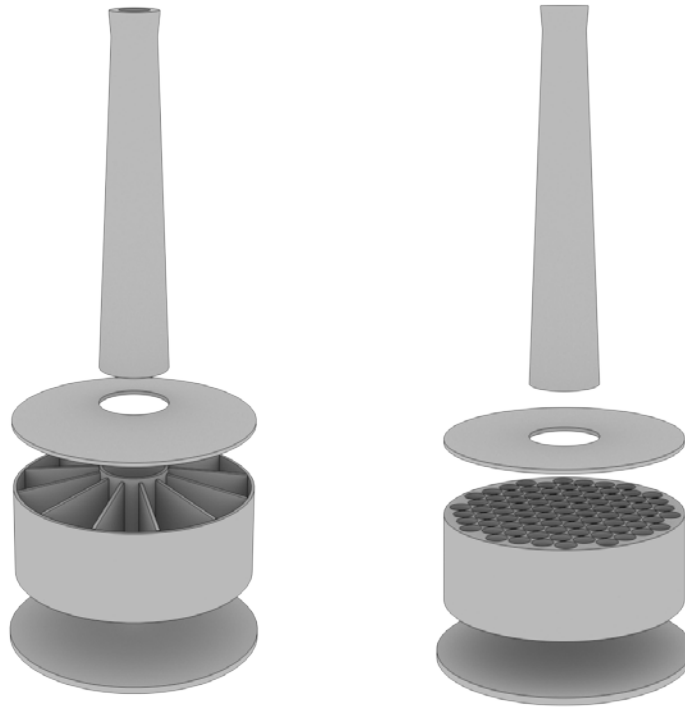


Figura 60: Esquemas de la G_1 (izda.) y G_2 (dcha.)

- GEOMETRÍA 3 (G_3): Base cónica

La solución se basa en la geometría empleada en varios proyectos, entre ellos Thornton Bank (Ref. [6]). Consiste en una base troncocónica, sobre la que se ubica un mástil también troncocónico, formando en su interior una única cavidad (Figura 61). Esta disposición simplifica las operaciones de lastrado, y ofrece una estructura esbelta a la par que rígida, en la que las cargas se transmiten directamente del mástil a la losa inferior a través de la base troncocónica.

- GEOMETRÍA 4 (G_4): Base cilíndrica + cónica

Por último, se estudia una solución similar a las propuestas por Skanska (véase §2.2). Se trata de un híbrido entre las Geometrías 1 y 3, ya que cuenta con una base cilíndrica en cuyo interior se hayan una serie de rigidizadores y un cilindro interno, sobre la que se dispone un tramo troncocónico de pendiente elevada para realizar la transmisión de cargas. El cilindro interior se prolonga hasta su unión con el mástil, también cilíndrico y del mismo diámetro.

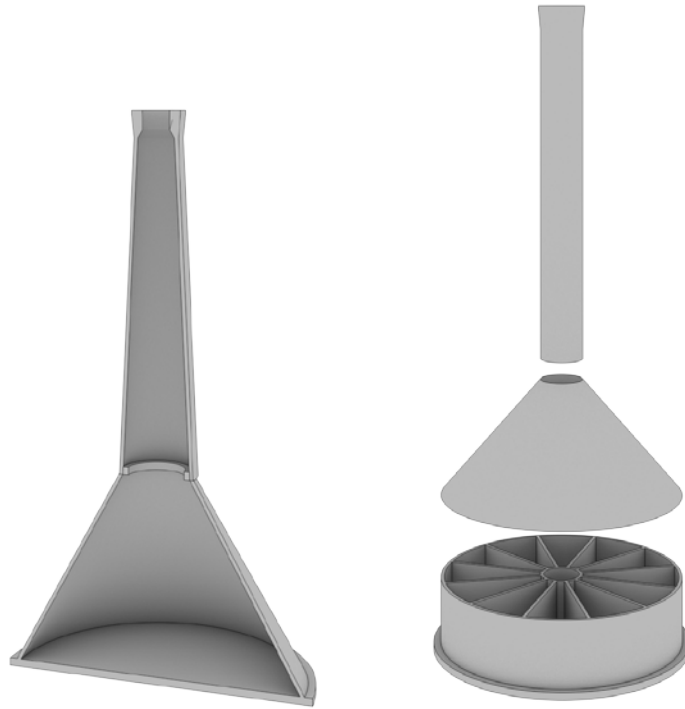


Figura 61: Esquemas de la G₃ (izda.) y G₄ (dcha.)

4.3.2. ALTERNATIVAS DE INSTALACIÓN ANALIZADAS

Se consideran cinco estrategias de instalación diferentes, que pueden agruparse en tres alternativas de procedimiento de transporte y fondeo y dos alternativas en cuanto a materiales.

- Soluciones no flotantes (I_1 e I_2): representan la estrategia de cimentación de menor tamaño posible, que requiere de una EA para su transporte y fondeo. Se estudia el empleo de lastre de alta densidad (6.000 t) (I_1) para valorar la reducción de tamaño de cimentación que supone. La cantidad de lastre de alta densidad considerada viene dada por el volumen que el suministrador (LKAB) considera razonable para el suministro en un plazo de dos años.
- Soluciones autoestables en transporte (I_3 , I_4 e I_5): representan la estrategia de transporte de cimentación mediante remolcadores, conexión de la cimentación con una EA en un punto de abrigo y fondeo con apoyo de la EA. Esto reduce notablemente el tiempo de viaje de la EA, por lo que el ritmo de instalación es más rápido. Se estudia la alternativa de sustituir el mástil de hormigón, ya que esto reduce la altura del centro de gravedad y favorece a la estabilidad de la GBF, y puede llevar a tamaños de cimentación más pequeños, si bien puede implicar un aumento en el coste (I_5). Se estudia la posibilidad de realizar el transporte incluyendo el aerogenerador y la torre metálica, porque podría conducir a importantes reducciones de coste (I_4).

El análisis de esta batería de casos permite identificar las ventajas e inconvenientes de cada estrategia, señalando los puntos fuertes y débiles de cada una de ellas.

4.3.3. DETERMINACIÓN DE GEOMETRÍA BÁSICA PARA LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

Aplicando la Ec. (2) se calcula la altura de la cimentación, correspondiente a la mayor profundidad, LAT = 41m. La altura mínima obtenida es 63,3 m. No obstante, se decide diseñar la cimentación para una altura de 67 m para estar del lado de la seguridad.

Se establecen los valores de algunos parámetros, que serán comunes a todas las alternativas de estudio (Tabla 33), como la altura de la losa inferior o las dimensiones del sobreancho del mástil para la unión con la pieza de transición (Figura 62).

Tabla 33: Parámetros comunes para todas las alternativas

Parámetros comunes para todas las alternativas		Valor
h_{LINF}	Altura de losa inferior	1,00 m
e_{MAST}	Espesor del mástil	0,50 m
e_{BASE}	Espesor de pared de la base	0,50 m
$\frac{(\phi_{WTG} - \phi_{BASE})}{2}$	Sobreancho de losa inferior	1,00 m

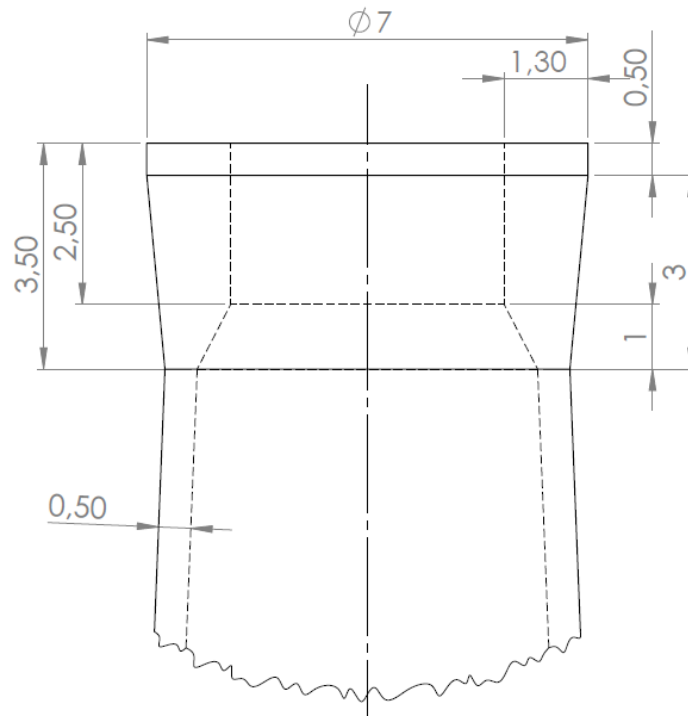


Figura 62: Croquis de sobreancho en el mástil para conexión con la pieza de transición

El resto de los parámetros necesarios para definir la geometría, salvo la altura y diámetro de la base, se fijan para cada una de las alternativas. En el ANEXO II se recogen los esquemas geométricos de cada alternativa con la identificación de los parámetros de caracterización.

Para definir la G_1 es necesario determinar los espesores de todos los elementos, número de compartimentos de lastre (que vendrá dado por el número de rigidizadores), y los diámetros de cilindro interior y mástil, así como la inclinación de la losa superior. Los valores fijados para el espesor son los habituales en construcción in situ. Espesores menores a 35-40 cm pueden resultar problemáticos con las técnicas constructivas seleccionadas, y entorpecer el proceso. Espesores superiores a 60 cm pueden llevar a penalizar la flotabilidad de la solución.

Tabla 34: Parámetros fijos de la G_1

Parámetros fijos de G_1		Valor
i_{LSUP}	Inclinación de la losa superior	10°
n_{RIG}	Número de rigidizadores	12 u
$\varnothing_{MAST,INF}$	Diámetro inferior del mástil	10,00 m
$\varnothing_{CIL}$	Diámetro de cilindro interior	10,00 m
e_{LSUP}	Espesor losa superior	0,60 m
e_{CIL}	Espeso cilindro interior	0,50 m
e_{RIG}	Espesor rigidizadores	0,50 m

Se considera una pequeña inclinación de la losa superior (10°), para que la transición de diámetro durante el fondeo no sea brusca, pero permaneciendo quasi-horizontal desde el punto de vista de afección a las cargas hidrodinámicas. Para analizar el efecto de una losa más inclinada se incluye la G_4 .

Para el cálculo de las alternativas de la G_2 , debe estimarse la proporción de volumen que representan las celdas en el interior de la base, para evitar calcular el número de celdas para cada diámetro de estudio. Se calcula una sección con $\Phi_{BASE} = 35,00$ m, diámetro de celda 3,00 m y espesor de pared entre celdas 0,25 m, de acuerdo con la Ref. [90]. El ratio de volumen de celdas respecto al volumen de hormigón es de 70%.

Tabla 35: Parámetros fijos de la G_2

Parámetros fijos de G_2		Valor
r_{celdas}	Ratio celdas base	70%
$\varnothing_{MAST,INF}$	Diámetro inferior del mástil	10,00 m
$\varnothing_{CIL}$	Diámetro de cilindro interior	10,00 m
e_{LSUP}	Espesor losa superior	0,60 m
e_{CIL}	Espeso cilindro interior	0,50 m

En el caso de las alternativas de la G_3 tan solo es necesario definir el diámetro de la base del mástil. La inclinación se incluye como un requerimiento geométrico en la verificación, dado que es función de los parámetros de diseño h_{BASE} y $\emptyset_{BASE}$. Se limita a un valor mínimo de 60° para que haya una correcta transmisión de las cargas entre los elementos.

Tabla 36: Parámetros fijos de la G_3

Parámetros fijos de G_3		Valor
$\emptyset_{MAST,INF}$	Diámetro inferior del mástil	10,00 m

Por último, en el caso de la G_4 deben definirse parámetros similares a los de la G_1 . El espesor de la transición se fija en 1 m, debido a la previsión de los grandes esfuerzos que deberá soportar durante la fase de instalación.

Tabla 37: Parámetros fijos de la G_4

Parámetros fijos de G_4		Valor
i_{TRANS}	Inclinación de transición	50°
n_{RIG}	Número de rigidizadores	12 u
$\emptyset_{MAST,INF}$	Diámetro inferior del mástil	7,00 m
$\emptyset_{CIL}$	Diámetro de cilindro interior	7,00 m
e_{LSUP}	Espesor losa superior	1,00 m
e_{CIL}	Espesor cilindro interior	0,50 m
e_{RIG}	Espesor rigidizadores	0,50 m

Se define la geometría básica de la banqueta y la protección contra la socavación para poder considerar el material y tiempo de colocación en la posterior planificación y estimación de costes.

Tabla 38: Parámetros básicos para la definición de la banqueta y protección contra la socavación

Parámetros básicos de banqueta y protección contra la socavación		Valor
s_{bed}	Distancia del borde de la losa inferior a berma de banqueta	3,00 m
e_{bed}	Espesor de banqueta	0,80 m
$\emptyset_{SP}$	Diámetro de protección contra la socavación	$2,5 \emptyset_{GBF}$
e_{SP}	Espesor de protección contra la socavación	1,00 m

Definidos estos parámetros, puede realizarse el diseño de cada una de las alternativas propuestas, que serán función tan solo de los parámetros h_{BASE} y $\emptyset_{BASE}$.

4.4. DETERMINACIÓN DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

Se obtienen para cada alternativa las cargas permanentes y medioambientales, dependientes de la geometría. Las cargas aplicadas en la base de la torre metálica del aerogenerador son iguales para todas las soluciones.

Tabla 39: Cargas de aerogenerador y torre metálica, en la base de la torre

Cargas aerogenerador y torre metálica		
$H_{wind,WTG}$	1,55	MN
Fv_4	7,11	MN
$M_{wind,base\ torre}$	107,40	MN.m

Cada solución, definida mediante (h_{BASE} ; $\varnothing_{BASE}$) variarán tanto en peso como volumen desplazado, así como el lastre que es capaz de albergar en su interior. En la Figura 63 se observa la variación del peso propio al modificar los parámetros para la G_1 , y en la Figura 64 el mismo valor para la G_2 . En la Figura 65 se recogen las curvas que muestran la variación del peso de cada una de las cuatro geometrías, para valores de h_{BASE} del orden de magnitud de las soluciones posteriormente obtenidas.

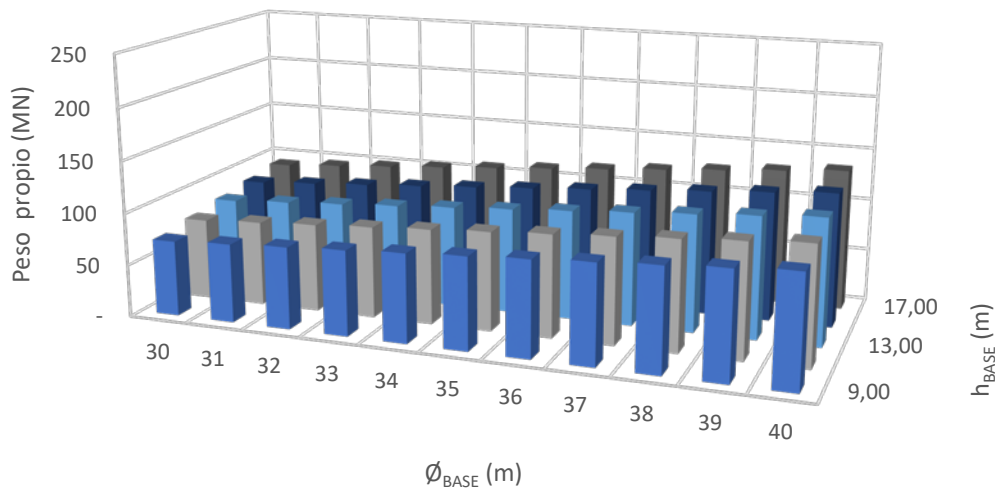


Figura 63: Variación del peso propio de la estructura con los parámetros de diseño (G_1)

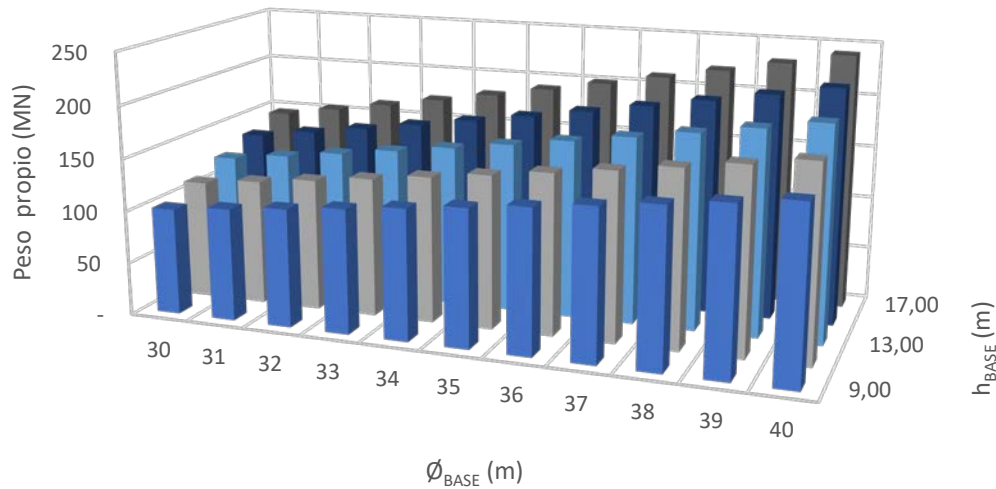


Figura 64: Variación del peso propio de la estructura con los parámetros de diseño (G_1)

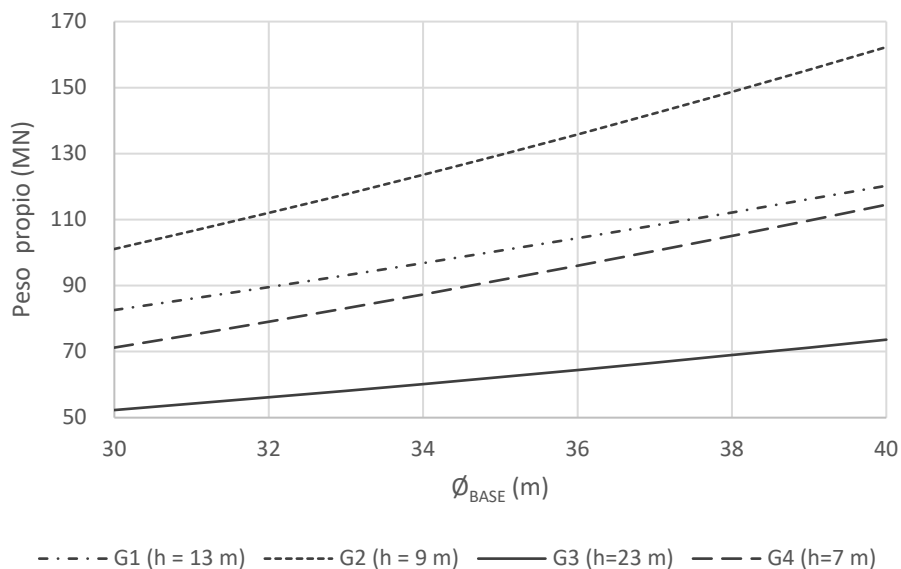


Figura 65: Comparación de la carga debida al peso propio de las cuatro geometrías

Se deduce de estas figuras que la G_3 se trata de la más ligera, ya que no cuenta con elementos interiores, mientras que la G_2 , que cuenta con una estructura de mucha densidad, se presenta como la solución de mayor peso. La G_1 y la G_4 se encuentran en un orden de magnitud similar, con valores intermedios.

La Figura 66 muestra la variación de la carga debida al empuje de cada una de las geometrías. En este caso se observa que la G_1 y la G_4 son las que producen mayor desplazamiento, mientras que la G_2 y la G_3 se encuentran muy próximas entre sí. No obstante, ambas geometrías son también las que mayor capacidad de albergar lastre tienen (Figura 67).

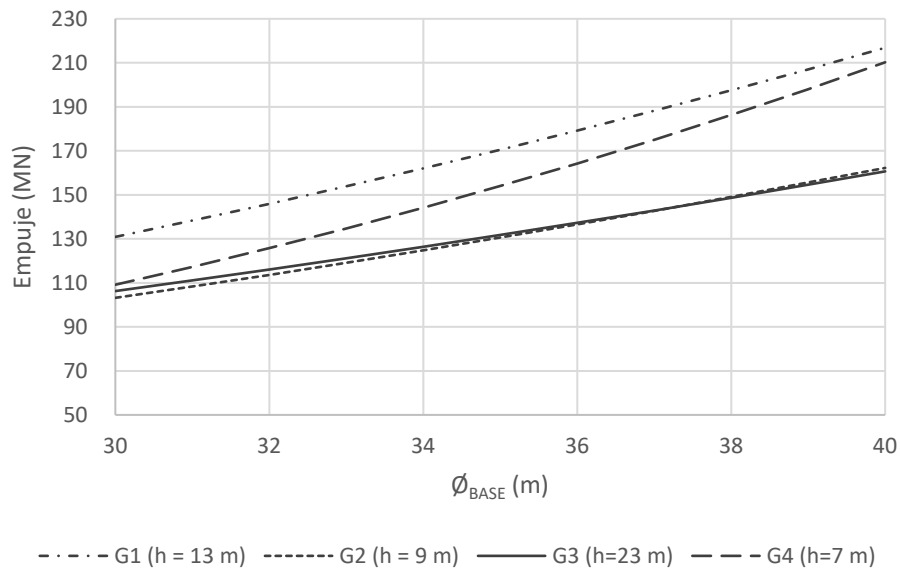


Figura 66: Comparación de carga vertical ascendente debida al empuje de las cuatro geometrías

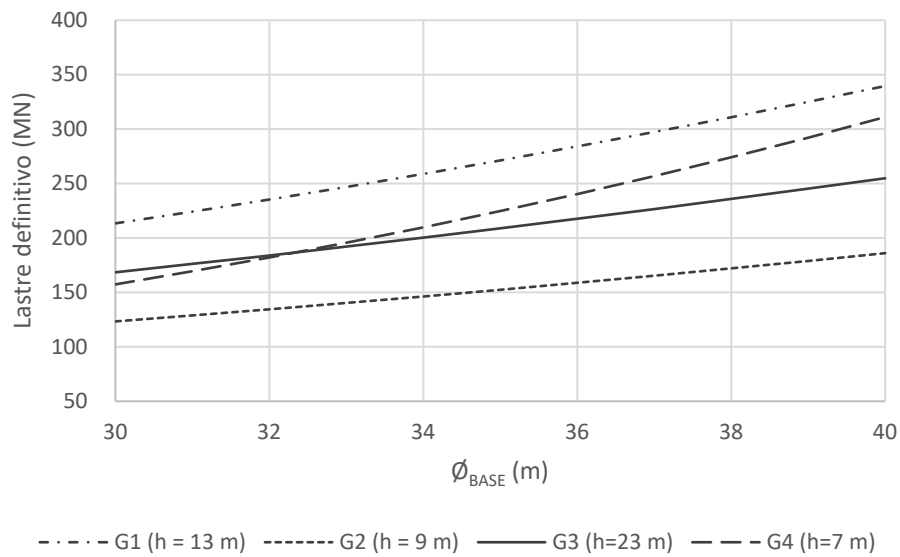


Figura 67: Comparación de la carga vertical descendente debida al lastre definitivo de las cuatro geometrías

Del análisis de las gráficas anteriores puede deducirse que la G₂ se trata de una solución con una gran proporción de hormigón respecto al volumen disponible para lastre. Esta característica, que puede resultar positiva a la hora de soportar las cargas en operación, puede ser negativa durante el transporte, ya que la escasez de volumen de aire en el interior de la cimentación puede causar poca estabilidad en transporte. La G₃ representa el caso opuesto, ya que su peso es reducido en proporción a la cantidad de lastre que puede albergar, gracias a que su interior es una única cavidad. La cantidad de lastre que se coloque finalmente dependerá también de la necesidad de lastre inicial (c_{port} , requerimientos de flotabilidad y estabilidad).

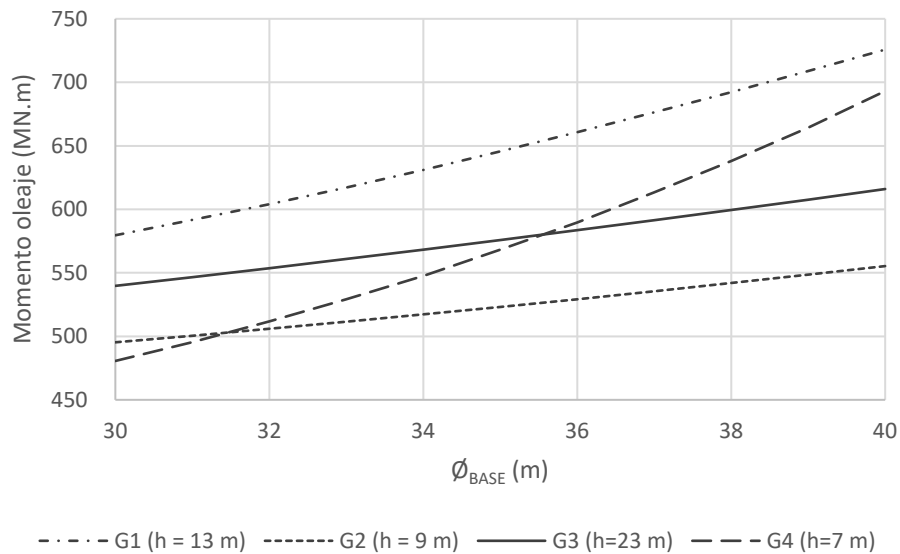


Figura 68: Comparación del momento volcador en la base de la cimentación debido a las cargas hidrodinámicas de las cuatro geometrías

Se calculan también para cada (h_{BASE} ; ϕ_{BASE}) las cargas medioambientales, que serán combinación de las generadas por el viento actuante sobre la estructura y el oleaje y corriente. El momento volcador debido a las cargas hidrodinámicas para una profundidad $d = 54,4$ m, y una ola de diseño definida por $H_{max} = 14,8$ m y $T = 13,4$ m, se muestra en la Figura 68. La G_4 sufre más el aumento de diámetro, debido a la afección del oleaje en el cajón o en la zona inclinada. El resto de las curvas presentan pendientes similares. La diferencia entre la G_1 y G_2 se debe a la diferencia de altura en las gráficas presentadas. La G_3 soportará por lo general menores cargas gracias a su forma cónica, que reduce el diámetro con la altura y con ello la carga aplicada.

La Figura 69 muestra el perfil de cargas para las cuatro geometrías, con diámetro $\phi_{BASE} = 35$ m, a modo de ejemplo. Se observa que las cargas en la parte superior de la estructura son similares en todos los casos. La afección del diámetro mayor en la zona de altura intermedia que presentan la G_1 y la G_4 se refleja en el incremento de cargas de dicha zona.

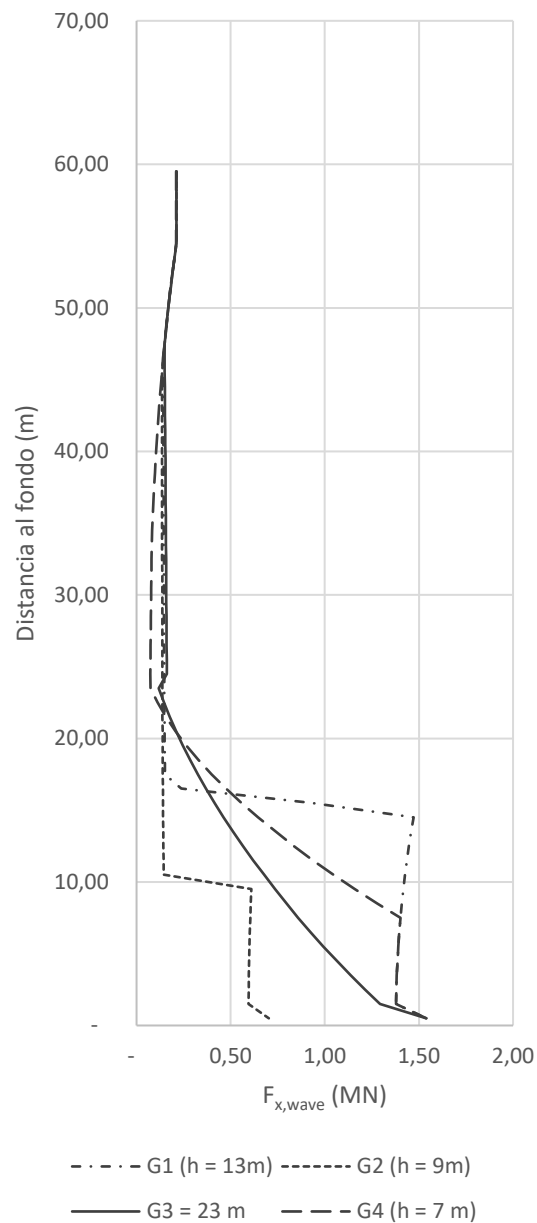


Figura 69: Comparación de los perfiles de cargas hidrodinámicas de las cuatro geometrías

La carga de viento sobre la parte de la estructura que sobresale del agua se calcula con la fórmula (5). Su valor es prácticamente despreciable, ya que la resultante se encuentra en torno a $F_{H; wind2} = 0,05$ MN aplicados en la cabeza de la cimentación.

Dado que existe cierta incertidumbre sobre los datos de partida y la metodología de cálculo de cargas, se aplica un coeficiente de mayoración de las cargas metoceánicas de 1,5.

4.5. VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Las especificaciones de diseño se recogen en los requerimientos exigidos, recogidos en la sección §4.2. Algunos requerimientos se aplican a todas las alternativas, mientras que otros tan solo serán aplicables a determinadas geometrías o estrategias de instalación.

El requerimiento R_1 de calado de la cimentación en puerto se aplica a todos los diseños. El requerimiento de tiro máximo de la EA (R_2), y que el diámetro de la cimentación sea igual o inferior a 35 m (R_3) se aplican a las alternativas que requieren de la EA para su transporte (I_1 e I_2) o instalación (I_3 , I_4 e I_5), por lo que todas las alternativas deben cumplirlos.

Las alternativas I_3 , I_4 e I_5 , que tan solo requieren de la EA para la operación de fondeo, deben satisfacer que durante el transporte la altura metacéntrica sea superior a 1 m (R_4).

Por último, la G_1 y la G_2 autoestables deberán asegurar un francobordo superior a 2 m (R_5), para asegurar que no se producen inestabilidades durante el transporte al superar las olas la altura de la losa superior.

Todas las soluciones deben verificar los requisitos de estabilidad geotécnica: levantamiento (R_6), capacidad portante (R_7) y deslizamiento (R_8).

Por último, además de los criterios anteriormente recogidos, se considera necesario establecer un límite geométrico aplicable a las alternativas G_3 , ya que la combinación (h_{BASE} ; $\emptyset_{BASE}$) genera diferentes inclinaciones, y se considera que desde el punto de vista constructivo y de transmisión de cargas, la inclinación debe limitarse a valores iguales o superiores a 60° (R_9).

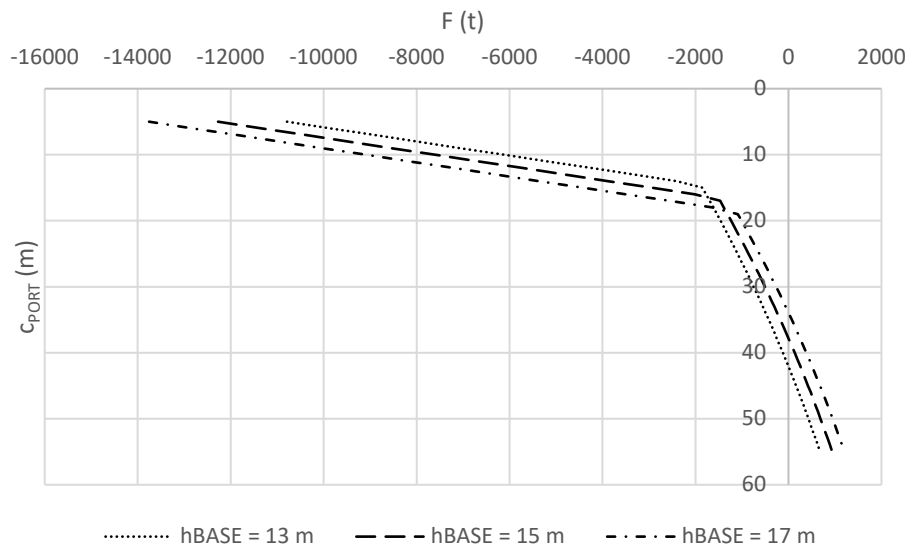
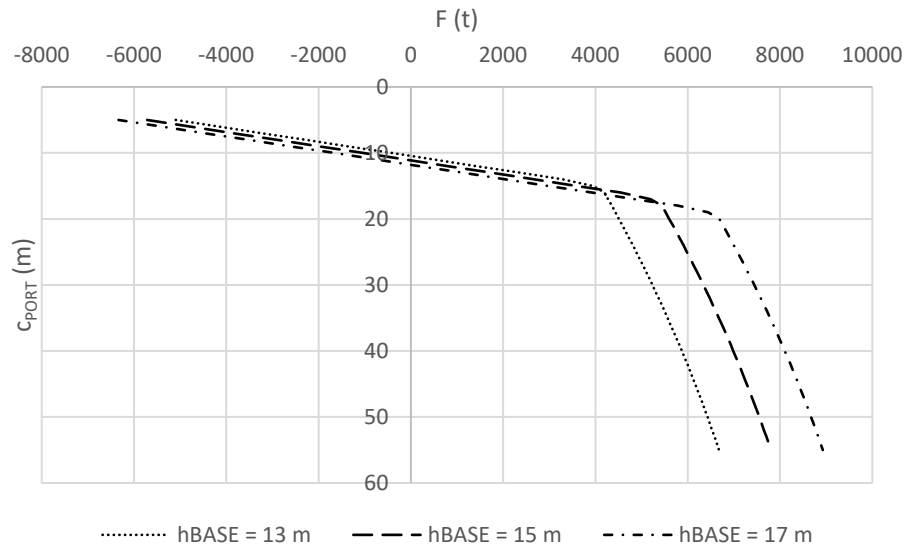
En la Tabla 40 se recogen los requerimientos que debe verificar cada una de las alternativas.

Tabla 40: Requerimientos de cada alternativa por tipo de instalación

		I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅
		Instalación mediante embarcación auxiliar, HD	Instalación mediante embarcación auxiliar	Autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	GBF + WTG autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	Mástil metálico, autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar
G ₁	Base cilíndrica con rigidizadores	R ₁ , R ₂ , R ₃ R ₆ , R ₇ , R ₈		R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄ , R ₅ R ₆ , R ₇ , R ₈		
G ₂	Base cilíndrica con celdas					
G ₃	Base cónica	R ₁ , R ₂ , R ₃ R ₆ , R ₇ , R ₈ R ₉		R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄ R ₆ , R ₇ , R ₈ R ₉		
G ₄	Base cilíndrica + cónica	R ₁ , R ₂ , R ₃ R ₆ , R ₇ , R ₈		R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄ R ₆ , R ₇ , R ₈		

Los parámetros que se emplean para verificar cada requerimiento se encuentran relacionados entre sí, ya que el calado de transporte la cimentación (c_{PORT}) define el empuje al que se ve sometida la estructura, y requiere una determinada cantidad de lastre inicial de hormigón ciclópeo o un determinado tiro para que la flotabilidad (F) sea nula. El lastre inicial determina el volumen de lastre definitivo disponible, y con ello la estabilidad geotécnica de la solución. El calado está también relacionado con la altura metacéntrica, ya que esta será función del volumen sumergido y el centro de carena, así como del diámetro en la superficie.

Las Figuras 70 a 73 muestran ejemplos de la variación de la flotabilidad de cada solución en función del calado, para un diámetro de base de $\varnothing_{BASE} = 34$ m. En todos los casos se verifica que un incremento de calado aumenta la flotabilidad.



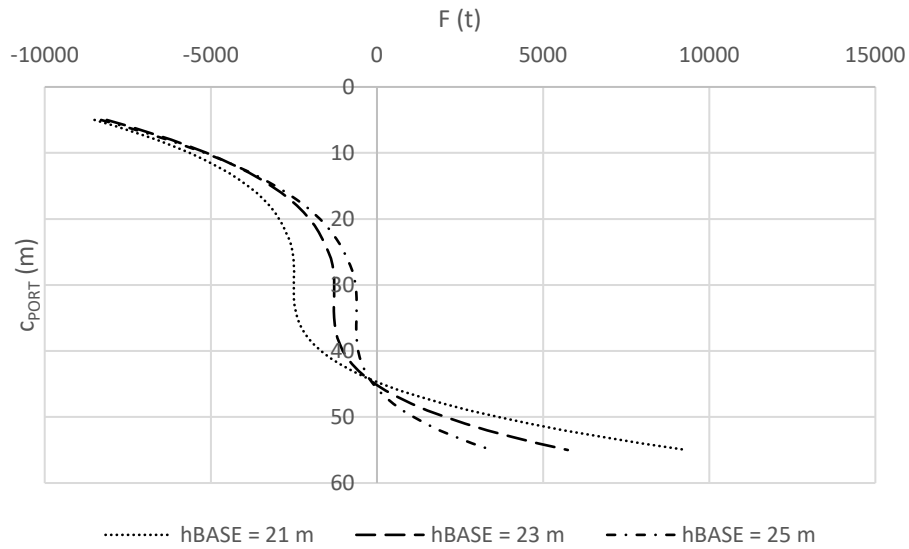


Figura 72: Variación de la flotabilidad con el calado en puerto, para la solución G_3 , con diámetro de base fijo ($\varnothing_{BASE} = 34$ m) y alturas de base 13, 15 y 17 m

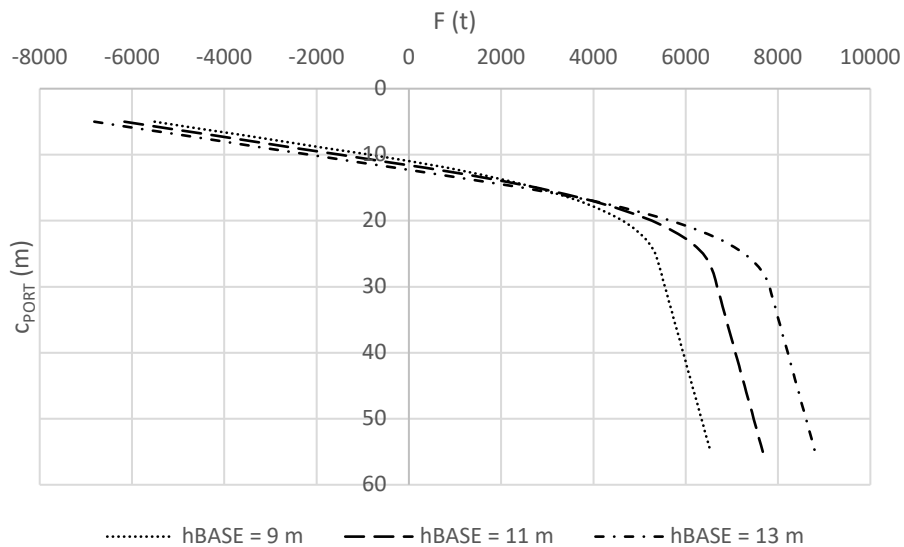


Figura 73: Variación de la flotabilidad con el calado en puerto, para la solución G_4 , con diámetro de base fijo ($\varnothing_{BASE} = 34$ m) y alturas de base 13, 15 y 17 m

Del mismo modo, la altura metacéntrica se ve modificada con el calado. En ese caso, para calados bajos en algunas de las alternativas la altura metacéntrica puede disminuir. Para calados mayores de 20 m, la altura metacéntrica aumenta con el calado.

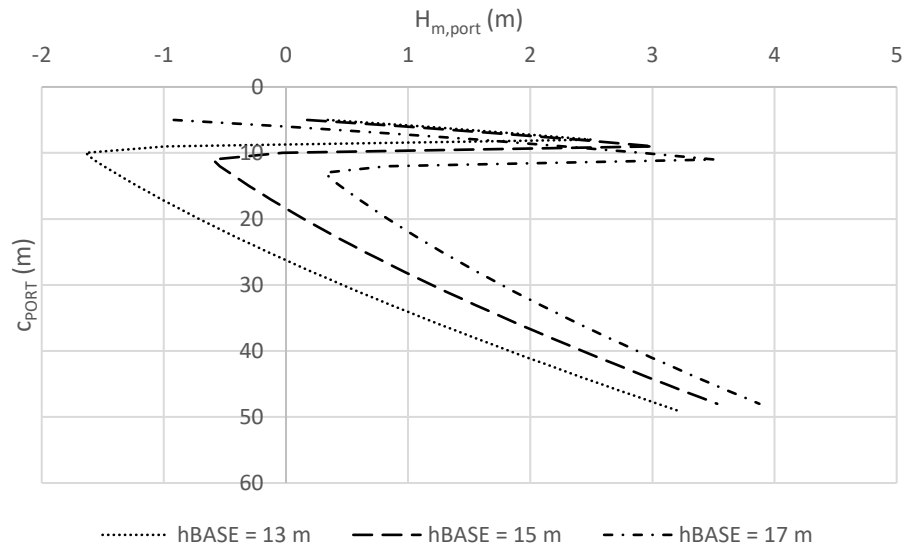


Figura 74: Variación de la altura metacéntrica con el calado en puerto, para la solución G_1 , con diámetro de base fijo ($\varnothing_{BASE} = 34$ m) y alturas de base 13, 15 y 17 m

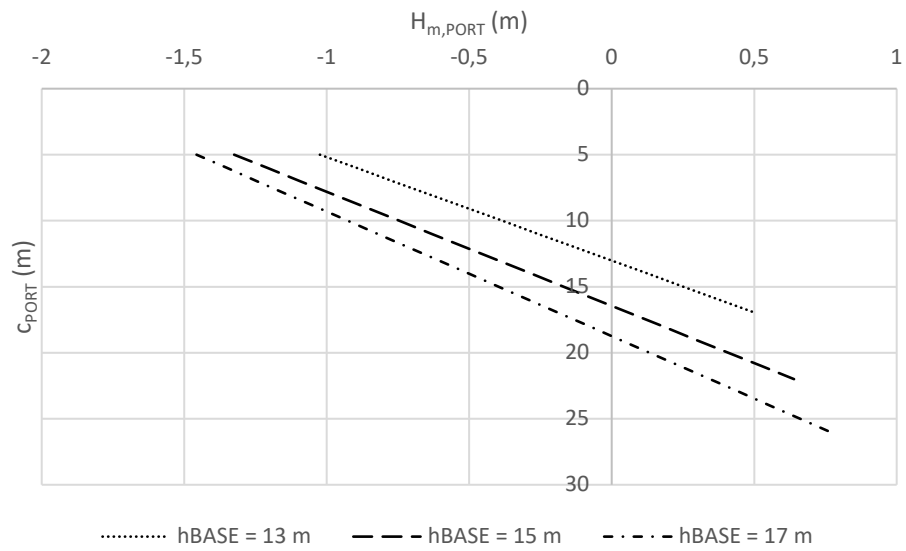


Figura 75: Variación de la altura metacéntrica con el calado en puerto, para la solución G_2 , con diámetro de base fijo ($\varnothing_{BASE} = 34$ m) y alturas de base 13, 15 y 17 m

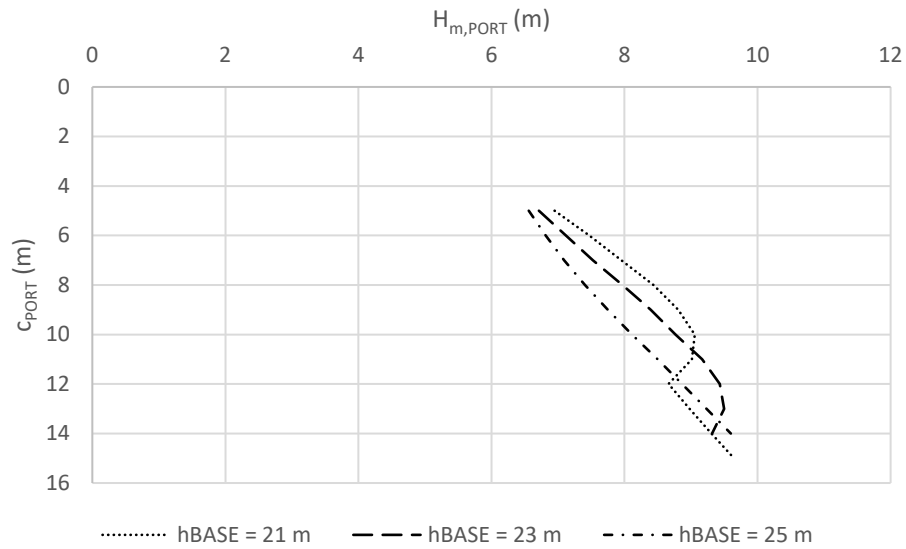


Figura 76: Variación de la altura metacéntrica con el calado en puerto, para la solución G_3 , con diámetro de base fijo ($\varnothing_{BASE} = 34$ m) y alturas de base 13, 15 y 17 m

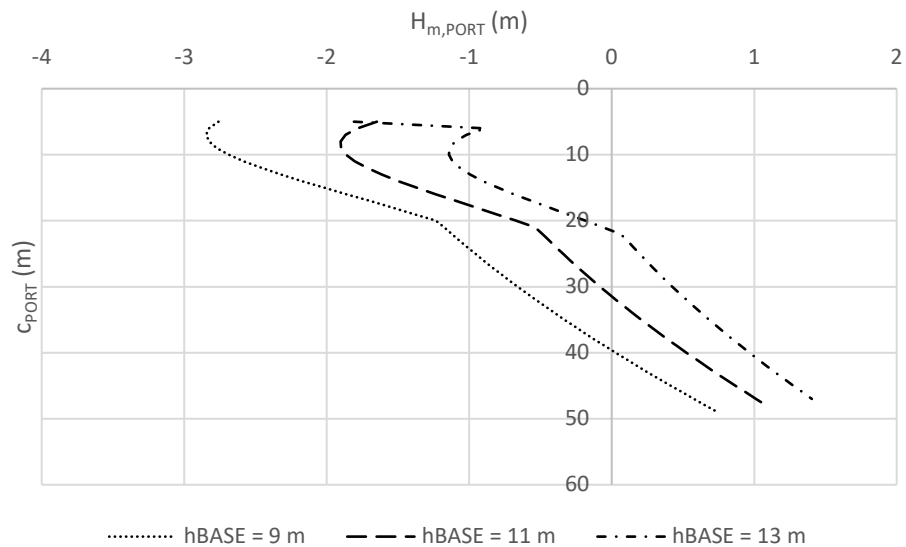


Figura 77: Variación de la altura metacéntrica con el calado en puerto, para la solución G_4 , con diámetro de base fijo ($\varnothing_{BASE} = 34$ m) y alturas de base 13, 15 y 17 m

A continuación, se incluyen a modo de ejemplo las gráficas correspondientes a la S_1 para un calado fijo $C_{PORT} = 11,5$ m, en las que se muestran los valores de cada uno de los parámetros relacionados con los requisitos más relevantes. Se escoge fijar el mayor calado posible porque proporciona la mayor flotabilidad. La Figura 78 muestra la flotabilidad en función del diámetro de la base ($\varnothing_{BASE}$), para varias alturas de la base (h_{BASE}). Se observa que en todos los casos se cumple el requerimiento R_2 , ya que la flotabilidad se mantiene por encima del valor $F > -3.500$ t. si bien por debajo de un

diámetro de 35 m hay soluciones que tienen flotabilidad negativa, por lo que no podrán ser estables.

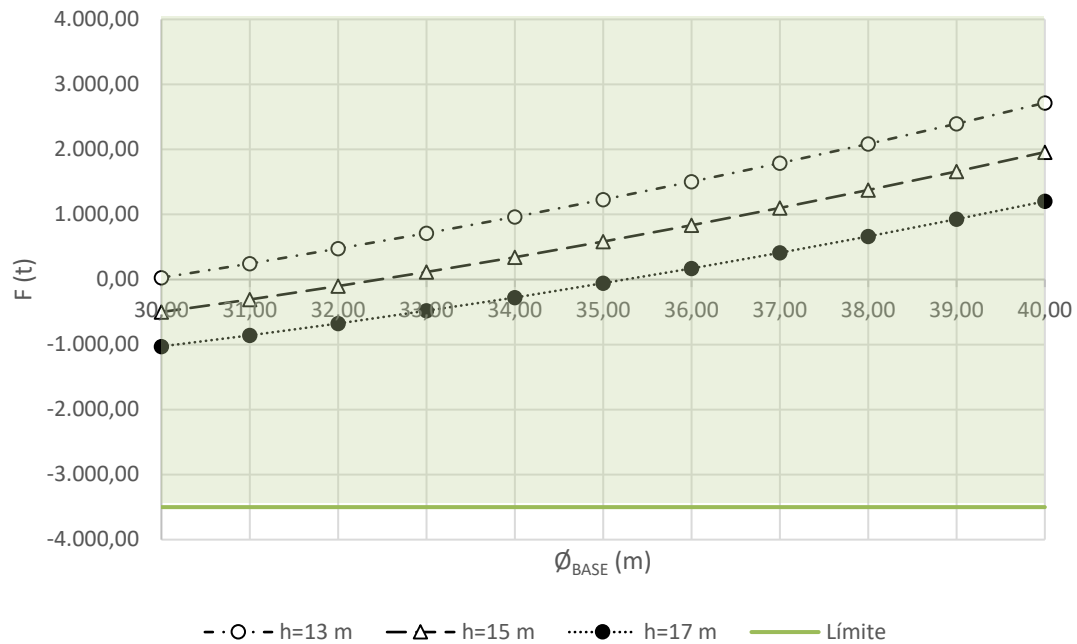


Figura 78: Variación de la flotabilidad con el diámetro de la base, para la solución G_1 , con calado en puerto fijo ($C_{PORT} = 11,5$ m) y alturas de base 13, 14, 15, 16 y 17 m

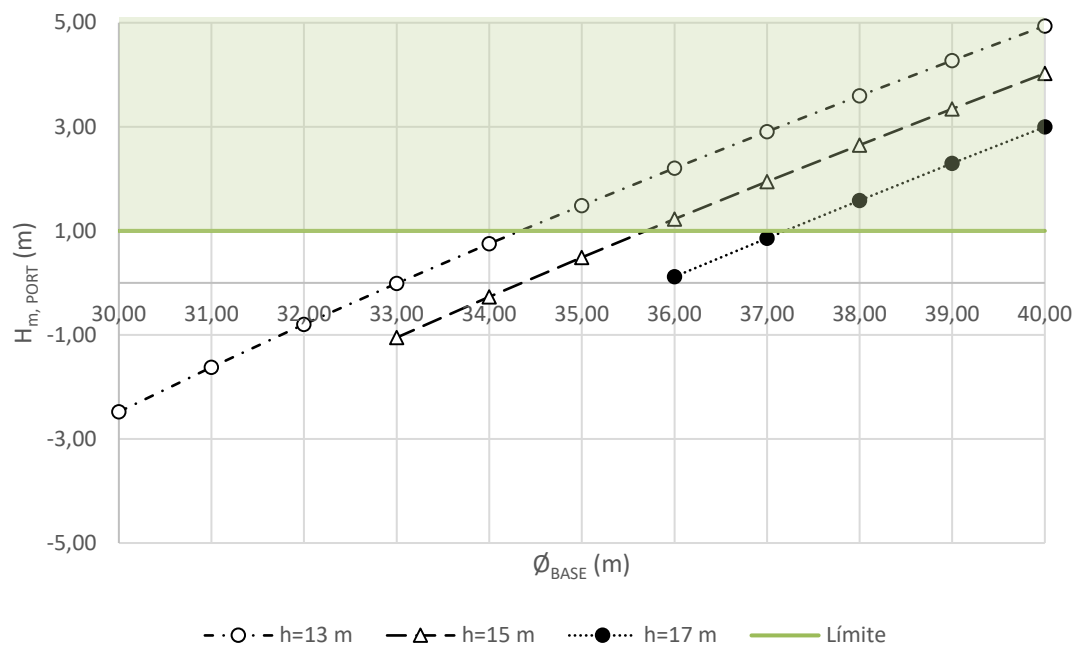


Figura 79: Variación de la altura metacéntrica con el diámetro de la base, para la solución G_1 , con calado en puerto fijo ($C_{PORT} = 11,5$ m) y alturas de base 13, 14, 15, 16 y 17 m

La altura metacéntrica para un calado fijo aumenta linealmente con el incremento de diámetro de la base, tal y como se señala en la Figura 79. En el caso de la S_1 , tan sólo superan el límite de $H_{m, PORT} \geq 1$ m las combinaciones con $\varnothing_{BASE} \geq 35$ m.

Si se adopta la estrategia de diseño de cimentación con mástil de hormigón (I_5), la altura metacéntrica aumenta en aproximadamente 2 m, tal y como se observa en la Figura 80. Al reducirse el peso de la estructura, se aumentará el peso de lastre inicial, lo que favorecerá el parámetro de levantamiento.

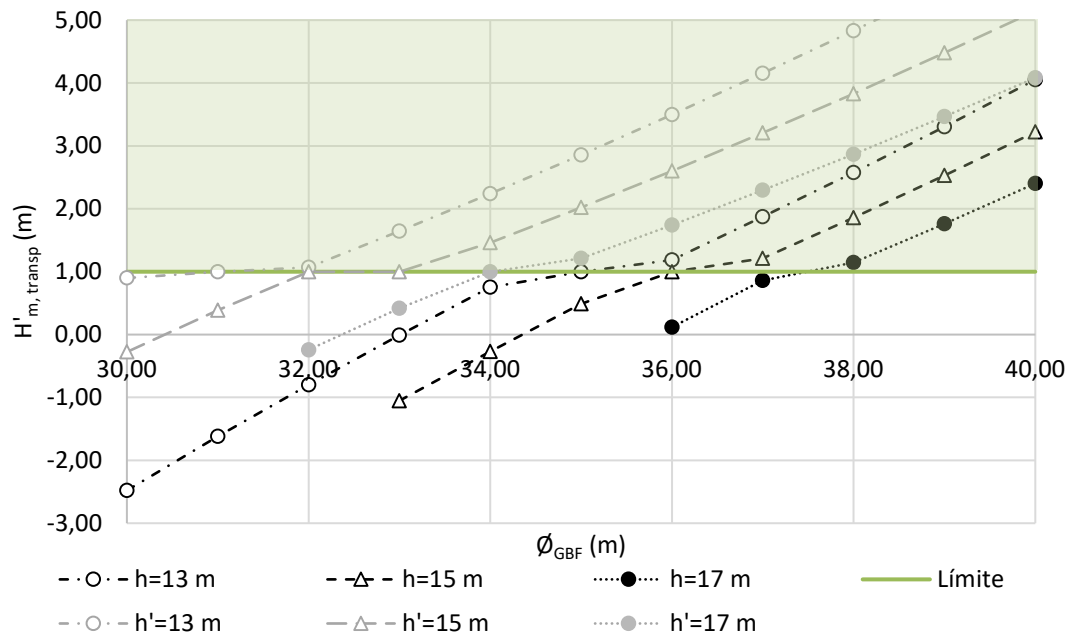


Figura 80: Variación de la altura metacéntrica con el diámetro de la base, para la solución G_1 , con calado en puerto fijo ($C_{PORT} = 11,5$ m) y alturas de base 13, 14, 15, 16 y 17 m, para alternativas de mástil de hormigón (negro) y mástil metálico (gris).

En cuando a los requerimientos en operación, tan solo R_6 resulta determinante para el diseño. Para un valor de calado en puerto fijo, el aumento de diámetro de la base reduce el valor del parámetro de levantamiento (Figura 81).

En caso de añadir lastre de alta densidad (I_1), el parámetro de levantamiento se ve reducido, tal y como se observa en la Figura 82, en la que se compara la misma geometría con lastre únicamente de arena (color negro) y con lastre de arena combinado con lastre de alta densidad (color gris).

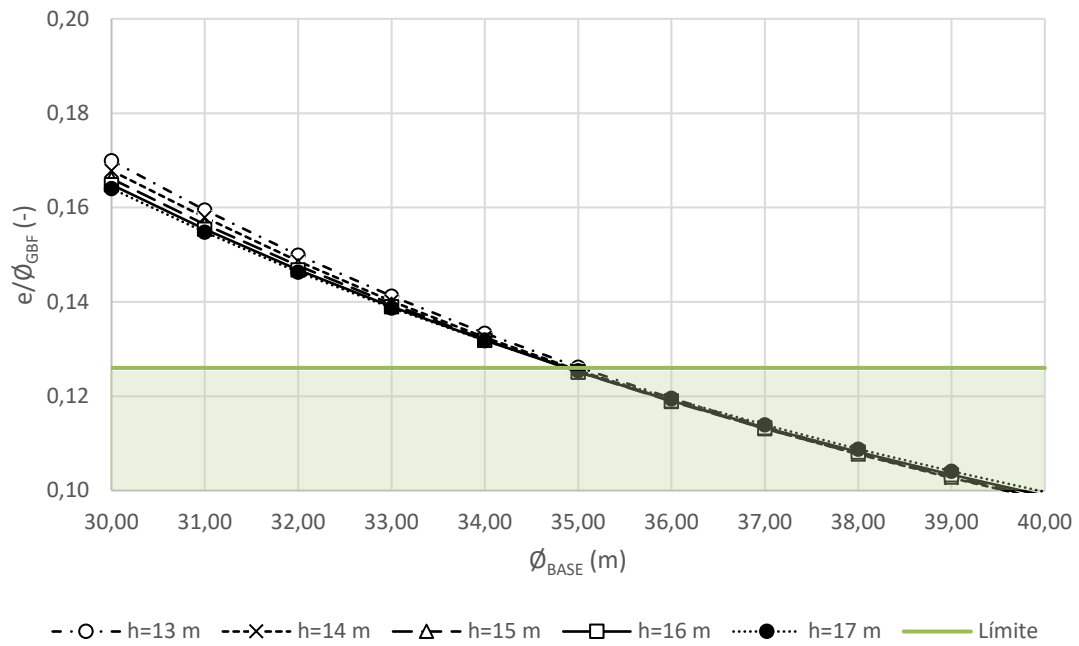


Figura 81: Variación del parámetro de levantamiento con el diámetro de la base, para la solución G_1 , con calado en puerto fijo ($c_{PORT} = 11,5$ m) y alturas de base 13, 14, 15, 16 y 17 m

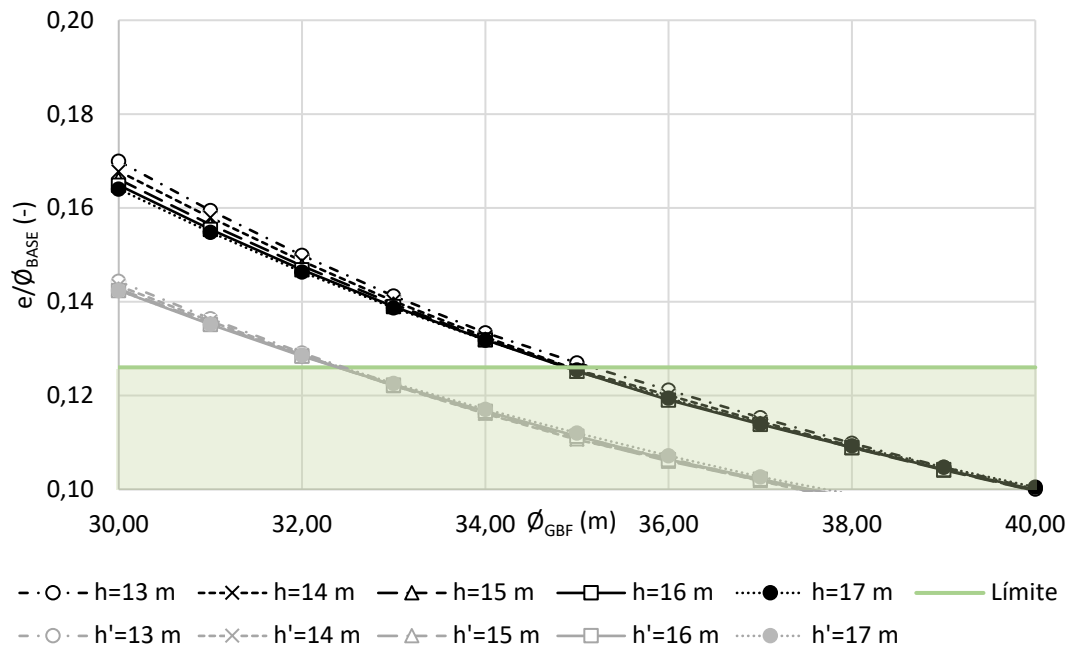


Figura 82: Variación del parámetro de levantamiento con el diámetro de la base, para la solución G_1 , con calado en puerto fijo ($c_{PORT} = 11,5$ m) y alturas de base 13, 14, 15, 16 y 17 m, para alternativas de lastrado con arena (negro) y lastrado con arena y material de alta densidad (gris)

Una vez identificada una solución que verifique los requerimientos de instalación y operación para un calado c_{PORT} , se aplican los criterios de optimización para evaluar si existe una solución de menor diámetro que verifique todos los requerimientos con un calado menor ($c'_{PORT} < c_{PORT}$).

En el Anexo III se recogen las gráficas y valores correspondientes a todas las soluciones, y la identificación de las geometrías básicas óptimas para cada una de ellas.

Las soluciones obtenidas para los requerimientos descritos se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41: Diseño básico de cada alternativa

			l₁	l₂	l₃	l₄	l₅
			Lastre de alta densidad, instalación mediante embarcación auxiliar	Instalación mediante embarcación auxiliar	Autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	GBF + WTG autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	Mástil metálico, autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar
G₁	Base cilíndrica con rigidizadores	h_{BASE} (m)	11,00	S₁₂ = S₁₃	14,00	No hay solución (R₃)	13,00
		Φ_{BASE} (m)	33,00		35,00		35,00
		V_C (m³)	3.560,37		4.229,22		3.430,55
		L_{HD} (t)	6.000,00		-		-
		V_{SP} (m³)	9.077,53		10.144,61		10.144,61
		C_{PORT} (m)	6,00		11,50		11,50
G₂	Base cilíndrica con celdas	h_{BASE} (m)	9,00	10,00	No hay solución (R₄)	No hay solución (R₄)	No hay solución (R₄)
		Φ_{BASE} (m)	33,00	35,00			
		V_C (m³)	4.799,57	5.598,96			
		L_{HD} (t)	6.000,00	-			
		V_{SP} (m³)	8.795,01	9.845,46			
		C_{PORT} (m)	9,55	10,51			
G₃	Base cónica	h_{BASE} (m)	20,00	25,00	No hay solución (R₃)	No hay solución	26,00
		Φ_{BASE} (m)	31,00	38,00			39,00
		V_C (m³)	2.241,92	2.849,35			2.430,29
		L_{HD} (t)	6.000,00	-			-
		V_{SP} (m³)	8.566,23	11.856,37			12.456,60
		C_{PORT} (m)	5,00	5,00			7,76
G₄	Base cilíndrica + cónica	h_{BASE} (m)	5,00	9,00	No hay solución (R₃)	No hay solución (R₄)	9,00
		h_{TRANS} (m)	14,90	16,09			16,68
		Φ_{BASE} (m)	32,00	34,00			35,00
		V_C (m³)	3.281,20	4.114,26			3.882,22
		L_{HD} (t)	6.000,00	-			-
		V_{SP} (m³)	8.566,23	9.603,66			10.144,61
		C_{PORT} (m)	5,57	7,16			10,27

4.6. ANÁLISIS MULTICRITERIO

Los criterios seleccionados para la realización del análisis tienen en cuenta aspectos económicos, logísticos y medioambientales.

Tabla 42: Criterios considerados en el análisis

Criterios	
C1	Coste (M€)
C2	Ocupación en puerto (m ²)
C3	Calado mínimo (m)
C4	Ocupación lecho marino (m ²)
C5	Tiempo de instalación (días)
C6	Requerimientos de embarcaciones (u)
C7	Riesgo tecnológico

Para la determinación del coste, se realiza una planificación de cada una de las alternativas, teniendo en cuenta que el principal objetivo es el de comparar las distintas soluciones entre sí, y no la determinación precisa de los costes reales de cada alternativa. Para ello se realizarán hipótesis de construcción e instalación que se desarrollan en los siguientes apartados.

4.6.1. PLANIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

La planificación se realiza con el objetivo de realizar la instalación en un año. La construcción se realiza sin limitación temporal, pero teniendo en cuenta que las cimentaciones construidas deberán almacenarse en puerto hasta su instalación, por lo que el objetivo es realizarla también en un año.

Se propone que la base de las cimentaciones se construya o bien en puerto, mediante encofrado deslizante (G₁) o trepante (G₃, G₄), o bien en cajonero flotante (G₂).

En cualquiera de los casos, se inician los trabajos con la instalación del encofrado de la losa inferior, ya sea sobre la plataforma flotante del cajonero o sobre una posición predeterminada en el puerto. Se coloca la armadura y se realiza el vertido del hormigón. Se estima en todos los casos que estas operaciones requieren 2 días para su ejecución. Posteriormente se procede a instalar el encofrado y se realiza el deslizado o trepado de las paredes verticales. El rendimiento estimado para el deslizado es de 20 cm/h, y de 6 m/día para el encofrado trepante. La eficiencia de estas operaciones se considera del 85%. Tras la construcción, se realiza el transporte y botadura de la cimentación mediante pórtico auxiliar en el caso de construcción sobre el muelle, y la extracción y transporte del cajón mediante remolcadores en el caso de construcción en cajonero flotante. Estos trabajos abarcan la Fase 1 de construcción.

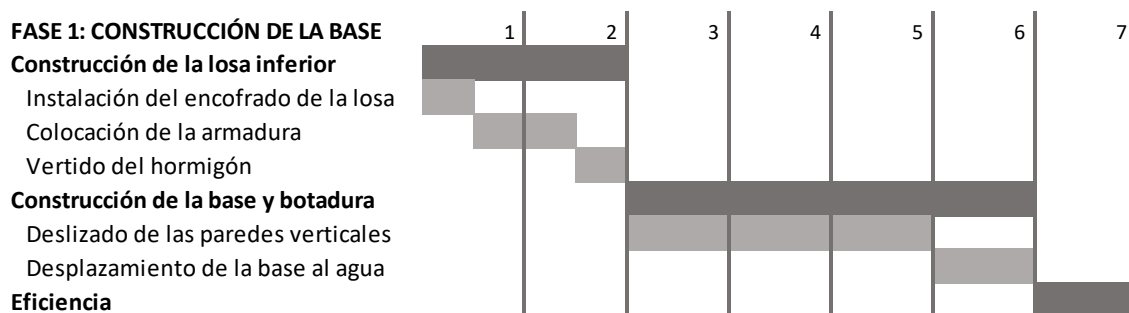


Figura 83: Planificación de construcción de la base (Fase 1) para S_{13}

Las cimentaciones se fijan al muelle para continuar con la construcción de la superestructura. En todos los casos se recurre a encofrado trepante, con un rendimiento de 6 m/día, pero se estima que la eficiencia será menor (75%) debido a que esta técnica está sometida a mayores incertidumbres por impactos meteorológicos. La losa superior, en el caso de G_1 y G_2 , se construye simultáneamente, empleando encofrado perdido. Se estima que la construcción de la losa superior requiere 3,5 días. La trepa de cabeza requiere unas operaciones especiales para la instalación de la pieza de conexión, lo que requiere tres días.

Una vez ejecutada la superestructura, debe esperarse un plazo de tres días para comenzar las operaciones de postesado. La colocación de los tendones requiere dos días, y la operación de tesado un día adicional. Estos trabajos de construcción de la superestructura y postesado constituyen la Fase 2 de la construcción de la GBF.

Existe un desfase entre la construcción de la base y la superestructura, por lo que puede realizarse un almacenamiento temporal. La capacidad de dicho almacenamiento dependerá del número de posiciones de construcción de bases, o número de cajoneros, y del número de posiciones de construcción de la superestructura, teniendo en cuenta el objetivo de construcción en un año. La Figura 86 muestra un ejemplo de la secuencia de construcción de base y superestructura para la S_{13} , y la Figura 86 muestra los efectos de la variación del número de posiciones de construcción de la base. La Tabla 43 muestra el tiempo de construcción y posiciones necesarias para cada una de las soluciones, así como el almacenamiento máximo requerido. Con las posiciones necesarias se obtiene la ocupación requerida en puerto, estimando que cada posición tendrá unas dimensiones de aproximadamente 50x50 m.

Tabla 43: Tiempo de construcción, número de posiciones y almacenamiento máximo para cada una de las soluciones

	Fase 1		Fase 2		Max Almacén (u)
	Tiempo (días)	Posiciones (u)	Tiempo (días)	Posiciones (u)	
S ₁₁	600	1	626	4	1
S ₁₃	238	3	346	7	29
S ₁₅	238	3	332	4	27
S ₂₁	600	1	618	4	10
S ₂₂	600	1	618	4	10
S ₃₁	518	8	648	3	15
S ₃₂	554	9	614	2	9
S ₃₅	423	12	306	3	8
S ₄₁	500	1	678	4	12
S ₄₂	600	1	652	4	3
S ₄₅	301	2	347	5	12

En cuanto a las operaciones marítimas, comienzan con el dragado y la instalación de la banquetta. Estas operaciones deben realizarse lo más próximas a la instalación de la GBF que sea posible, para evitar que se produzcan movimientos de material en el periodo de espera. El dragado se realiza con una embarcación tipo *Trailing Suction Hopper Dredger Vessel* (TSHDV), cuyo ciclo de retirada de material es de 3,5 días por GBF. Posteriormente se coloca la banquetta, cuyo ciclo de colocación del material es de 2 días, empleando un *Dynamic Positioning Fall Pipe Vessel* (DPFPV).

La instalación de la GBF podrá ser desde el puerto con EA (I_1 , I_2), o siendo remolcada hasta una zona de conexión protegida próxima al emplazamiento final, donde la GBF se une a la EA para realizar la maniobra de fondeo (I_3 e I_5). Las distancias se muestran en la Tabla 44. Para calcular el ciclo de la EA, se considera el tiempo de conexión de la embarcación con la GBF, en su caso, así como el tiempo de transporte al emplazamiento y de fondeo de la GBF, que se estima en 11 h, de acuerdo con lo recogido en la Tabla 45. Se considera una contingencia del 20% y se aplica un factor de seguridad de 2, ya que son operaciones en las que existe cierta incertidumbre. Eliminando el tiempo de retorno y la conexión EA - GFB en puerto, se obtiene la ventana temporal necesaria para realizar la operación de instalación.

Tabla 44: Distancias de puerto a zona de conexión y de zona de conexión al emplazamiento final

Distancias		
Puerto - Zona conexión	200,00	M
Zona conexión - Emplazamiento	30,00	M

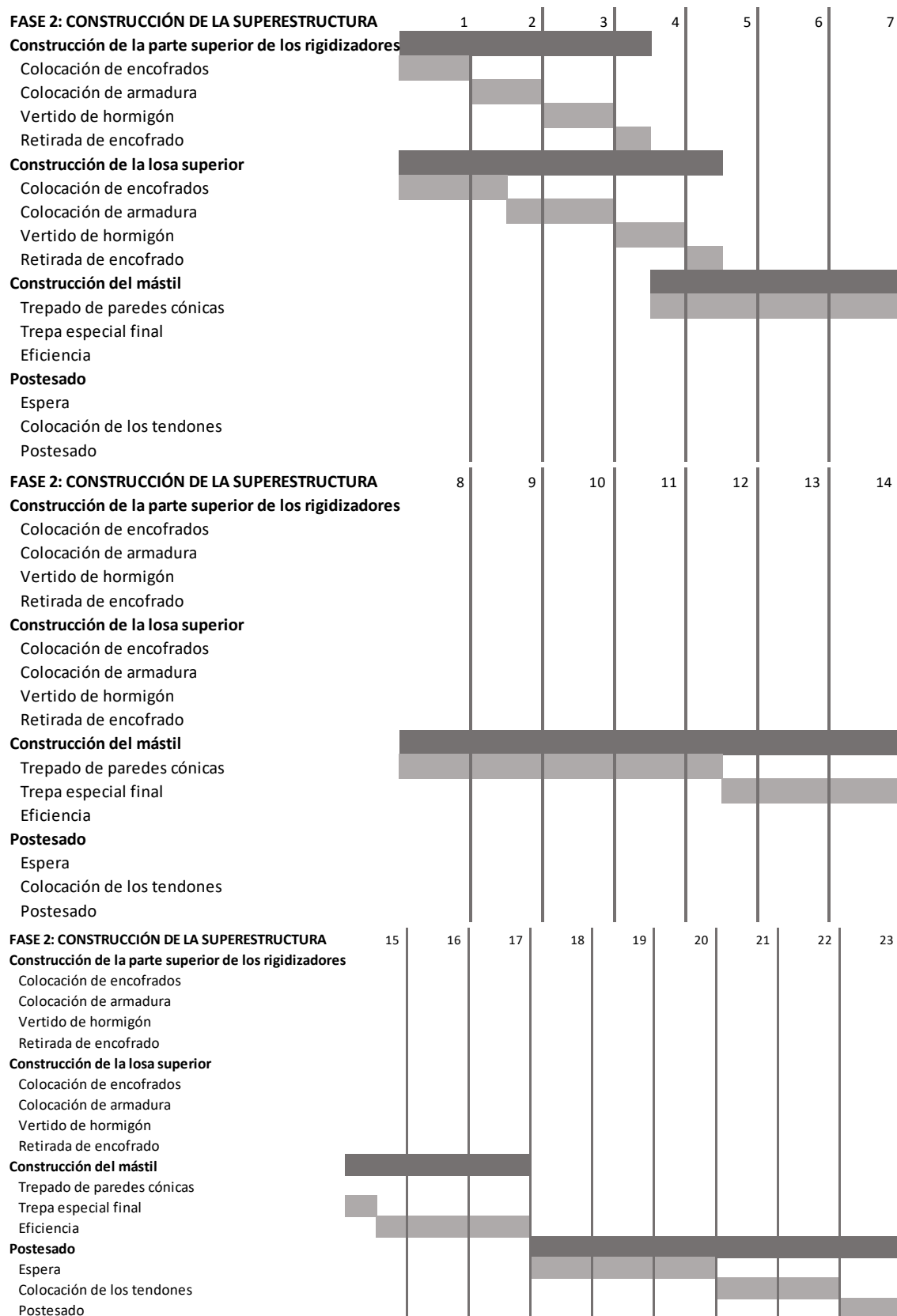


Figura 84: Planificación de la construcción de la superestructura (Fase 2) para S13

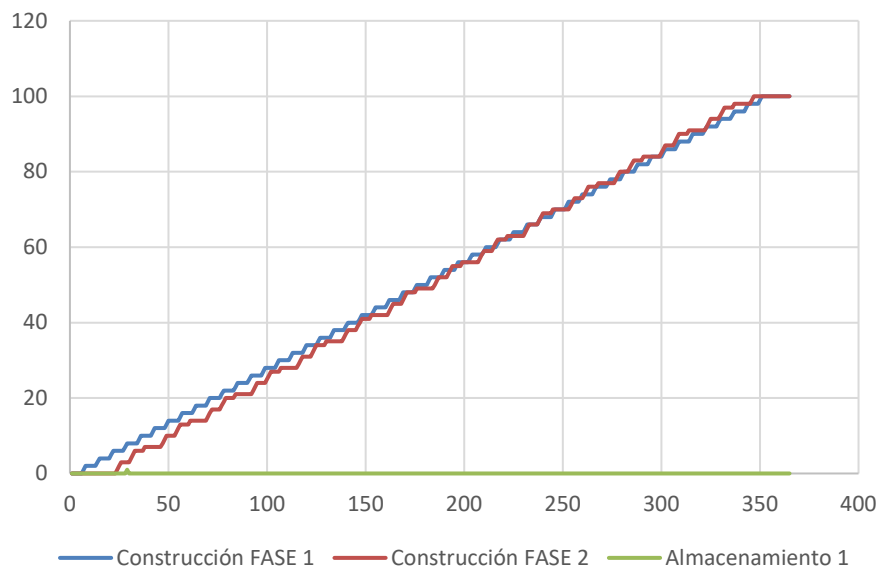


Figura 85: Planificación de construcción de S13 con 2 posiciones para Fase 1 y 7 posiciones para Fase 2

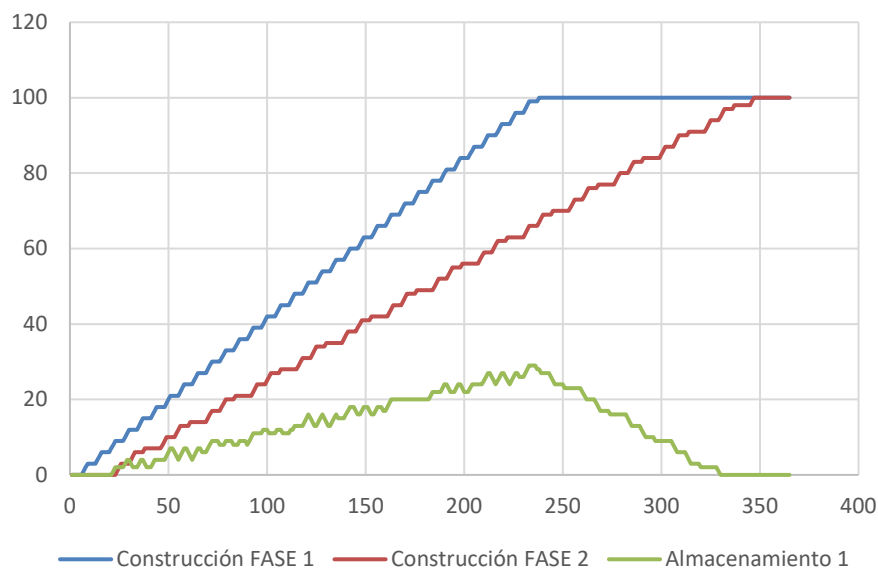


Figura 86: Planificación de construcción de S₁₃ con 3 posiciones para Fase 1 y 7 posiciones para Fase 2

Tabla 45: Tiempo de operación de fondeo de la GBF mediante EA

Tiempo de operación de fondeo		
Posicionamiento GPS	1,00	h
Descenso de la GBF	6,00	h
Lastrado completo con agua	4,00	h
TOTAL	11,00	h

La Tabla 46 muestra el ciclo de la EA para la opción de salida de puerto con EA, de 10,12 días (243 h). La ventana temporal necesaria para realizar la operación de transporte y fondeo es de 164 horas.

Tabla 46: Ciclo de la EA con transporte desde puerto y fondeo

Ciclo Embarcación auxiliar		
Conexión EA - GBF	4,00	h
Transporte a emplazamiento final	57,50	h
Tiempo instalación	11,00	h
Tiempo de retorno EA (vacío)	28,75	h
Subtotal	101,25	h
Contingencia	20,25	h
Factor de seguridad	2,00	h
TOTAL	243,00	h

La Tabla 47 muestra el ciclo de los remolcadores y la Tabla 48 el ciclo de la EA, para la opción de conexión en zona de emplazamiento final, de 2,6 días (71 h). La ventana temporal requerida es de 54 h.

Tabla 47: Ciclo de remolcador para transporte de GBF de puerto a zona de conexión

Ciclo remolcador		
Conexión remolcador - GBF	1,00	h
Transporte a zona de conexión	40,00	h
Espera para conexión	6,00	h
Conexión EA - GBF	4,00	h
Tiempo de retorno (vacío)	20,00	h
TOTAL	71,00	h

Tabla 48: Ciclo de EA para transporte desde zona de conexión y fondeo

Ciclo Embarcación auxiliar		
Conexión EA - GBF	4,00	h
Transporte a emplazamiento final	7,50	h
Tiempo instalación	11,00	h
Tiempo de retorno EA (vacío)	3,75	h
Subtotal	26,25	h
Contingencia	5,25	h
Factor de seguridad	2,00	h
TOTAL	63,00	h

Definidos los ciclos de cada embarcación, es necesario determinar el número de embarcaciones requeridas para realizar las operaciones descritas. Se considera como cuello de botella la EA, de la que se estima razonable contar con dos unidades. No obstante, el tiempo necesario para completar el ciclo de la EA en el caso de transporte

desde puerto es muy elevado, y dos unidades no son suficientes para realizar la instalación en 4 años. Por ello, en ese caso se considera que es posible contar con cuatro EA, para realizar la instalación en dos campañas de 50 unidades cada año. Del mismo modo, se plantea realizar la construcción en dos años, tal y como se muestra en la Tabla 43.

La Tabla 49 muestra las embarcaciones necesarias para la instalación con transporte desde puerto. El número de días requeridos en cada campaña de instalación es de 132 días.

Tabla 49: Número de embarcaciones necesarias para la instalación con transporte desde puerto

Embarcación	Nº
Embarcación auxiliar (EA)	4
Trailing Suction Hopper Dredger Vessel (TSHDV)	4
Dynamic Positioning Fall Pipe Vessel (DPFPV)	4

La Tabla 50 muestra las embarcaciones necesarias para la instalación con transporte desde zona de conexión. En este caso, el tiempo requerido es de 137 días.

Tabla 50: Número de embarcaciones necesarias para la instalación con transporte desde zona de conexión

Embarcación	Nº
Embarcación auxiliar (EA)	2
Trailing Suction Hopper Dredger Vessel (TSHDV)	3
Dynamic Positioning Fall Pipe Vessel (DPFPV)	2

Al tiempo requerido se le añade el tiempo que necesita la embarcación DPFPV para cargar el material y desplazarse nuevamente al emplazamiento final. Este tiempo dependerá de la cantidad de material que deba instalarse en cada banqueta, por lo que varía de una solución a otra. Se estima que cuenta con una capacidad de carga de 31.500 m³, y que tiene una velocidad de navegación de 12 kn. El tiempo de carga estimado es de 10 h. La Tabla 53 muestra el tiempo requerido para cada solución.

Para el cálculo de las ventanas temporales disponibles, se cuenta con información metoceánica correspondiente a 20 años (1980 -1999). Las condiciones establecidas para que se verifique la ventana temporal son una altura de ola significativa inferior a 1,5 m y una velocidad de viento inferior a 30 kn, durante un periodo de 164 o 54 h, dependiendo del caso de instalación.

Se plantea que la campaña de instalación se realice entre los meses de abril a octubre. Con la información disponible, se calcula para cada año las horas en las que se verifican las tres condiciones, y se obtiene el valor medio de los 20 años disponibles. Las horas

disponibles se muestran en la Tabla 51 para transporte con EA desde puerto (141 días), y en la Tabla 52 para transporte con EA desde la zona de conexión (174 días).

Tabla 51: Tiempo disponible para la instalación en cada mes, para ventana de 164 h (transporte desde puerto)

Mes	Tiempo instalación	
	(h)	(%)
Abril	361	50%
Mayo	487	65%
Junio	551	77%
Julio	707	95%
Agosto	560	75%
Septiembre	409	57%
Octubre	299	42%
TOTAL	3.374	

Tabla 52: Tiempo disponible para instalación en cada mes para ventana de 54 h (transporte desde zona de conexión)

Mes	Tiempo instalación	
	(h)	(%)
Abril	523	73%
Mayo	649	87%
Junio	632	88%
Julio	707	95%
Agosto	648	87%
Septiembre	566	79%
Octubre	443	62%
TOTAL	4.167	

En el caso de transporte desde la zona de conexión, se observa que la campaña de instalación puede realizarse entre los meses de abril a septiembre, ya que los días disponibles son 155 y los requeridos oscilan entre 145 y 149 días.

Conocida la probabilidad mensual de obtener las ventanas temporales requeridas, se estima el número de GBF instaladas mensualmente. El dragado y la instalación de la banqueta se adapta al ritmo de instalación de las GBF, así como la instalación del lastre permanente y de la protección contra la socavación. Las embarcaciones necesarias para estas últimas operaciones varían de unas soluciones a otras. Se considera un ritmo de instalación de dos GBF lastradas cada 4 días, y dos protecciones contra la socavación instaladas cada 4 días.

Tabla 53: Comparación de tiempo requerido y tiempo disponible para cada solución

	Tiempo requerido por campaña (días)	Tiempo disponible por campaña (días)	Duración de la campaña (meses)	Número de campañas (u)
S ₁₁	134	141	7	2
S ₁₃	145	155	6	1
S ₁₅	149	155	6	1
S ₂₁	134	141	7	2
S ₂₂	136	141	7	2
S ₃₁	134	141	7	2
S ₃₂	138	141	7	2
S ₃₅	147	155	6	1
S ₄₁	134	141	7	2
S ₄₂	134	141	7	2
S ₄₅	145	155	6	1

Para que el tiempo que transcurra entre la instalación de la GBF y su lastrado definitivo no sea superior a 10 días, se contará con embarcaciones de refuerzo puntual durante aproximadamente 2 meses (junio-julio). En la Figura 87 y Figura 88 se puede apreciar la diferencia que supone contar con embarcaciones de refuerzo durante dos meses en cuanto al ritmo de lastrado definitivo. La Tabla 54 recoge el número de embarcaciones máximas para cada solución y el tiempo de instalación considerado.

Tabla 54: Embarcaciones para operaciones marítimas y tiempo de instalación

	Embarcaciones máximas (u)	Tiempo (días)
S ₁₁	10	358
S ₁₃	9	182
S ₁₅	9	182
S ₂₁	10	422
S ₂₂	10	422
S ₃₁	10	422
S ₃₂	10	422
S ₃₅	9	181
S ₄₁	10	422
S ₄₂	10	422
S ₄₅	9	182

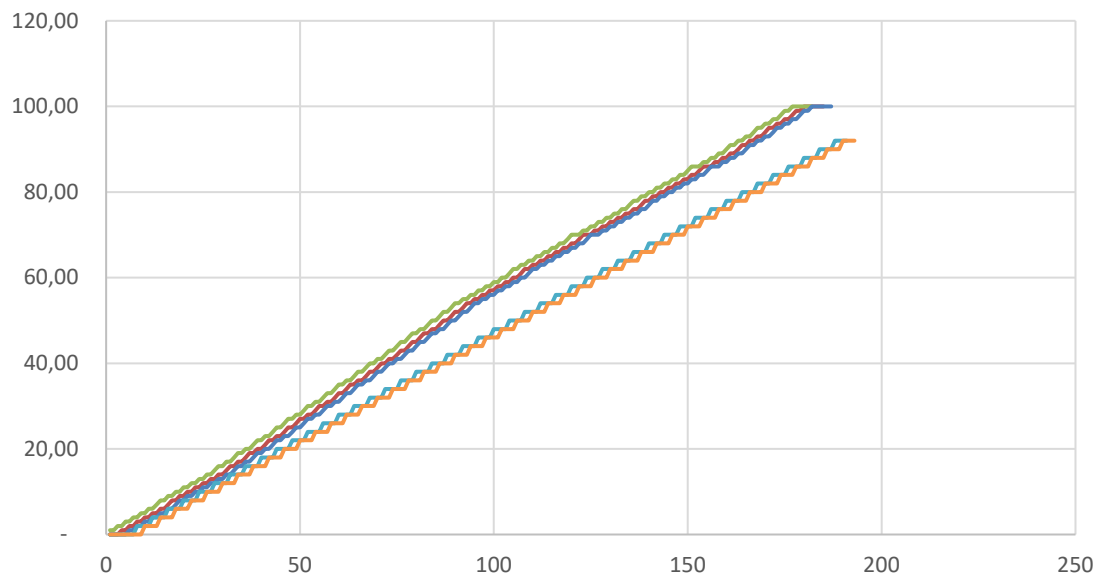


Figura 87: Planificación de operaciones marítimas sin refuerzo para lastrado y protección contra la socavación durante junio y julio

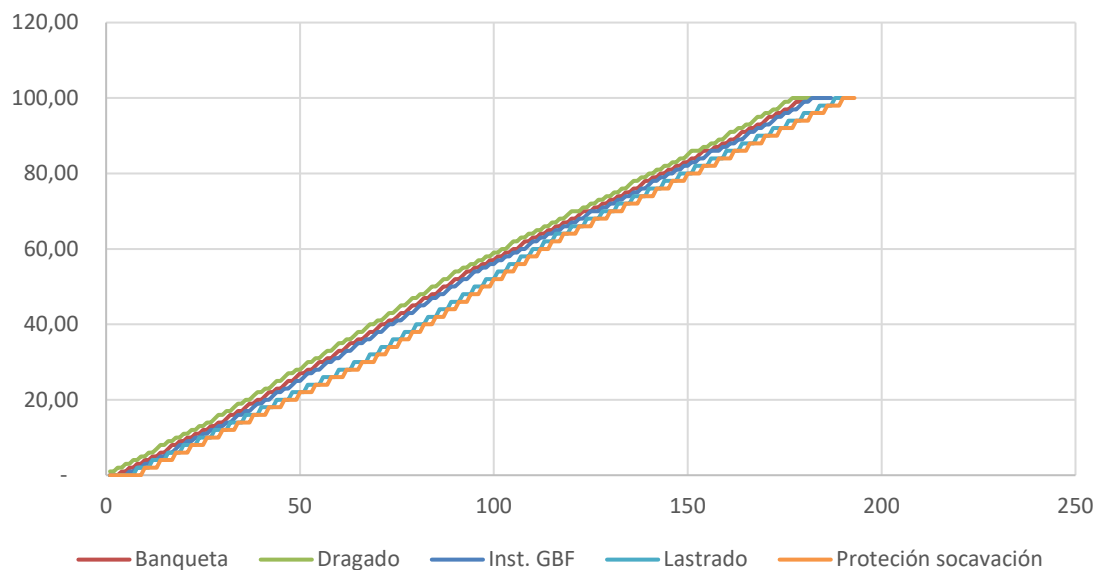


Figura 88: Comparación de planificación de operaciones marítimas con refuerzo para lastrado y protección contra la socavación durante junio y julio

4.6.2. ESTIMACIÓN DE COSTES

La estimación de costes incluye los costes de construcción, divididos en seis capítulos, y los costes de operaciones marítimas, divididos en otros cinco capítulos. Los costes de gestión del proyecto se consideran un 5%. Dado que la estimación se realiza con una finalidad comparativa, hay ciertos costes que no se consideran puesto que no aportan comparación alguna, tales como el coste de la operación de fondeo, ya que se realizará

en todos los casos del mismo modo, o el coste de aerogenerador y torre metálica, ya que en todos los casos se instalará el mismo número de unidades.

El coste del alquiler de puerto tampoco es considerado, ya que formará parte de una negociación específica y puede variar significativamente en función de la disponibilidad de éste.

4.6.2.1. COSTES DE CONSTRUCCIÓN

Los costes de construcción se dividen en seis partidas: hormigón, armadura pasiva, encofrado, postesado, operaciones de movimiento y piezas auxiliares. A los cuatro primeros se les aplica un 7% de Costes Indirectos, un 13% de Gastos Generales y un 6% de Beneficio Industrial. La mayor parte de los costes se obtienen a partir de la información proporcionada en “*Base de precios de referencia de la dirección general de carreteras*” (Ref. [62]). Estos precios se verán afectados si se considera la construcción en otros países, pero tienen en este caso un valor comparativo.

El coste unitario de un metro cúbico de hormigón se obtiene a partir de la mano de obra, material, equipamiento auxiliar, amortización de equipos y grúas, y será diferente para cada uno de los elementos (losa inferior, base, losa superior en su caso, y mástil).

El coste de mano de obra se calcula a partir del equipo de hormigonado (12 operarios para la losa inferior, base con encofrado deslizante, o losa; 6 operarios para encofrado trepante de la superestructura). Se considera un coste horario de 21,06 €/h. El tiempo requerido para realizar el vertido de hormigón dependerá del elemento a hormigonar y del tamaño de éste. Los costes de mano de obra varían entre aproximadamente 2,5 €/m³ para la losa inferior hasta 17 €/m³ dependiendo del volumen y técnica, ya que dependen del número de operarios requeridos y el tiempo que tardan en hormigonar cada m³.

El coste de material es de 84,01 €/m³ (Ref. [62]). El equipamiento auxiliar se estima en 6,85 €/m³. La amortización de equipos se refiere a la planta de hormigonado, cuyo coste se estima en 1,5 M€, y que se amortiza proporcionalmente al volumen de hormigón de cada cimentación, con valores cercanos a 4-5 €/m³.

El coste de las grúas se estima en 1.500 €/día, y se reparte entre el hormigón y la armadura en una proporción 45/55. Se considera una grúa por cada dos posiciones de construcción. El coste de las grúas varía entre 1 y 8 €/m³.

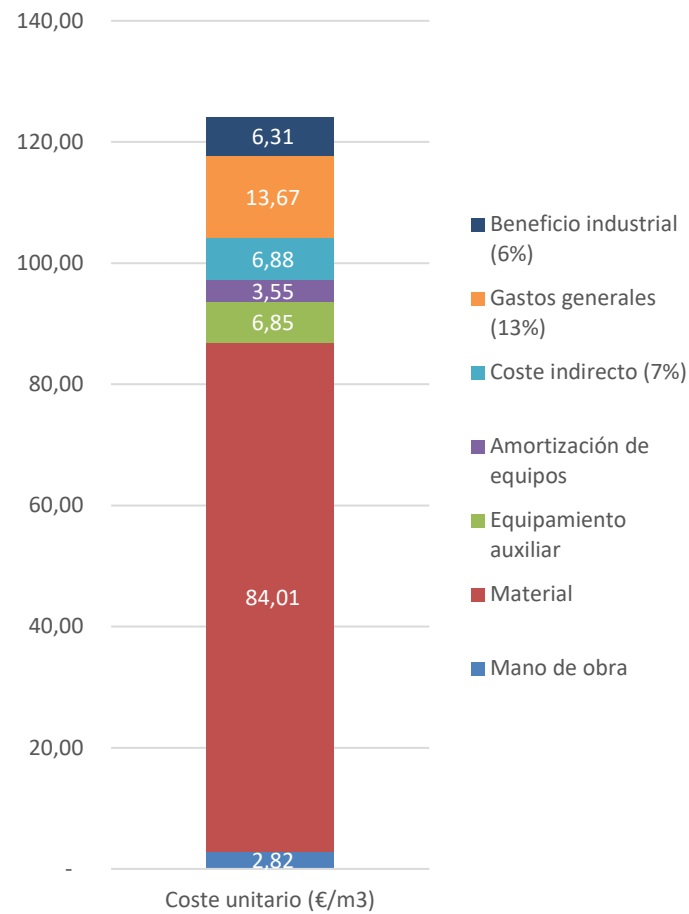


Figura 89: Desglose de coste unitario de hormigón de la S₁₃

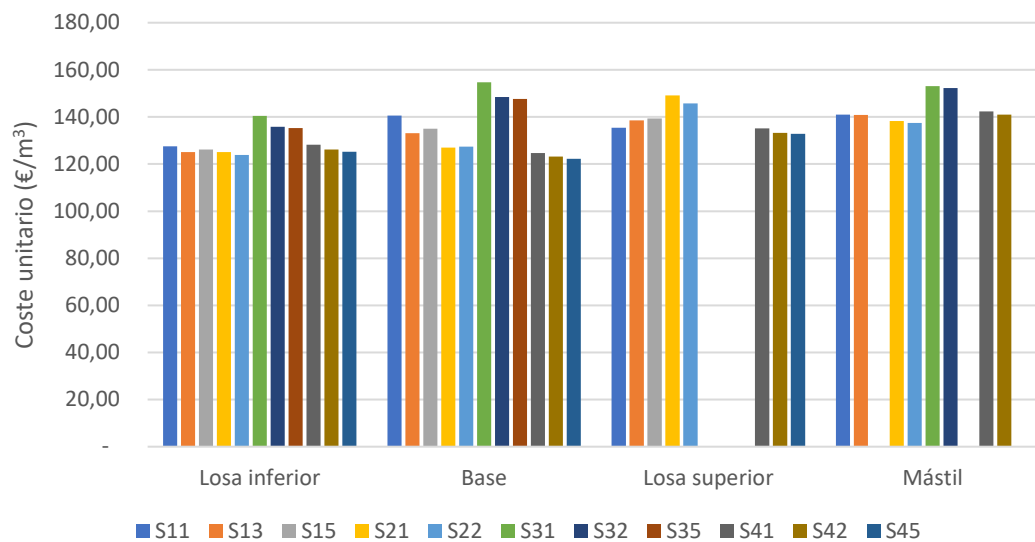


Figura 90: Coste unitario de hormigón

El coste de hormigón ciclópeo para empleo como lastre en puerto (Ref. [62]) se recoge en la Tabla 55, siendo independiente de la solución estudiada.

Tabla 55: Coste de hormigón ciclópeo para uso como lastre en puerto

m³	Hormigón ciclópeo para relleno	71,28	€

Hormigón ciclópeo para relleno

Mano de obra	2,58	€/m³
Material	53,22	€/m³
Equipamiento auxiliar	0,18	€/m³
Coste directo	55,98	€/m³
Coste indirecto (7%)	3,92	€/m³
Gastos generales (13%)	7,79	€/m³
Beneficio industrial (6%)	3,59	€/m³

El coste unitario de armadura pasiva se calcula de manera similar al hormigón. Es necesario definir la cuantía media de armado, que se estima en aproximadamente 200 kg/m³ de hormigón (Ref. [6]).

Los rendimientos de colocación de armadura en la losa inferior y superior se consideran de 1 t/día, mientras que en encofrado deslizante será de 500 kg /día y 800 kg/día en el caso del encofrado trepante. Los costes de mano de obra se encuentran en el rango de 0,15-0,20 €/kg.

Los costes de material (Ref. [62]) son de 0,64 €/kg. El equipamiento auxiliar supone un coste de 0,10 €/kg. Se consideran los costes de amortización de la planta de preparación de la armadura, de 1,5 M€, proporcionalmente a la cantidad total de armadura necesaria. Las grúas se amortizan del mismo modo que el hormigón, representando en torno a 0,05-0,1 €/kg de armado.

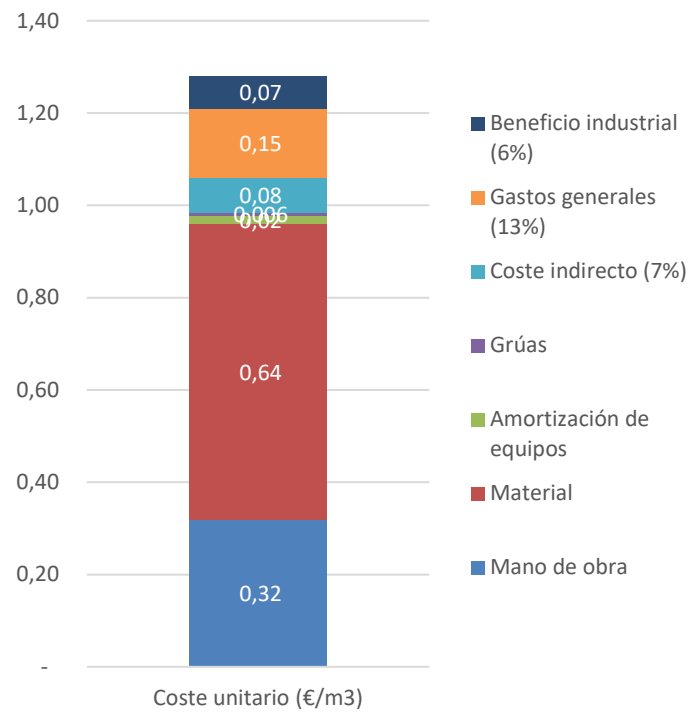


Figura 91: Desglose de coste unitario de armadura pasiva de base de S₁₃

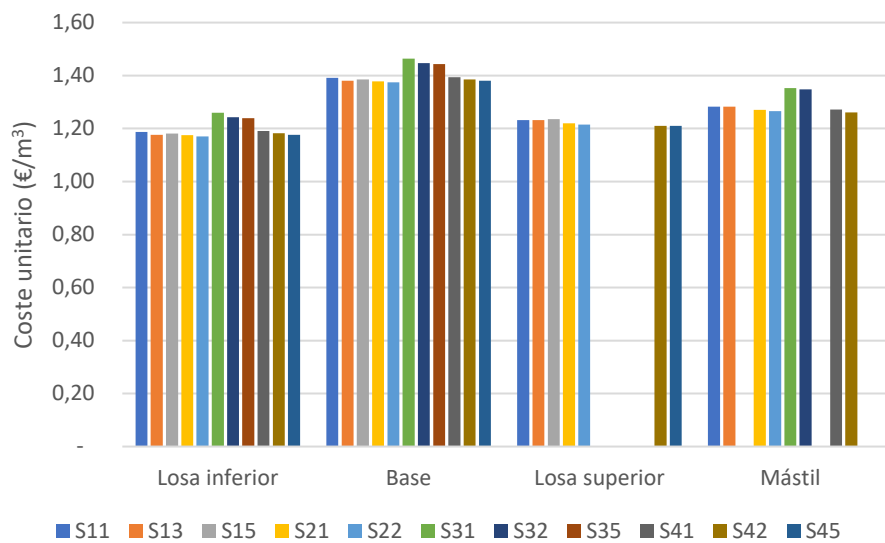


Figura 92: Coste unitario de armadura pasiva

También es necesario conocer el coste de acero laminado estructural para las soluciones cuyo mástil es metálico en lugar de ser de hormigón. El coste se recoge en la Tabla 56 (Ref. [62]).

Tabla 56: Coste de acero laminado estructural para mástil de acero

kg	Acero laminado estructural S335	4,37	€

Acero laminado estructural S355 en chapas, resistente a al corrosión, incluyendo corte, doblado, soldadura, transporte

Mano de Obra	0,33	€/kg
Material	1,71	€/kg
Equipamiento auxiliar	1,39	€/kg
Coste directo	3,43	€/kg
Coste indirecto (7%)	0,24	€/kg
Gastos generales (13%)	0,48	€/kg
Beneficio industrial (6%)	0,22	€/kg

El coste de encofrado de losa (Ref. [62]), es diferente para la losa inferior de 9,62 €/m² y la losa superior 37,86 €/m².

Tabla 57: Coste de encofrado perdido para losa superior

m²	Encofrado perdido para losa superior	37,86	€

Encofrado perdido para losa superior, incluyendo construcción y montaje

Mano de Obra	15,37	€/m²
Material	5,50	€/m²
Equipamiento auxiliar	8,86	€/m²
Coste directo	29,73	€/m²
Coste indirecto (7%)	2,08	€/m²
Gastos generales (13%)	4,14	€/m²
Beneficio industrial (6%)	1,91	€/m²

El coste unitario del encofrado deslizante y trepante se calcula a partir de la mano de obra (6 operarios en ambos casos, en tres turnos de 8 horas en el caso de deslizante, y en un turno de 8 h en el de trepante), con valores próximos a las 5€/m², el equipamiento auxiliar (5€/m², incluyendo camión grúa, andamiaje auxiliar, grupo electrógeno, compresor de aire y otros), y la amortización de equipos.

La amortización de equipos en este caso consiste en el propio encofrado. El encofrado deslizante tiene un coste de construcción de 1.800 €/m², con una altura de 1,2 m. El número de sets necesarios será igual al número de posiciones de construcción. Se estima un 15% de coste de ingeniería. El coste resultante es de aproximadamente 5€/m². El encofrado trepante tiene un coste de 600,000 €, y será necesario contar con tantos sets como posiciones de construcción. El coste de amortización de equipos en este caso será de aproximadamente 15 €/m².

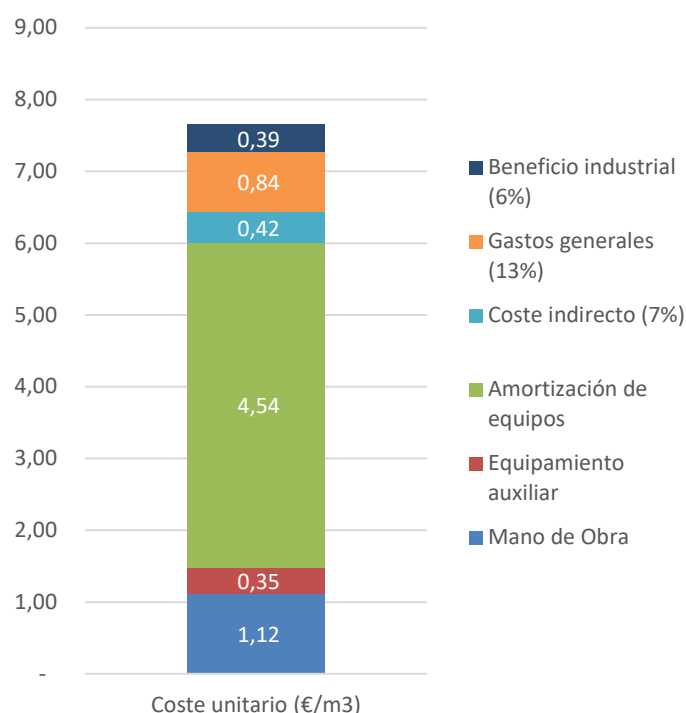


Figura 93: Desglose de costes de encofrado deslizante para S₁₃

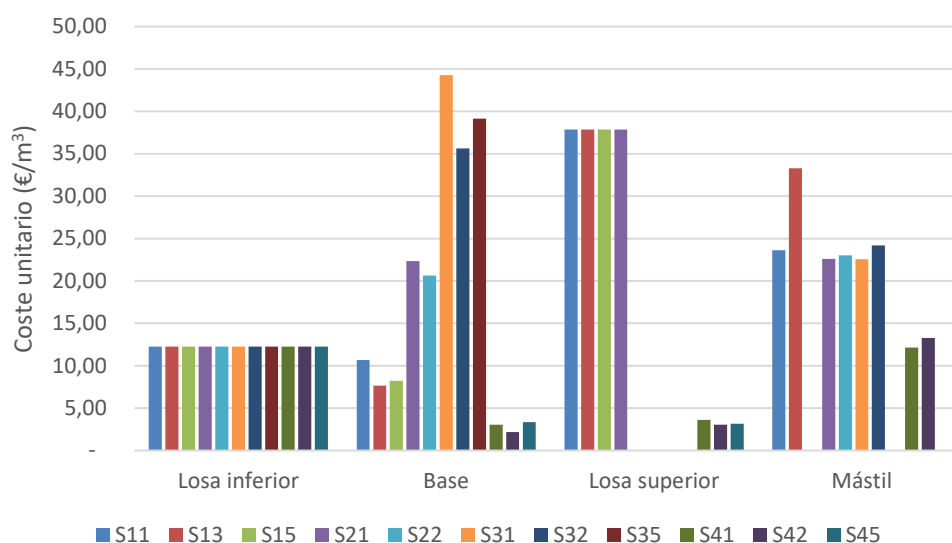


Figura 94: Coste unitario de encofrado

El coste del postesado ha sido proporcionado por el fabricante e instalador, y es de aproximadamente 4€/kg, incluyendo transporte e instalación. La cuantía de postesado se calcula a partir de la carga necesaria. Se realiza una estimación de la carga de postesado de 150.000 kN. Empleando cordones del tipo ASTM A-416-96 0,6 clase 270, de sección nominal 140 mm², la fuerza de cada torón es 260 kN, por lo que serán necesarios 577 torones. La masa lineal es 1,102 kg/m, y la longitud del postesado es 70 m, por lo que el peso total de postesado es de aproximadamente 50 t.

En cuanto a las operaciones de movimiento de GBF en el puerto, el coste de transporte de la base de tierra a mar incluye la amortización del pórtico empleado, así como los equipos de transporte horizontal. El coste estimado es 50.000 € por unidad. Una vez en el agua, los movimientos entre zonas son realizados por remolcadores, con un coste aproximado de 400 € por operación.

Por último, en las alternativas con compartimentos interiores es necesario disponer de válvulas para la colocación de lastre de material sólido. Se dispone de 3 válvulas por compartimento, una de conexión con el cilindro central para la salida de aire, una de no retorno en la pared del cilindro exterior y una en la losa superior para el vertido de lastre. En todos los casos se instala una pieza de conexión, cuyo coste se estima en 80.000 €.

4.6.2.2. COSTES DE INSTALACIÓN

Los costes de las operaciones de instalación se componen de costes de embarcaciones y material. Como se mencionó anteriormente, los costes de las embarcaciones se obtienen de “*A guide to cost standards for dredging equipment*” (Ref. [63]) y “*Comparative evaluation of different offshore wind turbine installation vessels for Korean west-south wind farm*” (Ref. [64]), y se resume en la Tabla 58. Se incluye el coste de la embarcación tipo *jack-up* para instalación de torre metálica y aerogenerador, por si fuese necesaria la comparación con soluciones que lleven el aerogenerador instalado desde puerto.

Tabla 58: Costes de embarcaciones para la instalación

Embarcación	Coste (€/día)
Embarcación auxiliar (EA)	96.000,00
Trailing Suction Hopper Dredger Vessel (TSHDV)	71.927,14
Dynamic Positioning Fall Pipe Vessel (DPFPV)	102.000,43
Jack up Vessel	180.000,00

El coste de material granular para la banquetta y la protección contra la socavación se estima de acuerdo con lo recogido en la Tabla 59.

El material de alta densidad tiene un coste de 340 €/m³, y su transporte a puerto, acopio y carga en barco supone 40,80 €/m³, según información proporcionada por el fabricante. El material granular de arena empleado como lastre se obtendrá del dragado, por lo que su coste se considera nulo.

Tabla 59: Coste de material granular para banquetta

m ³ Material granular para banquetta		24,52	€
Material granular para colocación en banquetta, incluyendo compra, transporte a puerto, acopio en puerto y carga en barco			
Material		24,52	€/m ³
Cantidad de árido diario	8.000,00	t/día	
Producción en cantera	3,50	€/t	
Compra	3,50	€/t	
Carga en cantera	6.000,00	€/día	
Coste carga en cantera	0,75	€/t	
Distancia a Cantera	50,00	km	
Nº viajes por hora	0,50	viajes/hora	
Precio camión	60,00	€/hora	
Capacidad de carga camión	25,00	t/viaje	
Nº de viajes/día	320,00	viajes/día	
Nº horas camión	640,00	horas	
Coste total transporte	38.400,00	€/día	
Coste Transporte a puerto	4,80	€/t	
Acopio Puerto	3.000,00	€/día	
Coste Acopio Puerto	0,38	€/t	
Carga en barco	12.000,00	€/día	
Coste Carga en barco	1,50	€/t	
Coste del árido (FOB)	14,43	€/t	
Densidad	1,70	t/m3	

4.6.2.3. RESULTADO DE LA ESTIMACIÓN DE COSTES

La Tabla 60 muestra los costes de construcción de cada una de las soluciones analizadas. La Tabla 61 muestra los costes de instalación, y la Tabla 62 los costes totales. La Figura 95 muestra los costes desglosados de cada una de las soluciones analizadas.

Tabla 60: Costes de construcción de cada solución analizada

	Hormigón	Armadura	Encofrado	Postesado	Mástil metálico	Transporte y otros	TOTAL CONSTRUCCIÓN
S ₁₁	516.963 €	889.439 €	171.614 €	255.297 €	- €	113.800 €	1.947.112 €
S ₁₃	590.104 €	1.096.486 €	207.281 €	255.297 €	- €	113.800 €	2.262.968 €
S ₁₅	455.615 €	892.208 €	118.527 €	255.297 €	2.311.532 €	113.800 €	4.146.979 €
S ₂₁	626.353 €	1.253.160 €	297.795 €	255.297 €	- €	63.800 €	2.496.404 €
S ₂₂	726.558 €	1.462.111 €	309.732 €	255.297 €	- €	63.800 €	2.817.498 €
S ₃₁	749.177 €	584.973 €	196.062 €	255.297 €	- €	95.800 €	1.881.308 €
S ₃₂	409.173 €	762.326 €	223.928 €	255.297 €	- €	95.800 €	1.746.523 €
S ₃₅	342.425 €	647.588 €	197.169 €	255.297 €	1.820.250 €	95.800 €	3.358.528 €
S ₄₁	432.037 €	828.450 €	156.752 €	255.297 €	- €	113.800 €	1.786.335 €
S ₄₂	529.793 €	1.044.657 €	160.682 €	255.297 €	- €	113.800 €	2.104.229 €
S ₄₅	498.312 €	982.675 €	93.140 €	255.297 €	1.508.936 €	113.800 €	3.452.160 €

Capítulo 4 Validación de la metodología

Tabla 61: Costes de instalación de cada solución analizada

	Dragado	Instalación banqueta	Instalación GBF	Lastrado	Protección contra la socavación	Instalación WTG	TOTAL INSTALACIÓN
S₁₁	1.168.097 €	1.697.546 €	1.620.480 €	334.708 €	471.428 €	1.260.000 €	6.552.259 €
S₁₃	388.407 €	365.446 €	349.440 €	175.502 €	249.329 €	1.260.000 €	2.788.124 €
S₁₅	388.407 €	365.446 €	349.440 €	174.064 €	247.289 €	1.260.000 €	2.784.645 €
S₂₁	1.168.097 €	1.697.546 €	1.620.480 €	334.708 €	471.359 €	1.260.000 €	6.552.189 €
S₂₂	1.168.097 €	1.697.572 €	1.620.480 €	327.988 €	471.616 €	1.260.000 €	6.545.753 €
S₃₁	1.168.097 €	1.689.361 €	1.620.480 €	310.253 €	432.421 €	1.260.000 €	6.480.612 €
S₃₂	1.168.097 €	1.689.453 €	1.620.480 €	303.533 €	433.349 €	1.260.000 €	6.474.912 €
S₃₅	381.933 €	361.422 €	347.520 €	122.995 €	177.475 €	1.260.000 €	2.651.346 €
S₄₁	1.168.097 €	1.697.534 €	1.620.480 €	334.708 €	471.303 €	1.260.000 €	6.552.121 €
S₄₂	1.168.097 €	1.697.559 €	1.620.480 €	327.988 €	471.557 €	1.260.000 €	6.545.681 €
S₄₅	388.407 €	365.446 €	349.440 €	174.064 €	247.289 €	1.260.000 €	2.784.645 €

Tabla 62: Costes totales de cada solución analizada

	Construcción	Instalación	Gestión de proyecto	TOTAL
S₁₁	1.982.112 €	6.552.259 €	426.719 €	8.961.089 €
S₁₃	2.297.968 €	2.788.124 €	254.305 €	5.340.397 €
S₁₅	4.181.979 €	2.784.645 €	348.331 €	7.314.955 €
S₂₁	2.531.404 €	6.552.189 €	454.180 €	9.537.773 €
S₂₂	2.852.498 €	6.545.753 €	469.913 €	9.868.163 €
S₃₁	1.916.308 €	6.480.612 €	419.846 €	8.816.766 €
S₃₂	1.781.523 €	6.474.912 €	412.822 €	8.669.257 €
S₃₅	3.393.528 €	2.651.346 €	302.244 €	6.347.118 €
S₄₁	1.821.335 €	6.552.121 €	418.673 €	8.792.129 €
S₄₂	2.139.229 €	6.545.681 €	434.245 €	9.119.155 €
S₄₅	3.487.160 €	2.784.645 €	313.590 €	6.585.396 €

Puede observarse que las soluciones con mástil metálico muestran mayores costes de construcción que el resto, debido a que el coste unitario del acero laminado es muy superior al del hormigón. Por otra parte, las soluciones con dos campañas de instalación presentan costes de instalación de aproximadamente el doble que las soluciones con una única campaña.

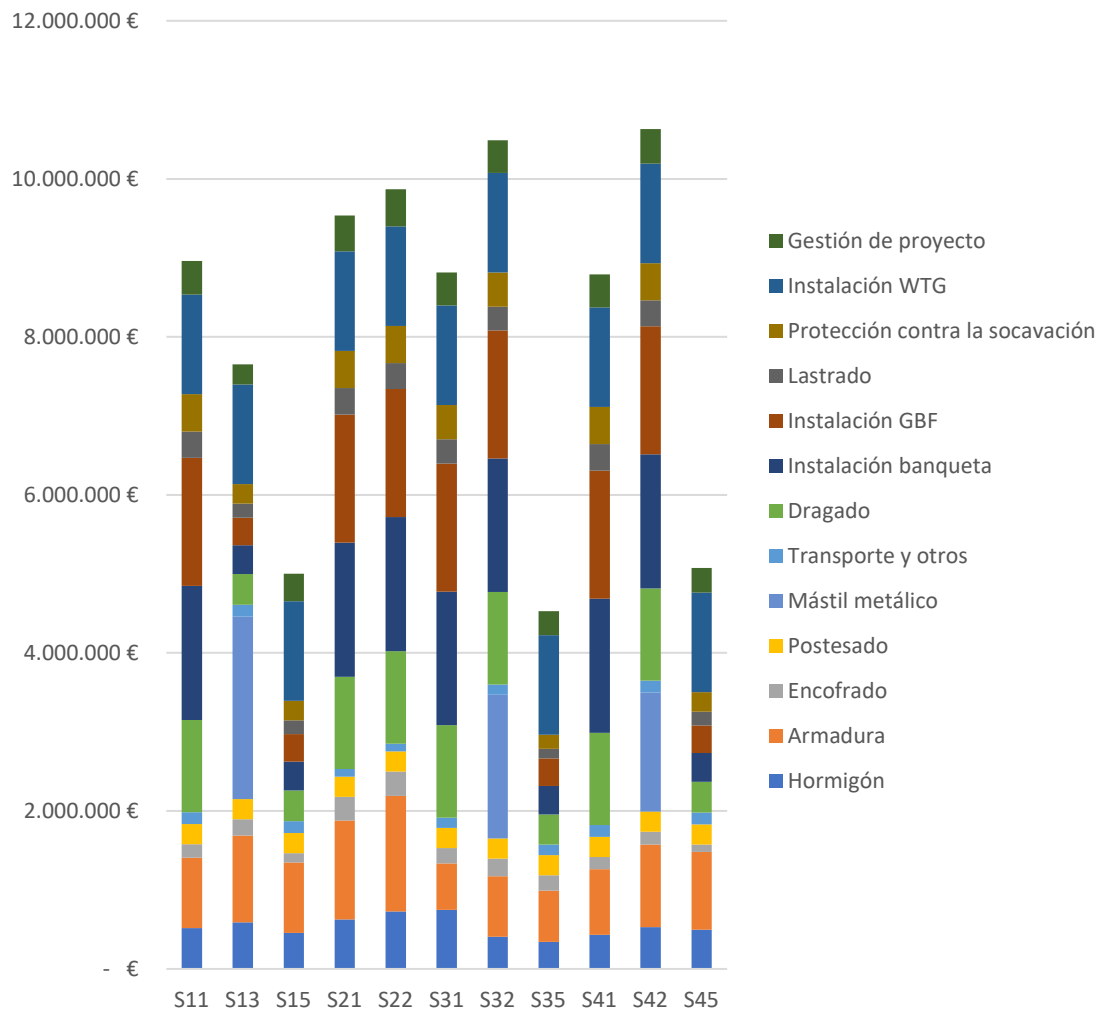


Figura 95: Comparación de costes desglosados de cada solución analizada

4.6.3. ASIGNACIÓN DE VALORES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en las dos fases de la metodología: ponderación de los criterios y evaluación de alternativas. En este caso, se propone desarrollar además una tercera fase, consistente en un análisis de sensibilidad, que muestre cómo varía el análisis de alternativas cuando se introducen cambios específicos en la ponderación de los criterios.

Una vez obtenidos los costes, los valores para cada uno de los criterios de cada alternativa se recogen en la Tabla 63.

Tabla 63: Resultados de cada solución para cada criterio del análisis

			I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅
			Lastre de alta densidad, instalación mediante embarcación auxiliar	Instalación mediante embarcación auxiliar	Autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	GBF + WTG autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar	Mástil metálico, autoestable en transporte, fondeo mediante embarcación auxiliar
G ₁	Base cilíndrica con rigidizadores	Coste (M€)	8,96	S ₁₂ = S ₁₃	5,34	No hay solución	7,31
		Ocupación en puerto (m ²)	12.500,00		25.000,00		17.500,00
		Calado mínimo (m)	6,00		11,50		11,50
		Ocupación lecho marino (m ²)	855,30		962,11		962,11
		Tiempo de instalación (días)	358,00		182,00		182,00
		Embarcaciones máx. (u)	10,00		9,00		9,00
G ₂	Base cilíndrica con celdas	Coste (M€)	9,54	9,87	No hay solución	No hay solución	No hay solución
		Ocupación en puerto (m ²)	12.500,00	12.500,00			
		Calado mínimo (m)	9,55	10,51			
		Ocupación lecho marino (m ²)	855,30	962,11			
		Tiempo de instalación (días)	422,00	422,00			
		Embarcaciones máx. (u)	10,00	10,00			
G ₃	Base cónica	Coste (M€)	8,82	8,67	No hay solución	No hay solución	6,35
		Ocupación en puerto (m ²)	27.500,00	30.000,00			37.500,00
		Calado mínimo (m)	5,00	5,00			7,76
		Ocupación lecho marino (m ²)	754,77	1.134,11			1.194,59
		Tiempo de instalación (días)	422,00	422,00			181,00
		Embarcaciones máx. (u)	10,00	10,00			9,00
G ₄	Base cilíndrica + cónica	Coste (M€)	8,79	9,12	No hay solución	No hay solución	6,59
		Ocupación en puerto (m ²)	12.500,00	12.500,00			25.000,00
		Calado mínimo (m)	5,57	7,16			10,27
		Ocupación lecho marino (m ²)	804,25	907,92			962,11
		Tiempo de instalación (días)	422,00	422,00			182,00
		Embarcaciones máx. (u)	10,00	10,00			9,00

La aplicación de la metodología propuesta resulta en la matriz de comparación de criterios recogida en la Tabla 64 (C.R. = 0,09). Los valores de dicha matriz son resultado de las reuniones mantenidas con el departamento de Negocio de Iberdrola Renovables Energía. El vector de prioridad (Tabla 65) muestra que los criterios priorizados son el coste, el tiempo de instalación y el riesgo tecnológico.

Tabla 64: Matriz de comparación de criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	7	9	7	5	7	3
C2	1/7	1	5	3	1/3	1	1/7
C3	1/9	1/5	1	1/3	1/5	1/3	1/7
C4	1/7	1/3	3	1	1/7	1/5	1/7
C5	1/5	3	5	7	1	3	1/3
C6	1/7	1	3	5	1/3	1	1/5
C7	1/3	7	7	7	3	5	1

Tabla 65: Vector de prioridad

Ponderación criterios		w
C1	Coste	0,37
C2	Ocupación en puerto	0,08
C3	Requerimientos de calado	0,02
C4	Ocupación en lecho marino	0,04
C5	Tiempo de instalación	0,15
C6	Requerimientos de embarcaciones	0,08
C7	Riesgo tecnológico	0,25

La puntuación obtenida aplicando el método TOPSIS, así como el ranking correspondiente, se recogen en la Tabla 66. La S_{13} resulta ser la más próxima a la solución ideal con los criterios considerados. El resto de las alternativas muestran valores cercanos entre sí.

Tabla 66: Resultados del análisis TOPSIS

	RSi	Ranking
S_{11}	0,546	6
S_{13}	0,893	1
S_{15}	0,427	11
S_{21}	0,494	8
S_{22}	0,478	10
S_{31}	0,520	4
S_{32}	0,524	3
S_{35}	0,469	7
S_{41}	0,536	2
S_{42}	0,516	5
S_{45}	0,466	9

No obstante, se realiza un estudio de cuál sería la solución preferida si el análisis se realizase con una perspectiva que priorizase las soluciones que ofrecen menores requerimientos de puerto (ocupación y calado) y embarcaciones. Para ello se considera

la matriz de comparación de criterios recogida en la Tabla 67 (C.R. = 0,10). El vector de prioridad correspondiente se muestra en la Tabla 68.

Tabla 67: Matriz de comparación de criterios para el segundo análisis

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	1/7	1/5	1/3	3	1/7	3
C2	7	1	3	7	9	3	7
C3	5	1/3	1	5	7	1/3	3
C4	3	1/7	1/5	1	5	1/5	5
C5	1/3	1/9	1/7	1/5	1	1/9	1/3
C6	7	1/3	3	5	9	1	5
C7	1/3	1/7	1/3	1/5	3	1/5	1

Tabla 68: Vector de prioridad para el segundo análisis

Ponderación criterios		w
C1	Coste	0,06
C2	Ocupación en puerto	0,35
C3	Requerimientos de calado	0,17
C4	Ocupación en lecho marino	0,11
C5	Tiempo de instalación	0,02
C6	Requerimientos de embarcaciones	0,25
C7	Riesgo tecnológico	0,04

En este caso, la solución preferida será la S_{41} , como muestra la puntuación obtenida aplicando el método TOPSIS (Tabla 69).

Tabla 69: Resultados del segundo análisis TOSPI

	RSi	Ranking
S_{11}	0,865	2
S_{13}	0,457	9
S_{15}	0,627	6
S_{21}	0,753	4
S_{22}	0,718	5
S_{31}	0,497	7
S_{32}	0,419	10
S_{35}	0,214	11
S_{41}	0,874	1
S_{42}	0,829	3
S_{45}	0,463	8

4.7. REVISIÓN DE LA SOLUCIÓN

Seleccionada la estructura mediante el análisis multicriterio, se procede a realizar una primera verificación que permita asegurar que la estructura soporta satisfactoriamente las solicitaciones a las que se encuentra sometida a lo largo de su vida útil. Para ello, se analizan tensiones, deflexiones, tensiones en el terreno y modo de vibración, en los estados límite último y servicio, de acuerdo con las bases de cálculo detalladas en el punto siguiente.

La geometría de la estructura se detalla en el plano 1/2 del ANEXO IV. Los elementos que la conforman son: losa inferior, losa superior, cilindro exterior, cilindro interior, rigidizadores y mástil. El volumen de hormigón de la estructura es de 4.229 m³.

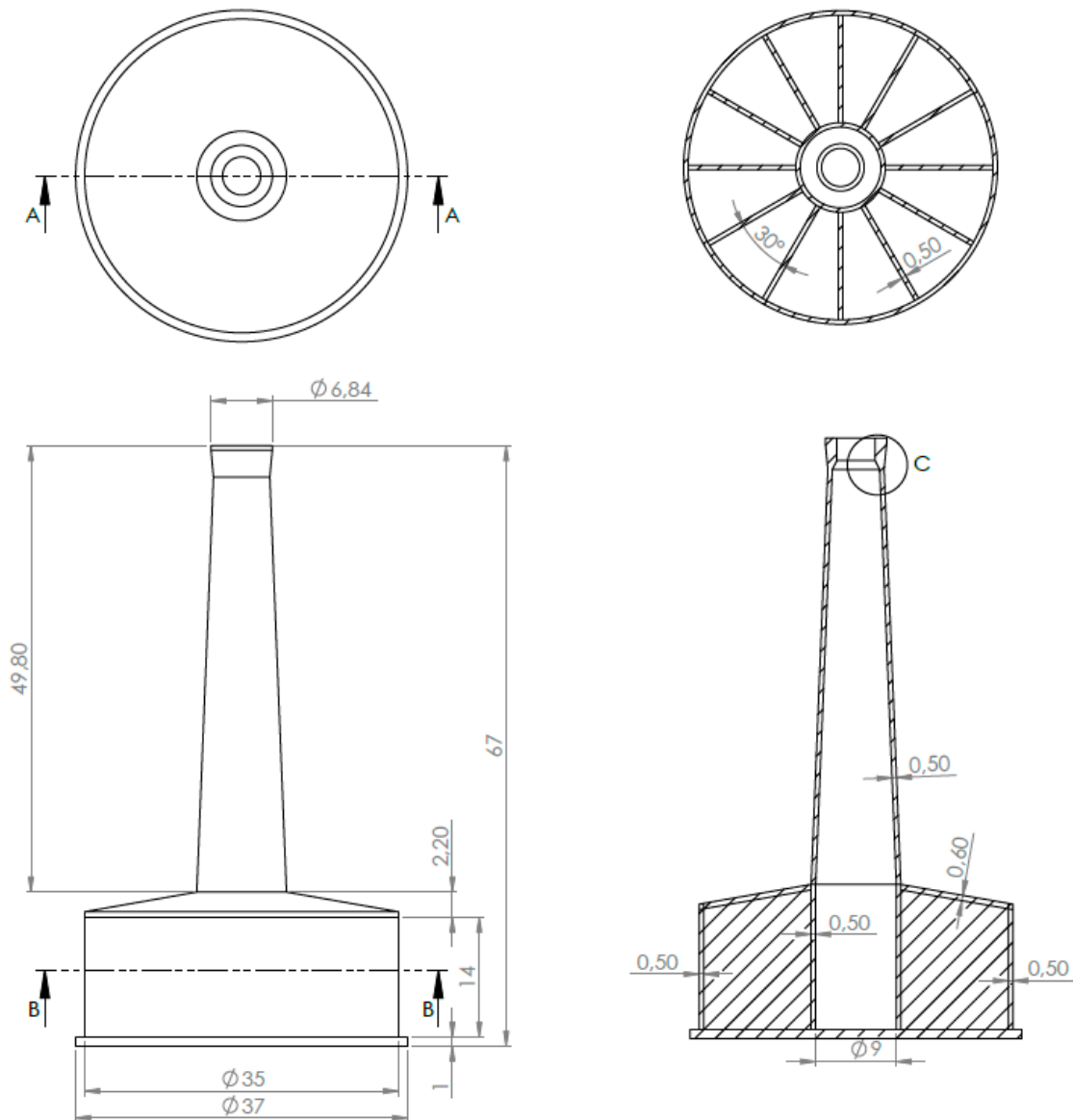


Figura 96: Plano de definición geométrica de la estructura

Para su transporte, la estructura se lastra con hormigón ciclópeo ($393,97 \text{ m}^3$) para conseguir un calado $c_{\text{PORT}} = 11,50 \text{ m}$. Una vez en la ubicación final, se fondea con agua, y posteriormente se lastra de manera definitiva con arena ($13.763,73 \text{ m}^3$). El material del mástil es hormigón HA-40, mientras que en la base se coloca un hormigón HA-30, ya que tiene un comportamiento estructural más másico. La armadura será acero tipo S 500.

4.7.1. REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS Y CÁLCULO DE CARGAS

Las cargas consideradas para el análisis estructural son las recogidas en la sección §3.7.1. Se consideran cuatro fases transitorias en las que se dan diferentes situaciones de carga pueden resultar críticas para algunos elementos:

1. Finalización del fondeo: inicialmente la estructura se encuentra sumergida parcialmente en el agua, con un calado de $c_{\text{PORT}} = 11,50 \text{ m}$, y como lastre únicamente hormigón ciclópeo ($393,97 \text{ m}^3$). La estructura se conecta a la EA y se fondea mediante la introducción de lastre de agua. La situación de carga considerada corresponde al momento en el que la estructura se encuentra fondeada en el lecho marino, para un nivel de agua igual al HAT ($\text{HAT} = 53 \text{ m}$), pero aún no se ha rellenado totalmente con lastre de agua. El lastre de agua requerido en esa posición es de $7.338,25 \text{ t}$, alcanzando una altura de 8 m en el interior del cajón.
2. Inicio del lastrado definitivo: una vez finalizado el lastrado completo con agua, comienza a introducirse el lastre definitivo, de arena. El lastre se introduce a través de válvulas ubicadas en la losa superior, por lo que los compartimentos se rellenan uno a uno. La situación de carga considerada corresponde al momento en el que uno de los compartimentos se encuentra lleno de lastre de arena, mientras que el resto están llenos de agua, y el nivel de agua es igual al HAT ($\text{HAT} = 53 \text{ m}$).
3. Fase intermedia de lastrado definitivo: una vez llenados todos los compartimentos de lastre definitivo, se procede a llenar el mástil central de lastre de arena, ya que hasta ese momento se encuentra lleno de agua. La situación de carga considerada corresponde al momento en el que todos los compartimentos se encuentran llenos de lastre de arena, mientras que el cilindro interior se encuentra lleno de agua, y el nivel de agua es igual al HAT ($\text{HAT} = 53 \text{ m}$).
4. Operación: cuando el lastre definitivo se ha colocado en el interior de la estructura, y la torre metálica y aerogenerador han sido instalados, comienza la situación de operación normal de la estructura. Sobre ella se aplican entonces las cargas de operación y las cargas hidrodinámicas debidas al oleaje y corriente. La situación de carga considerada corresponde a la máxima carga hidrodinámica,

con cargas aplicadas correspondientes a la situación de ELS o ELU del aerogenerador, y el nivel de agua es igual al EWSL (EWSL = 54,4 m).

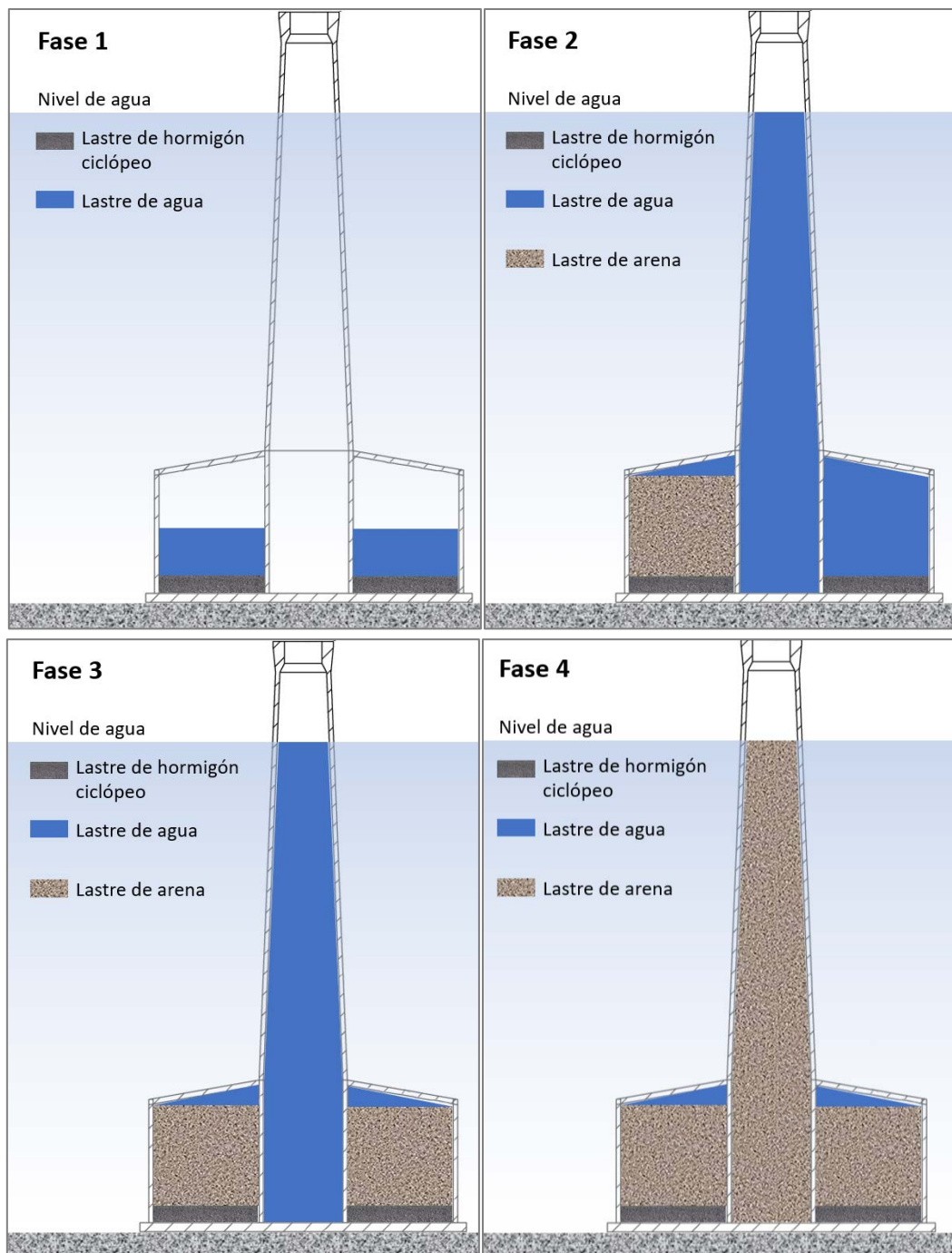


Figura 97: Esquema de fases de lastrado

Para el análisis de ELS, se emplean la combinación quasi-permanente de cargas del aerogenerador y torre metálica. Las cargas de oleaje se asumen como las cargas extremas de RP = 50 años, reducidas por un factor de $f = 0,5$. Para el análisis de ELU, se emplean las cargas extremas del aerogenerador mayoradas por un factor de 1,35, que se recogen en la Tabla 70.

Tabla 70: Cargas de aerogenerador y torre mayoradas, en base de la torre

	ELU			ELS		
Fz	-	2,09	MN	-	0,93	MN
Fxy		9,60	MN		7,11	MN
Mxy		144,99	MN.m		64,82	MN.m

4.7.2. MODELO ESTRUCTURAL

Se realiza un modelo estructural 2D (Figura 98), con elementos tipo viga, para analizar los efectos en el mástil. Se introducen las propiedades de cada una de las 68 secciones. Se realiza también un modelo 3D para la base, con elementos tipo placa (Figura 99).

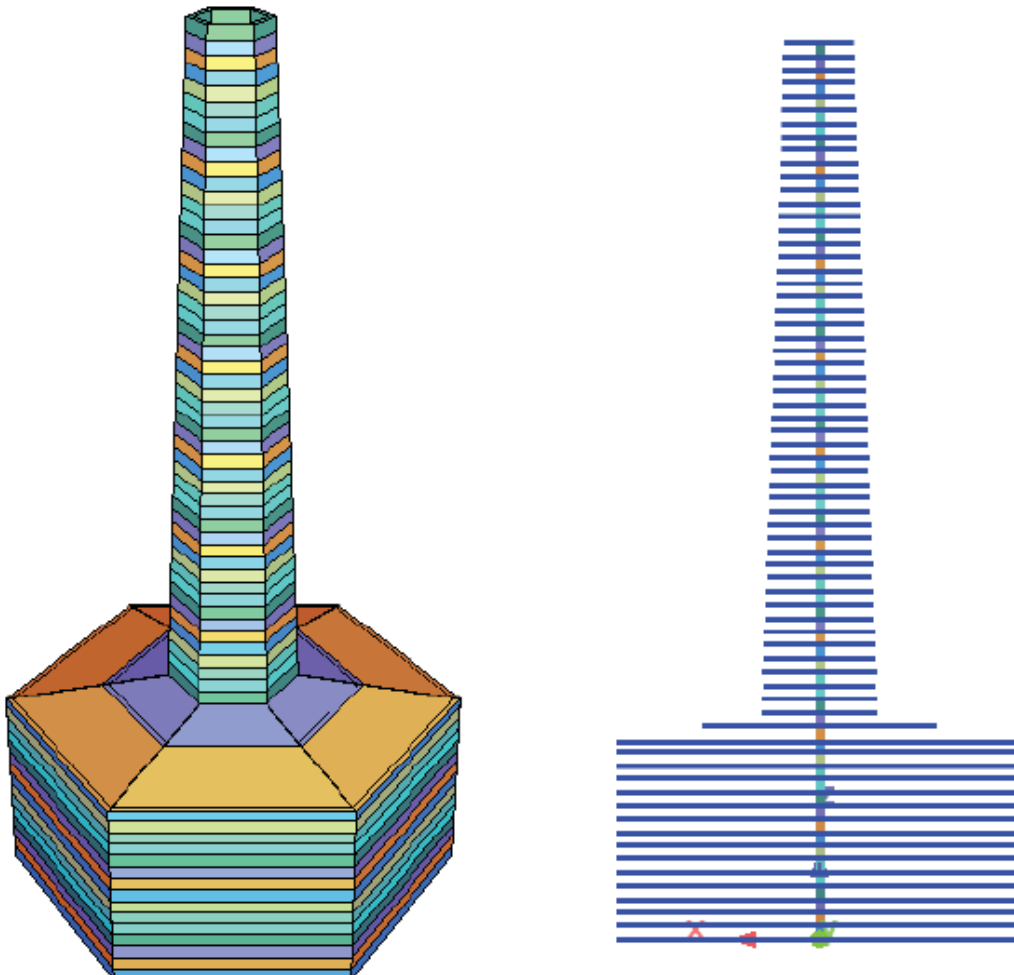


Figura 98: Modelo 2D para cálculo estructural preliminar

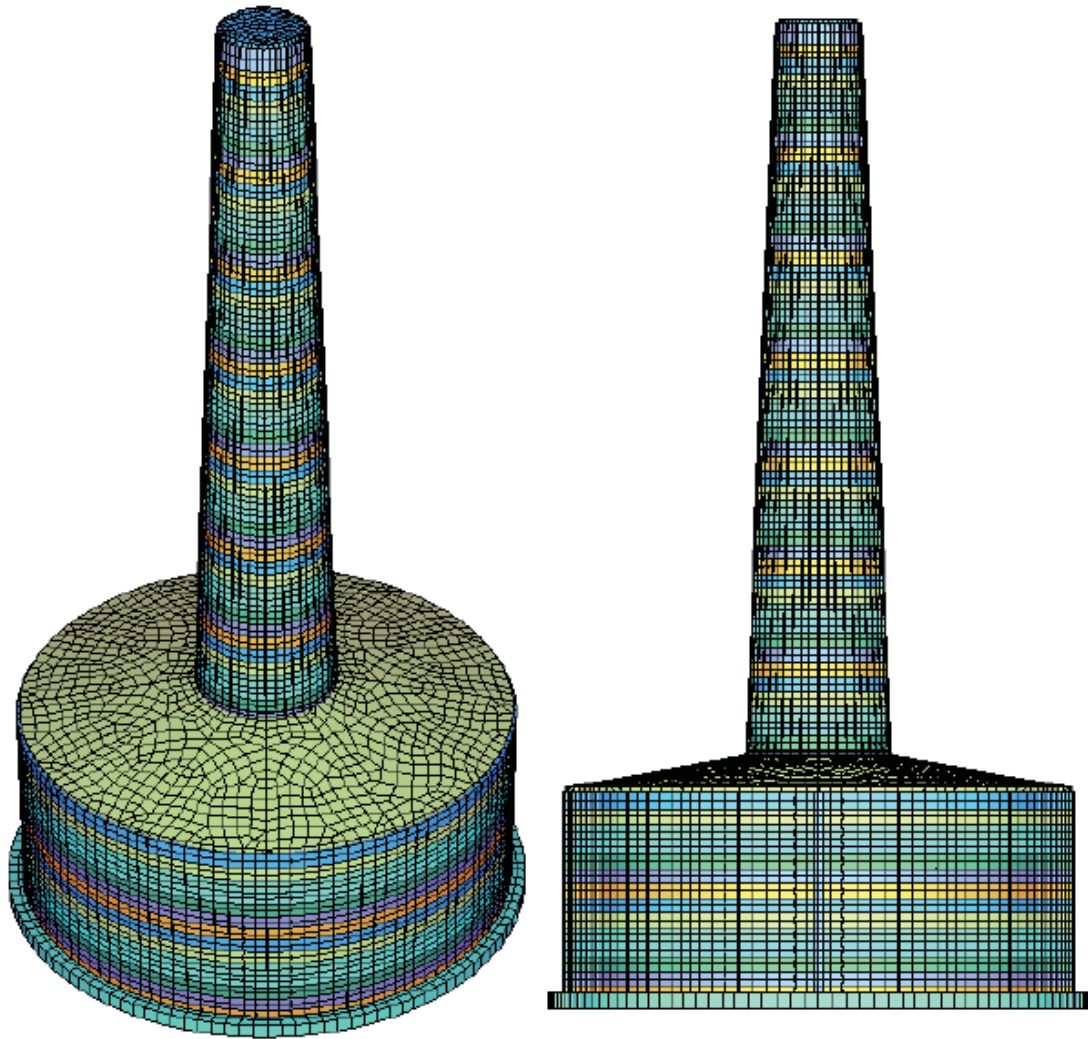


Figura 99: Modelo 3D para cálculo estructural preliminar

4.7.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.7.1.1. TENSIONES MÁXIMAS EN EL TERRENO

En “*Geotecnia y Cimientos III, Primera parte*” (Ref. [91]) se proporciona una relación entre la calidad del suelo y el coeficiente de balasto para placa de carga de 30x30 (Tabla 71). Para el cálculo de las tensiones en el terreno, se propone considerar un módulo de balasto relativamente bajo ($k = 10.000 \text{ kN/m}^3$), siendo este un enfoque conservador que implica que la solución es válida para un amplio rango de tipos de suelo.

Las tensiones máximas en el terreno alcanzan valores de 429 kN/m^2 (Figura 100). Esto se corresponde con una presión de $4,37 \text{ kg/cm}^2$, lo que se considera un valor que un terreno de calidad media puede soportar.

Tabla 71: Valores de coeficiente de balasto para diferentes tipos de suelo (Ref. [91])

Tipo de suelo	Coef. Balasto k_{30} (kN/m ³)
Suelo fangoso	5.000-15.000
Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 3 a 9)	12.000-36.000
Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 9 a 30)	36.000-120.000
Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 30 a 50)	120.000-240.000
Grava fina con arena fina	80.000-100.000
Grava media con arena fina	100.000-120.000
Grava media con arena gruesa	120.000-150.000
Grava gruesa con arena gruesa	150.000-200.000
Grava gruesa firmemente estratificada	200.000-400.000
Arcilla blanda (q_u 0,25 a 0,50 kp/cm ²)	6.500-13.000
Arcilla media (q_u 0,50 a 2,00 kp/cm ²)	13.000-40.000
Arcilla compacta (q_u 2,00 a 4,00 kp/ kp/cm ²)	40.000-80.000
Arcilla margosa dura (q_u 4,00 a 10,00 kp/cm ²)	80.000-210.000
Marga arenosa rígida	210.000-440.000
Arena de miga y tocos	220.000-1.100.000
Marga arenosa rígida	220.000-22.000.000
Caliza margosa alterada	1.500.000-2.200.000
Caliza sana	8.850.000-360.000.000
Granito meteorizado	300.000-90.000.000
Granito sano	17.000.000-36.000.000

4.7.1.2. VERIFICACIÓN DE ESTADOS LÍMITE

Se analiza la comprobación del ELU de cada uno de los elementos de la estructura, verificando que los esfuerzos son inferiores a los resistidos por la sección correspondiente. Las cuantías de armadura necesarias en cada elemento se recogen en la Tabla 72.

Tabla 72: Ratio de armado de cada elemento de la estructura

Elemento	Ratio de armado
Losa inferior	177 kg/m ²
Losa superior	225 kg/m ²
Cilindro exterior	290 kg/m ²
Cilindro interior	115 kg/m ²
Rigidizadores	110 kg/m ²
Mástil	80 kg/m ²

En el caso del cilindro exterior, se producen esfuerzos importantes en la zona que conecta con los rigidizadores (Figura 101), así como la conexión con las losas inferior y

superior (Figura 102). Para resolverlo, estas zonas podrían contar con refuerzos y acartelamientos que permitan soportar los esfuerzos localizados.

De igual modo, la losa inferior debe soportar importantes esfuerzos en la zona de conexión con los cilindros interior y exterior (Figura 103) y los rigidizadores (Figura 104), así como en la zona central, pero el canto de ésta (1 m), hace que la disposición de armadura no resulte crítica.

Capítulo 4 Validación de la metodología

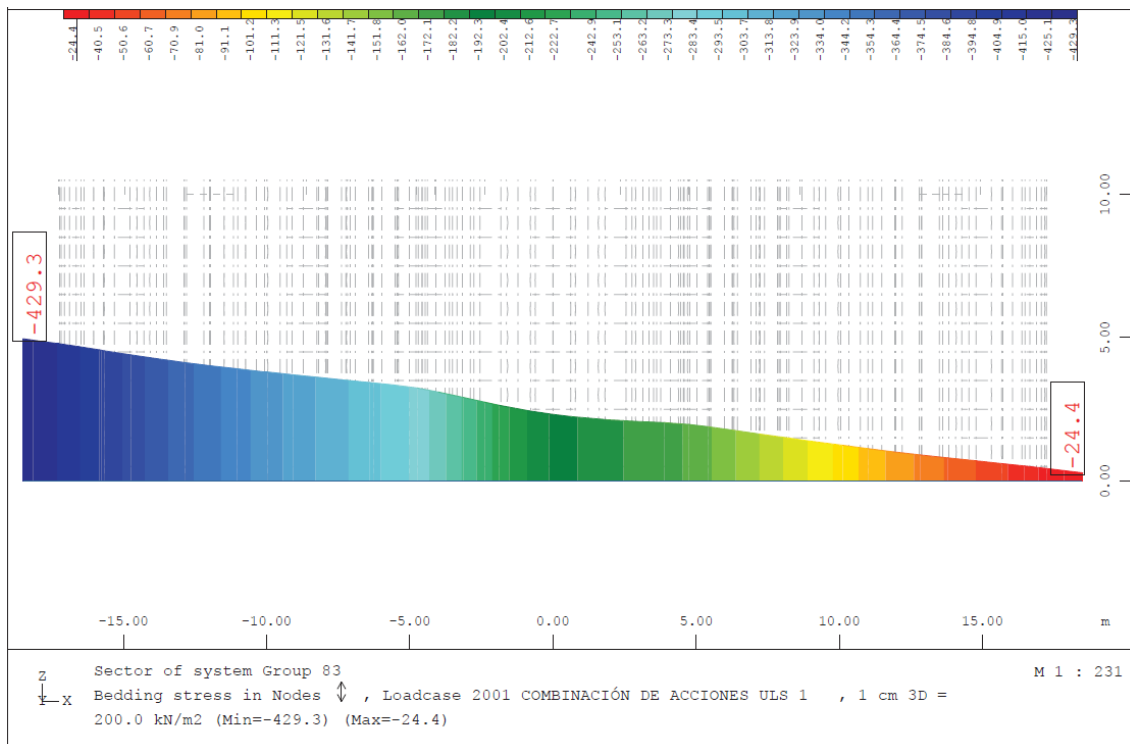
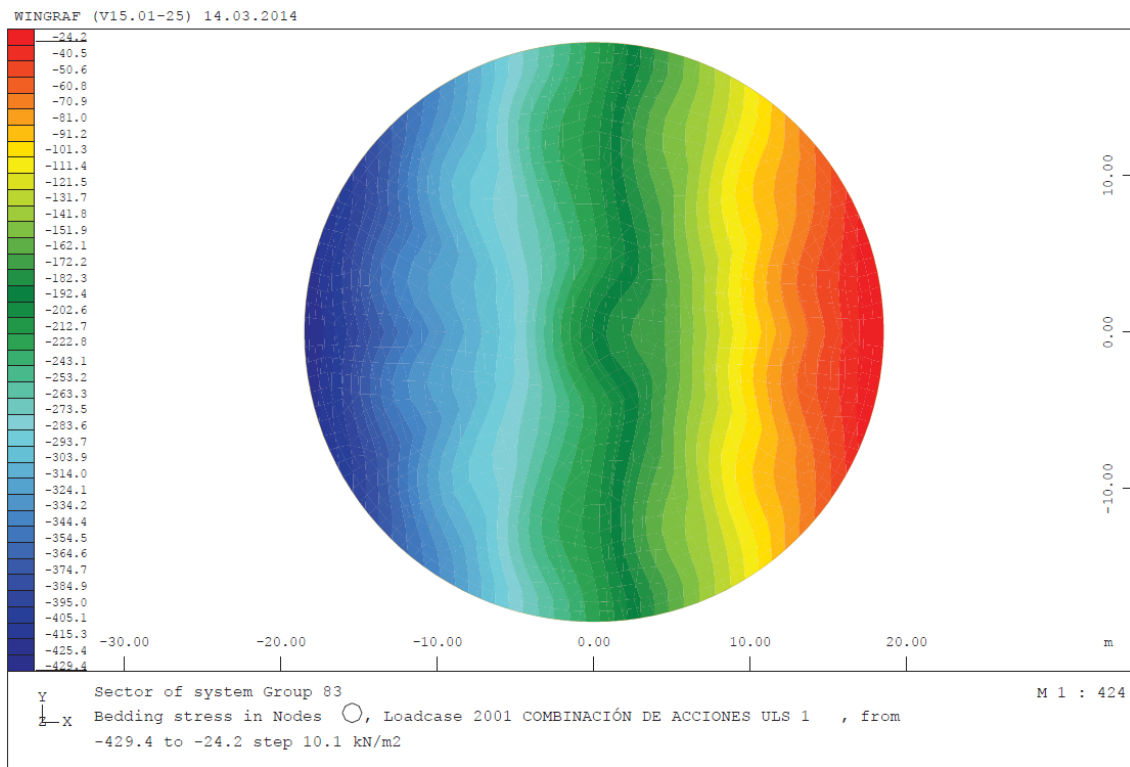


Figura 100: Distribución de tensiones en el terreno

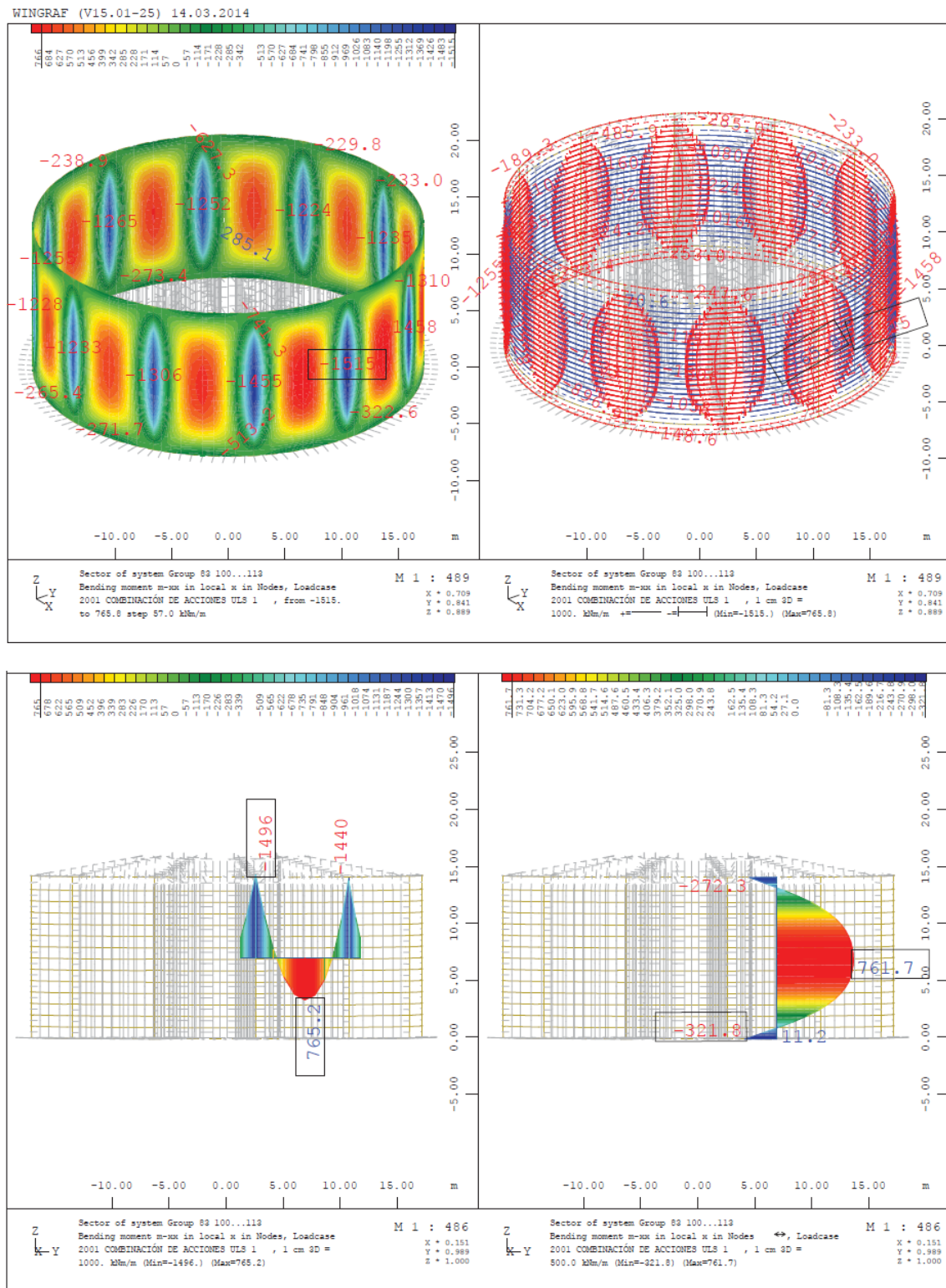


Figura 101: Momento Mxx del cilindro exterior

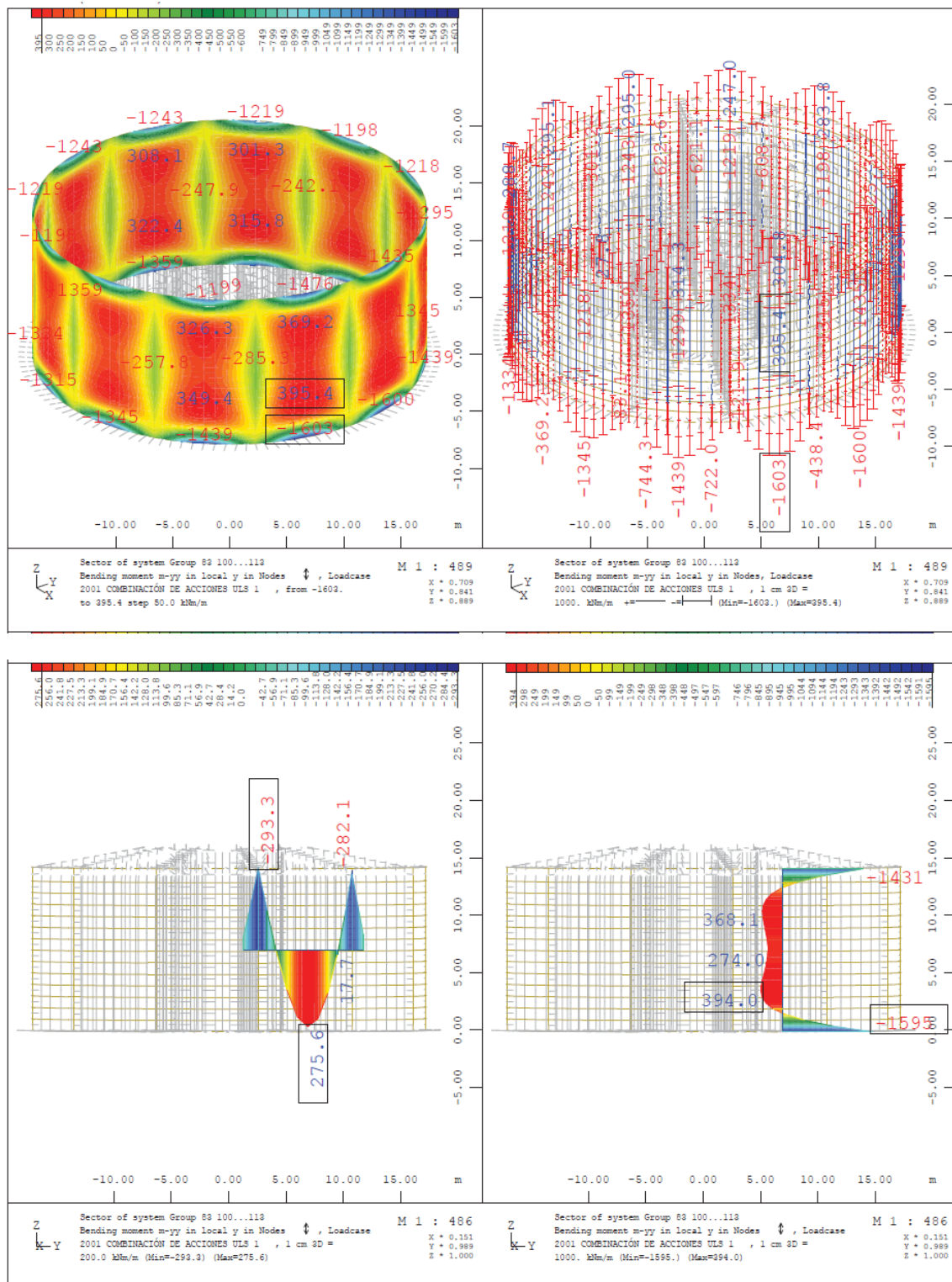


Figura 102: Momento M_{yy} del cilindro exterior

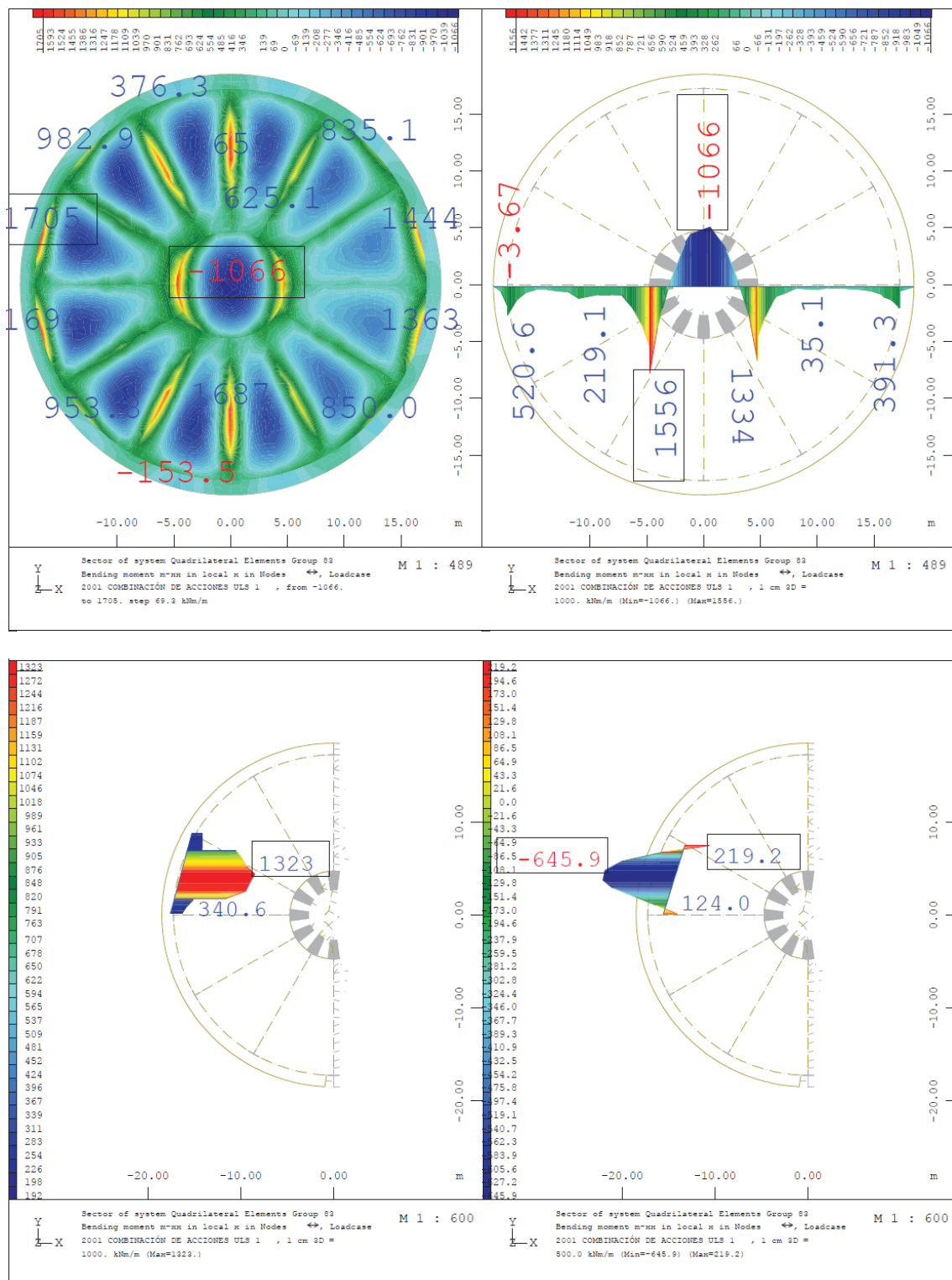


Figura 103: Momento M_{xx} de la losa inferior

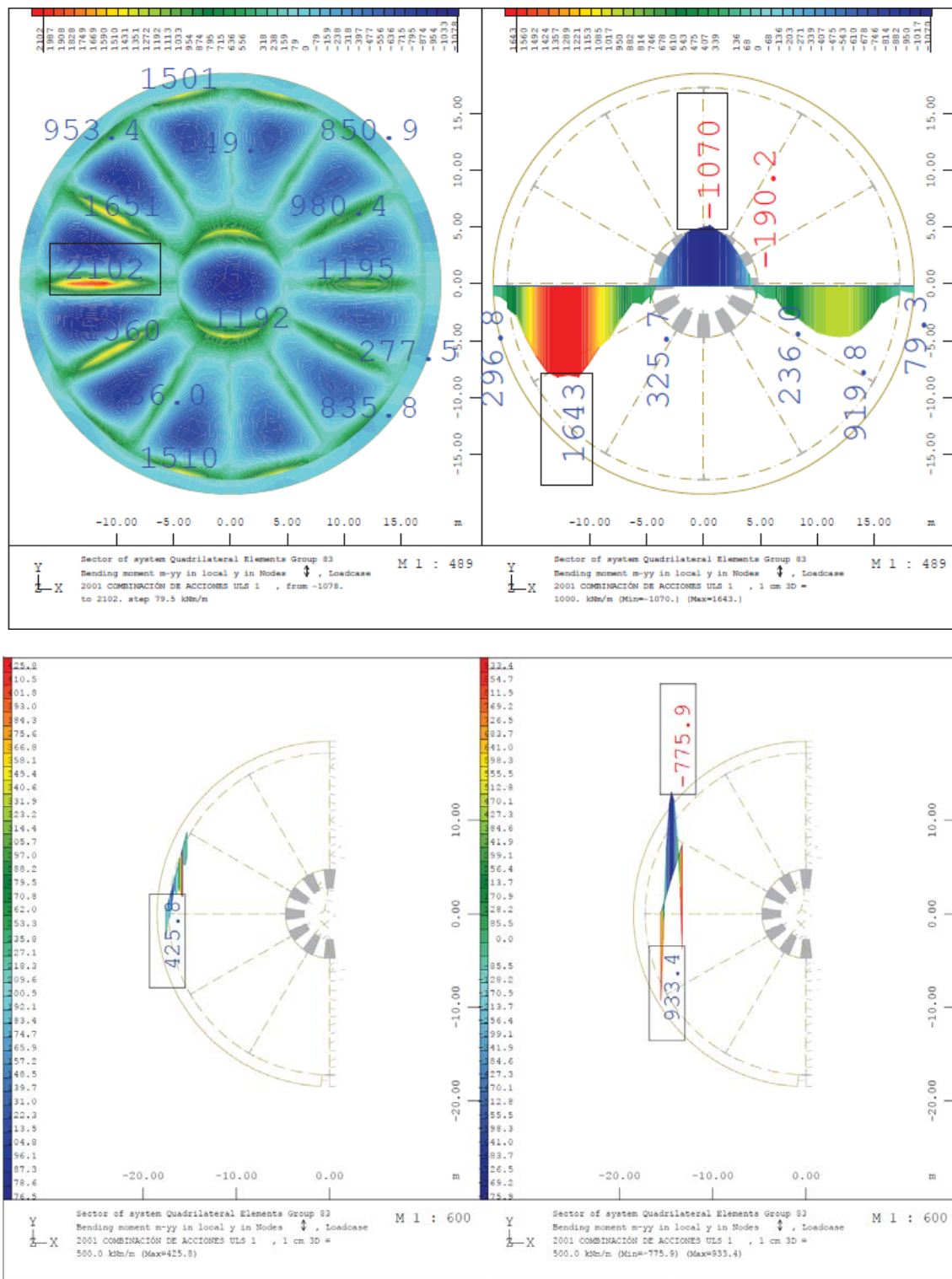


Figura 104: Momento Myy de la losa inferior

Sin embargo, la losa superior, además de los elevados esfuerzos en las zonas de conexión con el resto de los elementos (Figura 106 y Figura 107), debe soportar grandes esfuerzos en la zona central de cada compartimento. Esto se debe a que en la fase de fondeo existe una situación en la que hay una gran presión hidrostática desde el exterior, que no se ve compensada con la presión interior por estar los compartimentos parcialmente vacíos.

El canto dispuesto (60 cm) no permite colocar la armadura requerida, por lo que debe tomarse alguna medida modificadora. Las posibles soluciones que se consideran pasan por reducir la luz de la losa entre rigidizadores o entre cilindros, por medio de un mayor número de rigidizadores o un cilindro intermedio entre el exterior y el interior. Estas modificaciones de la geometría implicarían un cambio en el sistema de instalación, ya que aumentan el número de compartimentos, lo que implica un incremento en el tiempo y complejidad de la operación de lastrado. También repercute negativamente en el proceso constructivo.

El incremento del canto de la losa para albergar la armadura que requiere ($e_{LSUP} = 1$ m) repercutiría en la estabilidad durante el transporte, ya que aumenta la altura del centro de gravedad, reduciendo la altura metacéntrica (para $c_{port} = 11,5$ m de $H_M = 1$ m a $H_M' = 0,46$ m) como se muestra en la Figura 105.

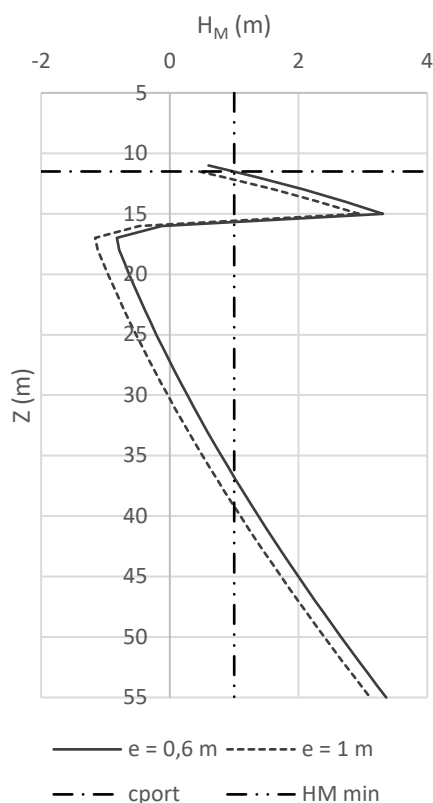
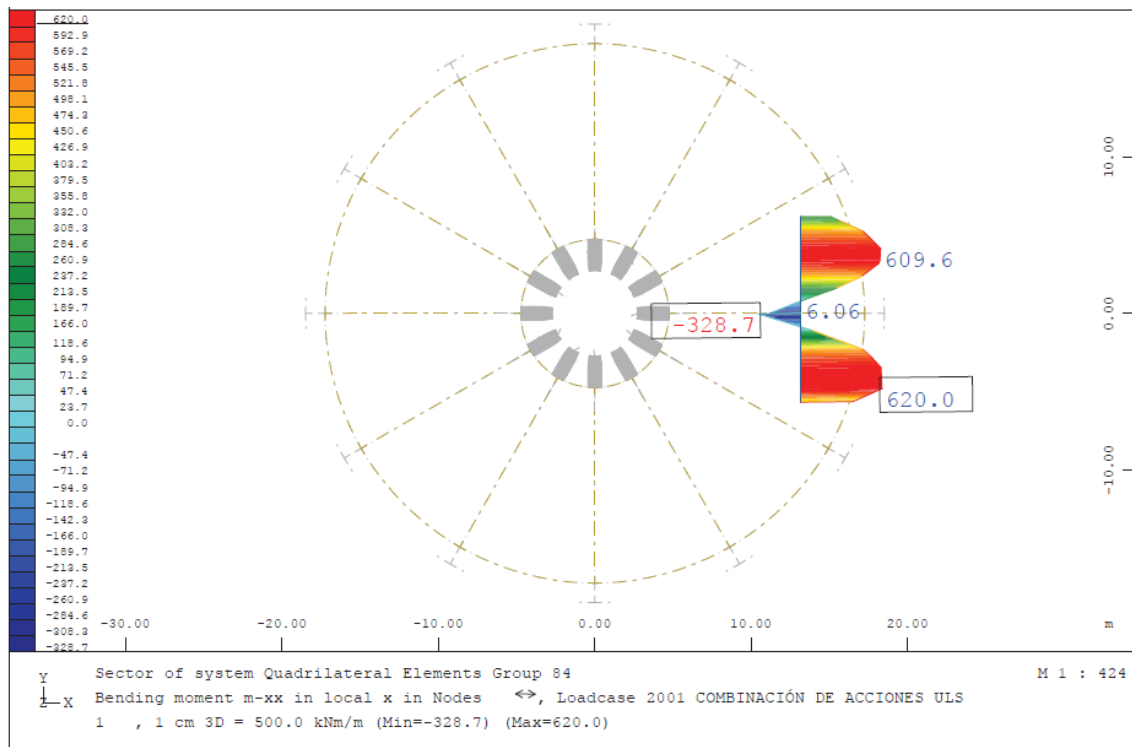


Figura 105: Variación de altura metacéntrica H_M de solución con espesor de losa 0,6 m vs 1 m



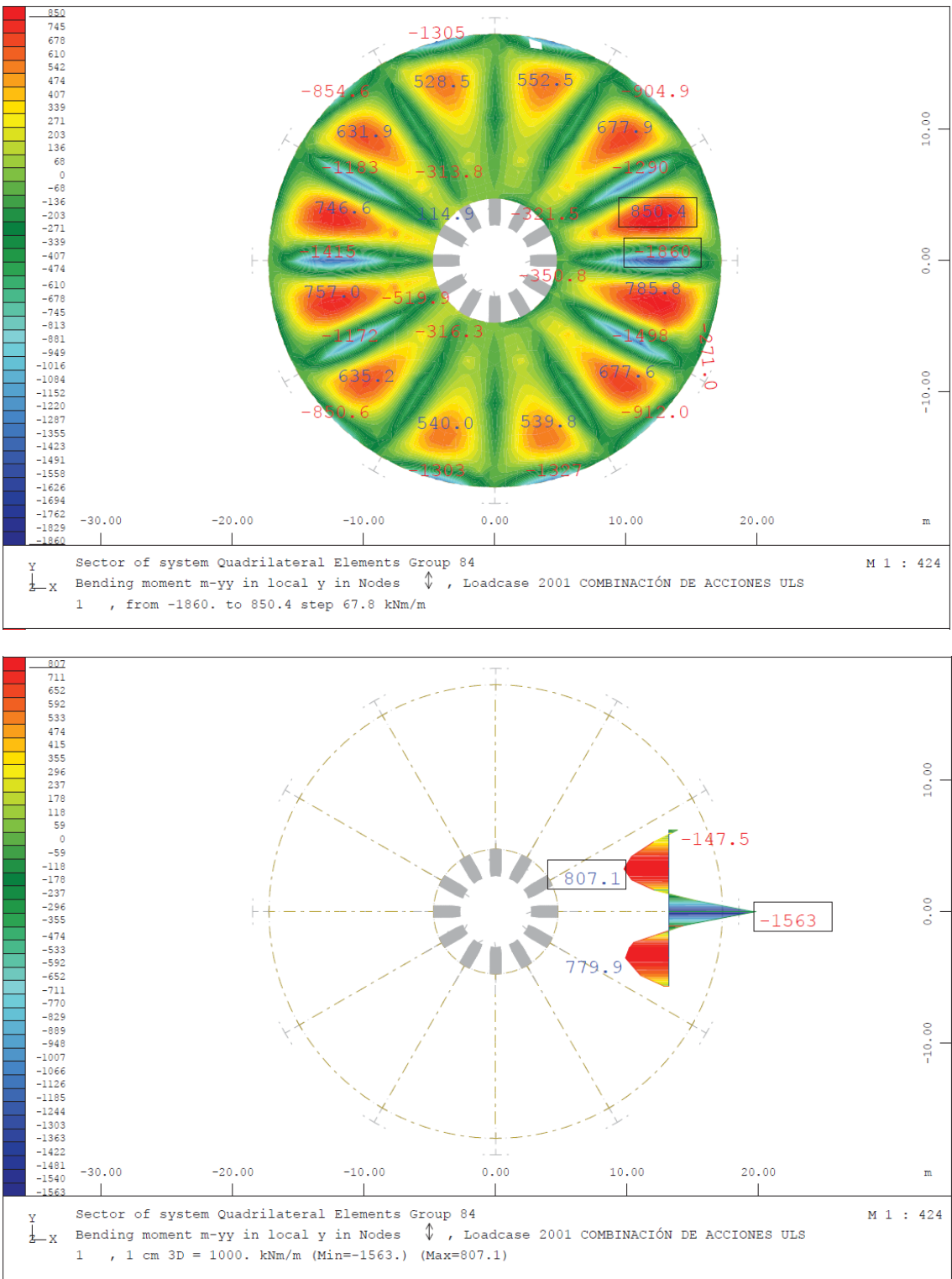


Figura 107: Momento M_{yy} de la losa superior para LC 2001

En cuanto al análisis del mástil, el postesado requerido para que no se produzca descompresión para la combinación de cargas correspondiente al ELS es de 150.000 kN. Esto corresponde aproximadamente a 18 tendones, lo que resulta razonable para una torre con diámetro 6 m. La Figura 108 muestra los esfuerzos de compresión en cada sección del mástil. En cuanto a la comprobación para ELU, se verifica que el mástil tiene suficiente resistencia para soportar las cargas extremas consideradas.

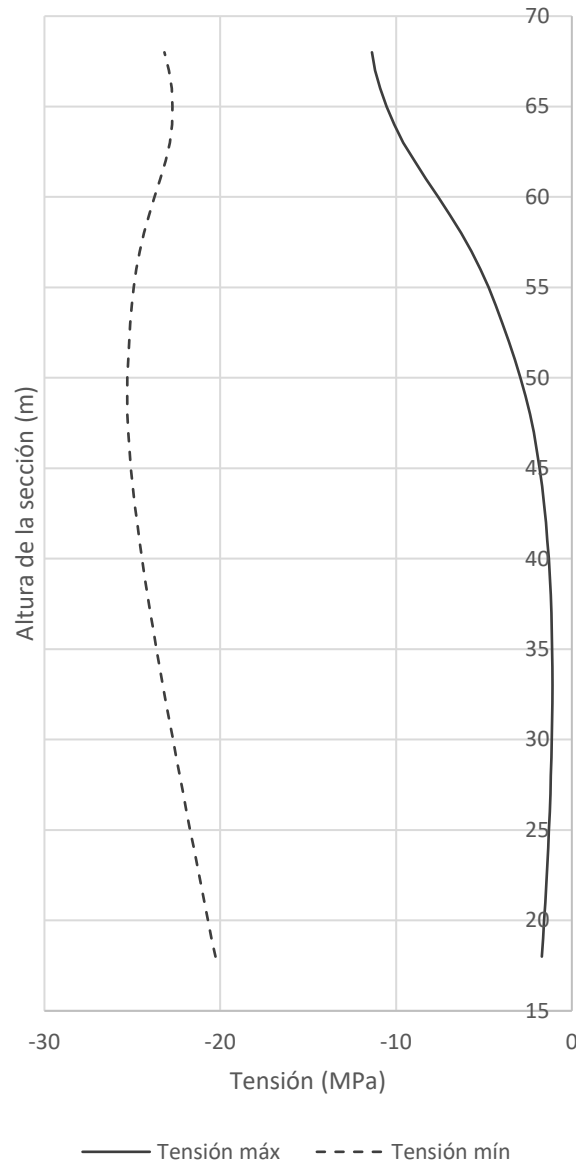


Figura 108: Esfuerzos máximos y mínimos para mástil con postesado 150.000 kN

4.7.1.3. MODOS DE VIBRACIÓN

El cálculo de los modos de vibración de la estructura dependerá también de la rigidez del terreno. Se realiza el cálculo con dos valores de módulo de balasto, uno de ellos

correspondiente a un terreno de baja calidad ($k_1 = 10.000 \text{ kN/m}^3$) y otro correspondiente a un terreno infinitamente rígido ($k_2 = 1 \text{ E30 kN/m}^3$).

Las franjas aceptables son proporcionadas por el suministrador, que establece que la primera frecuencia debe encontrarse entre 0,225 y 0,340 Hz. Se verifica que la primera frecuencia propia del conjunto satisface dicha condición, ya que tiene un valor de 0,291 Hz para un módulo de balasto de 10.000 kN/m^3 , y un valor de 0,297 Hz para un módulo de balasto de 1 E30 kN/m^3 .

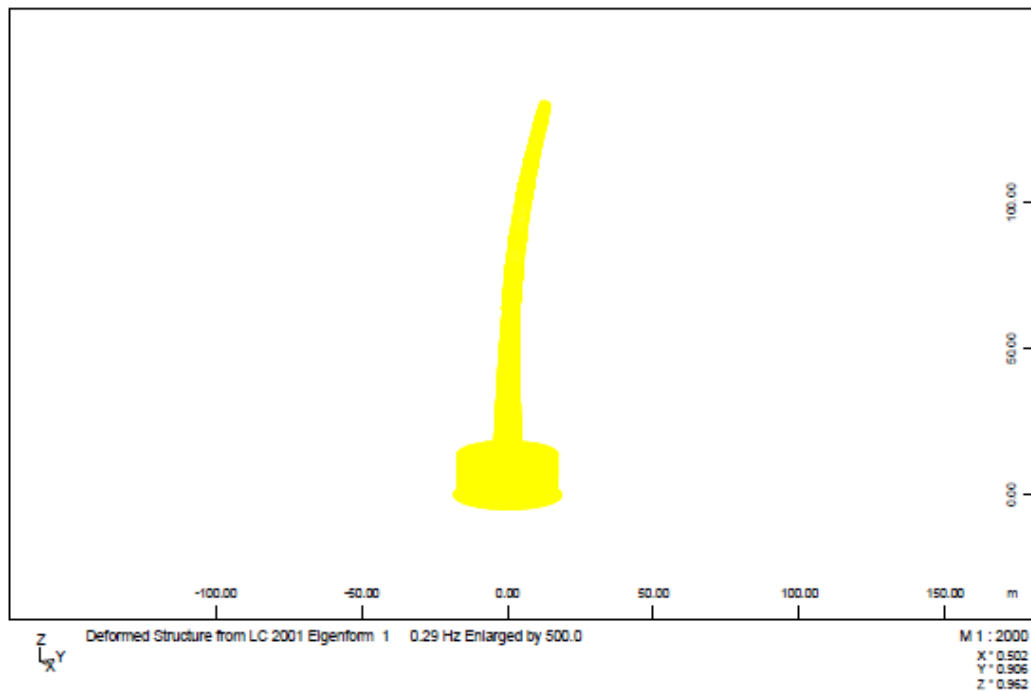


Figura 109: Primera frecuencia propia del conjunto para $K = 10.000 \text{ kN/m}^3$

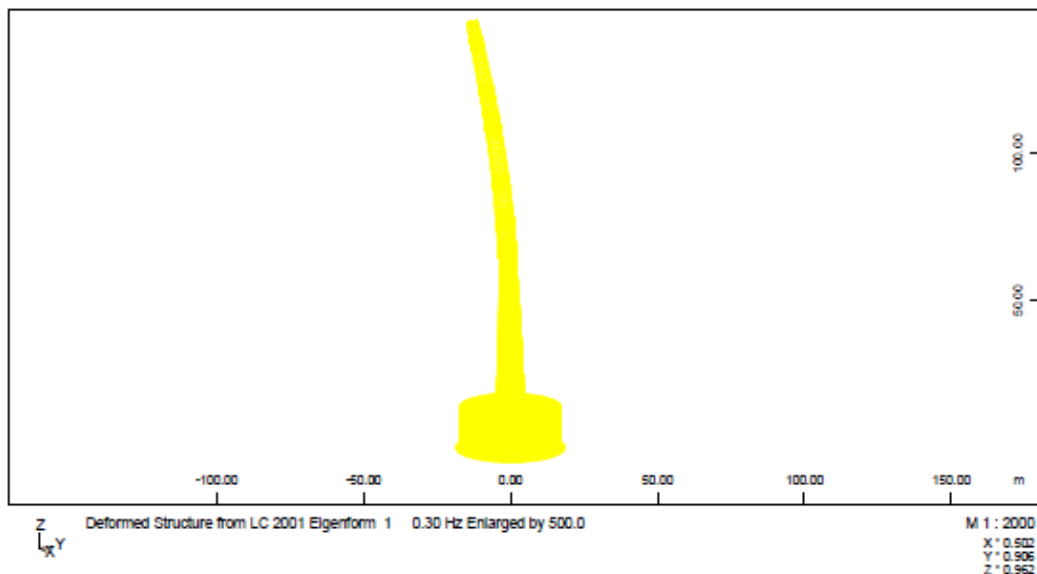


Figura 110: Primera frecuencia propia del conjunto para un $K = 1 \text{ E30 kN/m}^3$

4.7.2. MODIFICACIÓN DEL DISEÑO

El análisis estructural de la alternativa seleccionada revela que deben realizarse ciertas modificaciones para resolver algunos aspectos críticos del diseño. En adelante la solución modificada se refiere como S_5 . Principalmente, deben resolverse la elevada luz de la losa superior. Por otra parte, resulta deseable reducir la cuantía de armadura activa requerida en el mástil. Se realizan una serie de propuestas para solventar estas cuestiones, que en cualquier caso deben respetar las especificaciones y requerimientos del proyecto.

Con objeto de reducir la luz de la losa superior, se propone la disposición de un anillo sobre la misma, que se emplee para la conexión con la EA. Dicho anillo tendrá un diámetro máximo de 35 m, y permite aumentar el diámetro del cilindro exterior sin limitación en cuanto a conexión con la EA. Además, la existencia del anillo eleva el puntal de la base sin aumentar las cargas hidrodinámicas como si fuese un único cilindro, y permite mantener el francobordo requerido (2 m) en transporte. La altura del anillo se fija en un mínimo de 6,5 m, por ser ese el puntal de la EA diseñada.

Por otra parte, la parte inferior del mástil se sustituye por un cono de transición, con mayor diámetro. De este modo se puede hacer una transición más eficiente de las cargas entre el mástil y la base.

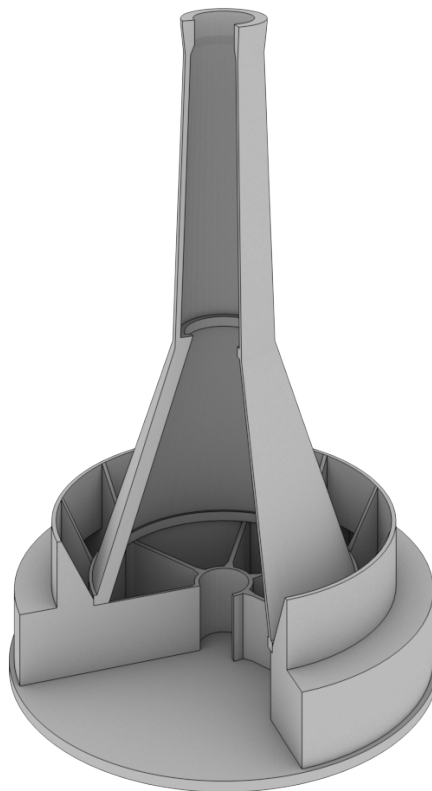


Figura 111: Esquema del diseño modificado

Así, la estructura está compuesta por tres elementos de hormigón armado: una base en la parte inferior, con sección circular y compartimentos que albergan el lastre de la estructura tanto en transporte como en su posición definitiva; un cono de transición, hueco y de forma cónica, y un mástil o torre que se apoya sobre dicho tramo de transición, también hueco y de forma cónica de menor pendiente.

La base consta de una losa inferior, de sección circular maciza, sobre la cual se ejecutan los paramentos verticales del cajón. La sección del cajón en su parte inferior es constante, y consiste en tres circunferencias concéntricas (cilindro exterior, intermedio e interior) y una serie de elementos radiales que cumplen una función de rigidización, de acuerdo con lo mostrado en la Figura 112.

Los compartimentos resultantes de la disposición de rigidizadores se distinguen en exteriores (entre el cilindro intermedio y el exterior), que son accesibles desde la parte superior del cajón, e interiores (entre cilindro interior e intermedio, así como el propio cilindro interior), que son accesibles desde el interior del mástil y tramo de transición.

Sobre el cilindro exterior se dispone una losa superior que cubre parte del espacio entre el cilindro intermedio y el exterior (Figura 113), quedando una parte abierta que permite la entrada de lastre en los compartimentos exteriores. Sobre la losa se encuentra el anillo de conexión. Los rigidizadores exteriores se prolongan formando una escuadra, desde el final del cilindro intermedio a la parte superior del anillo, tal y como se muestra en la Figura 113.

El cono de transición conecta la base con el mástil. Tiene forma cónica hueca, cuyo diámetro inferior coincide con el cilindro intermedio, y cuyo diámetro superior coincide con el diámetro inferior del mástil. Su disposición es tal que la inclinación de sus paredes es mayor que la del mástil.

El mástil, como en los diseños anteriores, es un tramo cónico y hueco que alcanza la altura necesaria para situar la plataforma de trabajo por encima de la altura máxima de ola extrema. En la parte superior del mástil se dispone un sobreancho en el que se coloca la pieza de conexión con la torre metálica.

El nuevo diseño presenta importantes ventajas, además de evitar la situación transitoria en la que la losa superior se encuentra sometida a importantes diferencias de presión. Al encontrarse los compartimentos exteriores accesibles desde su parte superior, se elimina la necesidad de introducir el lastre a través de válvulas, por lo que se simplifican las operaciones de lastrado definitivo.

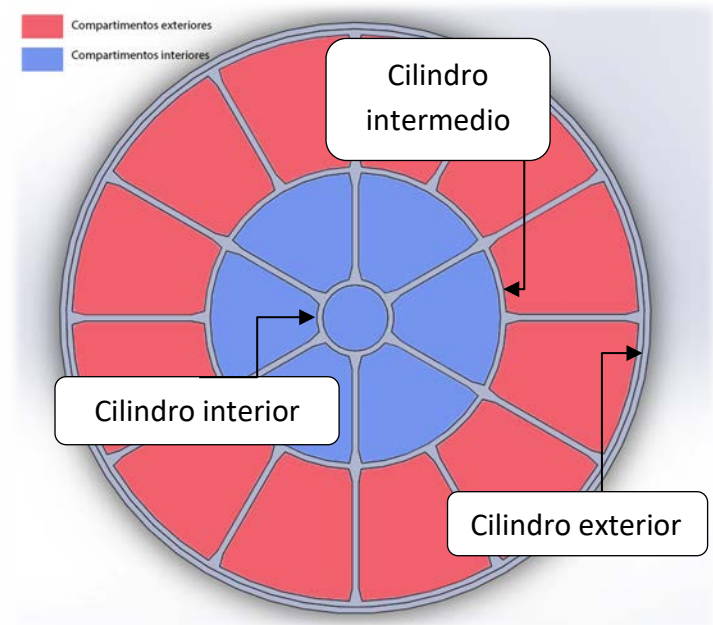


Figura 112: Esquema de compartimentos interiores y exteriores

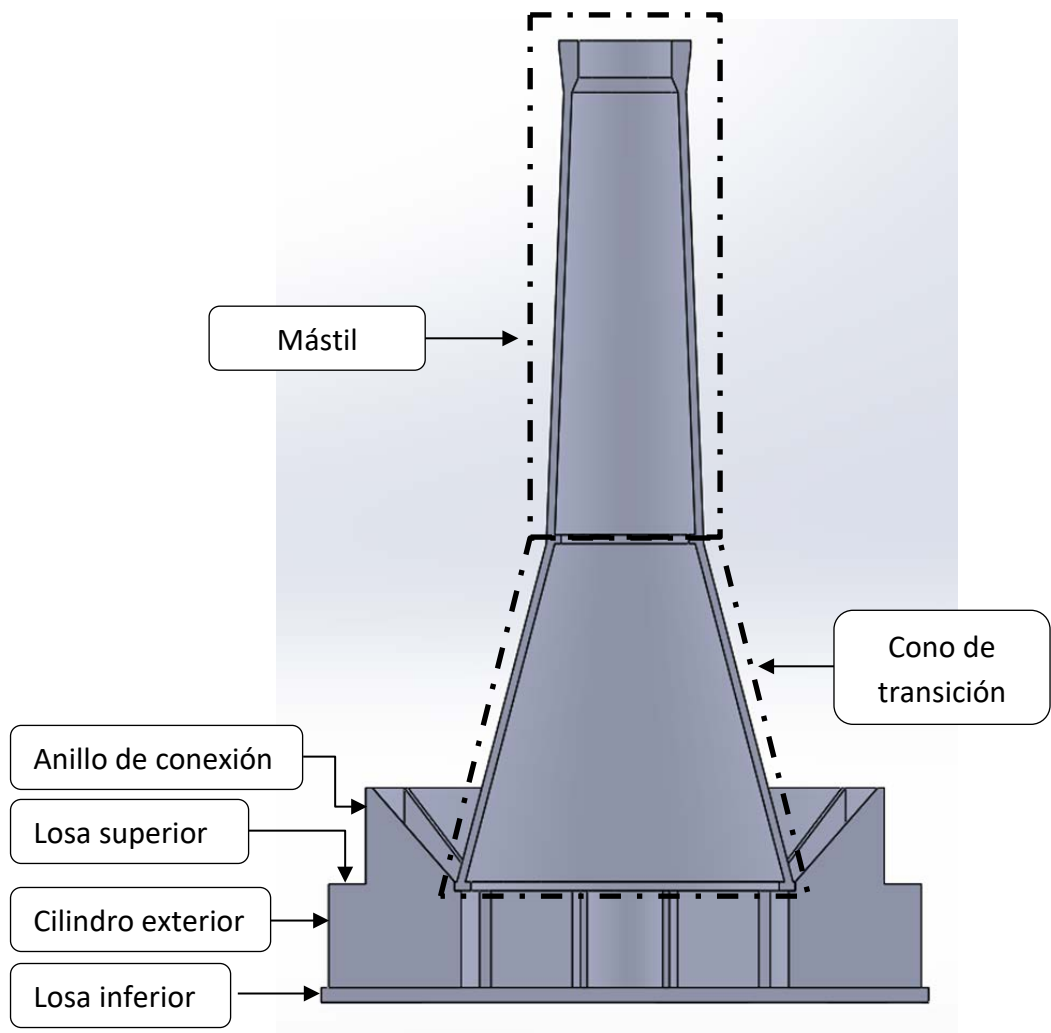


Figura 113: Nomenclatura de los elementos del nuevo diseño

Adicionalmente, la estructura cuenta con una mejor estabilidad en transporte para los calados más bajos, que serán los empleados en puerto (Figura 114). Para soluciones con pesos similares, cada metro sumergido de la nueva solución requiere mayor cantidad de lastre (por tener mayor diámetro y desplazar mayor volumen) lo que reduce el centro de gravedad del conjunto, mejorando la estabilidad.

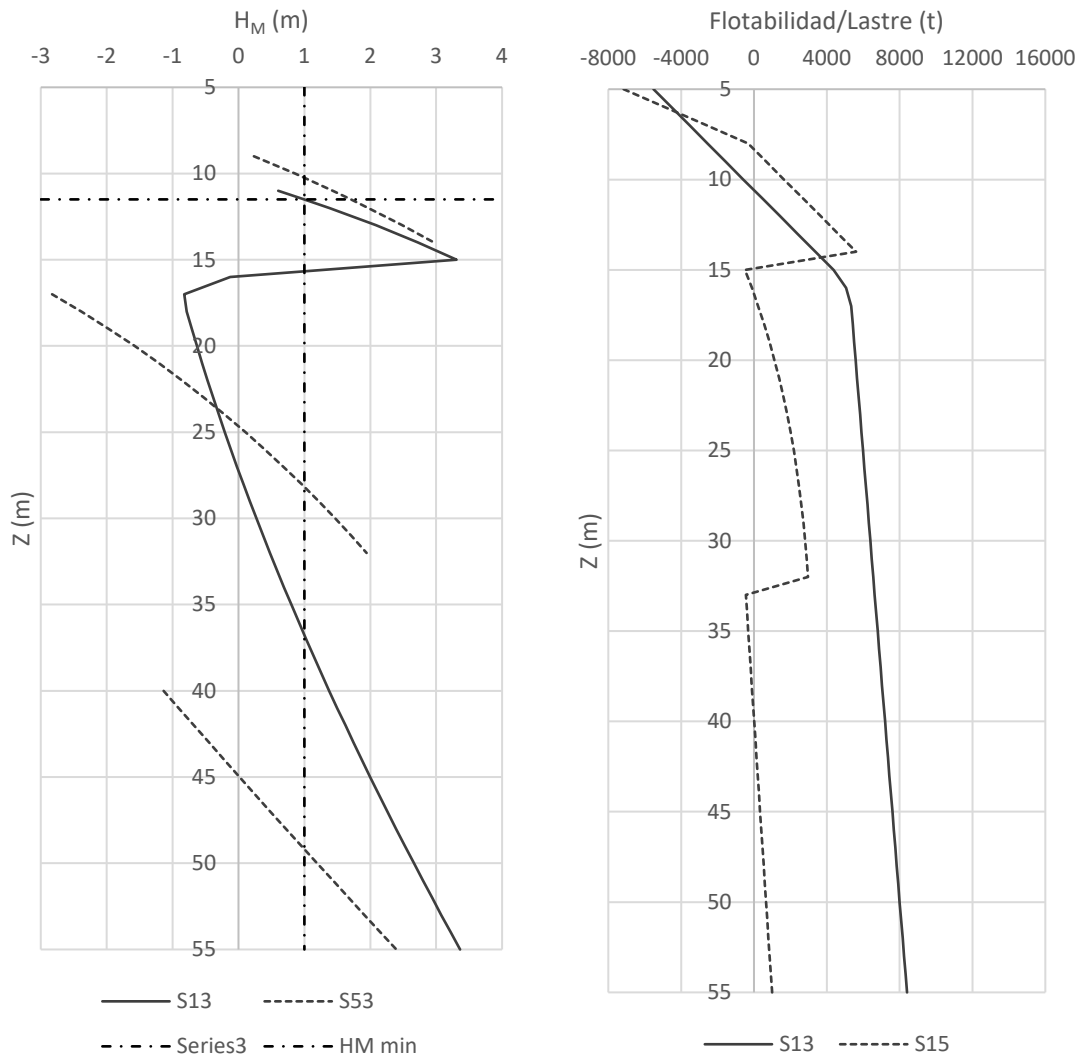


Figura 114: Comparación de altura metacéntrica (izqda.) y flotabilidad (dcha.) para la solución inicial y la solución modificada

La estrategia de conexión con la EA pasa por anclar la estructura en una posición en la que cuente con un francobordo de 2 m, y posteriormente inundar los compartimentos exteriores, para evitar el riesgo de que una ola supere el francobordo y desestabilice el conjunto (Figura 115), aumentando el calado hasta los 14,5 m. Cabe destacar que en este caso el anclaje de los tendones de transporte se realiza sobre la losa inferior.

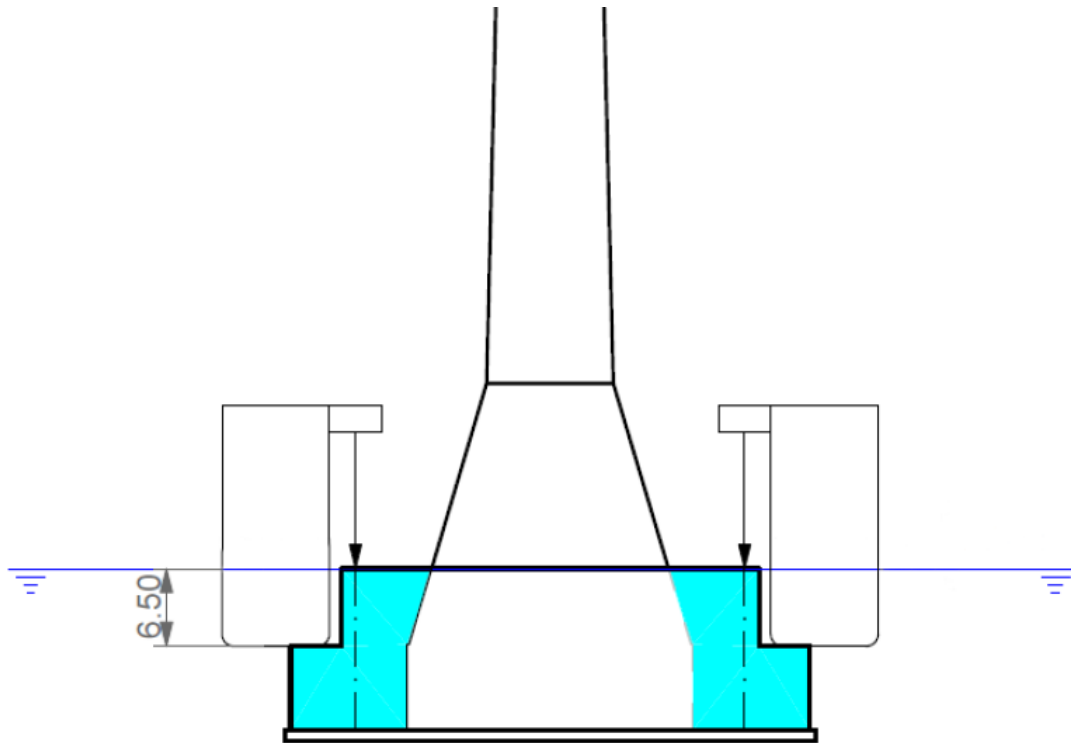


Figura 115: Esquema de la cimentación en situación de transporte con EA

La losa inferior se reduce con respecto a la solución anterior, pasando de tener un sobreancho de 1 m por cada lado ($\varnothing_{GBF} = \varnothing_{BASE} + 2 \text{ m}$) a 0,5 m ($\varnothing_{GBF}' = \varnothing_{BASE} + 1 \text{ m}$). Esto se debe a que permite reducir la ocupación del lecho marino y el diámetro de la protección contra la socavación sin implicar unas elevadas cuantías de armado.

Realizando un análisis comparativo entre las dos soluciones, se llega a la conclusión de que la nueva geometría requiere de un mayor diámetro para satisfacer los requerimientos de estabilidad geotécnica, ya que para geometrías similares su peso propio es menor (Figura 116), tiene menor capacidad de albergar lastre (Figura 117) y menor empuje (Figura 118), mientras que el momento volcador producido por las cargas metoceánicas es mayor (Figura 119). Tal y como se observa en la Figura 120, existen no obstante soluciones que verifiquen los requerimientos de estabilidad geotécnica al tiempo que cumplan el requerimiento de diámetro de conexión inferior a 35 m.

Para la solución modificada, la estabilidad durante el transporte se mantiene similar a pesar del aumento el diámetro, ya que el diámetro en el plano del agua sigue siendo el mismo (35 m), tal y como se observa en la Figura 121. En cualquier caso, presenta valores superiores al límite (1 m).

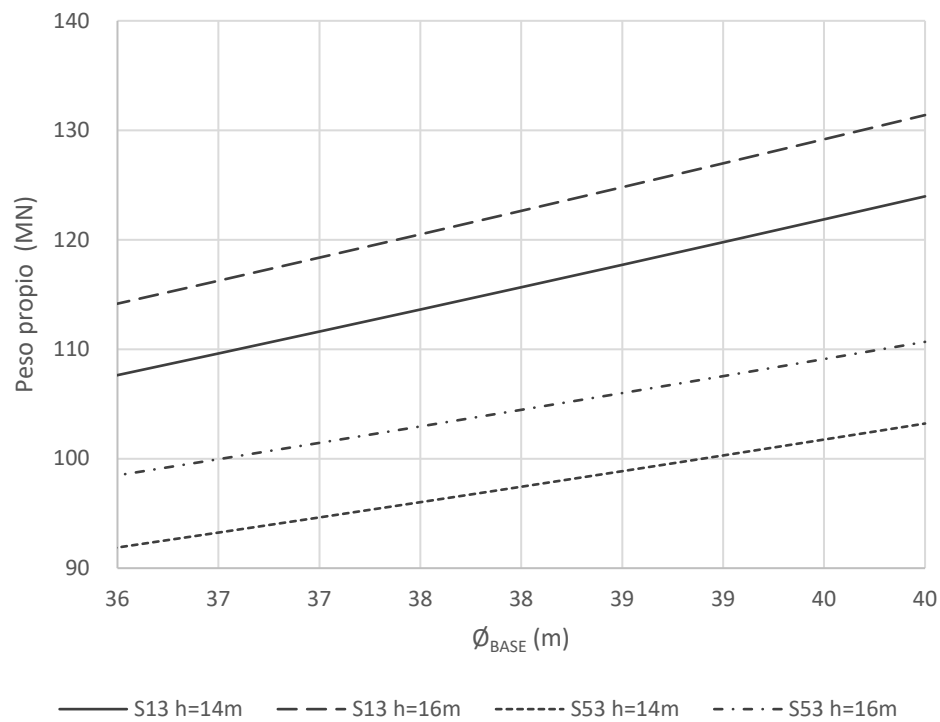


Figura 116: Comparación de la carga debida al peso propio para la geometría original (S_{13}) y la modificada (S_{53})

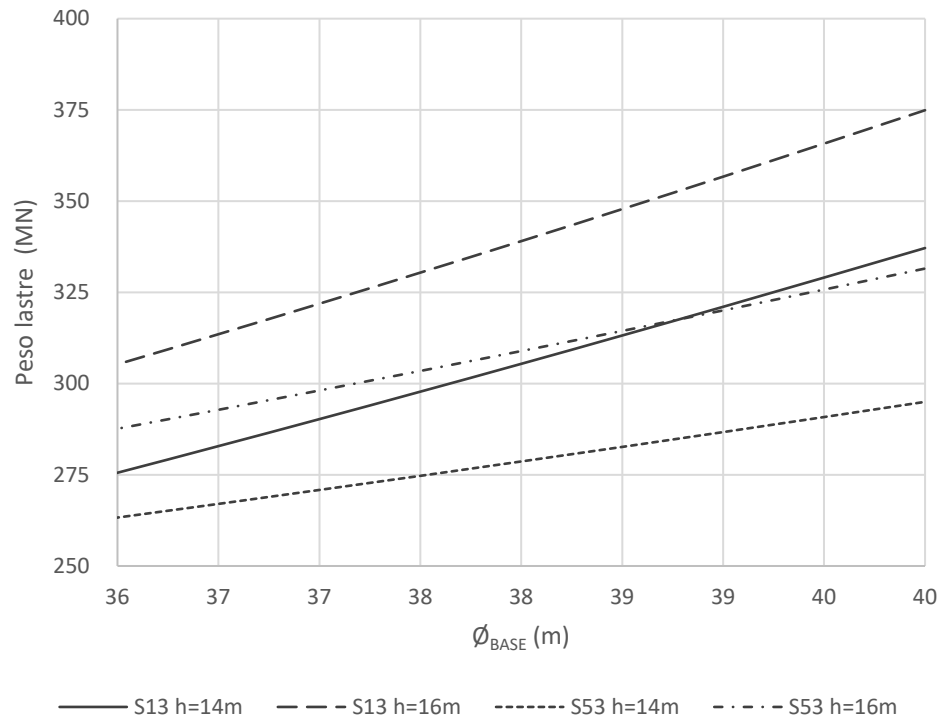


Figura 117: Comparación de la carga debida al peso de lastre para la geometría original (S_{13}) y la modificada (S_{53})

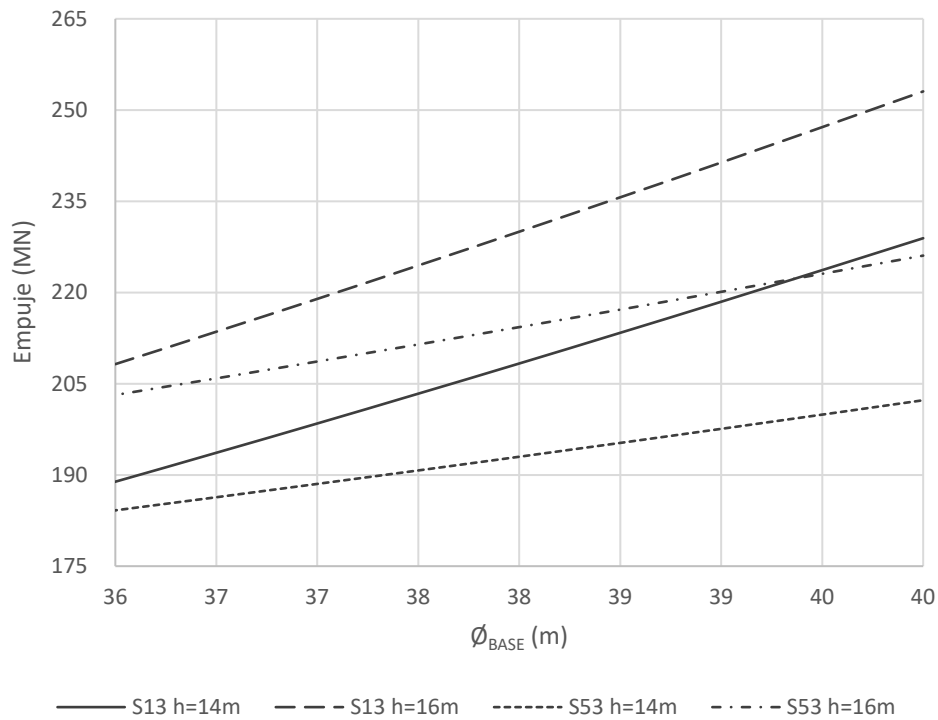


Figura 118: Comparación de la carga debida al empuje para la geometría original (S_{13}) y la modificada (S_{53})

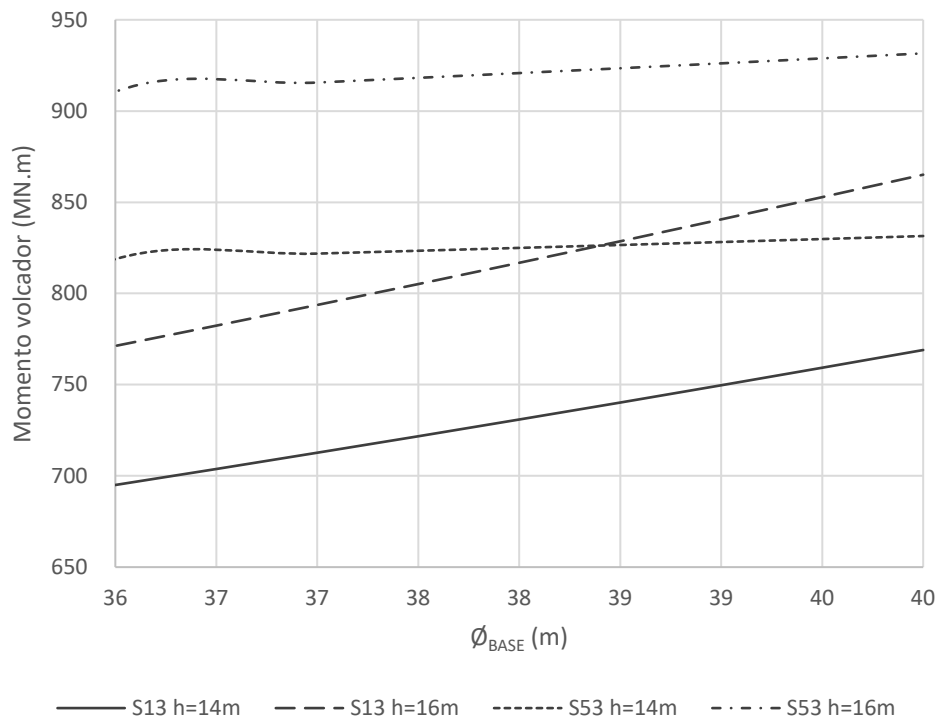


Figura 119: Comparación del momento volcador debido a las cargas hidrodinámicas para la geometría original (S_{13}) y la modificada (S_{53})

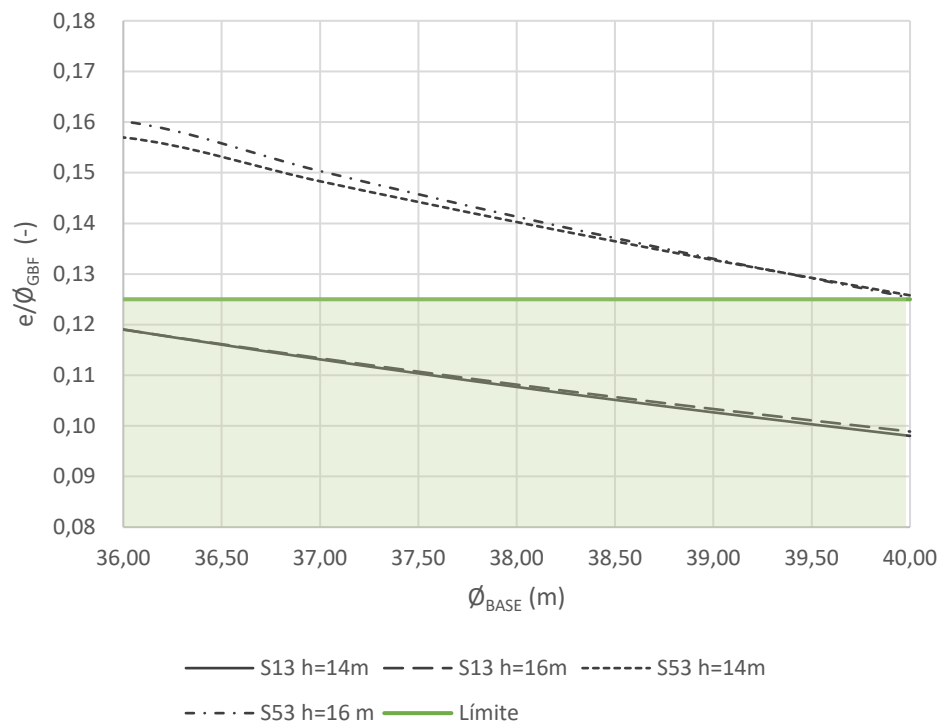


Figura 120: Comparación del parámetro de levantamiento para la geometría original (S_{13}) y la modificada (S_{53})

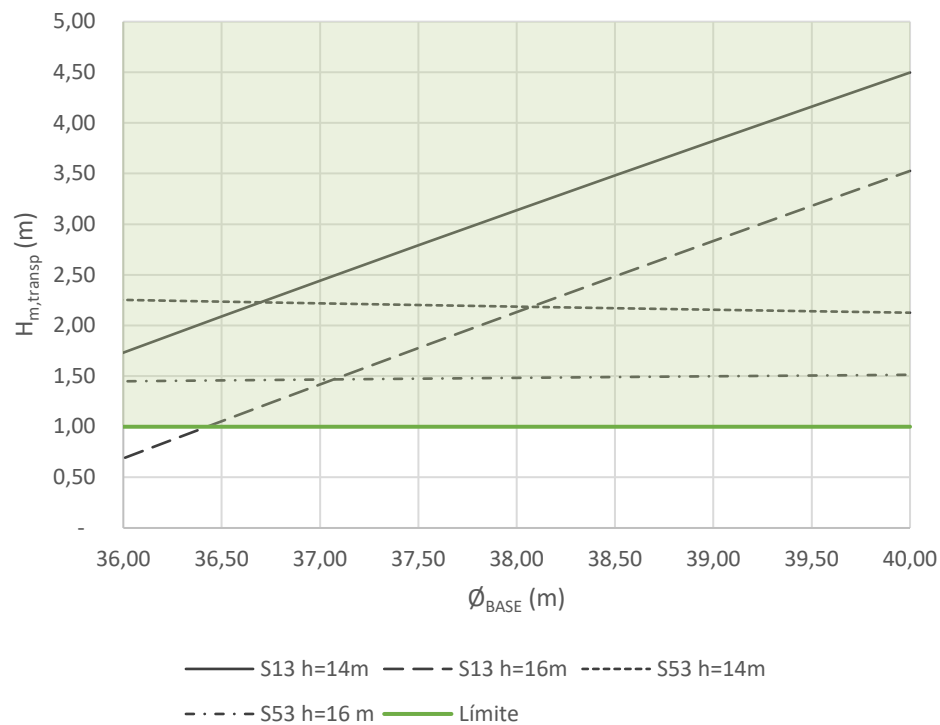


Figura 121: Comparación de la altura metacéntrica en transporte para la geometría original (S_{13}) y la modificada (S_{53})

En este punto del proyecto, debido a un cambio en la estrategia de Iberdrola Renovables Energía, se decide modificar una de las bases de diseño, para que la estructura pueda soportar un aerogenerador de 8 MW en lugar de uno de 5 MW. Las cargas en este caso son las recogidas en la Tabla 73, en la base de la torre metálica.

Tabla 73: Cargas extremas de aerogenerador y torre metálica en la base de la torre metálica

CARGAS EXTREMAS		
F_H	3.700	kN
F_V	10.000	kN
M	340.000	kN.m

Se modifica también el emplazamiento, por lo que el cálculo se realiza para una $H_s = 7,2$ m, con periodo $T=12,2$ s y velocidad de corriente en superficie 1 m/s. La profundidad LAT es 45,4 m y el nivel ESWL es 49,46 m. Se determina reducir el coeficiente de mayoración de las cargas hidrodinámicas, puesto que tras realizar los ensayos físicos y numéricos se conoce que la formulación empírica ofrece resultados conservadores. El factor de mayoración finalmente adoptado es 1,1. Tras un estudio de los puertos cercanos al nuevo emplazamiento, se opta por realizar la construcción en un puerto de calado mayor, permitiendo que el transporte se realice con calado de la cimentación 13 m.

La altura mínima en este caso es 65 m, ya que la altura de la torre es 90 m y el radio de las palas 90 m. El diámetro en la cabeza del mástil se aumenta para conectar con la torre metálica, cuyo diámetro en base es 8 m. El resto de la geometría se mantiene con los valores fijos establecidos anteriormente. La altura del cono se fija en 27,45 m.

La geometría de la estructura que se obtiene del pre-dimensionamiento se detalla en el plano 2/2 del ANEXO IV. El volumen de hormigón de la estructura es de 4.300 m³, y el volumen total de relleno supone aproximadamente 27.400 m³ de arena. El criterio determinante de este diseño es la estabilidad geotécnica, concretamente el requisito de no levantamiento de la base.

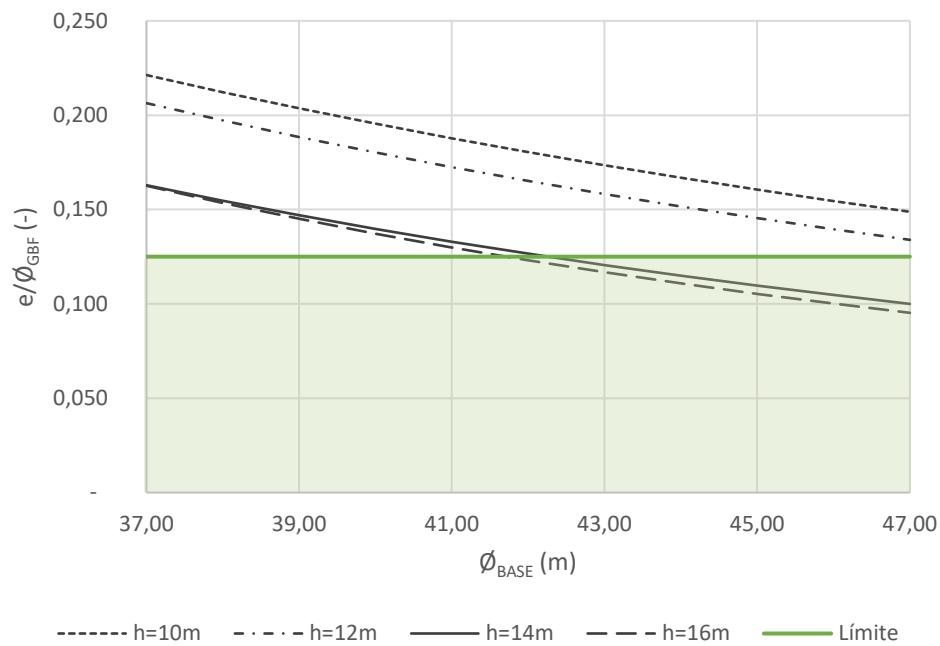


Figura 122: Variación del parámetro de levantamiento de la base con el diámetro de la base, para la solución S_5 , con calado en puerto fijo ($c_{PORT} = 13$ m) y alturas de base 10, 12, 14 y 16 m

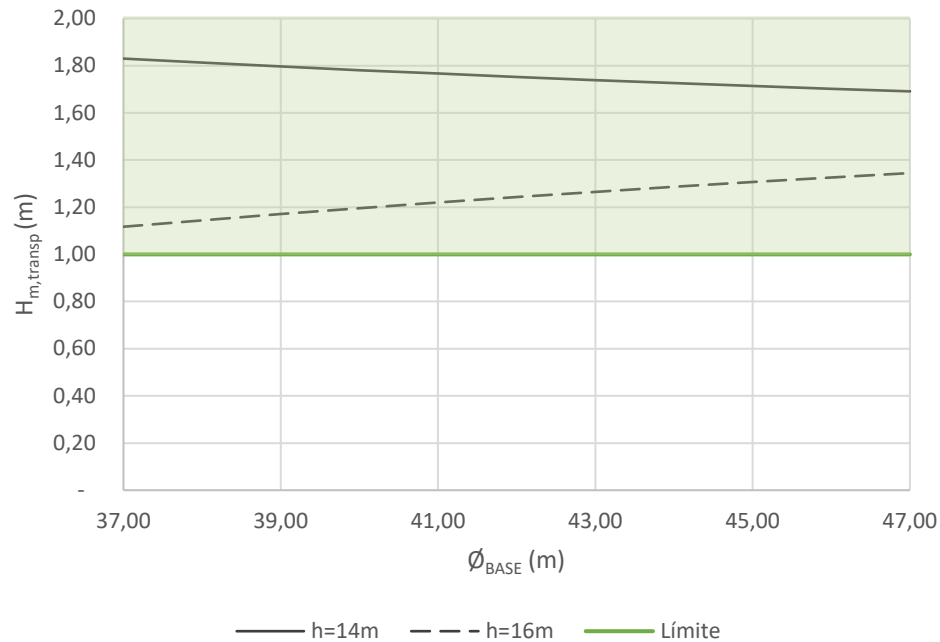


Figura 123: Variación del parámetro altura metacéntrica de la base con el diámetro de la base, para la solución S_5 , con calado en puerto fijo ($c_{PORT} = 13$ m) y alturas de base 10, 12, 14 y 16 m

4.7.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL DISEÑO MODIFICADO

Los tipos de cargas consideradas son las mismas que en el caso del análisis estructural inicial. En el caso de las cargas ambientales, se han considerado cinco casos de carga, que abarcan situaciones tanto de ELU como de ELS. Para reproducir los casos de carga seleccionados, se han separado las cargas hidrodinámicas según su origen. Se obtienen por un lado las cargas generadas por dos situaciones de corriente y por otro lado las cargas generadas por cuatro olas diferentes. El nivel de mar de 50 años de periodo de retorno se obtiene de la información recogida durante 33 años en una estación cercana al emplazamiento.

Tabla 74: Casos de cargas ambientales

Caso de carga	Viento	Oleaje			Corriente	Profundidad	Estado Límite
	U_{hub} (m/s)	H_s (m)	H_{max} (m)	T_p (s)	u_s (m/s)	d (m)	
LC1	19,27	7,70	14,32	12,20	0,80	48,03	ELU
LC2	52,17	5,70	10,60	10,86	0,80	48,03	ELU
LC3	19,27	5,70	10,60	10,86	2,17	48,03	ELU
LC4	30,00	3,83	7,12	7,16	-	46,83	ELS
LC5	30,00	0,98	1,81	3,09	-	46,83	ELS

Estas combinaciones proceden, en el caso del ELU, de los casos básicos recogidos por la normativa DNV-OS-J 101 (Ref. [17]), que se muestran en la Tabla 11. De las cinco combinaciones propuestas por la normativa, dos de ellas no son de interés puesto que al no contar con hielo en la zona de estudio son menos desfavorables que las tres anteriores.

La carga para el cálculo de la apertura de fisura y otras condiciones de Estado Límite de Servicio se obtiene a partir de la carga característica máxima de las definidas para los casos de Estado Límite de Fatiga en la Sec.4, Tabla E1 de la DNV-OS-J101 (Ref. [17]).

Las variaciones entre unas combinaciones y otras corresponden a las condiciones de viento a partir de las cuales se obtienen las cargas del aerogenerador según diferentes condiciones de operación del mismo (arranque, fallo, ralentí, operación...). En este caso solo se dispone de información acerca de las cargas extremas del aerogenerador, por lo que se desconocen las condiciones de viento para las cuales se producen estas cargas extremas. Se lleva a cabo una extrapolación para obtener una estimación de las cargas quasi-permanentes.

Para obtener las cargas de oleaje y corriente en servicio se deben considerar una serie de estados de mar normales asociados a diferentes velocidades medias de viento. A partir de los datos de oleaje y vientos del periodo 2000-2012 para la zona de estudio se calcula la altura de ola significativa media y su rango de periodos correspondiente para cada velocidad de viento desde V_{in} a V_{out} del aerogenerador. De los 27 estados de mar

generados, se concluye escoger dos: el más desfavorable, y aquel con un periodo similar a la frecuencia propia de la estructura.

En cuanto a las cargas de tiro, la estructura se diseña de acuerdo con la carga máxima admisible de los tendones de los elementos de elevación de la EA. El límite de rotura de los cables de los elementos de elevación será 2,5 veces su capacidad nominal, es decir, $2,5 \times 580 \text{ t} = 1.450 \text{ t}$ por cada uno de los tres enganches. Esta sería la carga máxima durante las operaciones. Se considerará un factor de 1,3 sobre la carga de rotura de la línea.

Las cargas procedentes de la torre metálica y aerogenerador que deben emplearse en ELU han sido proporcionadas por Iberdrola Renovables Energía y se corresponden con los valores mostrados en la Tabla 73, en la base de la torre metálica. Para las cargas que deben emplearse en ELS, se realiza una estimación a partir de las cargas conocidas para un aerogenerador de 5 MW (Tabla 75).

Tabla 75: Cargas de servicio de aerogenerador y torre metálica

CARGAS SERVICIO		
F_H	1.548,04	kN
F_V	10.000,00	kN
M	118.812,31	kN.m

Las cargas se combinan de la forma más desfavorable posible, considerando que la combinación sea físicamente posible y de acuerdo con las características de las cargas.

Se elabora un modelo mediante un software de elementos finitos en el que se representa la estructura con la geometría descrita en el ANEXO IV mediante un modelo tipo placa (Figura 124). También se elaboran un modelo 3D incluyendo torre metálica y aerogenerador, para la verificación de los modos de vibración (Figura 125), que es calibrado con un modelo 2D.

Los coeficientes aplicados a las cargas y las combinaciones de estos se recogen en la sección §4.7.1.

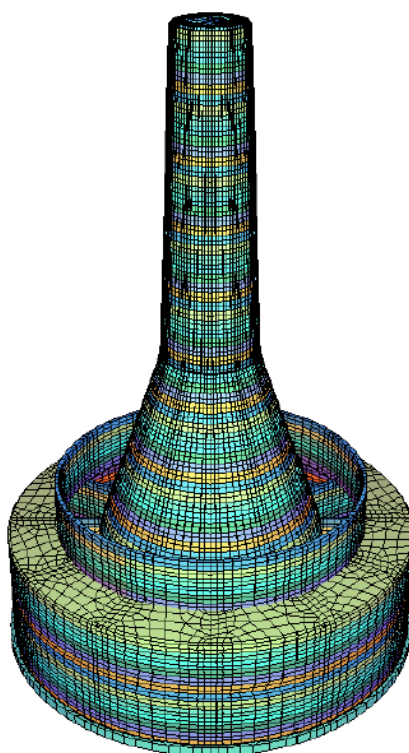


Figura 124: Modelo 3D para análisis de tensiones del terreno y estados límites de la estructura con diseño modificado

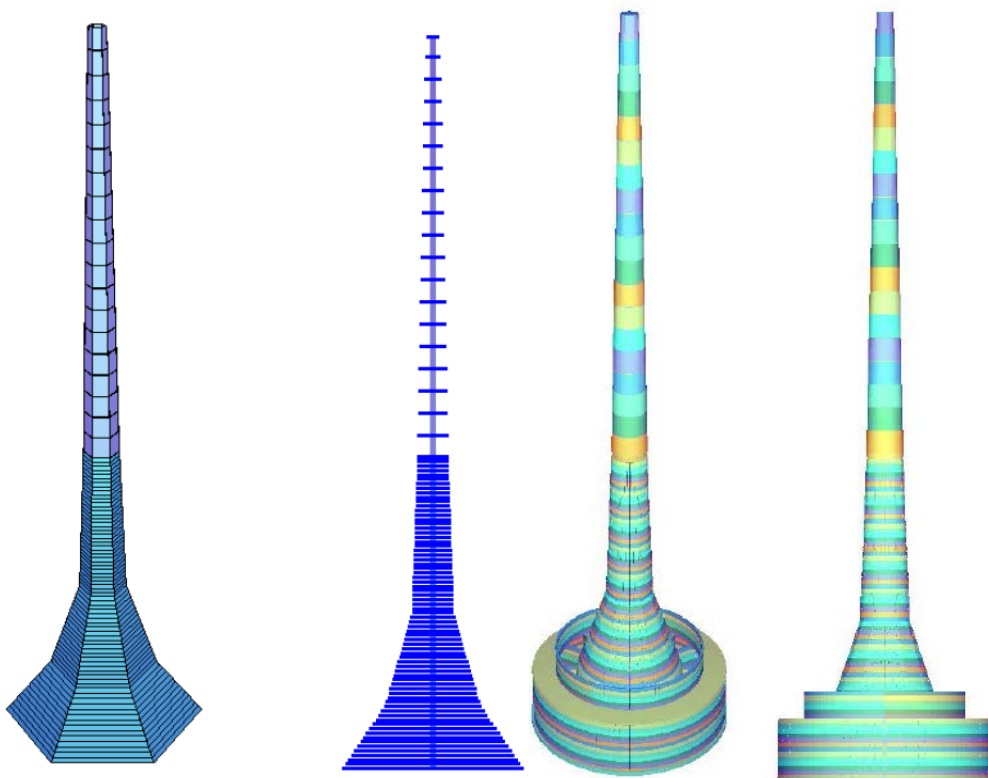


Figura 125: Modelo 2D (izqda.) y 3D (dcha.) para cálculo de modos de vibración

4.7.3.1. TENSIONES MÁXIMAS EN EL TERRENO

Se han analizado las tensiones bajo la cimentación para diferentes módulos de balasto con el objetivo de estudiar el comportamiento tensional de la cimentación sobre diversos tipos de terrenos. Los módulos de balasto analizados han sido los siguientes: $k = 100 \text{ kN/m}^3$; $k = 1.000 \text{ kN/m}^3$; $k = 10.000 \text{ kN/m}^3$; $k = 20.000 \text{ kN/m}^3$.

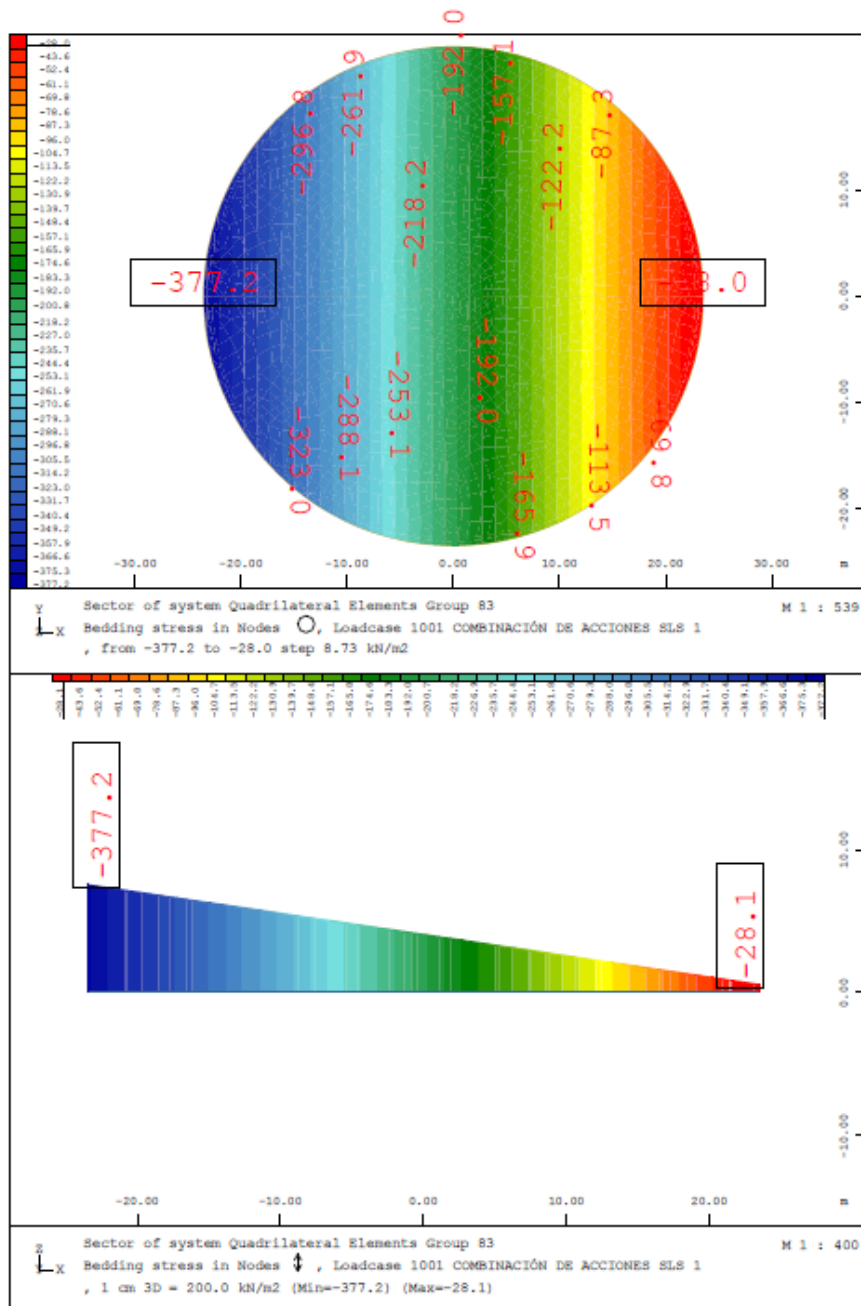


Figura 126: Tensiones en el terreno correspondientes a $k=100 \text{ kN/m}^3$

Para el peor de los terrenos considerados, el suelo debería soportar aproximadamente $3,8 \text{ kg/cm}^2$ (Figura 126). Realizando el análisis para terrenos con mayor rigidez se observa cómo el comportamiento deja de ser lineal, teniendo cada vez más influencia

los efectos locales asociados al sistema estructural del mástil-base y a los recorridos de las cargas hasta llegar a la losa inferior. Para un balasto de 10.000 kN/m^3 , comienzan a aparecer tracciones. Eso podría resolverse mediante el incremento de peso del lastre, gracias a los lastres de alta densidad.

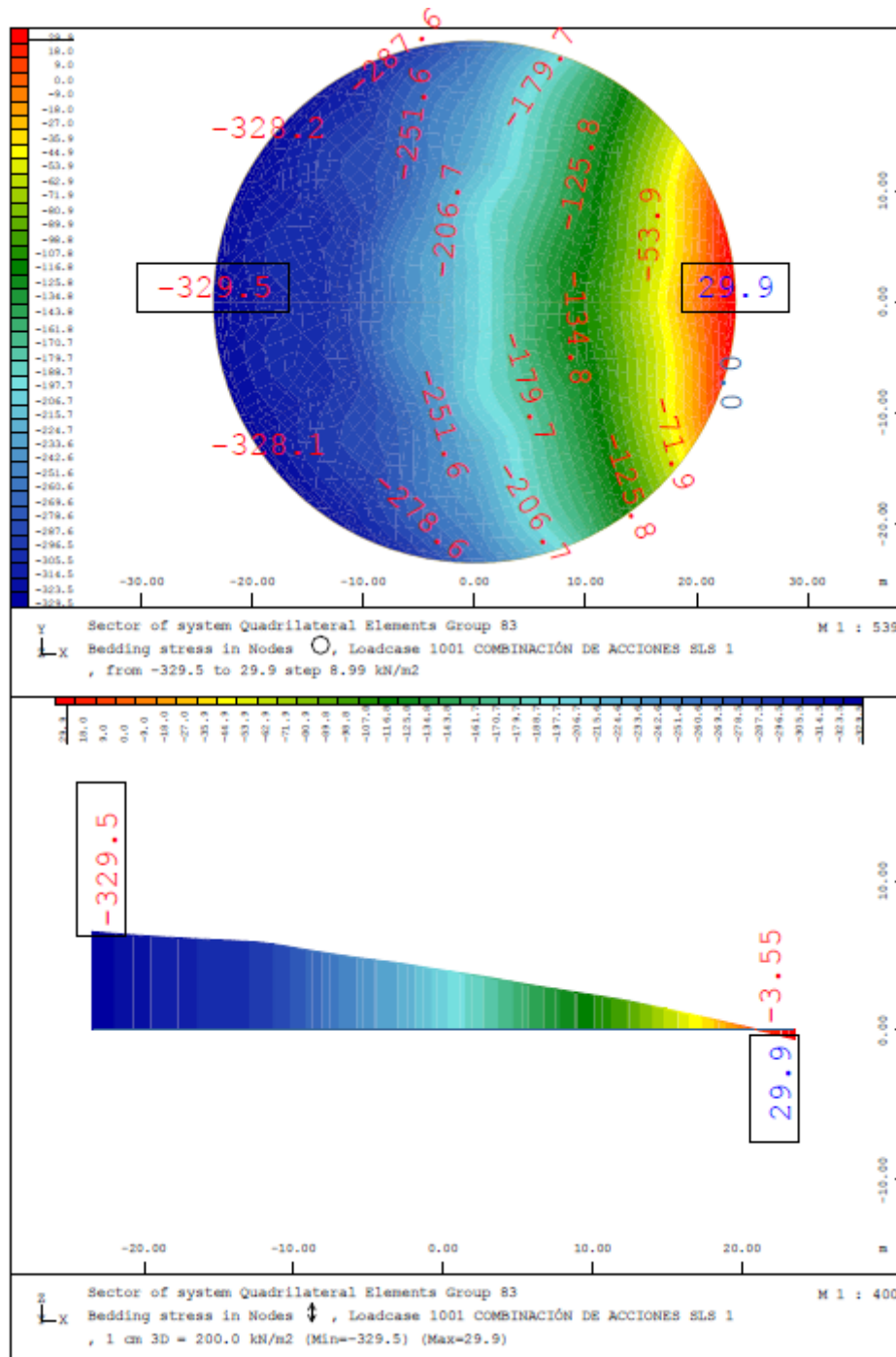


Figura 127: Tensiones en el terreno correspondientes a $k=10.000 \text{ kN/m}^3$

4.7.3.2. VERIFICACIÓN DE ESTADOS LÍMITE

Al igual que en el análisis estructural inicial, se realiza una comprobación de limitación de tensiones de compresión en el hormigón, apertura de fisura y control de deflexiones para el ELS, y las tensiones en hormigón y acero para el ELU frente a solicitaciones normales, cortante y torsión.

Del análisis de resultados se deduce que los inconvenientes encontrados en el diseño anterior han sido resueltos. Si bien la nueva estructura tiene otros puntos críticos, se considera un diseño estructuralmente viable.

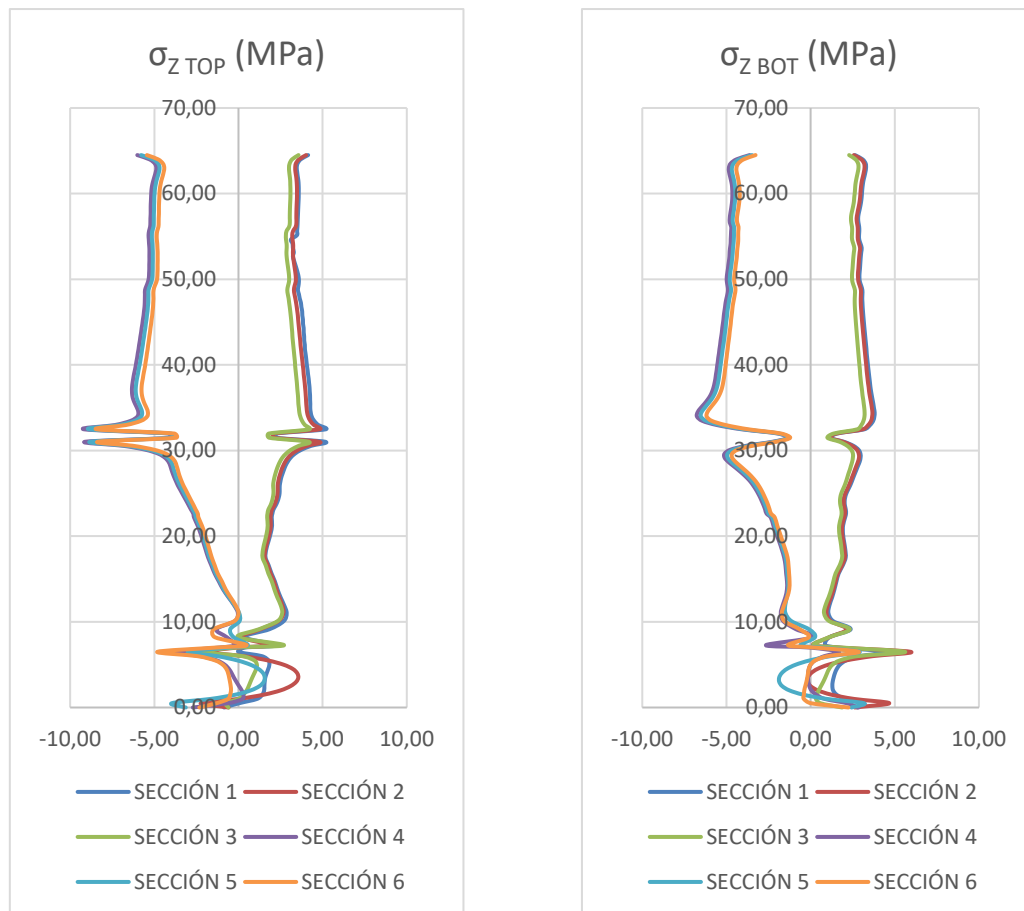


Figura 128: Tensiones verticales máximas sin postesado en varias secciones verticales del conjunto mástil-cono-cilindro intermedio

La verificación de apertura de fisura señala que el conjunto mástil-cono-cilindro intermedio requiere de postesado vertical, y que debe encontrarse en situación de no decompresión bajo la combinación de cargas de ELS. Por otra parte, se requiere un postesado circunferencial en el cono y en el cilindro intermedio, ya que si no se dispone, se produciría decompresión (Figura 128 y Figura 129, considerando tracciones con signo positivo).

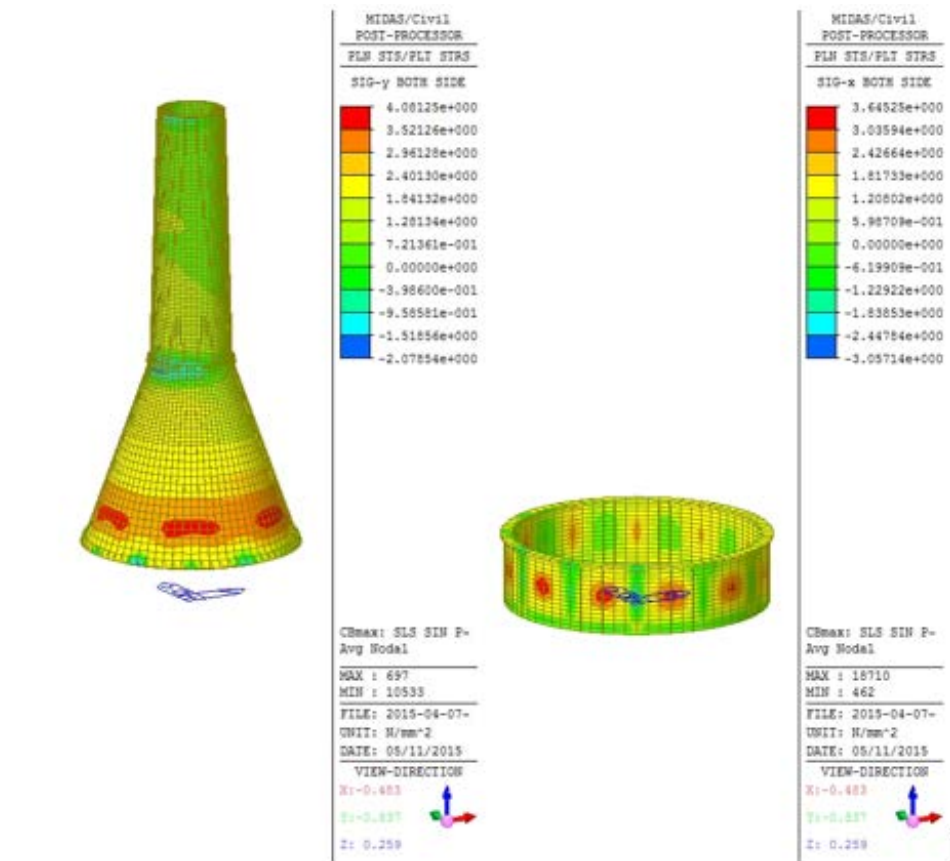


Figura 129: Tensiones circunferenciales máximas sin postesado en el mástil y cono (izqda.) y en el cilindro intermedio (dcha.)

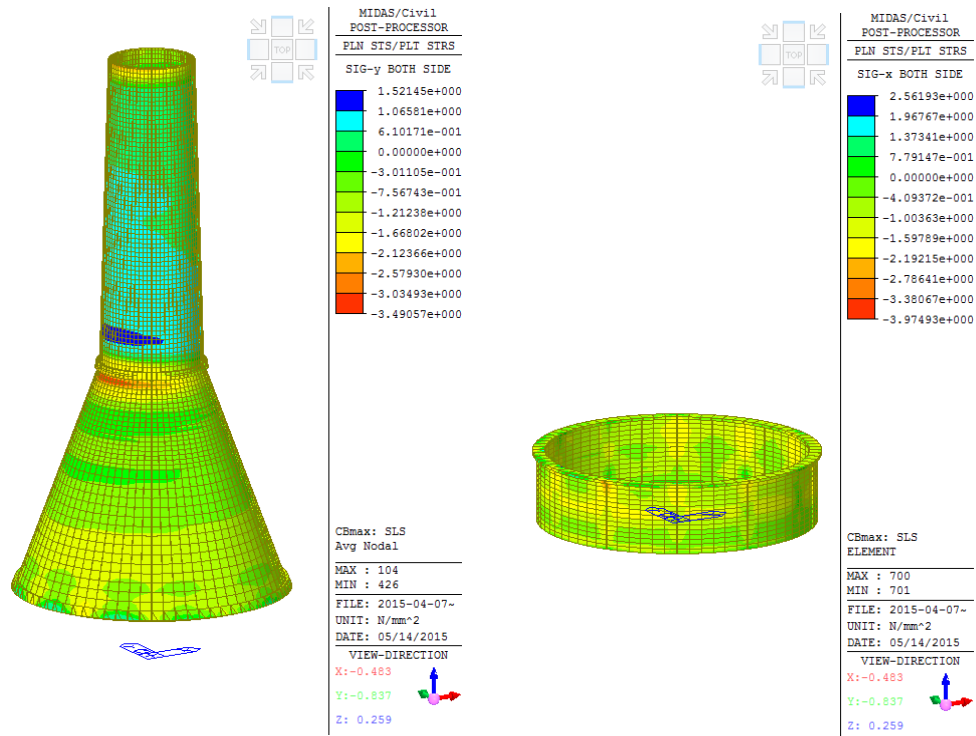


Figura 130: Tensiones circunferenciales máximas con postesado en el mástil y cono (izqda.) y en el cilindro intermedio (dcha.)

El postesado vertical del mástil se reduce de 150.000 kN en el diseño anterior a 100.000 kN. El cono y el cilindro intermedio requieren un postesado vertical de 150.000 kN. Los diámetros existentes hacen que esta cuantía de postesado no resulte problemática. En cuanto al postesado circunferencial, se establece una carga que varía por metro (Tabla 76). Las tensiones de compresión máximas en el hormigón y la apertura de fisura se satisfacen para todas las secciones.

Tabla 76: Postesado circunferencial en diferentes alturas del cilindro intermedio y del cono, incluyendo valor tras las pérdidas

	h (m)	P _{cirf} (kN)	Pérdidas (%)	P _{cir0} (kN)
Cono	31,03	869,00	15,00	1.022,35
	30,10	855,80	15,00	1.006,82
	29,17	798,60	15,00	939,53
	28,24	798,60	15,00	939,53
	27,30	849,20	15,00	999,06
	26,37	920,70	15,00	1.083,18
	25,44	1.001,00	15,00	1.177,65
	24,51	1.075,80	15,00	1.265,65
	23,58	1.150,60	15,00	1.353,65
	22,65	1.874,40	15,00	2.205,18
	21,25	1.353,00	15,00	1.591,76
	20,32	1.441,00	15,00	1.695,29
	19,39	1.535,60	15,00	1.806,59
	18,45	1.644,50	15,00	1.934,71
	17,52	1.765,50	15,00	2.077,06
	16,59	1.894,20	15,00	2.228,47
	15,66	2.070,20	15,00	2.435,53
	14,73	2.239,60	15,00	2.634,82
	13,80	2.388,10	15,00	2.809,53
	12,86	2.469,50	15,00	2.905,29
	11,93	2.442,00	15,00	2.872,94
	11,00	2.259,40	15,00	2.658,12
	10,07	1.874,40	15,00	2.205,18
	9,14	2.557,50	15,00	3.008,82
	8,21	2.110,90	15,00	2.483,41
Cilindro intermedio	7,00	1.009,80	15,00	1.188,00
	6,00	914,10	15,00	1.075,41
	5,00	1.292,50	15,00	1.520,59
	4,00	3.540,90	15,00	4.165,76
	3,00	1.186,35	15,00	1.395,71
	2,00	1.074,15	15,00	1.263,71
	1,00	-	15,00	-

En cuanto a las comprobaciones para ELU, se observa que la losa inferior se encuentra sometida a cargas importantes, debido a la situación de instalación en la que existe una gran presión hidrostática desde el exterior que no es compensada por el lastre interior (instantes antes de contacto cimentación-fondo). No obstante, se determina disponer de una armadura en malla ortogonal en la zona central de la losa que permite soportar los esfuerzos.

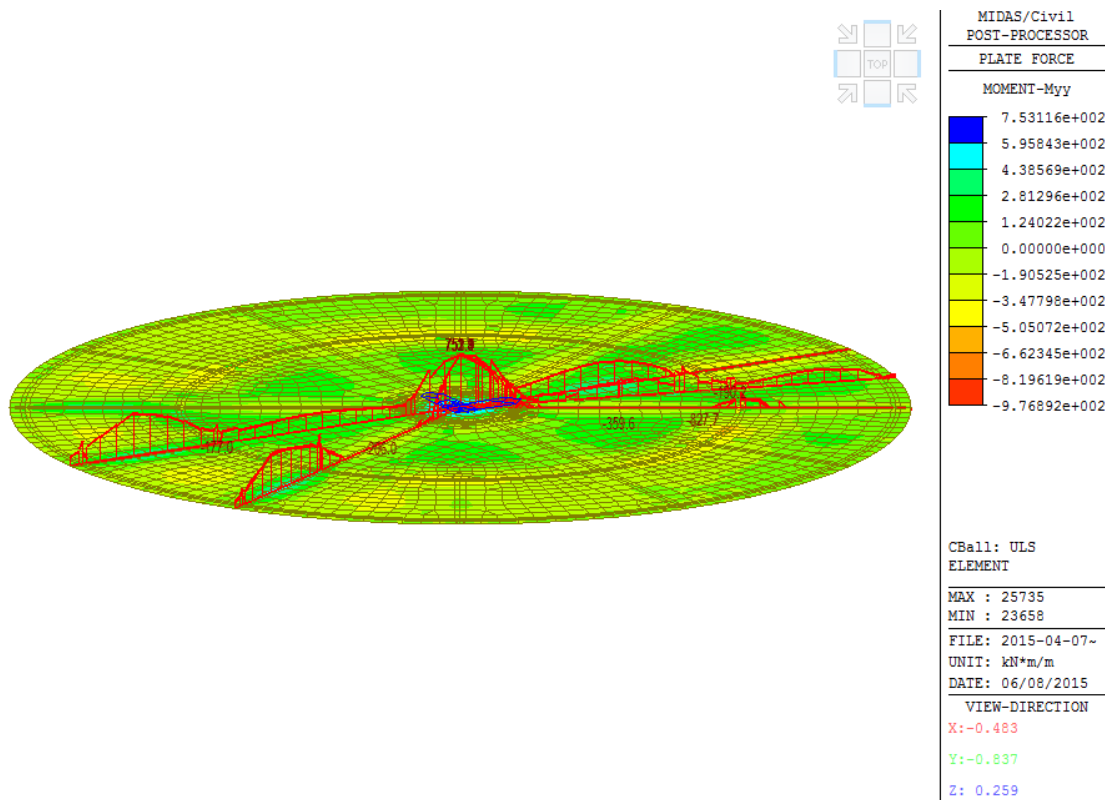


Figura 131: Envoltente ELU de los momentos $M_{yy}=M_{xx}$ en la losa inferior

4.7.3.3. MODOS DE VIBRACIÓN

El rango de frecuencias admisibles, al igual que en casos anteriores, es proporcionado por el suministrador. Sabiendo que las velocidades de operación de la turbina son 6,5 m/s y 10,5 m/s, se conoce que la primera frecuencia debe encontrarse entre los valores 0,175 y 0,325 Hz para que no se produzca un fenómeno de resonancia. Esta condición es satisfecha, ya que la primera frecuencia del conjunto de la cimentación, el lastre, la torre metálica y el aerogenerador tiene un valor de 0,319 Hz, considerando un módulo de balasto vertical de 10.000 kN/m³.



Figura 132: Resultados de la primera frecuencia propia del conjunto con $k = 10.000 \text{ kN/m}^3$

4.8. DEFINICIÓN DE LA BANQUETA Y PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN

Siguiendo las formulaciones y directrices establecidas en la sección §3.8, se realiza una definición de las características de la banquetta y la protección contra la socavación que corresponden al emplazamiento de estudio y a la estructura prediseñada. A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

4.8.1. DEFINICIÓN DE LA BANQUETA

Como se ha establecido anteriormente, es necesario definir varios aspectos de la banquetta: tamaño mínimo de árido, espesor de las capas y diámetro de la banquetta.

Por cuestiones de funcionalidad, se determina que la banquetta se coloque en una única capa de material de granulometría 10-80 mm. Para su definición se procede como a continuación se indica.

Conocido el material del lecho, se adaptan los valores D_x que pasan por la apertura indicada según la “*Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas*” (Ref. [66]) para estimar la curva granulométrica del terreno haciendo referencia a los valores de los tamices UNE (Tabla 77).

Tabla 77: Datos granulométricos adoptados

	86% pasa [mm]	50% pasa [mm]	16% pasa [mm]
Valor de bases de proyecto	4,7000	0,5762	0,1709
% para cálculo	D 85%	D 50%	D 15%
Valor asumido arenas según tamiz UNE mm	5,0000	0,6300	0,2000

En base a estos datos se representará la curva granulométrica del sustrato a partir de la definición de los valores para D₈₅, D₅₀, D₁₅ y D₁₀ (Ref. [66]), sin tener en cuenta el resto de las fracciones que condicionan la forma de las mismas.

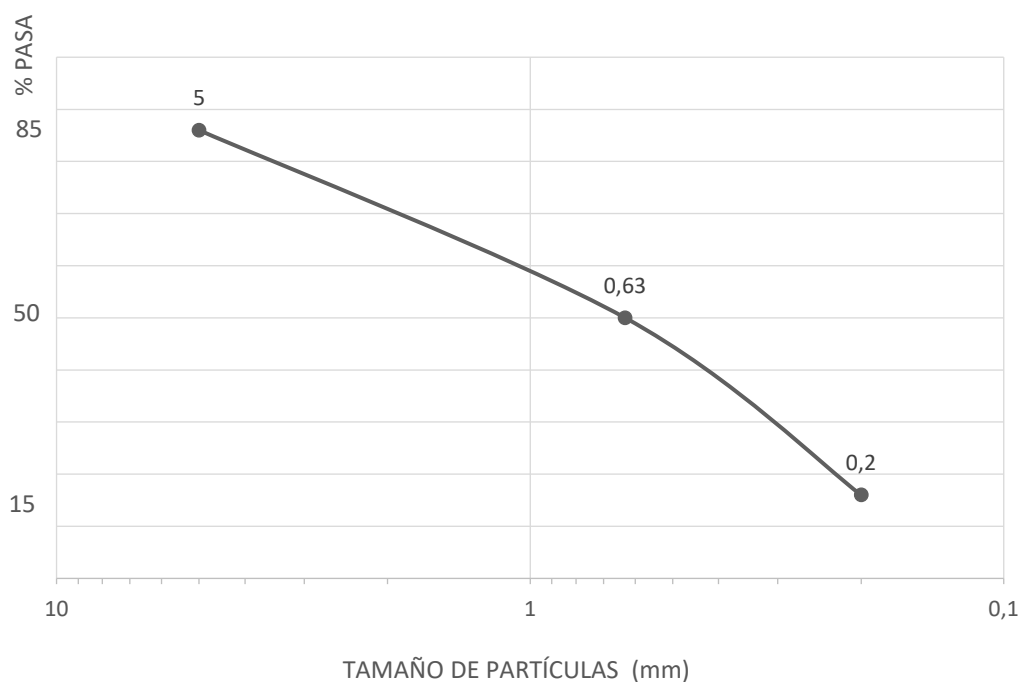


Figura 133: Curva granulométrica simulada

Para definir el tamaño de material, se recurre a la formulación planteada en la sección §3.8.

1. Con el fin de evitar el arrastre de las partículas más finas entre las capas:

$$\frac{D_{15}^{Capa\ base}}{D_{85}^{Arena}} = \frac{D_{15}^{Capa\ base}}{5} \leq 5$$

$$D_{15}^{Capa\ base} \leq 25\text{ mm}$$

$$\frac{D_{50}^{Capa\ base}}{D_{50}^{Arena}} = \frac{D_{50}^{Capa\ base}}{0,63} = 10\text{ a }30$$

$$6,3 \text{ mm} \leq D_{50}^{Capa \text{ base}} \leq 190 \text{ mm}$$

Para impedir la obturación del filtro

$$0,75 \text{ mm} \leq D_5^{Capa \text{ base}}$$

2. Para mantener la continuidad de la permeabilidad entre las capas, considerando el material de la capa bien graduado pero procedente de machaqueo:

$$\frac{D_{15}^{Capa \text{ base}}}{D_{15}^{Arena}} = \frac{D_{15}^{Capa \text{ base}}}{0,2} = 6 \text{ a } 20$$

$$1,2 \text{ mm} \leq D_{15}^{Capa \text{ base}} \leq 4 \text{ mm}$$

3. Recomendación Ref. [66].

$$20 \text{ mm} \leq D_{10}^{Capa \text{ base}}$$

Tabla 78: Granulometría simulada de la capa base sobre fondo de arena

Capa base- Arena	Mayor que	Menor que	Valor adoptado
D0			10,00
D10	20,00		20,00
D15	1,50	4,00	25,00
D50	6,30	190,00	50,00
D85			63,00
D100			80,00

Con la granulometría propuesta y teniendo en cuenta la ecuación $\frac{D_{60}}{D_{10}}$, suponiendo como D_{60} el valor del D_{50} , verificando que es un material muy uniforme que no permitirá que los finos de su capa migren a través de sus poros:

$$\frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{50}{20} = 2,5$$

La granulometría de la capa base y el sustrato se corresponde con la mostrada en la Figura 134.

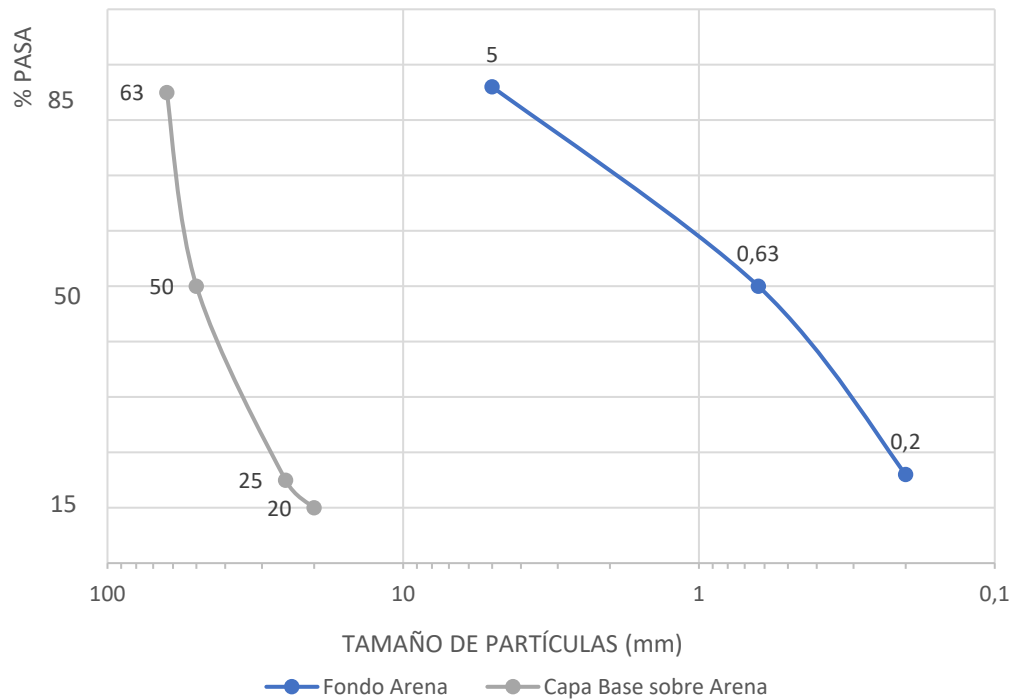


Figura 134: Curva granulométrica simulada: fondo de arena y capa base sobre la misma

Para la determinación del diámetro de la banquetta, se recurre a un cálculo mediante elementos finitos. Se modelan varias capas de material del terreno, cuyas propiedades son conocidas. El modelo constitutivo del terreno se ha basado en un modelo de plasticidad endurecible para las capas de suelo sin cohesión, y un modelo elastoplástico perfecto para las capas de suelo cohesivo.

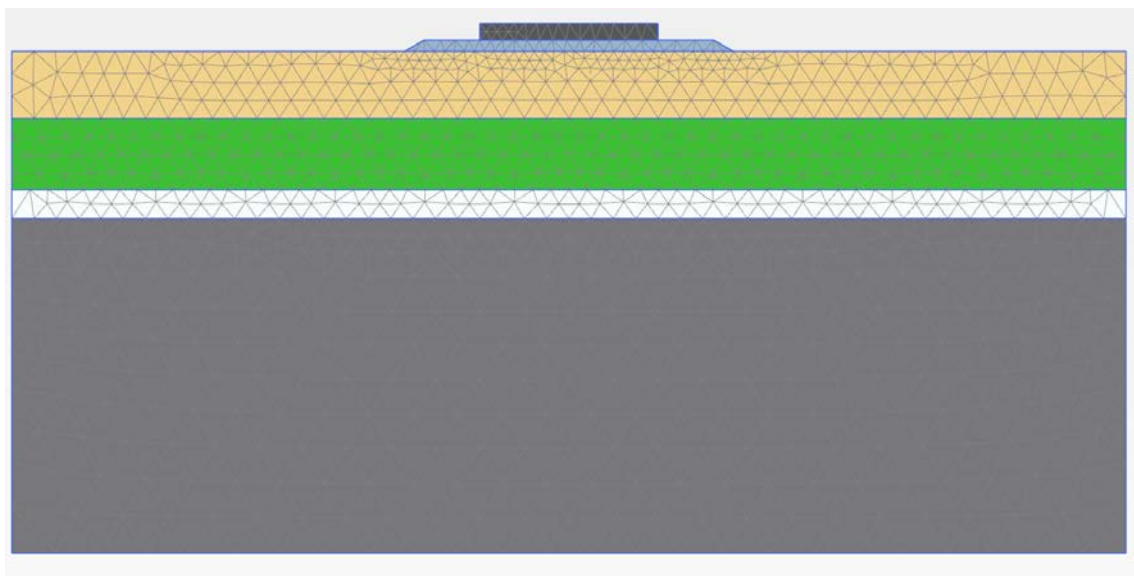


Figura 135: Gráfico de conectividad de la malla de elementos finitos

Observando los resultados de los cálculos realizados (Figura 136), puede deducirse que la distancia mínima que debe haber entre el borde de la cimentación y el borde del talud de la banqueta es 1 m. A partir de una distancia de 30 m, no se observa afección en el factor de seguridad

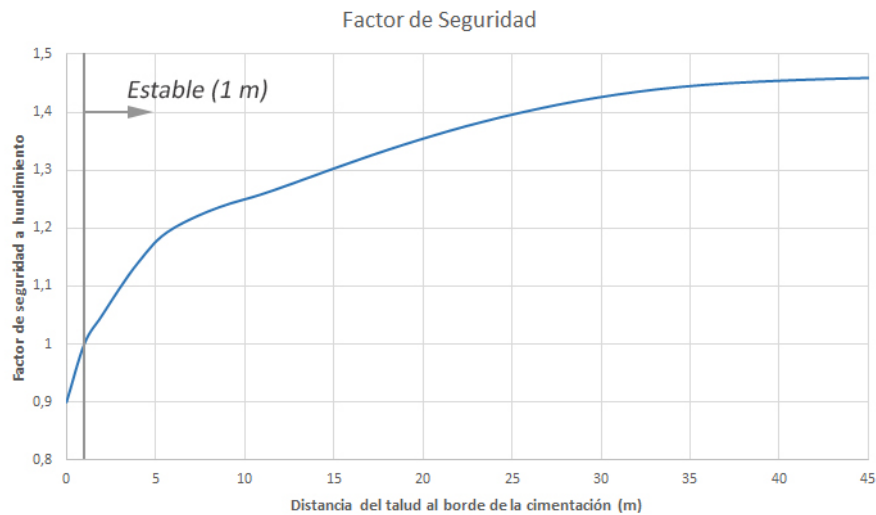


Figura 136: Relación coeficiente de seguridad - distancia del talud de la banqueta al borde de la base

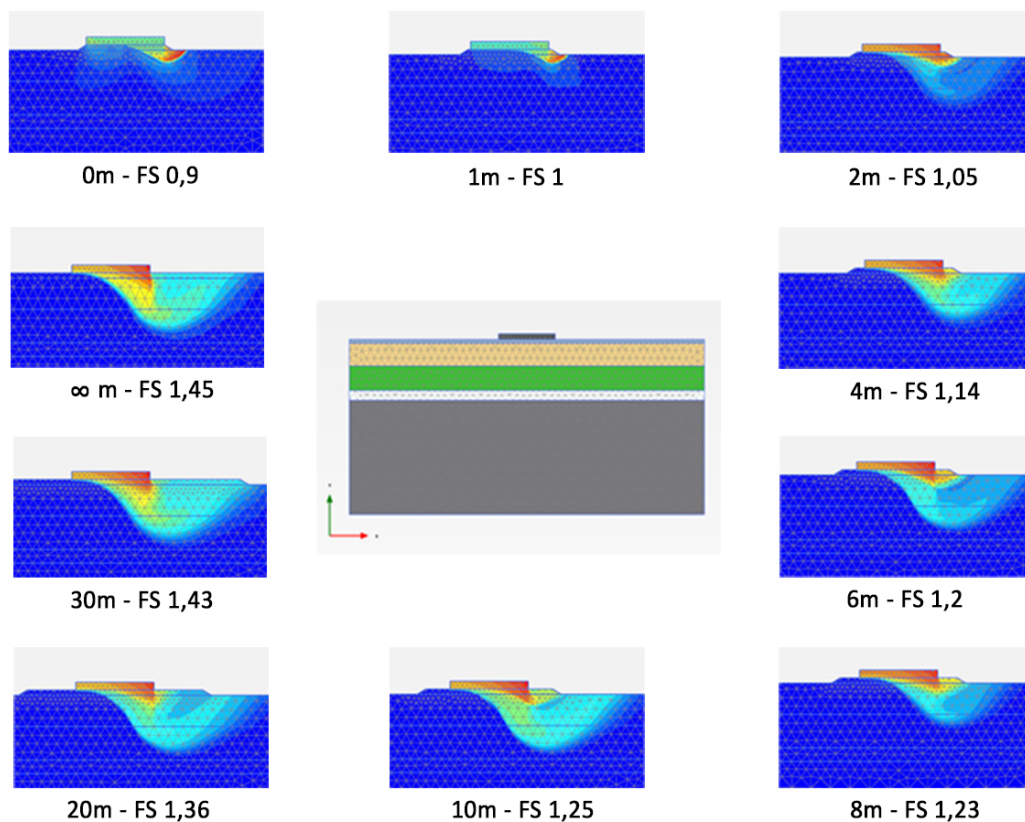


Figura 137: Evolución de las deformaciones y del factor de seguridad en función de la distancia del talud de la banqueta al borde de la losa de la cimentación

4.8.2. DEFINICIÓN DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN

Si bien en la sección §3.8.2 se define la formulación para determinar el tamaño mínimo de árido que debe colocarse para evitar su movimiento, se determinó seguir una estrategia conservadora, colocando material del mayor diámetro posible que puede ser instalado por la embarcación tipo DFPV, es decir, árido con tamaño máximo 400 mm.

Bajo esta capa se debe disponer un árido que ejerza de filtro entre el material subyacente y la capa superior, evitando así el arrastre de material a través de la capa de protección. Para ello se tendrán en cuenta las mismas condiciones que en el caso de diseño de la banquetta. La Tabla 79 recoge la definición de la capa de filtro de la protección a la socavación.

Tabla 79: Definición de la capa inferior de la protección a la socavación

Capa inferior:

Granulometría del material:

0-150 mm

Limitación: <10 % por debajo de 20 mm

El espesor de la capa de filtro se fija en 0,5 m por criterios constructivos, dado que un espesor inferior complicaría su puesta en obra. El espesor mínimo de la capa de protección debería estar comprendido entre 2 y 3 veces el tamaño máximo del árido (0,8 – 1,2 m). Por este motivo, se fija un espesor mínimo de 1 m.

Adicionalmente, como parte de la campana de ensayos realizada en el CEDEX, se realizaron ensayos en canal sobre un modelo a escala 1/30 con protección contra la socavación, para verificar que con las condiciones de oleaje previstas no se produce movimiento de material. Debe señalarse que el resultado de estos ensayos no permite la cuantificación ni la descripción de la socavación que produciría la acción conjunta del oleaje y de las corrientes, al no ser el del oleaje un campo de corrientes estacionario como aquél, sino que permite conocer si una corriente de similar magnitud es capaz de poner en movimiento los elementos de la escollera de protección.

El modelo a escala se instaló sobre una banquetta de escollera de 0,8 m de espesor y 3 m de berma con tamaño de árido de entre 0 y 80 mm, construyéndose una capa de protección alrededor de la cimentación de 50 m de longitud con objeto de prevenir la posible socavación de la estructura. Se ensayaron dos alternativas distintas, con distinto tamaño de material (Figura 138):

- Alternativa 1:
 - Capa de filtro: 100% 0-80 mm
 - Capa de protección:

- 20% entre 150-300 mm, con peso comprendidos entre 9-73 kg
- 80% entre 300-400 mm, con peso comprendidos entre 73-173 kg
- Alternativa 2:
 - o Capa de filtro: 100% 0-80 mm
 - o Capa de protección:
 - 20% del material con peso entre 4.5-37 kg
 - 80% del material con peso entre 37-87 kg

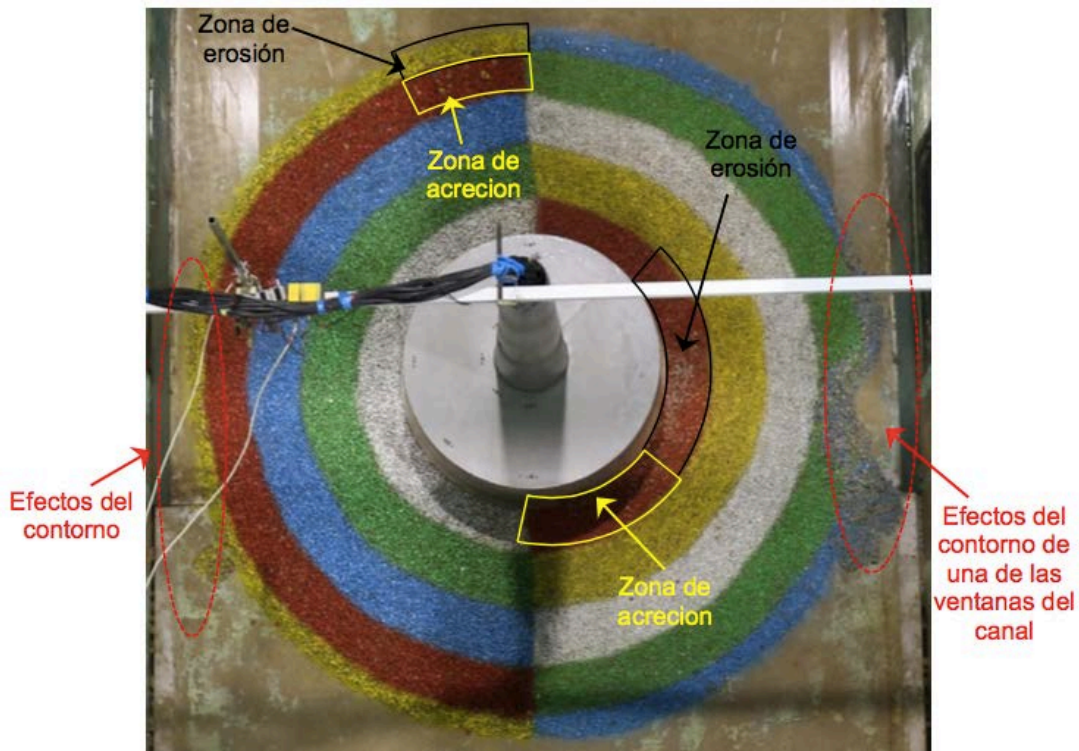


Figura 138: Vista en planta de ensayo en canal de protección contra la socavación con diferentes tamaños de material

En esta situación de ensayo se analizó el comportamiento de la escollera de la banquetta de apoyo y de la capa de protección frente a dos temporales compuestos por una sucesión de estados de mar de energía creciente de unas 2000 olas cada uno.

El inicio del temporal de ensayo se fijó, en ambos casos, en un estado de mar de altura de ola significativa de seis metros ($H_s = 6$ m), para a continuación ir incrementando la altura significativa de metro en metro en las sucesivas etapas, hasta alcanzar las máximas olas admitidas por el sistema de generación del canal para la profundidad considerada, con objeto de provocar en el fondo velocidades de corriente similares a las que producirían en el fondo la acción conjunta del oleaje de cálculo y las corrientes mareales de 1,7 m/s existentes en el emplazamiento de la estructura.

En la Tabla 80 se muestran las características de los temporales de ensayo, especificándose para cada estado de mar considerado el número aproximado de olas

generadas, la altura de ola máxima y la velocidad horizontal máxima medida a una distancia 60 cm (en prototipo) del fondo.

Tabla 80: Temporales de ensayo para verificación de la protección contra la socavación

Temporal	T_p (s)	H_s (m)	γ	Nº olas	H_{max} (m)	u_{max} (m/s)
1	18	6,00	3,30	2.000,00	10,80	-
		7,00	3,30	2.000,00	12,60	-
		8,00	3,30	2.000,00	14,40	3,22
		9,00	3,30	2.000,00	16,20	3,67
		10,00	3,30	2.000,00	18,10	3,67
		11,00	3,30	2.000,00	19,80	3,93
		12-12,8	3,30	2.000,00	21,60	4,05
2	22	7,00	3,30	2.000,00	12,60	-
		8,00	3,30	2.000,00	14,40	2,96
		9,00	3,30	2.000,00	16,20	3,67
		10,00	3,30	2.000,00	18,10	3,80
		11,00	3,30	2.000,00	19,80	4,18
		12-12,8	3,30	2.000,00	21,60	4,63

La estructura es sometida velocidades de partícula elevadas, correspondientes hasta a un oleaje de $T_p=22$ s y $H_s=12-13$ m. Los resultados muestran que en el caso de la Alternativa 1 apenas se produce movimiento de material, por lo que se considera un tamaño válido para la protección contra la socavación.

En cuanto a la extensión a proteger, si bien la bibliografía propone proteger al menos $\emptyset_{SP} = 2,5 \emptyset_{GBF}$, (Ref. [41]), los cálculos realizados muestran que la socavación en torno a una estructura con características como las propuestas y en el entorno estudiado, podría tener influencia hasta en un diámetro de $\emptyset_{SP} = 2,7 \emptyset_{GBF}$.

A continuación, se muestran los contornos de desplazamientos como herramienta para la evaluación de la influencia de las cargas en el terreno en presencia de una socavación (Figura 139). En caso de aumentar las solicitaciones hasta llegar a una condición de rotura, la presencia de mayores cargas ambientales concentra los desplazamientos en la base de la cimentación (Figura 140).

En la condición de rotura la influencia de la cimentación puede llegar a una distancia de unos 36 m. La distancia comprendida entre la situación de servicio y la condición de rotura supone un margen de seguridad.

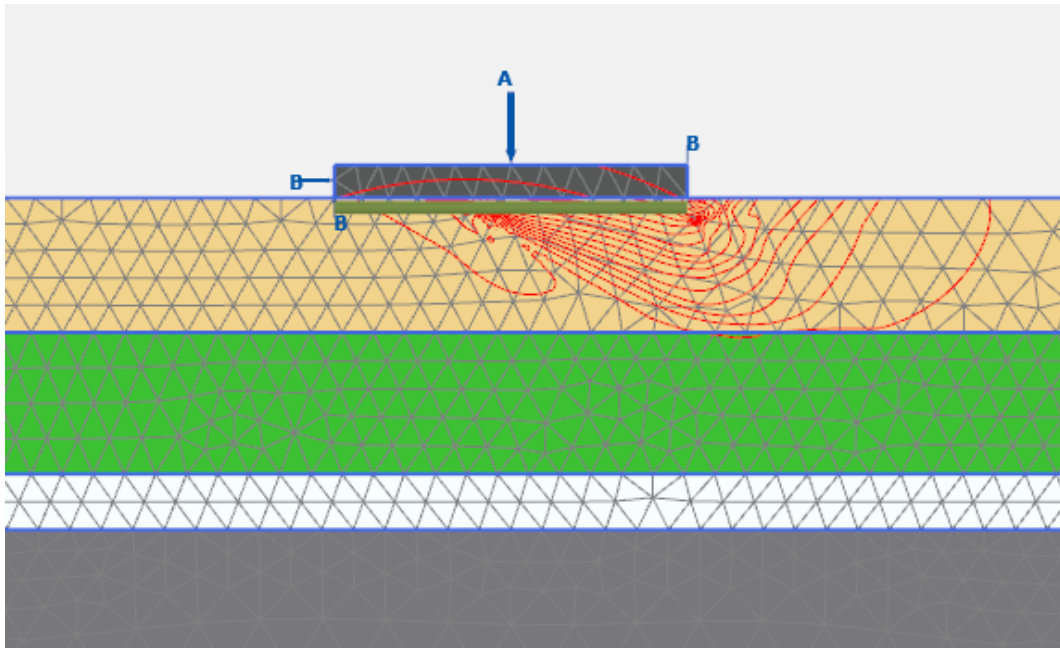


Figura 139: Incrementos de desplazamiento en condición de servicio

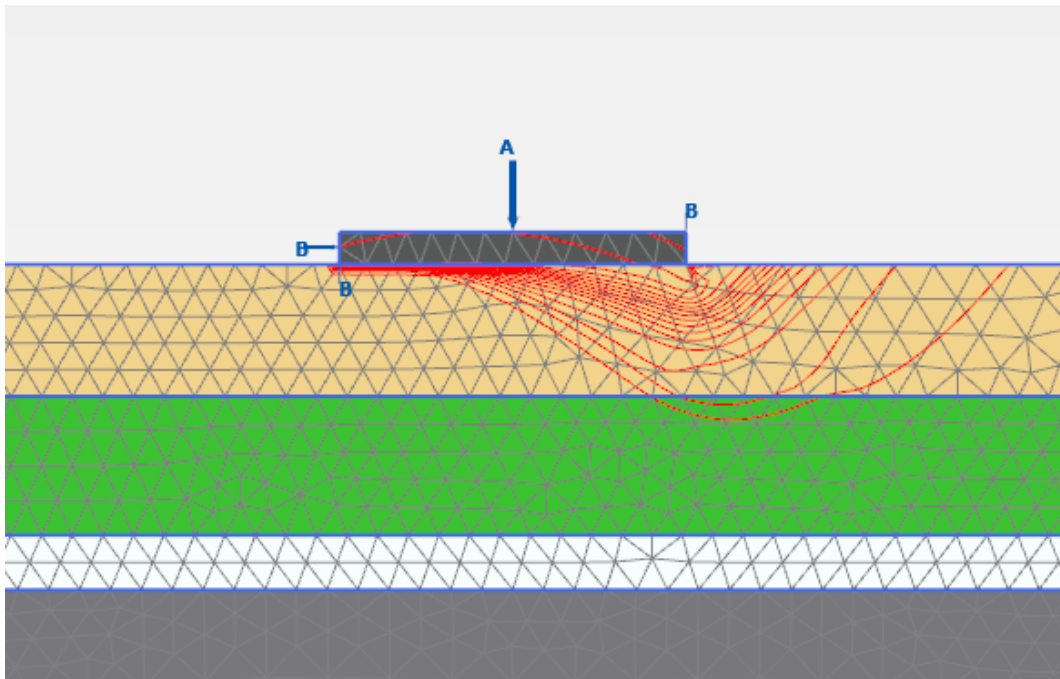


Figura 140: Deformaciones totales en rotura

En caso de proteger el área de influencia en condición de rotura supondría un margen de seguridad respecto a la situación de servicio. Se analiza la influencia de la aparición de socavación a una distancia de 36 m desde el centro de la cimentación, es decir, fuera de la protección instalada. La Figura 141 muestra los contornos de desplazamientos de la condición de servicio estudiada anteriormente, esta vez con la presencia de una

socavación a 36 m del borde de la cimentación, y la Figura 142 muestra las deformaciones totales en rotura con la socavación presente a 36 m.

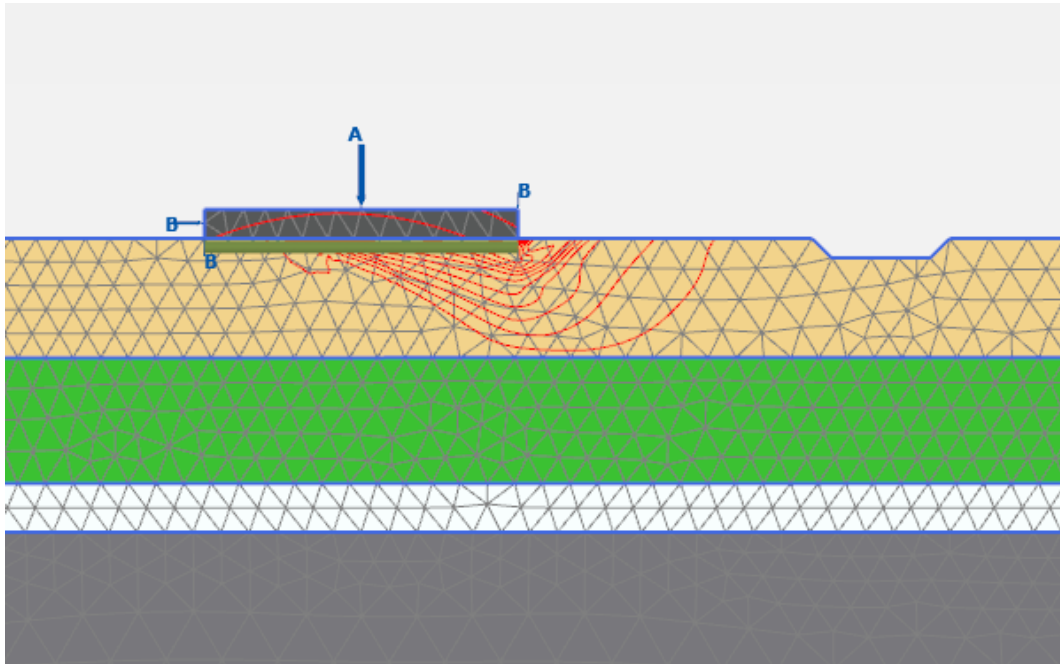


Figura 141: Incrementos de desplazamientos en condición de servicio

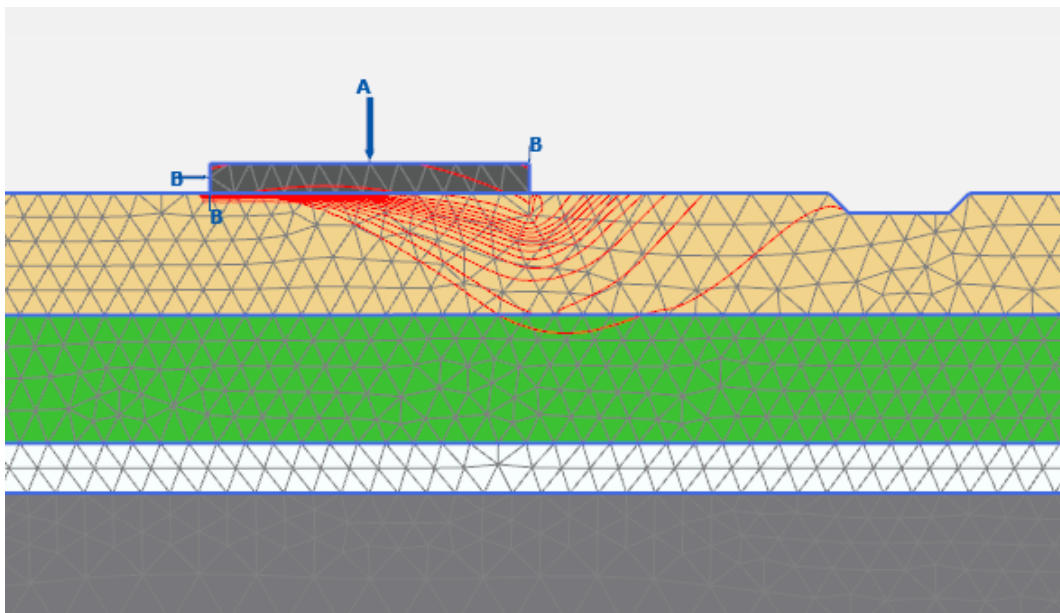


Figura 142: Deformaciones totales en rotura

Se determina que es necesario proteger una distancia $\emptyset_{SP} = 2,7 \emptyset_{GBF}$ para abarcar esos 36 m y que la socavación no tenga afección en la seguridad de la cimentación. Se considera que sería interesante ampliar este análisis modificando la condición de que la socavación no afecte a los coeficientes de seguridad, adoptando en su lugar que los coeficientes sean satisfactorios de acuerdo con las limitaciones de la normativa.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

5.1. CONCLUSIONES

Este apartado recoge las conclusiones alcanzadas con la realización de la Tesis. La Tesis presenta una metodología para realizar el prediseño de cimentaciones de gravedad para aerogeneradores offshore de manera ágil y con un enfoque que considere multitud de factores. Dicha metodología se valida a través de su aplicación en un caso de estudio.

Debido a la reducida experiencia actual, en términos relativos, en el diseño e instalación de cimentaciones de gravedad, existen pocos ejemplos y lecciones aprendidas que sirvan de base para abordar los proyectos. La implantación de un parque eólico offshore es una tarea con elevado periodo de maduración, en la que es necesario contar con una solución preliminar que permita realizar estudios de viabilidad suficientemente detallados, partiendo de información limitada. Tras la revisión de la normativa y directrices que se aplican a tal efecto, recogida en el Capítulo 2, se llega a la conclusión de que los procedimientos actuales no son de aplicación para el prediseño de este tipo de estructuras. Éstos requieren un nivel de detalle de la información metoceánica y geotécnica que habitualmente no está disponible en las etapas iniciales del proyecto. Además, la verificación estructural de una geometría determinada requiere de largos procesos para la determinación de cargas y análisis de numerosas combinaciones de estas mediante métodos de elementos finitos, lo que imposibilita el análisis simultáneo de varias geometrías para la identificación de la opción más adecuada.

La primera fase de la metodología, detallada en el Capítulo 3, consiste en la identificación de los requisitos mínimos que deben tenerse en cuenta para la realización de un prediseño. Persiguiendo una estrategia de minimización y concreción de la información requerida, se identifican los parámetros básicos e imprescindibles que es necesario conocer, referentes al emplazamiento, aerogenerador e información metoceánica y geotécnica, y se realiza una propuesta de referencias en caso de carecer de la información necesaria.

En cuanto a la verificación que debe realizarse para cada geometría, resultan esenciales los requisitos de estabilidad geotécnica, pero también los funcionales en las fases de construcción e instalación. Los requisitos de estabilidad geotécnica en el prediseño pueden limitarse a las verificaciones de no levantamiento de la base, capacidad portante

del terreno y deslizamiento, siendo el primero de ellos normalmente el factor crítico de diseño.

Tras revisar los principales métodos constructivos y de instalación se señalan los requerimientos asociados, pues cada proyecto puede abordar estos aspectos de manera diferente. Se ha identificado como más relevante el requisito de estabilidad en navegación, de aplicación en los casos en los que la estructura se transporta de manera autoestable. La estabilidad se determina a partir de la altura metacéntrica, relacionada con el centro de gravedad de la estructura, el volumen sumergido y la inercia en el plano del agua, por lo que en estos casos será preferible que las soluciones tengan el centro de gravedad lo más bajo posible. Por ejemplo, soluciones con mástil metálico o telescópico tendrán centros de gravedad más bajos y por ello resultarán más estables durante su transporte.

En algunos casos debe asegurarse también cierto francobordo, para evitar la desestabilización por la acción de una ola que lo sobrepase. Un enfoque interesante es dirigirse hacia soluciones que no presenten este requerimiento: geometrías sin losa superior. Se ha identificado también que la losa superior puede sufrir esfuerzos importantes durante las fases de instalación, debido a la diferencia de presión entre sus caras. Esto puede solucionarse mediante una reducción de la luz, losas tipo “teja” o bóveda, o directamente buscando una geometría sin losa superior. También se identifica que es preferible evitar geometrías con un gran compartimento interior en el que se coloque lastre líquido, ya que la altura metacéntrica se ve reducida debido al efecto de las superficies libres.

Para la verificación de los requerimientos de estabilidad geotécnica resulta necesario estimar las cargas actuantes, cobrando especial relevancia las cargas hidrodinámicas, como se recoge en la sección §3.4. Existen en la literatura numerosos sistemas de estimación de cargas debidas al oleaje, pero requieren una carga computacional fuera del alcance de un prediseño. Se analiza por tanto el empleo de formulación empírica, y se verifica mediante ensayos en modelo físico y simulaciones numéricas que los resultados obtenidos mediante el empleo de formulación empírica resultan conservadores. El análisis de la distribución vertical de las cargas revela que el mayor impacto se produce en la zona superior del mástil, ya que la velocidad de las partículas es más elevada. Las zonas de mayor diámetro también suponen un incremento de las cargas, por lo que si se encuentran distanciadas de la base generarán importantes contribuciones al momento volcador. Por ello, es interesante reducir el diámetro a medida que se aumenta la distancia al fondo.

Del análisis de la información anterior se deduce que los parámetros más relevantes para la definición de una geometría que verifique la estabilidad geotécnica, así como los

requisitos de construcción e instalación, son el diámetro y la altura de la base, por lo que se establecen como parámetros básicos en la definición del prediseño.

Tras la revisión de los métodos de análisis multicriterio más habituales en el sector, se selecciona una combinación de AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), que permiten obtener una ponderación de los criterios de análisis y una medida de cuánto se acerca o aleja cada alternativa de la solución ideal. Los criterios con los que se realiza el análisis dependerán de cada proyecto, pero cobrará en cualquier caso gran relevancia el coste, que puede estimarse a partir de una planificación de construcción e instalación y costes unitarios para los materiales y operaciones requeridas.

Seleccionada una alternativa mediante este nuevo método, se identifican los procedimientos para realizar un análisis estructural que permita verificar la idoneidad de la estructura durante todas las fases de construcción, instalación y operación. La verificación comprende principalmente la comprobación de los estados límite último y de servicio, así como las tensiones sobre el terreno y los modos de vibración del conjunto. Se propone una aproximación para definir las cargas necesarias para esta verificación, así como un número limitado de combinaciones de cargas, y se ofrecen valores orientativos de los resultados esperados.

Así mismo, se considera necesario realizar una revisión de los procedimientos para definir los materiales y geometría de la banqueta, así como el análisis de la necesidad de protección contra la socavación. Se revisa la formulación para definir el tamaño del material, si bien finalmente se propone colocar el mayor tamaño posible con los medios logísticos disponibles, y se realiza un cálculo estructural para conocer cuál es la extensión en la que la socavación dejaría de tener efecto sobre la estabilidad geotécnica de la estructura, fijándose este valor en $\emptyset_{SP} = 2,7 \emptyset_{GBF}$. Este valor se encuentra alineado con lo recomendado en la bibliografía ($\emptyset_{SP} = 2,5 \emptyset_{GBF}$).

La segunda fase, consistente en la validación de la metodología desarrollada, es detallada en el Capítulo 4. En ella se ofrece un análisis de sensibilidad del comportamiento de diferentes geometrías en cuanto a verificación de los requerimientos. El análisis de dicho comportamiento y de los inconvenientes asociados a cada una de las geometrías para un problema concreto, conduce a una solución optimizada que satisface los requerimientos establecidos.

La aplicación de la metodología propuesta ha conducido a una solución que cumple con los requisitos requeridos, y, además, gracias al conocimiento de las soluciones existentes en el mercado, se sabe que cuenta con altura inventiva y resulta suficientemente innovadora, por lo que se presentó una solicitud de patente, que resultó favorable.

5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Esta Tesis ha estudiado los factores que deben tenerse en cuenta para obtener un prediseño de una cimentación de gravedad de manera eficiente. A lo largo de la Tesis han surgido las siguientes posibilidades que abren líneas de investigación que pueden desarrollarse en el futuro:

- En el momento de desarrollo de la Tesis, el estándar de aplicación (DNV-OS-J101 Ref. [17]) establecía para el diseño de GBFs la condición de no levantamiento de la base, que resulta crítica para la mayor parte de los escenarios estudiados. No obstante, la actualización de dicho estándar realizado por DNV GL (DNVGL-ST-0126 Ref. [22]) no menciona dicha condición. Si bien la metodología propuesta continúa siendo válida, resulta interesante el estudio y adaptación de las soluciones a condición de que sufran cierto levantamiento bajo determinadas cargas (extremas, quasi-permanentes mayoradas, ...), ya que podría llevar a soluciones de diámetro inferior, condicionadas por criterios de estabilidad durante el transporte en lugar de estabilidad geotécnica.
- El estudio de la distribución de cargas, tanto en el perfil vertical como horizontal, se realizó mediante ensayos en canal y simulaciones numéricas para una de las geometrías analizadas. Puede ampliarse con simulaciones mediante elementos finitos para otras geometrías, así como una batería mayor de ensayos en canal, de modo que pueda realizarse un ajuste más preciso de las cargas que soportará cada elemento.
- Este trabajo recoge el estudio comparativo de cuatro geometrías de características diferentes, verificándose que la metodología es válida. Se considera interesante analizar otras de las propuestas que se están realizando en la industria, como los faldones (elementos hincados en el terreno) y las torres telescópicas, y analizar su comportamiento en transporte y fondeo, así como la estabilidad geotécnica en operación. Del mismo modo, podría aplicarse la metodología a otras tipologías de cimentación, como las de tipo jacket. Esto conllevaría analizar los criterios que deben adquirirse y ampliar la metodología propuesta con nuevas consideraciones.
- A medida que las soluciones tipo GBF se vean desarrolladas en mayor profundidad a nivel mundial, se propone recopilar y analizar la información generada para validar y ajustar la metodología, pudiendo revisarse los criterios y ponderaciones adoptados o crearse nuevos criterios.

- El análisis de la necesidad de protección contra la socavación y su extensión se considera de gran relevancia, ya que la metodología actual conduce a la protección de grandes superficies, conlleva un procedimiento costoso y puede llegar a invalidar una solución. Un análisis menos conservador, en el que se tenga en cuenta la socavación en función del tipo de suelo y que considere como requisito el cumplimiento estricto de los factores de seguridad prescritos por la normativa, llevaría a reducir la necesidad de protección contra la socavación y con ello a una reducción de costes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GWEC, «GWEC Global Wind 2017 Report. A Snapshot of Top Wind Markets in 2017: Offshore Wind,» Global Wind Energy Council, Brussels, 2018.
- [2] T. Remy y A. Mbistrova, «Offshore Wind in Europe - Key trends and statistics 2017,» Wind Europe, 2018.
- [3] IRENA, «Innovation Outlook: Offshore Wind,» International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2016.
- [4] IRENA, «Renewable Power Generation Costs in 2017,» International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2018.
- [5] J. Hernández Brito, «Modular multi-purpose offshore platforms, the TROPOS Project Approach,» 2012.
- [6] K. Peire, H. Nonneman y E. Bosschem, «Gravity Base Foundations for the Thornton Bank Offshore Wind Farm,» *Terra et Aqua*, nº 115, pp. 19-29, 2009.
- [7] The Concrete Centre, «Concrete Gravity Foundations for Offshore Wind,» Mineral Products Association, London, 2014.
- [8] M. Costa Ros, «Identifying the Key Barriers to Large scale Commercialisation of Gravity Based Structures (GBSs) in the Offshore Wind Industry,» Carbon Trust, 2015.
- [9] J. H. Thomsen, T. Forsberg y R. Bittner, «Offshore wind turbine foundations - The COWI Experience,» *26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2007.
- [10] BAM Nuttall Ltd, «Blyth offshore wind farm project hits new milestone,» 11 07 2017. [En línea]. Available: <https://www.bam.com/en/press/press->

- releases/2017/7/blyth-offshore-wind-farm-project-hits-new-milestone. [Último acceso: 09 09 2018].
- [11] Vici Ventus, «Offshore Wind Turbines: Concrete Foundations», AF Gruppen, 2012.
- [12] J. Serna, «Self-Installing Precast Concrete Telescopic Tower and Foundation», ESTEYCO, 2016.
- [13] W. Lafferty, «Examining the merits of jack up platforms as foundations for the offshore wind industry», Offshore wind foundations, Grapevine, Texas, 2011.
- [14] J. Remón Higuera, C. J. Polimón Olabarrieta, N. Gonzalez Patiño y M. Vázquez Romero, «Gravity Foundation for the Installation of offshore wind turbines». United States Patente US 2018/0119675 A1, 03 05 2018.
- [15] S. Ramslie y P. K. Karal, «Gravity-Based Structure». Estados Unidos Patente US 2015/0136670 A1, 21 05 2015.
- [16] M. Núñez Polo, R. Manzanos Ochagavía y F. Sancho Castiello, «Soporte de sustentación para un aerogenerador marino, procedimiento de fabricación y método de instalación». España Patente 2 327 199, 24 04 2008.
- [17] DNV (Det Norske Veritas), «DNV-OS-J101 Design of Offshore Wind Turbine Structures», DNV, 2014.
- [18] «Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de Hormigón», AENOR, 2016.
- [19] «Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero», AENOR, 2010.
- [20] IEC, «IEC 61400-3: International Standard Wind Turbines - Part 3: Design requirements for offshore wind turbines», International Electrotechnical Commission, Geneva, 2009.
- [21] Germanischer Lloyd, «Rules and Guidelines, IV Industrial Services; Part 2 Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines», Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Hamburg, 2012.
- [22] DNV GL AS, «DNVGL-ST-0126: Support structures for wind turbines», DNV GL AS, 2018.
- [23] DNV GL AS, «DNVGL-ST-0437: Loads and site conditions for wind turbines», DNV GL AS, 2016.

- [24] American Bureau of Shipping, «ABS 176: Guide for building and classing - Bottom-founded offshore wind turbine installations,» American Bureau of Shipping, Houston, 2018.
- [25] DNV GL AS, «DNVGL-SE-0073: Project certification of wind farms according to IEC 61400-22,» DNV GL AS, 2014.
- [26] DNV GL AS, «DNVGL-SE-0441: Type and component certification of wind,» DNV GL AS, 2016.
- [27] T. Camp, M. Morris, R. v. Rooij, J. v. d. Tempel, M. Zaaijer y A. Henderson, «Design Methods for offshore wind turbine at exposed sites,» Garrad Hassan, 2003.
- [28] J. VAN DER TEMPEL, Design of Support Structures for Offshore Wind Turbines, Delft: Offshore Engineering, DUWIND, 2006.
- [29] B. Byrne y G. Houlsby, «Foundations for offshore wind turbines,» *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 361, pp. 2909-2930, 2003.
- [30] B. W. Boehm, «A Spiral Model of Software Development and Enhancement,» ACM SIGSOFT Software Engineering Notes 21(5):61-72, 1988.
- [31] R. A. Farr, D. L. Christensen y E. L. Keith, «The Business Case for Spiral Development in Heavy-Lift Launch Vehicle Systems,» American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2005.
- [32] M. Corporation, *MS excel 2016*, Redmond, Washington, 2016.
- [33] R. Koekkoek, Gravity Base Foundations for Offshore Wind Turbines, Delft University of Technology, 2015.
- [34] N. Akbari, C. A. Irawan, D. F. Jones y D. Menachof, «A multi-criteria port suitability assessment for developments in the offshore wind industry,» *Renewable Energy*, Vols. %1 de %2102, Part A, pp. 118-133, 2017.
- [35] N. Akbari, A. Attari, L. Cradden y P. Doherty, «GIS-based approach for port selection and bottleneck identification for the deployment of Self-Buoyant Gravity Based Foundations,» de *EWEA conference*, Paris, 2015.
- [36] American Petroleum Institute, Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design, API RECOMMENDED PRACTICE 2A-WSD (RP 2A-WSD), 2007.

- [37] Maritime and Coastguard Agency, «Marine Guidance Note 371 (M+F): Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response Issues,» Maritime and Coastguard Agency, 2008.
- [38] M. A. Tayfun, «Narrow-band nonlinear sea waves,» *J. Geophys. Res.*, vol. 85(C3), p. 1548–1552, 1980.
- [39] ERDC Coastal and Hydraulics Laboratory, «Dredge Vertical Construction Accuracy,» U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC), 2006.
- [40] Vinci, «Gravity Foundations: Concrete Offshore Wind Conference,» 2013.
- [41] S. A. Hughes, «Scour and Scour Protection,» de *US Army Corps of Engineers*, Mississippi, 2001.
- [42] J. Jonkman, S. Butterfield, W. I. Musia and G. Scott, “Definition of a 5-MW Reference Wint Turbine for Offshore System Development,” NREL, 2009.
- [43] C. M. J. B. L. a. H. W. Desmond, «Description of an 8 MW reference wind turbine,» de *Journal of Physics: Conference Series*, 753 (9), 092013 (16pp), 2016.
- [44] B. C. e. al., «Description of the DTU 10 MW Reference Wind Turbine,» *DTU Wind Energy*, 2013.
- [45] A. Attari, P. Doherty, E. Reig Amoros y C. Paulotto, «Design drivers for buoyant gravity-based foundations,» *Wind Energy*, pp. 1833-1844, 2016.
- [46] J. Jonkman, «Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine,» National Renewable Energy Laboratory, 2007.
- [47] N. I. M. Zaki y M. K. A. Husain, «Comparison of Extreme Responses From Wheeler and Vertical Stretching Methods,» *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2013.
- [48] P. Ruiz Albert, Bases para la obtención de las acciones de diseño del oleaje en aerogeneradores marinos, Barcelona: Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [49] R. L. Mott, *Mecánica de Fluidos*, Pearson Educación, 2006.
- [50] B. Barrass y D. Derrett, *Ships Stability for Masters and Mates*, Elsevier Ltd, 2006.

- [51] F. N. Gimena Ramos y J. V. Valdenebro García, «Núcleo central de la sección,» *Revista de Edificación*, nº 16, pp. 33-36, 1993.
- [52] J. M. Canet, Resistencia de Materiales y Estructuras, CIMNE, 2012.
- [53] J. Brinch Hansen, «A General Formula for Bearing Capacity,» *Danish Geotechnical Institute*, nº Bulletin 11, 1961.
- [54] T. Saaty, The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation, New York: McGraw-Hill, 1980.
- [55] C. Hwang y K. Yoon, Multiple attribute decision making: methods and applications, New York: Springer, 1981.
- [56] Y. Akao, Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design, Cambridge: MA: Productivity Press, 1990.
- [57] S. Pugh, Total Design - Integrating Methods for Successful Product Engineering, Reading: Addison-Wesley, 1991.
- [58] M. Collu, A. J. Kolios y A. Chahardehi, «A Multi-Criteria Decision Making Method to Compare Available Support Structures for Offshore Wind Turbines,» *European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC)*, 2010.
- [59] A. De la Fuente, J. Armengou, O. Pons y A. Aguado, «Multi - criteria decision - making model for assessing the sustainability index of wind-turbine support systems: application to a new precast concrete alternative,» *Journal of Civil Engineering and Management*, 2015.
- [60] A. J. Kolios, A. Rodriguez Tsouroukdissian y K. Salonitis, «Multi-criteria decision analysis of offshore wind turbines support structures under stochastic inputs,» *Ships and Offshore Structures*, 2014.
- [61] E. Lozano-Minguez, A. Kolios y F. Brennan, «Multi-criteria assessment of offshore wind turbine support structures,» *Renewable Energy*, nº 36, pp. 2831-2837, 2011.
- [62] Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, «Base de Precios de Referencia de la Dirección General de Carreteras (OC 37/2016),» Ministerio de Fomento, 2016.
- [63] R. N. Bray, «A guide to cost standards for dredging equipment,» CIRIA, 2009.

- [64] D. Ahn, S.-c. Shin, S.-y. Kim, H. Kharoufi y H.-c. Kim, «Comparative evaluation of different offshore wind turbine installation vessels for Korean west-south wind farm,» *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 9, pp. 45-54, 2017.
- [65] M. Asgarpour, «Assembly, transportation, installation and commissioning of offshore wind farms,» de *Offshore Wind Farms. Technologies, Design and Operation*, Petten, The Netherlands, Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), 2016, pp. 527-541.
- [66] Puertos del Estado, Guía de buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas, Ministerio de Fomento, 2008.
- [67] P. Alaejos y M. A. Bermúdez, «Influence of Seawater Curing in Standard and High-Strength Submerged Concrete,» *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. Volume 23 Issue 6, 2011.
- [68] Jan de Nul, «Jan de Nul Group,» [En línea]. Available: <https://www.jandenul.com/en/equipment/fleet/trailing-suction-hopper-dredger>. [Último acceso: 08 09 2018].
- [69] International Association of Dredging Companies, «Facts about Subsea Rock Installation,» IADC, 2012.
- [70] J. Paterson, F. D'Amico, P. Thies, R. Kurt y G. Harrison, «Offshore wind installation vessels - A comparative assessment for UK offshore rounds 1 and 2,» *Ocean Engineering*, nº 148, pp. 637-649, 2018.
- [71] C.-L. Hwang y K. Yoon, Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981.
- [72] DNV GL AS, DNVGL-ST-C502: Offshore concrete structures, DNV GL AS, 2018.
- [73] C. Conca de la Asunción, «Evaluación de estrategias de control de aerogeneradores de alta potencia,» Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
- [74] W. & K. V. N. & P. P. & F. T. & K. D. & M. D. & S. B. & V. F. de Vries, «Final report WP 4.2: Support Structure concepts for Deep Water Sites: Deliverable D4.2.8 (WP4: offshore foundations and support structures),» 2018.

- [75] J. A. Jimenez Salas, J. L. De Justo Alpañes y A. A. Serrano Gonzalez, *Geotecnia y Cimientos II*, Editorial Rueda, 1981.
- [76] G. E. Bertram, *An Experimental Investigation of Protective Filters*, Cambridge, MA : Harvard University, 1940.
- [77] U.S. Army Corps of Engineers, *Drainage and Erosion Control - Subsurface Drainage Facilities for Airfields; Part XIII, Chapter 2*, Washington, D.C., 1955.
- [78] L. v. Bendegom, «Principles governing the design and construction of economic revetments for protecting the banks of rivers and canals for ocean and inland navigation,» de *20th International Navigation Congress*, Paris, France, 1969.
- [79] USBR, *Design of small dams*. 2nd ed., Washington, DC: U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, U.S., 1973.
- [80] Ministerio de Fomento, *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)*, 2017.
- [81] A. Soriano Peña, ROM 0.5-05, *Geotechnical Recommendations for Design of Marine & Harbour Works*, Ministerio de Fomento, 2008.
- [82] K. J. Bos, H. Verheij, G. Kant y A. C. Kruisbrink, «Scour Protection Around Gravity Based Structures Using Small Size Rock,» de *First International Conference on Scour of Foundations*, Texas, 2002.
- [83] I. Khalfin, «Local scour around ice-resistant structures caused by wave and current effect,» de *Proc. The Seventh International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, Helsinki, Finland, 1983.
- [84] G. a. V. H. Hoffmans, *Scour Manual*, Rotterdam: CRC Press, 1997.
- [85] L. van Rijn, «Sediment transport, part i: Bed load transport,» *J. Hydraul. Eng.*, vol. 110 (10), pp. 1431-1456, 1984.
- [86] C. R. Neill, «A re-examination of the beginning of movement for coarse granular bed materials,» Report INT 68, Hydraulics Research Station, Wallingford, England, 1968.
- [87] S. Maynard, «Practical riprap design,» Miscellaneous Paper H-78-7, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1978.

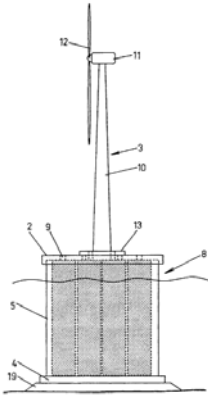
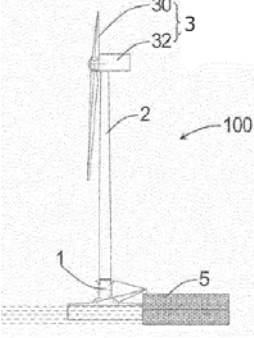
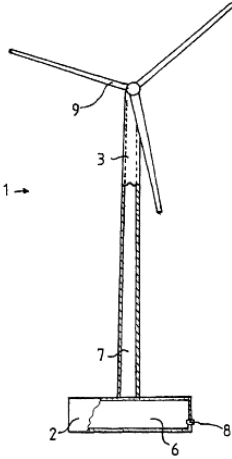
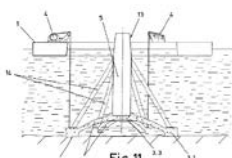
- [88] DNV, Classification notes NO.30.4 Foundations, HØVIK, NORWAY: DNV (Det Norske Veritas Classification AS), 1992.
- [89] F. Ballester Muñoz, J. Rico Arenal, M. Llama Vélez, A. Navarro Aranda, C. Heredero Bueno y C. Yanes Baonza, «Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore y procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore». España Patente 2 593 263, 12 09 2017.
- [90] E. Piñeiro Díaz, «Manual para el diseño y la ejecución de cajones flotantes de hormigón armado para obras portuarias», Organismo Público Puertos del Estado, 2006.
- [91] J. Jimenez Salas, «Geotecnica y Cimientos III - Parte 1,» J.M. Rueda Ediciones, 1998.
- [92] L. Bañón y J. F. Beviá García, Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento, Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 1999.
- [93] R. Bonnefille, «Essais de synthese des lois du debut d'entrainement des sédiments sous l'action d'un courant en regime continu,» *Bull.Du CREC*, nº 5, 1963.
- [94] M. Yalin, Mechanics of Sediment Transport, New York: Pergamon Press, 1972.

ANEXO I: Patentes de cimentaciones de gravedad

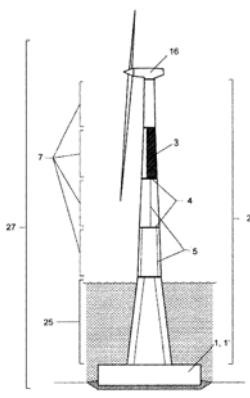
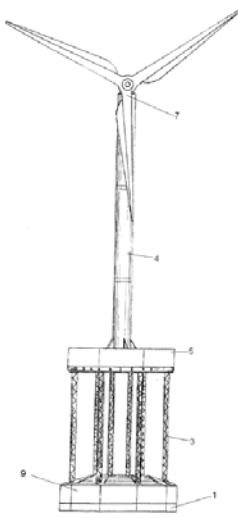
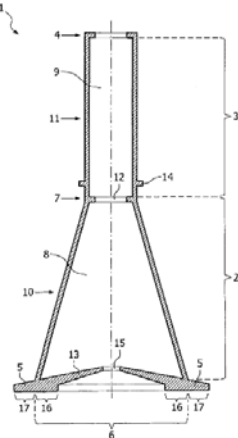
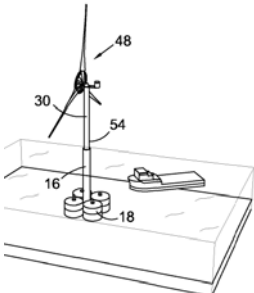
Tabla de contenido

A1.1.	LISTADO DE PATENTES	2
A1.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS PATENTES	7
2.1.	Soporte de sustentación para un aerogenerador marino, procedimiento de fabricación y método de instalación (WO 2009/130343 - ACCIONA).....	7
2.2.	Installation method and recovery method for offshore wind turbine (EP 2 428 443 A1 - JIANGSU DAODA)	8
2.3.	Procedimiento y aparato para instalar y transportar una central de energía eólica marina (ES 2 286 039 - YRJÖ RINTA-JOUPPI).....	10
2.4.	Sistema de montaje de estructuras acuáticas sobre una cimentación de anclaje y cimentación destinada para dicho montaje (ES 2 316 211 B1 - MANUEL TORRES MARTÍNEZ) 12	
2.5.	Process for installing an offshore tower (US 9890510 B2 – ESTEYCO ENERGIA S.L.)..	14
2.6.	Plataforma oceánica, polivalente y su procedimiento de fabricación e instalación (ES 2 385 509 B1 - GRUPO DE INGENIERÍA OCEÁNICA DE SANTA ÚRSULA, TENERIFE).....	17
2.7.	Device and method for offshore installations (EP 1 777 348 A1 - DREDGING INTERNATIONAL N.V.)	18
2.8.	Wind turbines and floating foundations (GB 2 493 023 A - SWAY TURBINE)	19
2.9.	Building and installing offshore gravity platforms (GB 2 225 365 A - NORWEGIAN CONTRACTORS)	21
2.10.	Plataforma de extracción o de prospección de petróleo o de gas natural en fondo marino (FR 2 261925 A1 - BRADBURY, GAULT, KIRK Y McALLAN)	23
2.11.	Support structure for use in the offshore wind farm industry (WO 2009/154 472 A2 - SEATOWER)	25
2.12.	Método para producir construcciones marítimas (DE 10 2006 002 780 A1 - TIEFBAU-GMBH) 28	
2.13.	Offshore station, foundation for an offshore station, and method for building an offshore station (US 2011/0158750 A1 - MAX BOGL GMBH)	30
2.14.	Gravity- based structure (US 2015/0136670 A1 - SEATOWER AS).....	31
2.15.	Gravity foundation for the installation of offshore wind turbines (US 2018/0119675 A1 – DRACE)	32
2.16.	Gravity based foundation for an offshore installation (EP 2 930 273 A1 - Koninklijke BAM Groep N.V.).....	34
A1.3.	Referencias.....	35

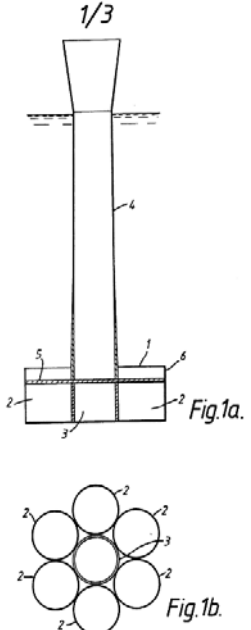
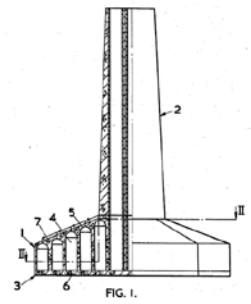
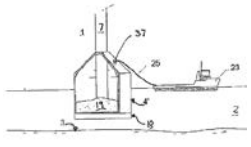
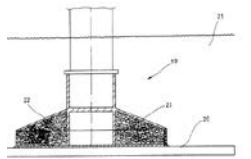
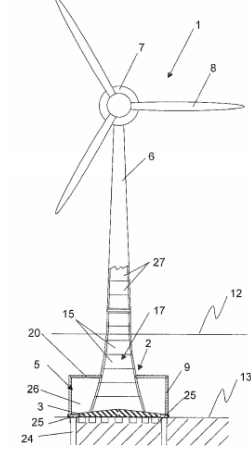
A1.1. LISTADO DE PATENTES

#	Título	Número publicación	Figura representativa	Solicitante	Fecha solicitud
1	Soporte de sustentación para un aerogenerador marino, procedimiento de fabricación y método de instalación	ES2327199A1	 Fig. 1	ACCIONA WINDPOWER; ACCIONA ENERGÍA; IBÉRICA DE ESTUDIOS E INGENIERÍA	24.04.2008
2	Installation method and recovery method for offshore wind turbine	EP 2 428 443 A1		JIANGSU DAODA OFFSHORE WIND	12.07.2010
3	Procedimiento y aparato para instalar y transportar una central de energía eólica marina	ES 2 286 039		Yrjö Rinta-Jouppi	01.11.2000
4	Sistema de montaje de estructuras acuáticas sobre una cimentación de anclaje y cimentación destinada para dicho montaje	ES 2 316 211 B1	 Fig. 11	Manuel Torres Martínez	09.01.2006

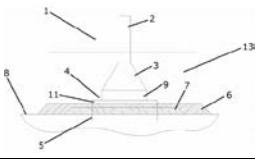
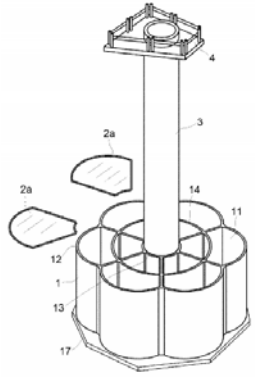
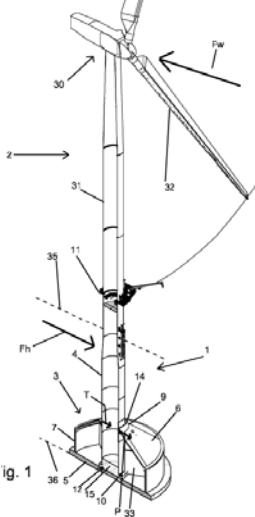
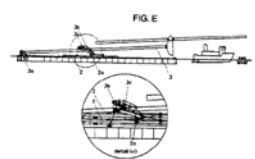
ANEXO I: Patentes de cimentaciones de gravedad

#	Título	Número publicación	Figura representativa	Solicitante	Fecha solicitud
5	Procedimiento de instalación de torre para uso aguas adentro	ES 2 378 960 A1		INNEO TORRES, S.L.; ESTEYCO ENERGÍA, S.L.	22.09.2010
6	PLATAFORMA OCEÁNICA, POLIVALENTE Y SU PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN E INSTALACIÓN	ES 2 385 509 B1		GRUPO DE INGENIERÍA OCEÁNICA, S.L.	11.12.2009
7	Device and method for offshore installations	EP 1 777 348 A1		Dredging International N.V.	25.04.2007
8	Wind turbines and floating foundations	GB 2 493 023 A		Sway Turbines AS	22.07.2011

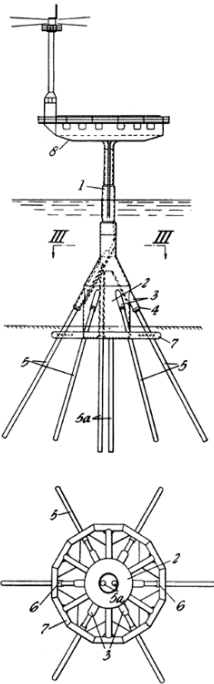
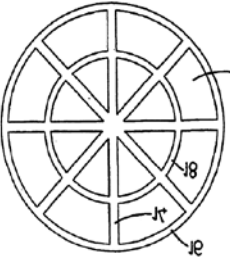
ANEXO I: Patentes de cimentaciones de gravedad

#	Título	Número publicación	Figura representativa	Solicitante	Fecha solicitud
9	Building and installing offshore gravity platforms	GB 2 225 365 A	 Fig. 1a. Fig. 1b.	Norwegian Contractors A/S	13/11/1989
10	Plataforma de extracción o de prospección de petróleo o de gas natural en fondo marino	FR 2 261 925	 FIG. 1.	BRADBURY, GAULT, KIRK Y McALLAN	24/02/1975
11	Support structure for use in the offshore wind farm industry	WO 2009/154472 A2		SEATOWER AS	17/06/2009
12	Método para producir construcciones marítimas	DE 10 2006 002 780 A1		TIEFBAU-GMBH	26/07/2007
13	Offshore station, foundation for an offshore station, and method for building an offshore station	US 2011/0158750 A1		MAX BOGL GMBH	30/06/2011

ANEXO I: Patentes de cimentaciones de gravedad

#	Título	Número publicación	Figura representativa	Solicitante	Fecha solicitud
14	Gravity-based structure	US2015/0136670 A1		Seatower A.S.	21/05/2015
15	Gravity foundation for the installation of offshore wind turbines	US 2018/0119675 A1		DRACE S.A. DRAGADOS S.A.	03/05/2018
16	Gravity Based Foundation for an Offshore Installation	EP 2930273 A1		Koninklijke BAM Groep N	07/04/2014
17	Gravity securing system for offshore generating equipment	GB 2 344 843 A		NEVEN JOSEPH SIDOR	18/12/1998

ANEXO I: Patentes de cimentaciones de gravedad

#	Título	Número publicación	Figura representativa	Solicitante	Fecha solicitud
18	Building structures for underwater use	GB 1 020 555 A		DAVID COLERBROOK	08/11/1963
19	Foundation structure	US 2004/0 226 236 A1		JOHN TERRY PIDGEON	21/11/2001

A1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PATENTES

2.1. Soporte de sustentación para un aerogenerador marino, procedimiento de fabricación y método de instalación (WO 2009/130343 - ACCIONA)

La patente WO 2009/130343 (Ref. [1]), del año 2009, abarca el soporte, su procedimiento de fabricación y el método de instalación. La cimentación consta de un cajón apoyado en el fondo marino, con una losa superior que queda por encima del nivel del mar y de las olas.

El cajón se realiza en dique flotante mediante encofrado deslizante, y mediante el relleno parcial de las cavidades del cajón, éste flota de manera estable durante su remolque hasta la ubicación final. Adicionalmente, propone que durante el remolque se puedan transportar sobre el cajón distintos componentes del aerogenerador.

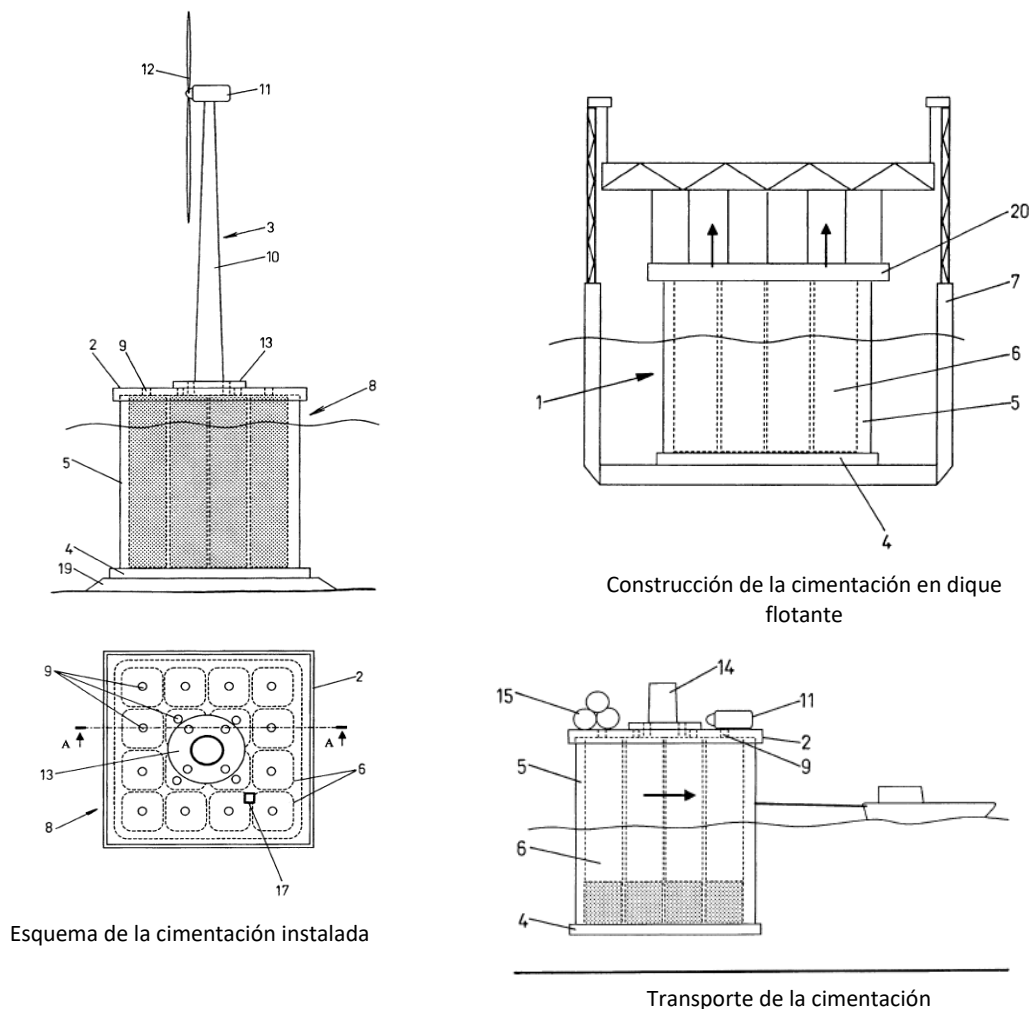


Figura 1: Detalles de construcción y transporte de la cimentación

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las siguientes:

- La losa superior se sitúa por encima del nivel del mar. Esto posibilita que la cimentación no afronte un momento crítico desde el punto de vista de estabilidad durante el fondeo, al reducirse la sección en el plano del agua drásticamente. También implica que la losa superior no se ve sometida a importantes presiones en la fase de fondeo. No obstante, el gran tamaño de la cimentación en el nivel del agua producirá que los esfuerzos hidrodinámicos sean considerablemente superiores.
- La disposición de los compartimentos interiores hace que el llenado de lastre sea complejo, celda a celda y a través de orificios o ventanas en la losa superior.
- Al igual que los cajones portuarios, la geometría de esta estructura tiene un comportamiento estructural másico. Esto es que los esfuerzos que provienen del aerogenerador y torre son transmitidos a la losa superior, que debe tener rigidez suficiente para transmitirlos al propio cajón.

2.2. Installation method and recovery method for offshore wind turbine (EP 2 428 443 A1 - JIANGSU DAODA)

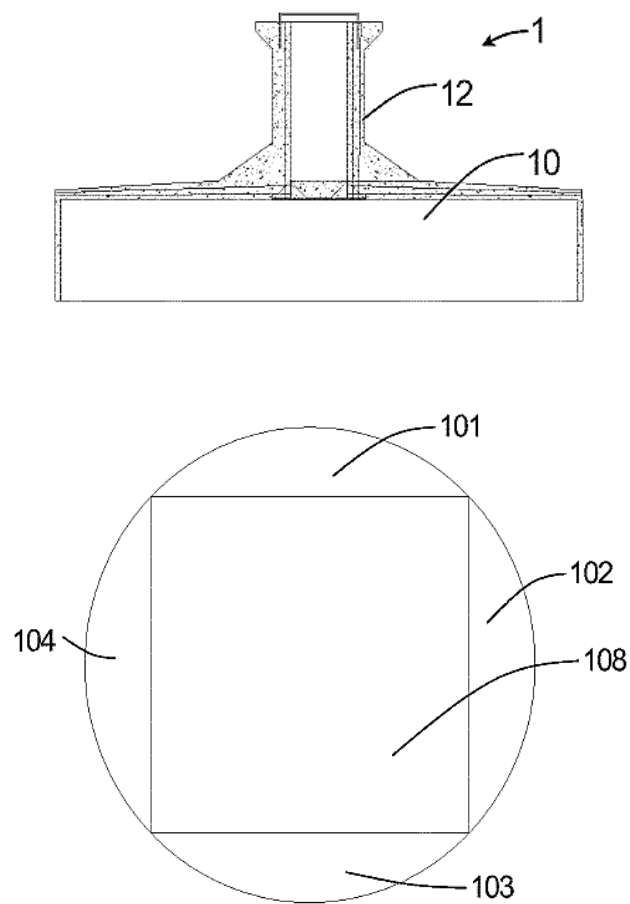
La patente (Ref. [2]) abarca el método de instalación de un aerogenerador marino. En ella se explica que la cimentación sería prefabricada en tierra, contando con un compartimento principal central que aporte flotabilidad al conjunto, y cuatro compartimentos laterales que doten de estabilidad al conjunto durante el proceso de transporte. La cimentación prefabricada se llena de aire para que flote, se coloca en el puerto y se fija al muelle o dique, para colocar mediante grúas la torre y el aerogenerador. Después se fija a un barco que la transporta hasta su ubicación final, donde es fondeada empleando sistemas de posicionamiento dinámico. Se señala que durante el transporte se controlará la verticalidad de la torre con sensores, llenando los compartimentos de cimentación y barco para asegurar la estabilidad del conjunto.

La cimentación se fondea mediante la extracción de aire o la adición de lastre, dependiendo de las características del terreno. Una vez instalada, la cimentación se clava en el terreno, ya que no cuenta con losa inferior.

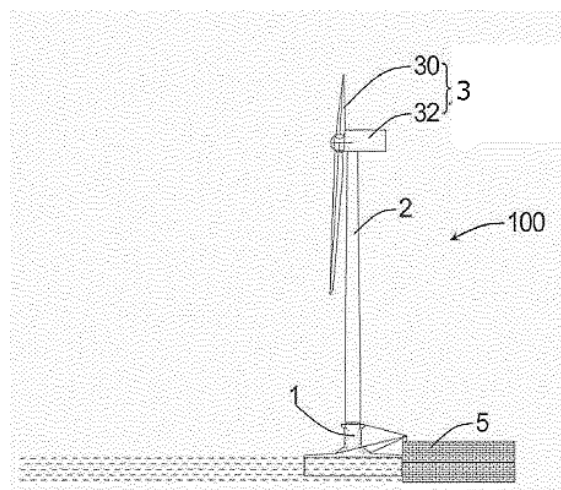
Del mismo modo, se especifica cómo la cimentación podría ser reflotada y transportada de nuevo a puerto, siguiendo un proceso inverso al de instalación.

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las siguientes:

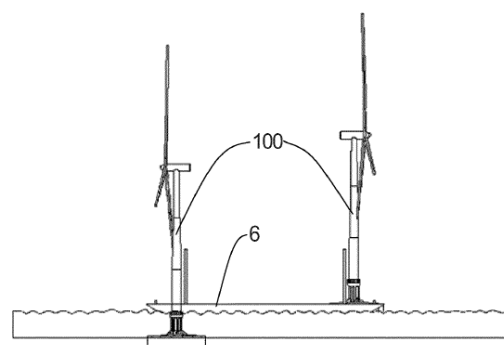
- La cimentación no es de gravedad si no más similar a las cimentaciones de tipo *"suction bucket"*.
- Durante el transporte, la cimentación precisa de una embarcación auxiliar y de un sistema de aire comprimido para mantener la cimentación en flotación.
- Al igual que en el caso anterior, una vez sumergida la base, la losa superior se verá sometida a importantes presiones.



Vista en alzado y en planta de la cimentación



Instalación de todos los elementos del aerogenerador en puerto



Formas propuestas para el transporte del aerogenerador

Figura 2: Detalles de la cimentación durante el montaje y transporte

2.3. Procedimiento y aparato para instalar y transportar una central de energía eólica marina (ES 2 286 039 - YRJÖ RINTA-JOUPPI)

Esta patente (Ref. [3]) describe un procedimiento y aparato para instalar y transportar una central de energía eólica marina. La central de energía eólica marina descrita comprende las siguientes partes:

- Una base ancha de cemento o acero de forma redonda similar a una losa que se puede asentar en el fondo del mar. Esta base ha de ser hueca, de tal forma que el espacio interior cumpla la función de tanque de agua de lastre. Puede estar provista de un equipo de chorro de agua mediante el que se puede dragar el fondo.
- Una torre acoplada a la base y que se extiende en vertical desde ésta, llevando montado en el extremo superior un rotor eólico. Al igual que la base, esta parte también cuenta con una estructura hueca sirviendo su espacio interior como tanque de agua de lastre. Los espacios interiores de los tanques de la torre y de la base pueden estar separados o comunicados entre sí.
- Una o varias bombas gracias a las cuales se puede bombear agua de mar dentro de los tanques cuando éstos estén vacíos o, en caso contrario, sacarla. La previsión de las bombas en la central es opcional puesto que éstas pueden situarse también en una embarcación de transporte o de servicio.

El procedimiento descrito consiste en ensamblar la base y la torre en tierra firme mediante una grúa para ser transportada como un todo a su lugar de instalación en alta mar. Para el transporte, se ajusta la cantidad de agua de modo que la base se haga flotante y se levante del fondo así como para conseguir su estabilidad durante todo el proceso.

Para la siguiente fase de transporte se describen dos alternativas. La primera consiste en sujetar la torre mediante mordazas unidas a un sistema de sujeción situado en la embarcación. Dicha sujeción se realiza lateralmente, desde lados opuestos de la torre y permitiendo el movimiento vertical de ésta con respecto a la embarcación. La otra alternativa plantea la utilización de una embarcación que cuenta con una ranura desde el centro de ésta hasta el borde, permitiendo que la torre pase por ella. La parte superior de la base se apoya contra el fondo de la barcaza y se une a ésta mediante elementos de fijación tales como cables metálicos, cadenas, pernos roscados o similares. Una vez situada en el lugar de instalación, se bombea el agua al interior de los tanques en una cantidad suficiente de manera que la base se hunda hasta el fondo. Del mismo modo, se especifica cómo la cimentación podría ser reflotada y transportada de nuevo a puerto, siguiendo un proceso inverso al de instalación.

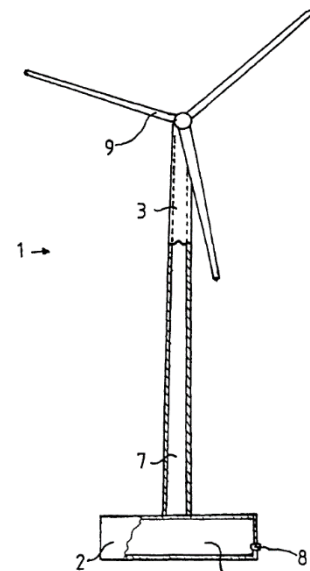
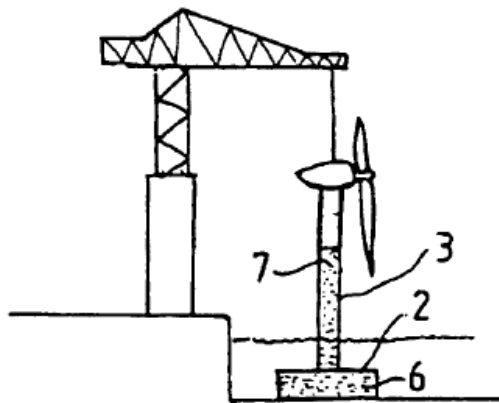
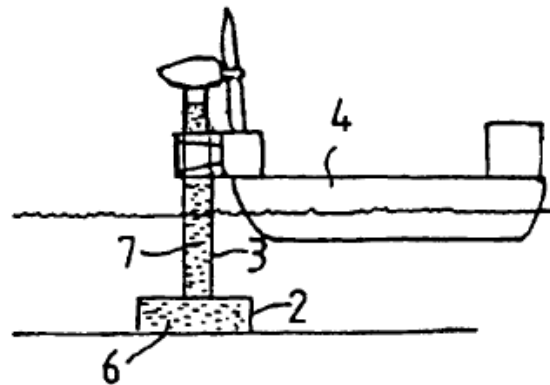


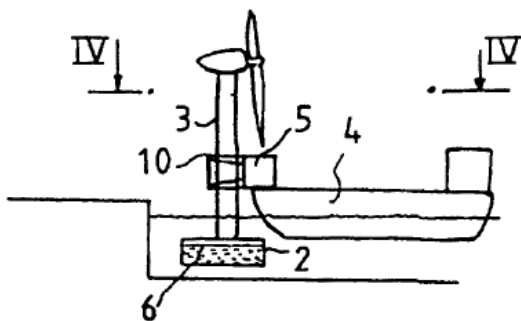
Figura 3: Vista del aerogenerador propuesto



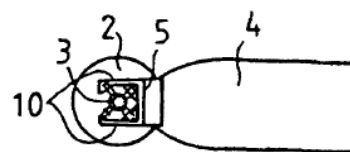
Instalación de la góndola y las palas del aerogenerador en puerto



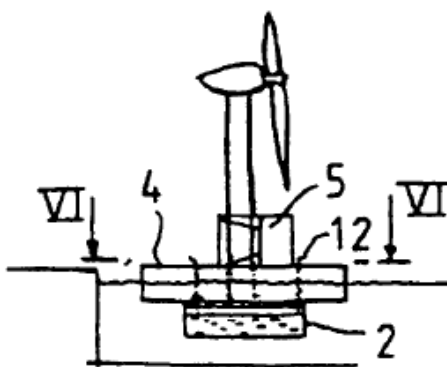
Fondeo de la cimentación



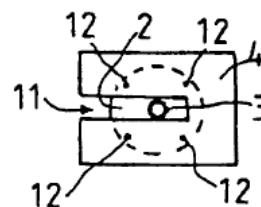
Primera alternativa. Método de transporte



Planta de la primera alternativa



Segunda alternativa. Método de transporte



Planta de la segunda alternativa

Figura 4: Detalles de la cimentación propuesta

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las siguientes:

- Si la torre no se prolonga en el interior de la base hasta la losa inferior, los esfuerzos se transmitirán a la losa superior y de esta a las paredes de la base, que deberán tener la capacidad de soportarlas.

- Al igual que en casos anteriores, durante el fondeo la losa superior se verá sometida a cargas importantes por la diferencia de presión entre el interior de la base, que alberga aire, y el exterior, donde existe el peso de la columna de agua sobre ella.
- Si la losa inferior no se encuentra rigidizada mediante elementos interiores, puede sufrir importantes esfuerzos que obliguen a dimensionarla con cantos muy superiores y cuantías de armadura muy superiores a las habituales, con el consecuente encarecimiento de la cimentación.
- Al no disponer de elementos que dividan el interior de la base, cuando se introduzca lastre de agua en su interior para el lastrado, la estabilidad será inferior a la que se obtendría de estar compartimentado.
- Como en los casos anteriores, se considera la operación de introducción de lastre definitivo compleja, ya que deben disponerse de válvulas o compuertas para introducir el material granular en el interior de la base.

2.4. Sistema de montaje de estructuras acuáticas sobre una cimentación de anclaje y cimentación destinada para dicho montaje (ES 2 316 211 B1 - MANUEL TORRES MARTÍNEZ)

Esta patente, número ES 2 316 211 B1, (Ref. [4]), describe el sistema de montaje de estructuras acuáticas sobre una cimentación de anclaje y la cimentación destinada a dicho montaje.

La cimentación propuesta tiene forma de casquete esférico, con una base anular de gran diámetro y unos nervios radiales arqueados en convexidad hacia arriba uniendo así la base anular con un núcleo central situado en un nivel superior. Se ejecuta mediante el hormigonado de un encofrado formado por una plataforma flotante y una bandeja de cierre inferior. Una vez construida, la cimentación queda unida a la plataforma flotante mediante cabestrantes y la bandeja inferior se deja caer al fondo acuático. También en el puerto se realiza la unión de la cimentación con el primer tramo de la estructura superior. Este conjunto se transporta arrastrando la plataforma flotante con un barco remolcador hasta el lugar de instalación o incorporando medios motrices a la plataforma para su desplazamiento por sí misma. Una vez en el lugar de instalación, el fondeo se realiza desde la plataforma flotante gracias a los cabestrantes que sujetan el conjunto descrito, quedando de esta forma ubicado a la espera de la unión con el resto de la estructura superior.

El transporte de la estructura superior se realiza de la misma manera, pero disponiendo unos utillajes accesorios para su fijación a la plataforma flotante. A su vez, ésta cuenta con un sistema de hundimiento y refluotación mediante anegado y achicado a fin de realizar el encaje con el tramo ya situado o el desacoplamiento, en el caso inverso.

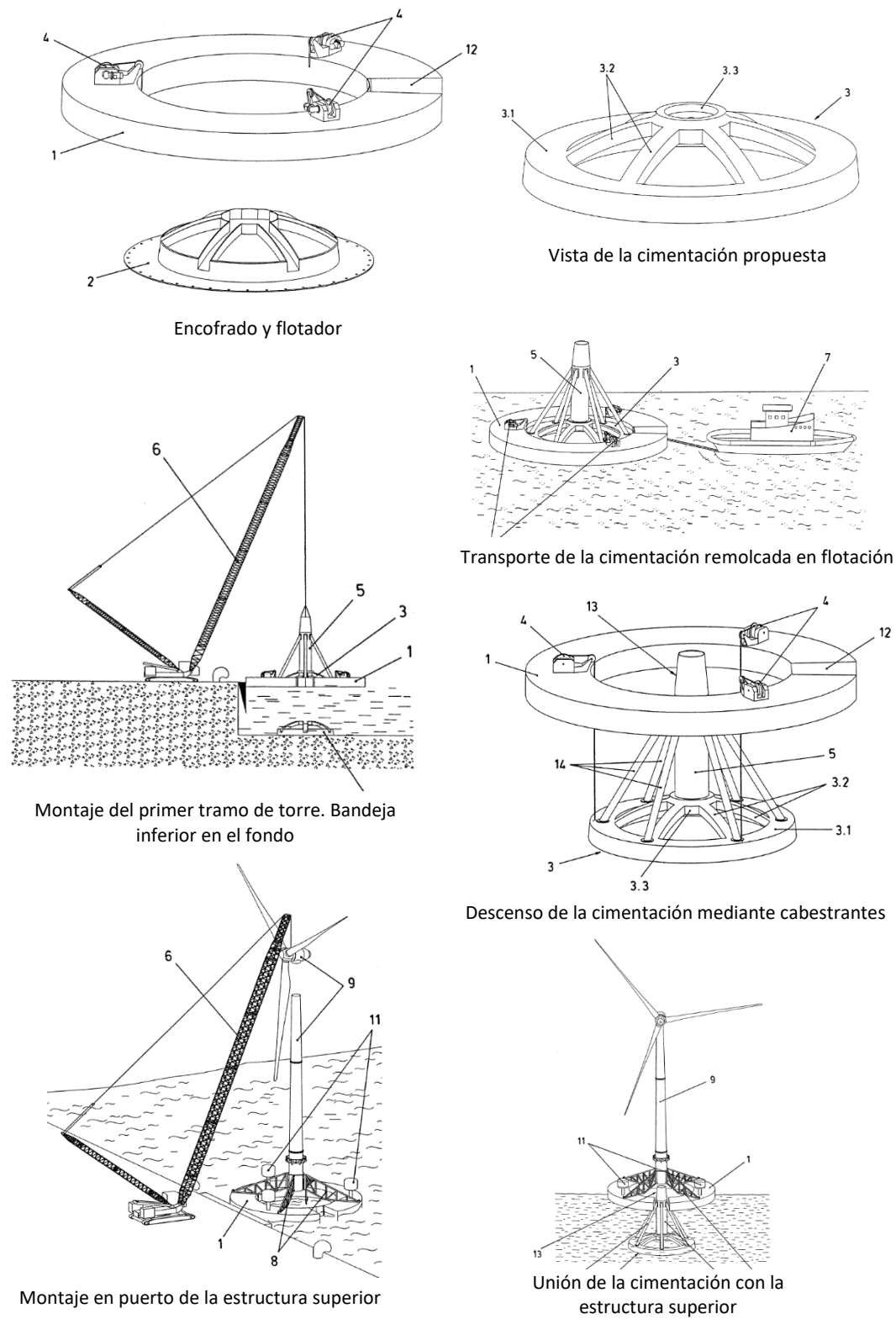


Figura 5: Cimentación y procedimiento de fabricación, transporte e instalación

2.5. Process for installing an offshore tower (US 9890510 B2 – ESTEYCO ENERGIA S.L.)

Esta patente (Ref. [5]) es una actualización de una patente española existente: ES 2 378 960 A1 de INNEO TORRES.

Se construye la plataforma en seco (en tierra, diques secos, puertos costeros o flotantes, diques flotantes u otras instalaciones costeras o marítimas habilitadas y protegidas). Esta plataforma, sin lastre, debe proporcionar una plataforma provisional flotante y estable que posibilite el transporte por autoflotación con un tramo de base aplicado a ella (formando así dicha plataforma de cimentación y dicho tramo de base una unidad de partida).

El resto del fuste de la estructura se realiza por apilamiento sucesivo de las dovelas que conforman los tramos generalmente ya en el emplazamiento definitivo.

La plataforma es sustancialmente plana y horizontal y se construye empleando hormigón estructural, ya sea con técnicas de hormigonado in situ o mediante el ensamblaje de piezas o paneles prefabricados, o mediante combinación de ambas. La plataforma se configura a modo de cajón multicelular, que comprende una losa inferior, una losa superior y una losa perimetral, así como una pluralidad de nervios interiores rígidos rectos. Los nervios se disponen formando cuadrículas que delimitan recintos interiores. Un ejemplo de ejecución sería realizar la losa inferior y la losa perimetral mediante hormigonado in situ y empleando losas alveolares prefabricadas para la losa superior y los nervios. Al menos una de las losas inferior, superior o perimetral tiene válvulas de lastrado, y al menos parte de dichos recintos interiores son estancos y/o tienen válvulas de distribución.

Se pueden incorporar medios de accionamiento a distancia y/o medios de accionamiento automático predeterminado para accionar dichas válvulas de lastrado y/o dichas válvulas de distribución. Se prevé la existencia de fases estables intermedias durante la operación de hundimiento, en las que se intercalen fases de montaje de tramos de la torre superior. Para ello se emplean distintas configuraciones de flotación jugando con el llenado selectivo de los recintos interiores. Finalmente permanecerán rellenos de lastre en su situación definitiva.

Como en primer lugar se transporta la unidad de partida (cimentación + primer tramo de base) se puede aprovechar ésta para transportar tramos sucesivos que se instalarán in situ. También se puede usar como volumen de flotación parte del volumen interior del tramo de base y no sólo los compartimentos de la plataforma de base, pudiendo quedar ésta sumergida durante el transporte.

También pueden estar dispuestos medios de amarre y antichoque para ayudar en el hundimiento de la unidad de partida. Dichos medios de amarre y antichoque comprenden unos brazos unidos de manera fija a los tramos de superposición y de manera deslizable al tramo de base, de modo que durante el hundimiento los brazos se desplazan hacia arriba por el tramo de base como para mantener dichos tramos de superposición convenientemente amarrados al tramo de base, evitando por ello que los tramos de superposición (que flotan en las cercanías gracias a una compartimentación interior para la autoflotación) queden a la deriva y así se dispersen y/o choquen contra la unidad de partida.

Tras el fondeo, se procederá al izado y posicionamiento de los tramos de superposición utilizando medios de montaje convencionales.

Se describen una serie de procedimientos auxiliares que pueden contribuir a la mejora del procedimiento, tales como medios de guiado para ayudar en el hundimiento, empleo de estructuras flotantes auxiliares que mejoren la flotabilidad y estabilidad de la plataforma y en las que se puedan transportar parte de los tramos de superposición y unos medios de aerogenerador con o sin palas, una disposición temporal de configuración multipiel para transportar los tramos de superposición ahorrando espacio o la disposición de una grúa automontable sobre la plataforma para el montaje de la subestructura y opcionalmente, de los medios del aerogenerador.

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las mismas que las descritas en el apartado 2.3, salvo que este diseño si contempla compartimentar la base.

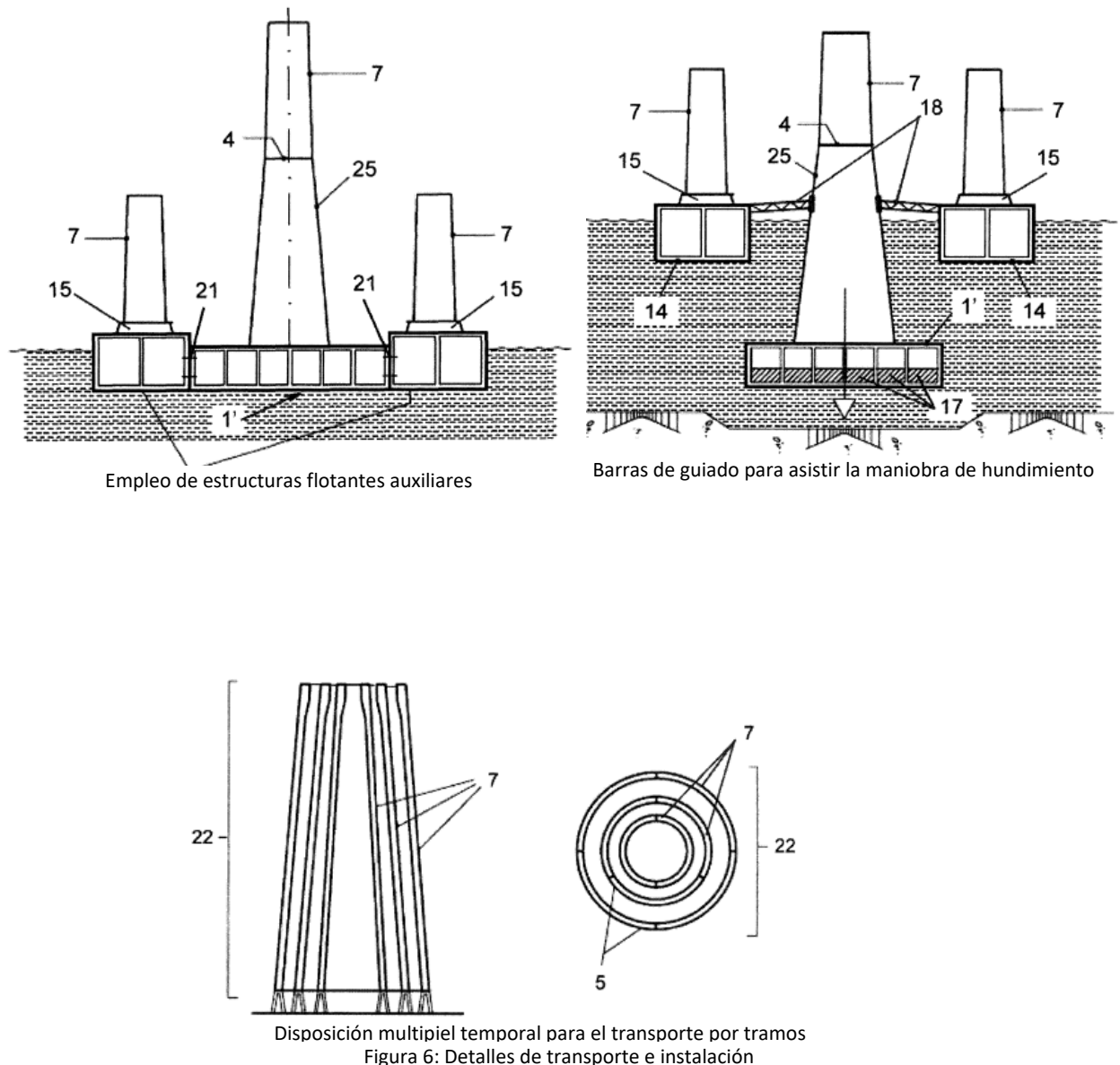
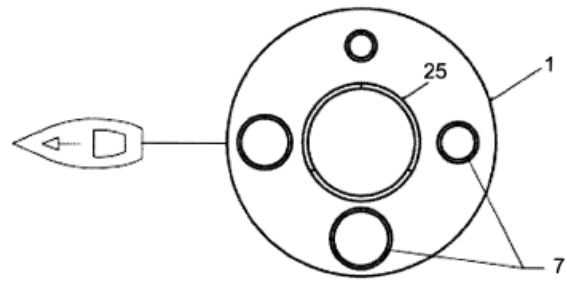
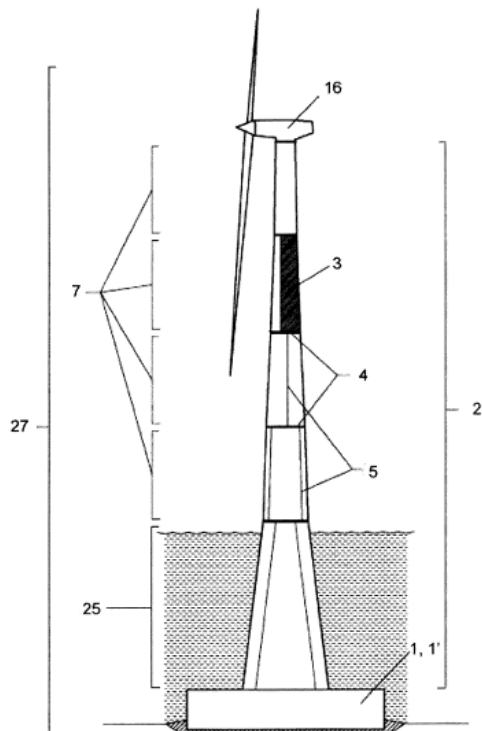
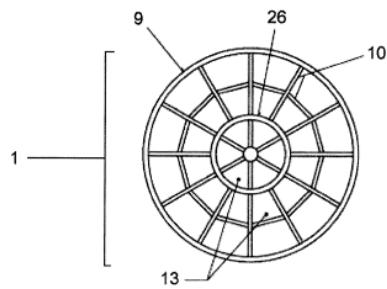


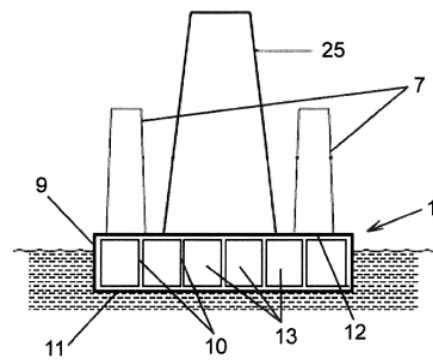
Figura 6: Detalles de transporte e instalación



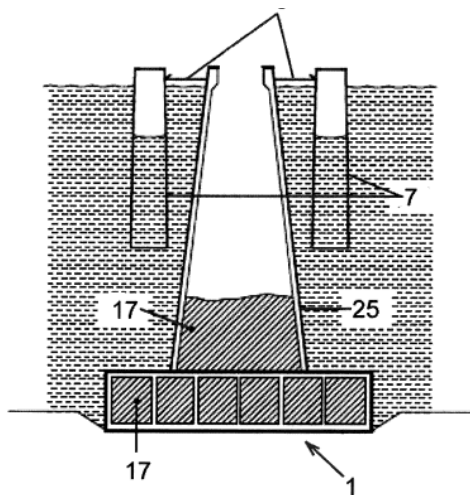
Esquema en planta del modo de transporte.



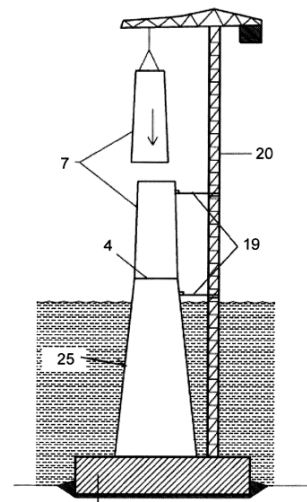
Alzado y planta de la cimentación.



Alzado del transporte de la cimentación junto con elementos de la torre.



Fondeo de la cimentación.



Montaje de la torre.

Figura 7: Cimentación y procedimientos de transporte e instalación

2.6. Plataforma oceánica, polivalente y su procedimiento de fabricación e instalación (ES 2 385 509 B1 - GRUPO DE INGENIERÍA OCEÁNICA DE SANTA ÚRSULA, TENERIFE)

La patente número ES 2 385 509 B1 (Ref. [6]) describe una plataforma oceánica polivalente, así como su procedimiento de fabricación e instalación.

La plataforma está formada por una losa de hormigón rigidizada a base de vigas radiales o por canto, y ésta llevará instalada en su centro la torre del aerogenerador de tipo telescópico. Además, cuenta con una serie de pilares de celosía unidos a la cimentación mediante placas de anclaje. Por la zona interior de los pilares se introducen pilotes que completan la cimentación de la plataforma. El aerogenerador se instala con sólo dos palas por temas de inestabilidad. Por este motivo, se transporta sobre la plataforma el equipo de colocación de la tercera pala.

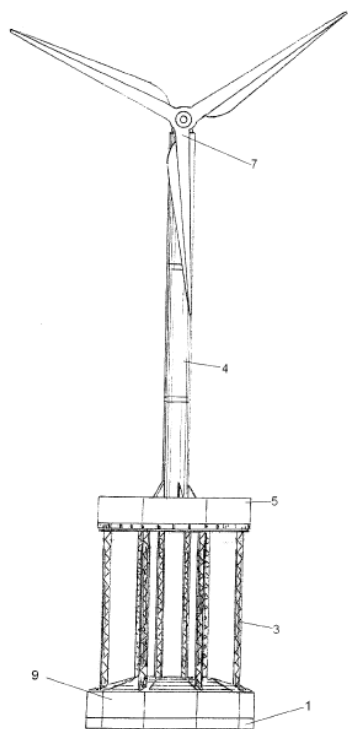


Figura 9: Conjunto descrito

En cuanto al proceso de fabricación, se trata de una fabricación en serie realizada en tierra. Para llevarla a cabo se cuenta con una instalación que tiene una serie de estaciones alineadas de manera que la plataforma avance a través de un mecanismo de rodadura, realizando en cada una de ellas

las operaciones que correspondan (fabricación de la losa de hormigón armado, instalación del sistema de estanqueidad y flotabilidad, de los pilares prefabricados y de la torre telescópica, instalación del aerogenerador...), hasta llegar a la última estación donde dará comienzo el procedimiento de flotación y botadura. La plataforma es remolcada hasta su lugar de instalación, en ese momento, se acciona el sistema de inmersión de la plataforma que permite el descenso en vertical de la cimentación. Una vez que la losa se posa en el fondo, se hincan los pilotes mediante un sistema de presión hidráulica. La parte de la plataforma que se mantiene a

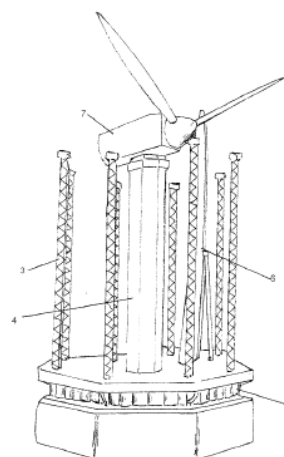


Figura 8: Configuración de transporte

flote se eleva mediante un sistema hidráulico a una altura por encima de la altura de la ola máxima previsible, así como la torre del aerogenerador para poder instalar la tercera pala. Con las tres palas instaladas, se termina de elevar la torre telescópica hasta la altura de producción.

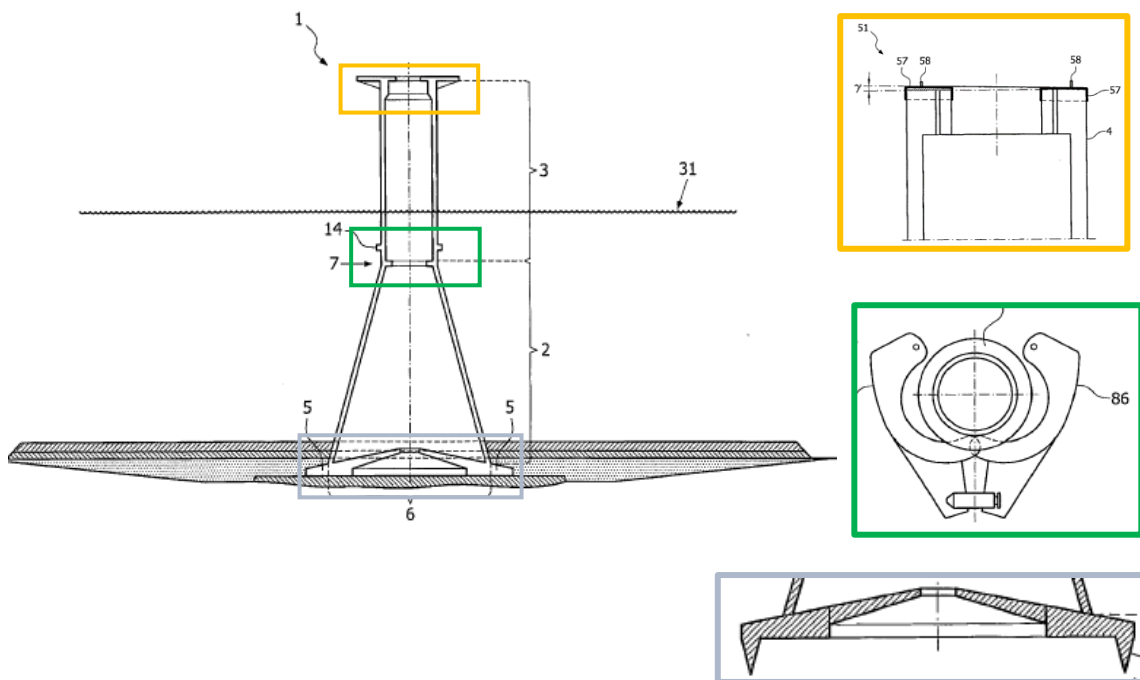
Esta solución representa un concepto diferente al propuesto, tanto desde el punto de vista estructural como de procedimiento de instalación.

2.7. Device and method for offshore installations (EP 1 777 348 A1 - DREDGING INTERNATIONAL N.V.)

La patente número EP 1 777 348 A1 (Ref. [7]) sobre una cimentación para instalaciones offshore y el procedimiento para su montaje. Se trata de una cimentación de gravedad que puede ser instalada sin necesidad de puntos de anclaje. La cimentación se divide en dos partes diferenciadas. La parte inferior es cónica hasta un punto en el cual se une con la parte superior, más estrecha y de sección constante, que termina con una pestaña para su unión con la estructura del aerogenerador. En la parte más ancha, parcialmente en contacto con el fondo marino, posee un reborde que aumenta la sección de apoyo dándole más estabilidad, y que, a su vez, puede disponer de una cuña dispuesta verticalmente en todo su perímetro y que debe penetrar en el fondo a fin de limitar los movimientos laterales.

La parte inferior de la cimentación será hueca tanto para garantizar su flotabilidad durante el transporte, como para alojar lastre en su interior una vez situada en el fondo marino. Durante el transporte, deberá llevar un elemento de sellado en la parte inferior que se retira en el momento en que se quiera efectuar el fondeo. El transporte se realiza mediante una embarcación de remolque dotada de una grúa que unida a la cimentación la mantenga en posición vertical. Para llevar a cabo la unión, la cimentación cuenta con un reborde en su parte superior (lifting collar), en torno al cual se fija el extremo de la grúa.

A fin de corregir los errores de nivelación debidos a desviaciones en la horizontalidad de la base, se prevé el empleo de una placa situada entre la pestaña de la parte superior y la estructura del aerogenerador, que cuente con algún mecanismo de elevación, como por ejemplo, cilindros hidráulicos. Además, describe el proceso a llevar a cabo para preparar el lecho marino así como las diferentes capas que se han de disponer tras la colocación de la cimentación (capa con material del lecho marino, capa de protección contra la erosión, capa de roca).



Vista en conjunto de la cimentación. Detalle de la base, del reborde para su unión con la grúa y de la placa de nivelación.

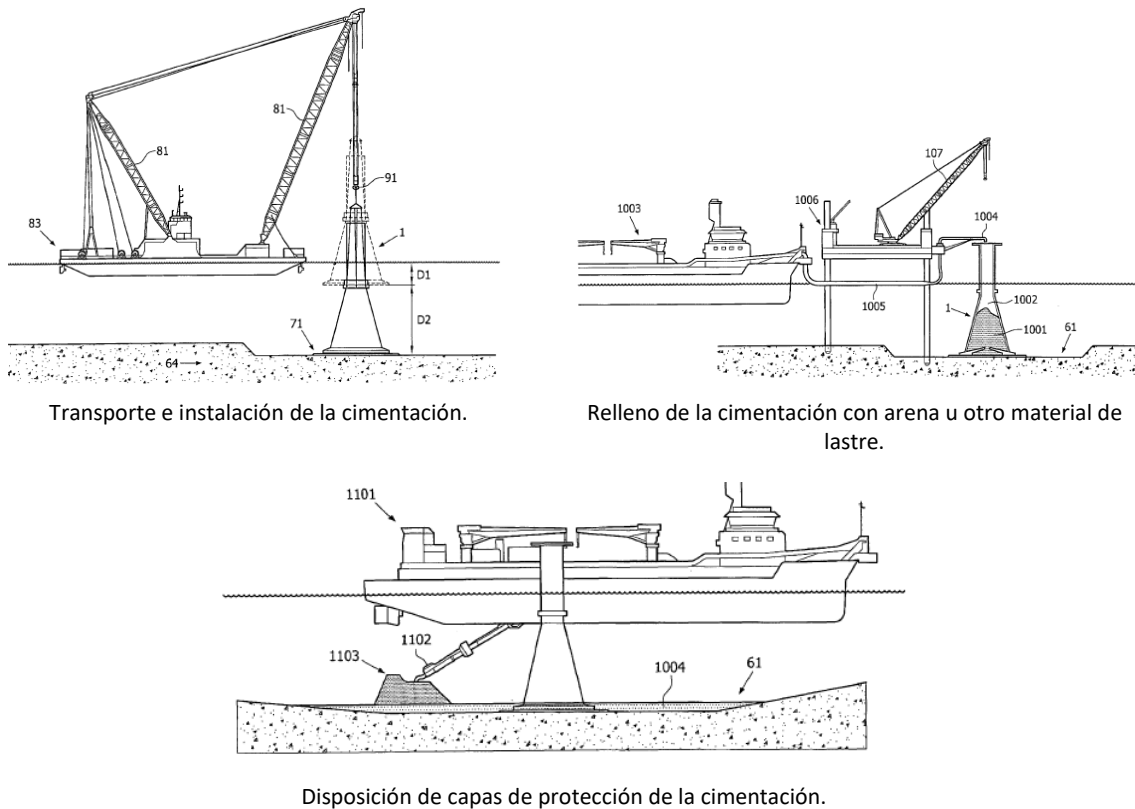


Figura 10: Esquema de cimentación y etapas del procedimiento de transporte e instalación de la cimentación

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las siguientes:

- Las cargas provenientes del aerogenerador y torre metálica se transmiten totalmente por el mástil cilíndrico a la parte cónica, y de esta a la losa inferior.
- No hay compartimentación interior que permita el control del lastre durante el transporte y fondeo, lo que se traduce en una menor estabilidad.
- Adicionalmente, para dimensiones similares, tendrá una menor estabilidad en transporte (menor volumen sumergido y área en la sección del plano del agua).
- Todo el lastre debe albergarse en el interior del cono y mástil, lo que en una experiencia práctica (Thornton Bank) llevó al empleo de lastre de alta densidad.

2.8. Wind turbines and floating foundations (GB 2 493 023 A - SWAY TURBINE)

La patente número GB 2 493 023 A (Ref. [8]) describe un tipo de cimentación para aerogeneradores offshore y su procedimiento de instalación.

El proceso comienza en el puerto, en un dique seco, donde se sitúa un tubo de acero que será la base para una torre telescópica. Se coloca mediante grúa en posición vertical y a continuación se sitúan pontones cilíndricos de hormigón a su alrededor y fijados al tubo de acero de la forma que se considere conveniente. Dichos pontones serán huecos, con una capa de arena en su interior que actúe como lastre y se fabrican mediante encofrados deslizantes. Una vez situados se debe hormigonar la parte superior e inferior rellenando los huecos entre los cilindros y la

estructura tubular central y conformando unas losas a ambos lados del mismo espesor que las paredes de los cilindros.

A continuación se abre la barrera y se permite pasar el agua de forma que la estructura se eleva flotando y, con ayuda de un remolcador, se desplaza fuera del dique. Se añade más lastre a los pontones de forma que una parte de éstos quede sumergida. Se traslada a una zona del puerto donde, mediante grúa, se efectúa el ensamblaje de esta parte con la torre telescópica. La turbina se eleva en último lugar, en posición horizontal, por lo que ha de disponer de una bisagra que le permita girar a la posición vertical una vez ocupe su lugar.

El siguiente paso es remolcar la estructura hasta su lugar de instalación, donde se lastran con agua los pontones y se fondean. Ellos mismos con la arena en su interior tienen el peso necesario para constituir una cimentación de gravedad sin necesidad de medios de anclaje adicionales. Finalmente, la torre telescópica se eleva mediante cilindros hidráulicos hasta su posición final (o con otros métodos tales como aire comprimido u otros fluidos o cualquier medio que se considere apropiado).

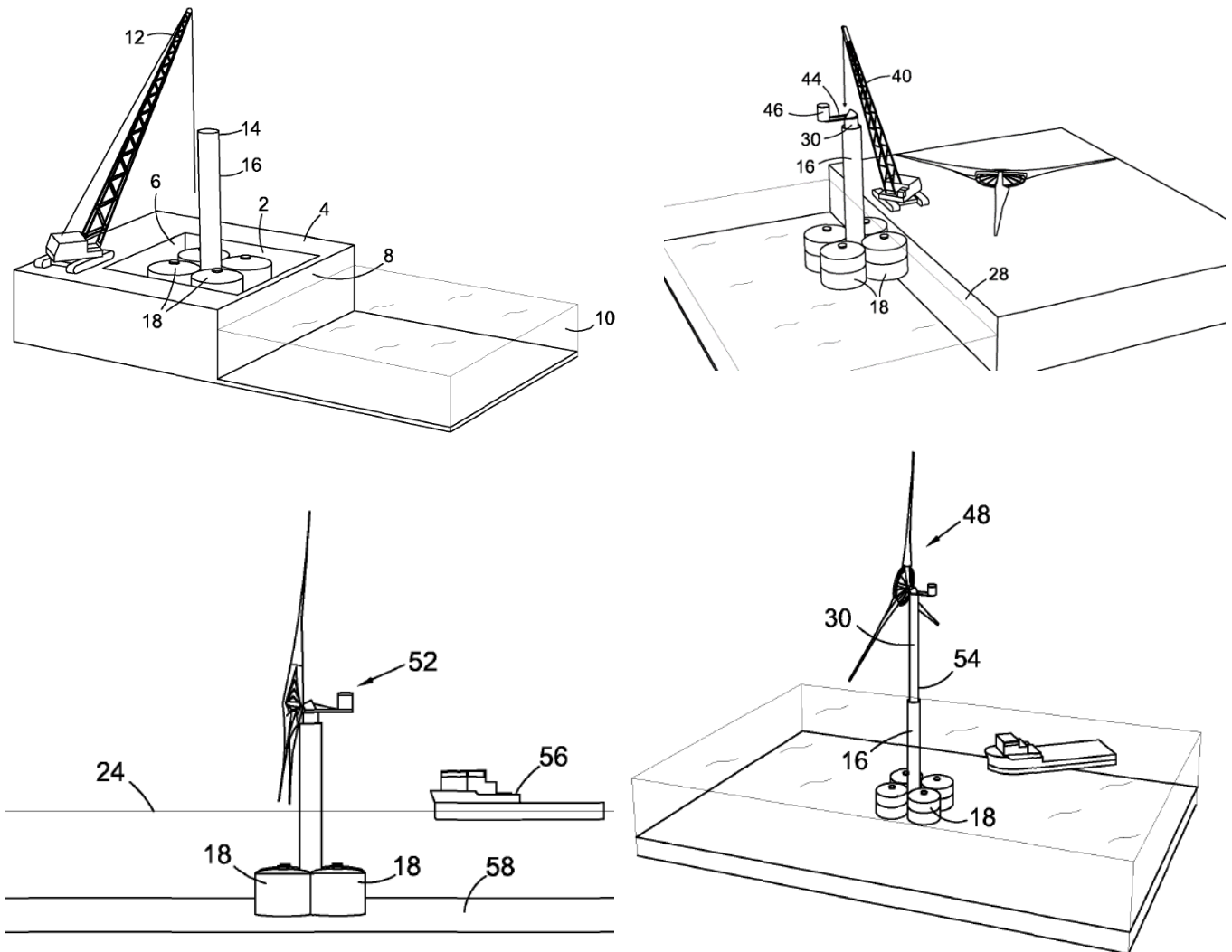


Figura 11: Etapas de construcción, transporte e instalación de la cimentación

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las siguientes:

- Las cargas del aerogenerador y torre metálica se transmiten a los pontones y estos las transmiten al terreno.
- La operación de colocación del lastre definitivo es compleja, a través de válvulas o aperturas en los pontones. Además, debe realizarse uno a uno.

2.9. Building and installing offshore gravity platforms (GB 2 225 365 A - NORWEGIAN CONTRACTORS)

La patente número GB 2 225 365 A, del año 1989, (Ref. [9]) describe la cimentación y el procedimiento para transportar e instalar plataformas de gravedad en el mar.

La estructura descrita cuenta con una cimentación de gravedad construida con una serie de elementos cilíndricos en torno a un elemento tubular que conforma la estructura para soportar la torre. Los elementos cilíndricos se dividen con un elemento horizontal liso, confinado en el interior y que sirve para crear los compartimentos susceptibles de ser rellenos con agua para realizar el fondeo.

La estructura se construye completamente en una barcaza de construcción y se lleva a su lugar de ubicación junto con otra barcaza dotada de una grúa. Si fuese necesario se prevé el empleo de dos o más grúas. Si el peso de la estructura supera la capacidad de la grúa disponible, se procede a sumergir la barcaza lastrándola con agua, hasta que la placa horizontal que divide los elementos cilíndricos de la cimentación se encuentre en línea con el nivel del mar. En ese momento se rellenan con aire los compartimentos de los cilindros para reducir el peso efectivo de la cimentación hasta el punto en que ésta se eleve con respecto a la barcaza con ayuda de las grúas. A partir de ese momento se puede proceder a fondear la estructura mediante el lastrado de los cilindros con agua.

También se describe un método alternativo por el cual se transporta la estructura desde el lugar de producción colocada horizontalmente en la barcaza. La construcción de la estructura puede realizarse en conjunto o separadamente. La cimentación se construye en una barcaza separada y se coloca en el fondo marino, para posteriormente ir ensamblando las partes restantes mediante grúas.

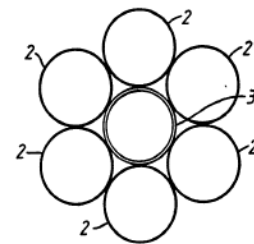
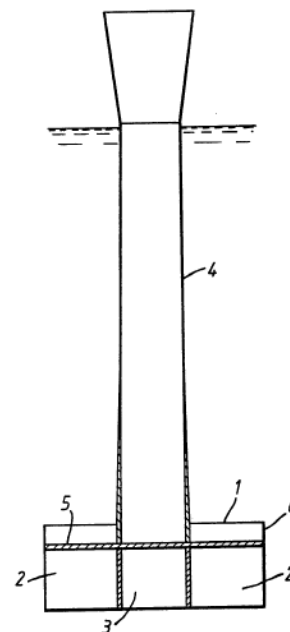


Figura 12: Alzado y planta de la cimentación propuesta

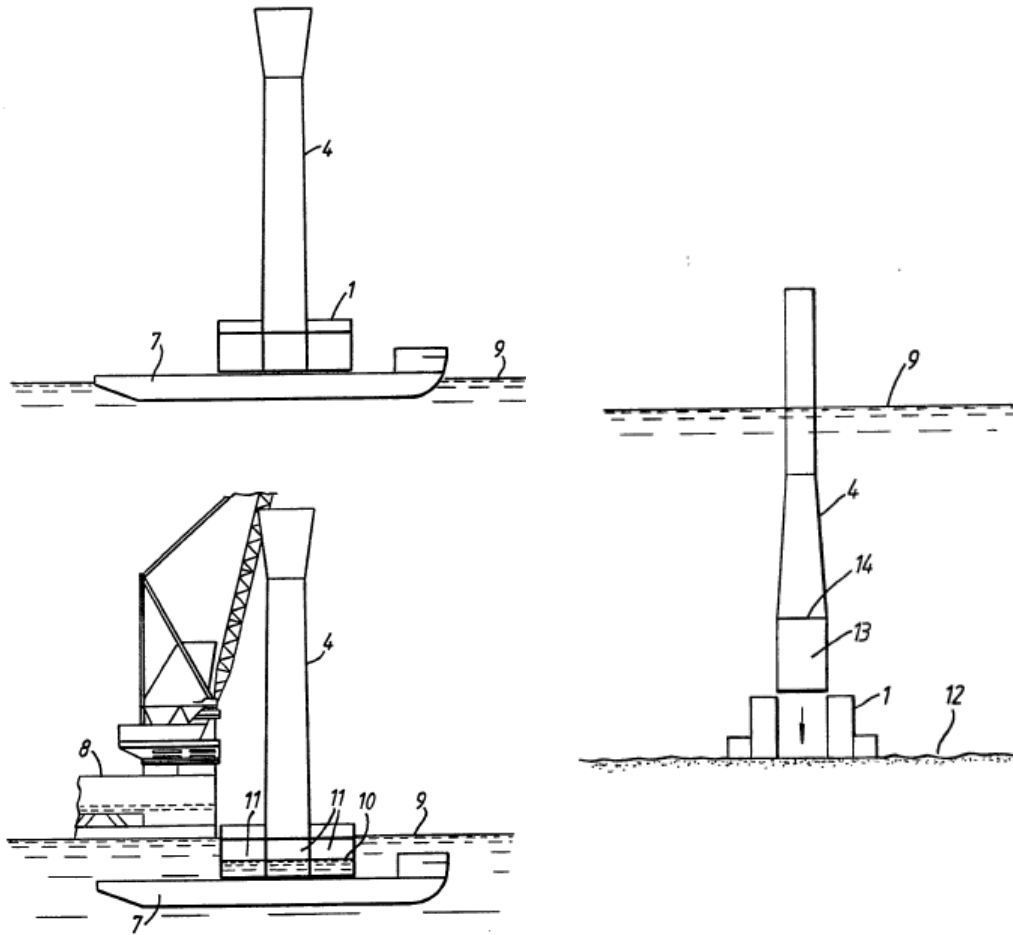


Figura 14: Procedimientos alternativos: transporte de la estructura completa o unión "in situ" de los diferentes elementos

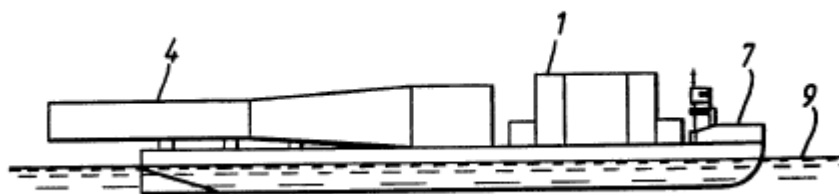


Figura 13: Solución alternativa transportando la torre en horizontal y la cimentación de forma separada

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las mismas que en el apartado anterior.

2.10. Plataforma de extracción o de prospección de petróleo o de gas natural en fondo marino (FR 2 261925 A1 - BRADBURY, GAULT, KIRK Y McALLAN)

La patente FR 2 261925 A1 (Ref. [10]) describe una cimentación que puede transportarse flotando para ser fondeada posteriormente en su lugar de ubicación a fin de servir como soporte para estructuras offshore, aunque no está dirigida concretamente a la construcción de aerogeneradores, sino que se plantea como una solución genérica.

La cimentación se caracteriza por contar con un gran número de depósitos cilíndricos verticales y herméticos, de acero inoxidable y fabricados con una banda enrollada helicoidalmente y embebidos en una matriz de hormigón, estando rodeados de una cinta exterior que les confiera una buena adherencia a la matriz. La proporción de depósitos ha de ser tal que permita la flotabilidad de la cimentación por ella misma y pueda ser transportada de esta forma hasta su lugar de instalación cuando los cilindros están llenos de aire.

Se especifica que la matriz de hormigón estará fabricada con un hormigón ligero, de densidad inferior a $1,75 \text{ kg/dm}^3$, incorporando un material puzolánico. También se puede incorporar un aditivo a fin de obtener hormigón aireado, pudiendo ser éste polvo de aluminio.

Al menos una parte de los depósitos debe tener aberturas en su extremo inferior para dejar pasar agua y un orificio de salida en su extremidad superior para permitir el escape de aire y el llenado controlado de éstos. Los depósitos se sitúan sobre una base de hormigón que constituirá la superficie inferior de la estructura y que cuenta con agujeros que corresponden con las aberturas de los extremos inferiores de los depósitos.

En el centro de los depósitos se sitúa una torre que contará en su interior con un cierto número de depósitos de las mismas características que la base. El proceso a seguir es el de elaborar la losa inferior de hormigón, situar los depósitos cilíndricos y el encofrado perimetral y realizar el hormigonado constituyendo los propios cilindros un encofrado interior de la cimentación. La construcción se realiza en aguas poco profundas o en dique seco para dejar pasar el agua posteriormente y transportar flotando la cimentación así construida.

Esta estructura presenta importantes dificultades de lastrado y navegabilidad.

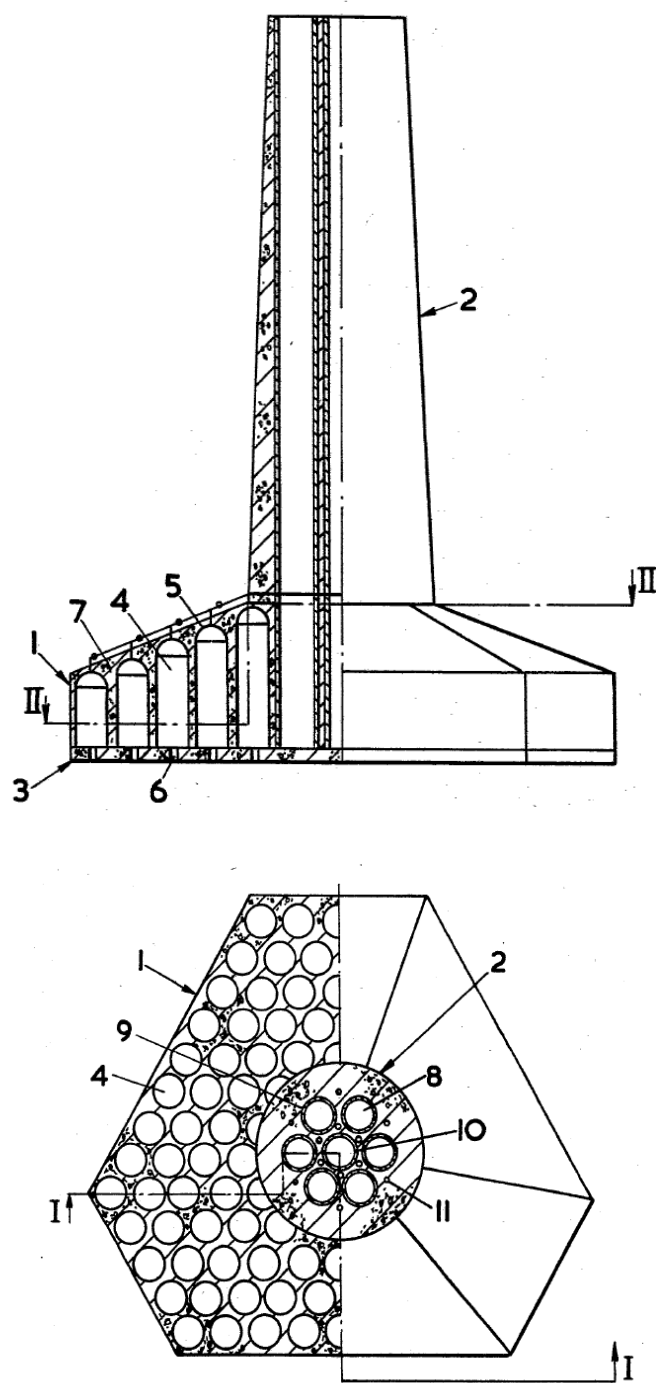


Figura 15: Vista en alzado y planta de la cimentación propuesta

2.11. Support structure for use in the offshore wind farm industry (W0 2009/154 472 A2 - SEATOWER)

La patente número W0 2009/154 472 A2 (Ref. [11]) propone dos posibles estructuras.

La primera, diseñada para aguas superficiales, cuenta con una cimentación cuya parte superior queda por encima del nivel del agua. Consta de una losa inferior sobre la cual se dispone una base cilíndrica dividida radialmente en tres compartimentos y sujeta a la torre mediante una estructura "multi-pie" constituida por puntales y columnas verticales. La torre además va embebida en la losa inferior de la cimentación. Sobre la torre se montan el resto de elementos. La división en compartimentos permite la nivelación de la cimentación durante el hundimiento mediante el llenado controlado con lechada a fin de garantizar su posición horizontal.

La segunda alternativa presenta una cimentación que queda completamente sumergida una vez situada en su posición definitiva. Está diseñada para aguas más profundas. En este caso se debe disponer de una cubierta sobre las paredes de la base, preferiblemente inclinada, y convenientemente sujeta a la torre. El interior, al igual que la otra solución, será hueco a fin de albergar lastre para llevar a cabo las operaciones de fondeo.

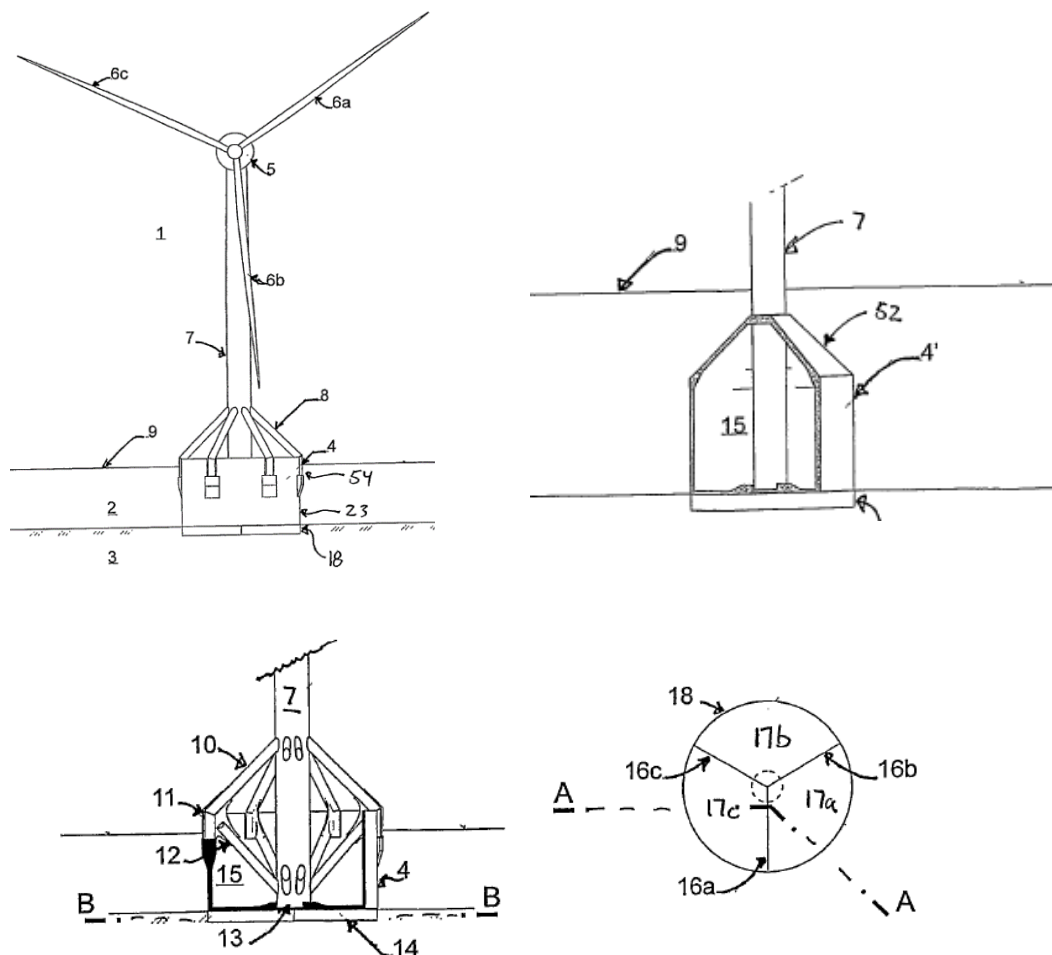


Figura 16: Vista general y detalle de la cimentación propuesta

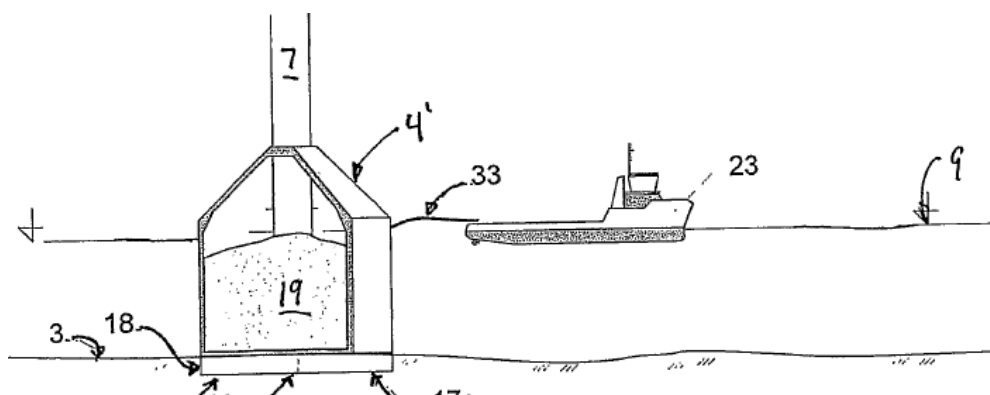
La fabricación de la cimentación, sea cual sea la alternativa elegida, se puede llevar a cabo en el puerto, en dique seco o en una embarcación sumergible. La fabricación de la parte inferior de la estructura soporte comprende la fabricación de los elementos radiales y la unión de la losa inferior y las paredes verticales. Para intentar conseguir el menor peso posible que permita llevar a cabo la instalación, pero minimizando los costes debidos al empleo de grandes grúas, tanto la losa inferior como las paredes verticales o su parte inferior al menos, se fabrican como una estructura de acero de doble armazón, con un armazón externo y uno interno, definiendo una cavidad entre ellos a una distancia determinada por placas transversales colocadas a tal efecto. La cavidad servirá para, en una fase posterior, ser rellena con hormigón a fin de conseguir la resistencia deseada para la estructura completa. Sin embargo, así diseñada, la estructura posee la resistencia suficiente para soportar todas las cargas que se producen durante las fases iniciales de fabricación. Este tipo de fabricación en sándwich puede no ser necesaria si se realiza en un dique seco o en una embarcación sumergible, donde el peso no es un parámetro limitante. Una vez se ha terminado la parte inferior, se eleva mediante una grúa para disponerla en el mar, flotando.

Una vez en el agua se completa la fabricación hormigonando el espacio entre ambos armazones. Si se debe aumentar la altura de las paredes verticales, se puede continuar con la solución de doble-armazón, o mediante hormigón tradicional empleando métodos convencionales o encofrados deslizantes.

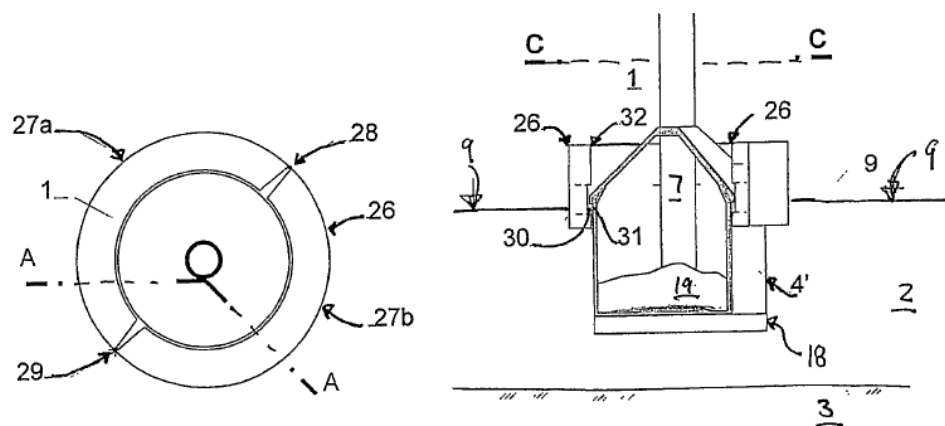
La torre se inserta en la cimentación y se conecta a ella, y se procede al remolque hasta su lugar de instalación. Para este proceso se prevé el uso, opcional, de una estructura flotante que rodea la cimentación a fin de dotarla de mayor estabilidad para los procesos de remolque y fondeo. Para fondear la cimentación se añade lastre a través de un orificio dispuesto a tal efecto.

Las características más relevantes de este diseño y sus implicaciones técnicas son las siguientes:

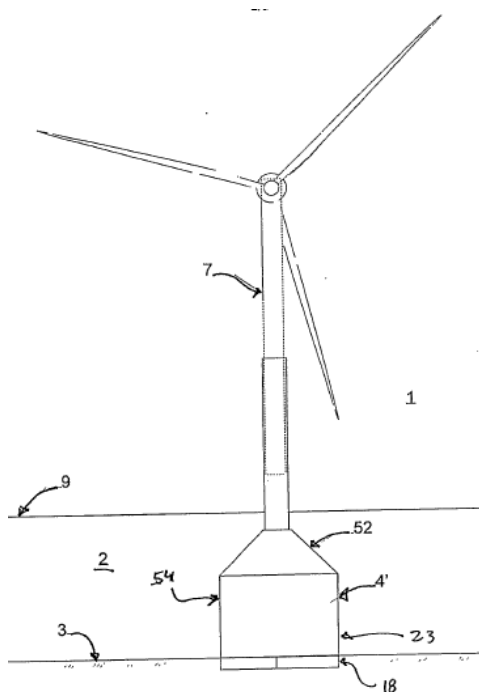
- Las cargas se distribuirán entre el tramo cónico y el cilindro que continúa por el interior de la base.
- Al no presentar compartimentos, la estructura tendrá una estabilidad menor durante el transporte e instalación.
- Presenta dificultad de lastrado, pues el recinto de base deberá llenarse de material granular a través de válvulas, lo que complica el proceso de instalación.



Transporte de la cimentación

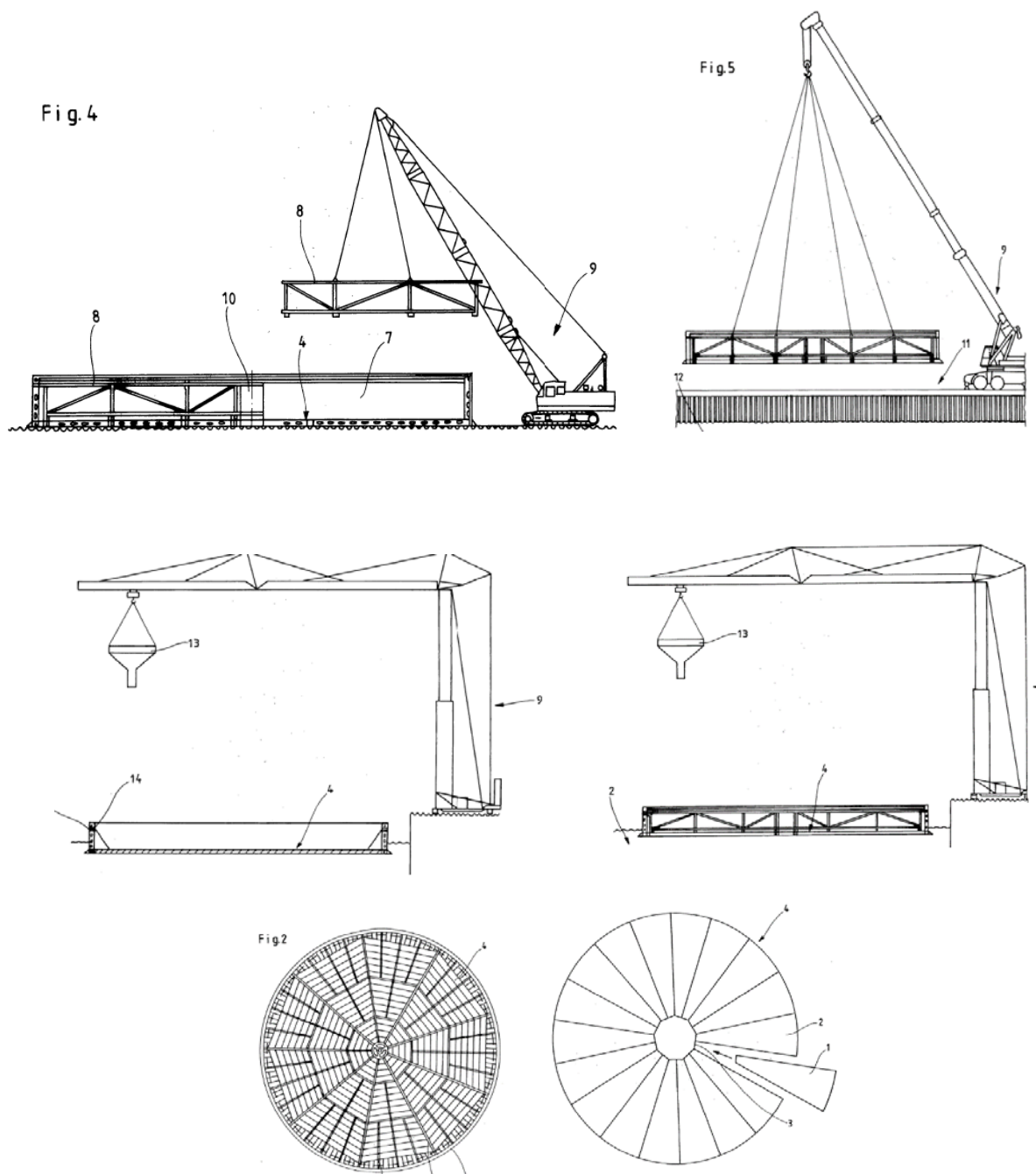


Empleo (opcional) de un flotador auxiliar para el proceso de transporte e instalación



2.12. Método para producir construcciones marítimas (DE 10 2006 002 780 A1 - TIEFBAU-GMBH)

La patente DE 10 2006 002 780 A1 (Ref. [12]) presenta características similares a las descritas en 2.5, y representa un método para producir una estructura hidráulica.



Vistas en planta de la cimentación

Figura 17: vistas y fases de la cimentación propuesta

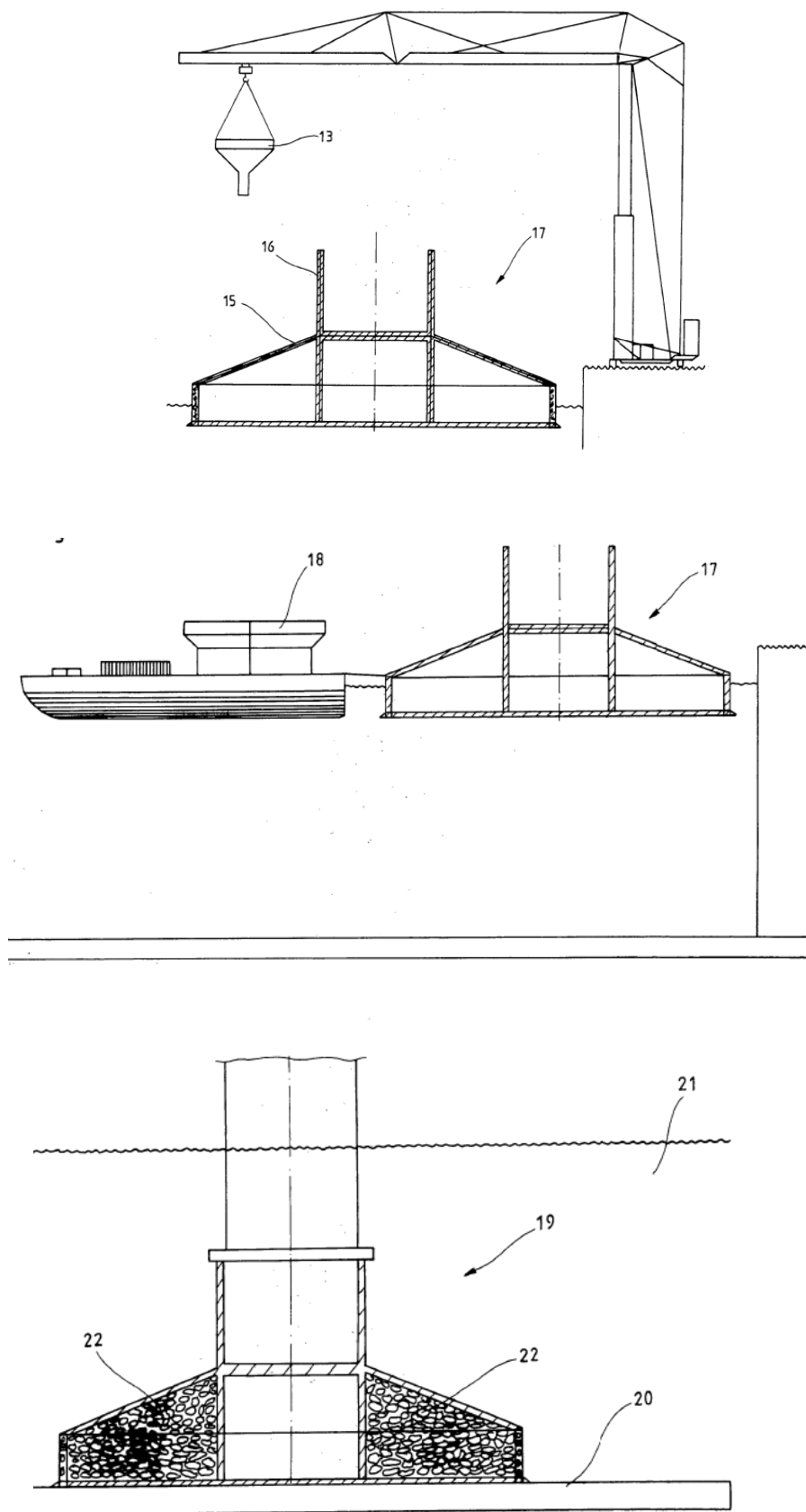


Figura 18: Hormigonado de la parte superior de la cimentación. Transporte en flotación. Fondeo e instalación mediante lastre

2.13. Offshore station, foundation for an offshore station, and method for building an offshore station (US 2011/0158750 A1 - MAX BOGL GMBH)

La patente US 2011/0158750 A1, (Ref. [13]) hace referencia a una estructura que consta de una base hueca, que puede inundarse para realizar el fondeo, y una superestructura a la que se une el aerogenerador. La base es prefabricada en hormigón en puerto, transportada mediante remolcadores, y fondeada. Posteriormente se monta la superestructura.

Consta de un anillo de flotación inundable alrededor de la base, y una losa inferior. En caso de realizarse en hormigón prefabricado armado (como es preferible) el diámetro se encuentra entre 30-35 m. La cimentación en flotación tendrá un calado de 6-10 m.

La losa inferior puede tener un contacto con el terreno en superficie anular, debido a un hueco en la misma. El interior del anillo flotante puede estar compartimentado, en cuyo caso se dispondrán válvulas en cada uno de los compartimentos, para realizar la inundación selectiva.

La fabricación puede realizarse como una combinación de elementos prefabricados y hormigonado in situ.

Se contempla la posibilidad de que en anillo de flotación sea retirado tras en fondeo, en cuyo caso la losa inferior debe contar con peso suficiente para soportar las cargas. En este caso los contenedores que conforman el anillo se realizarían de metal.

La preparación del terreno será convencional, y se requiere protección contra la socavación una vez se ha realizado la instalación de la cimentación. Se señala que, si fuese necesario, la cimentación se podría instalar sobre pilotes.

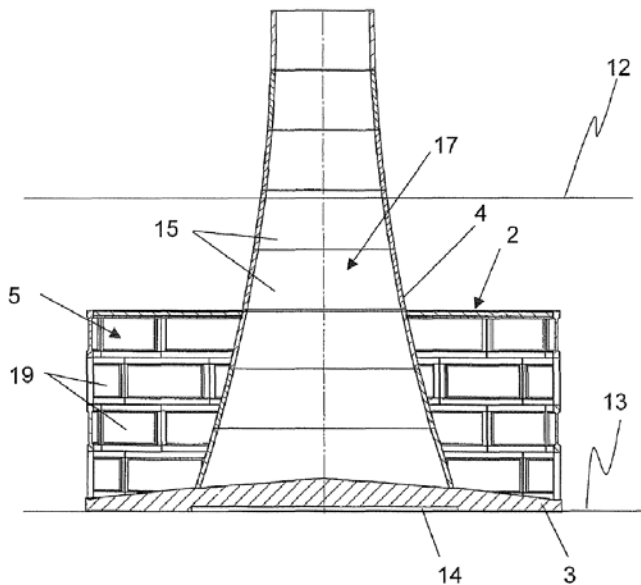


Figura 20: Esquema de la sección de una de las alternativas de fabricación

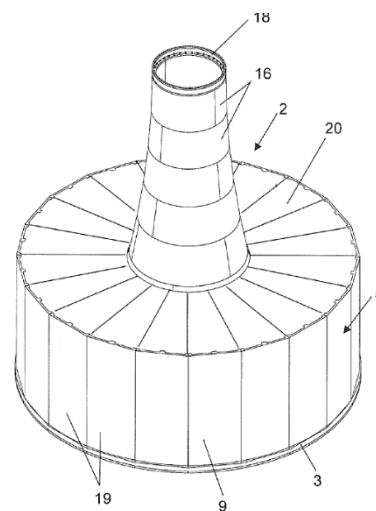


Figura 19: Perspectiva de alternativa con cámaras radiales

2.14. Gravity- based structure (US 2015/0136670 A1 - SEATOWER AS)

La patente US 2015/0136670 A1 (Ref. [14]) consiste en una cimentación, con una parte consistente en una base, que cuenta con orificios para el drenaje de agua, que cuenta con material de filtro en el terreno. Cuenta con un faldón adaptado para penetrar en el terreno, más allá de la capa de filtro.

El objeto es resolver la problemática asociada al efecto de la presión en los poros, debida a suelos de baja calidad y al efecto bombeo que se genera cuando existen zonas de huecos bajo la estructura. Con ello, se mejora la estabilidad de la estructura.

Se plantea que existan dos capas diferentes, con tamaño de árido de 10-30 mm en la primera y 25-70 mm en la segunda. Se plantea también que la protección contra la socavación sea proporcionada por bolsas de material, incluyendo arcillas expansivas. Se dispone de unas membranas de material geotextil para extraer el agua de los huecos formados entre la base y el fondo, a través de un sistema de tuberías en el interior de la cimentación.

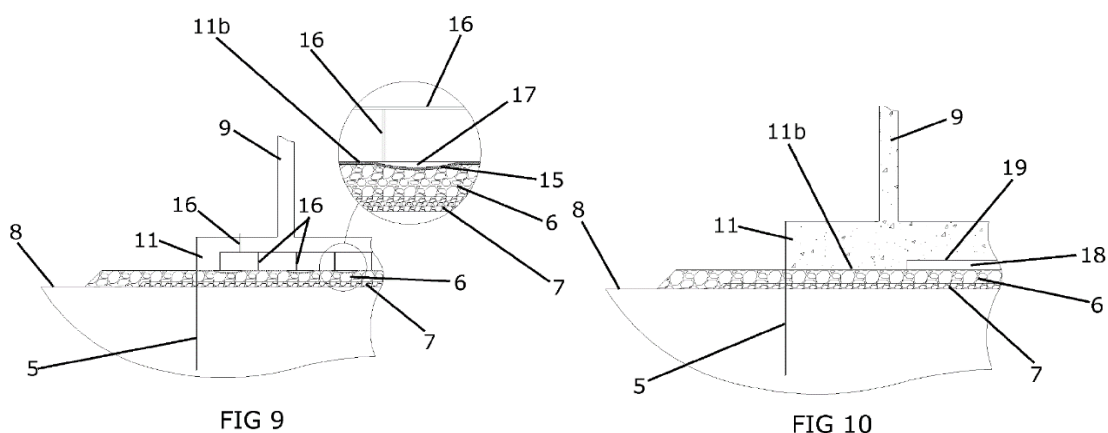
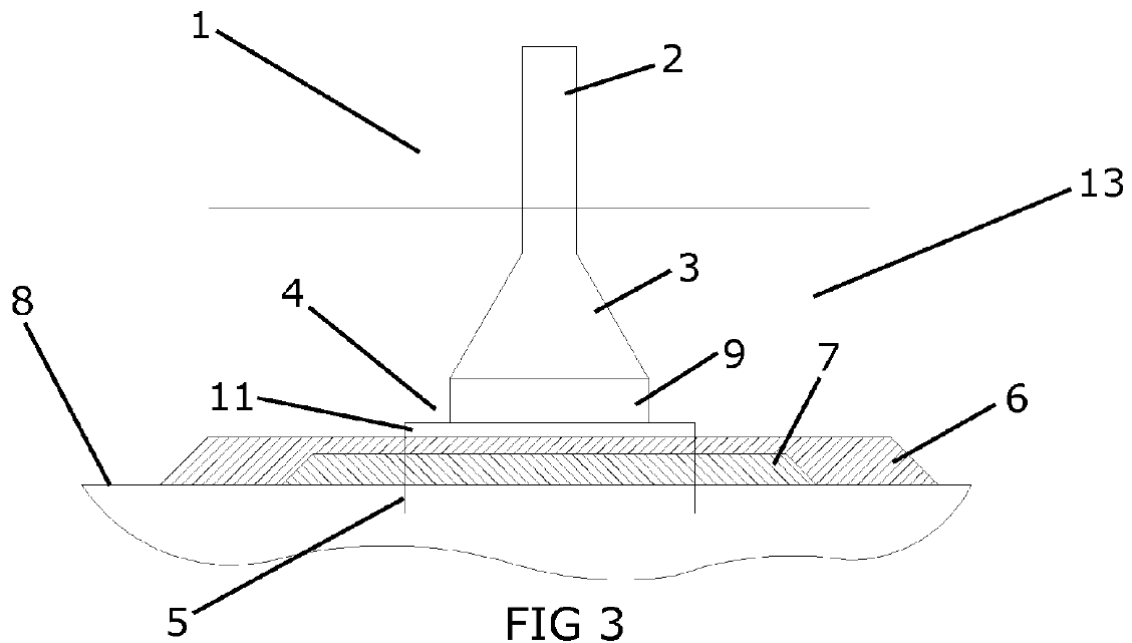


Figura 21: Esquemas de la propuesta de banquetta y faldón, tuberías en el interior de la cimentación y hueco entre cimentación y fondo.

2.15. Gravity foundation for the installation of offshore wind turbines (US 2018/0119675 A1 – DRACE)

La patente US 2018/0119675 A1 (Ref. [15]) de DRACE hace referencia una cimentación GBF fabricada en cajonero, remolcada y fondeada en su ubicación final. Comprende un cajón de hormigón flotante, con forma prismática, con base hexa-lobular, dividida en celdas. La división interna de las celdas se realiza mediante un elemento circular concéntrico con la celda central. Las celdas están interconectadas y cubiertas por una tapa que es retirada una vez instalada la cimentación, antes de rellenarse con material de lastre. Su uso se contempla para profundidades intermedias (20-60 m).

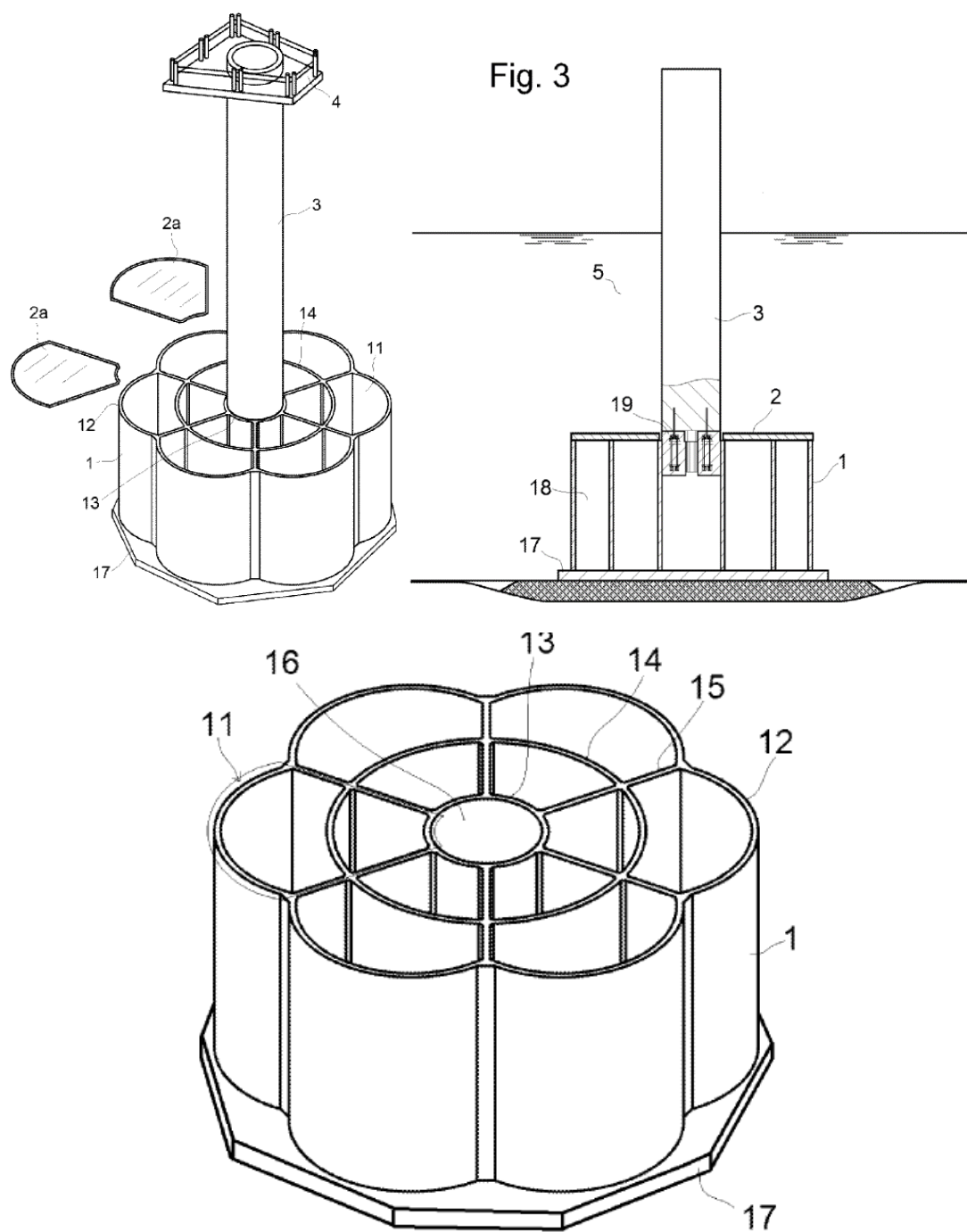
Se contempla que el mástil pueda ser metálico o de hormigón, con un elemento de conexión en la parte superior. Entre las ventajas de esta solución, se enumeran las siguientes:

- La forma geométrica del cajón, con pareces verticales, es fácilmente construible en cajonero, lo que minimiza costes e incrementa el ritmo constructivo.
- El calado es menor que otras soluciones, lo que facilita su construcción en un mayor número de emplazamientos.
- Emplea menos hormigón que otras soluciones, lo que reduce la cantidad de armadura.
- Tiene una base mayor, lo que incrementa la estabilidad.
- Es más estable, lo que reduce el tamaño de la cimentación.
- Navega de manera más eficiente, por lo que permite ahorrar combustible de los remolcadores.
- Ahorra material y tiempo de construcción, al no tener tapa superior permanente.
- Las tapas superiores temporales proporcionan estabilidad durante el transporte y el fondeo, retiradas después para facilitar el llenado de las celdas.
- Facilita la retirada de la cimentación al finalizar su vida útil.

La verticalidad de la instalación se asegura mediante el elemento metálico de conexión, con capacidad de regulación de la inclinación. La cimentación se transporta sin necesidad de grúas, mediante remolcadores convencionales. Las cimentaciones, una vez fabricadas, pueden almacenarse en mar abierto, sin tener que ocupar superficie del puerto.

El número de lóbulos puede variar entre 5 y 8, si bien la preferencia es 6. La losa inferior es poligonal, y su espesor es mayor a las paredes de la base, con objeto de bajar el centro de gravedad, lo que permite una mejor estabilidad en flotación durante el transporte.

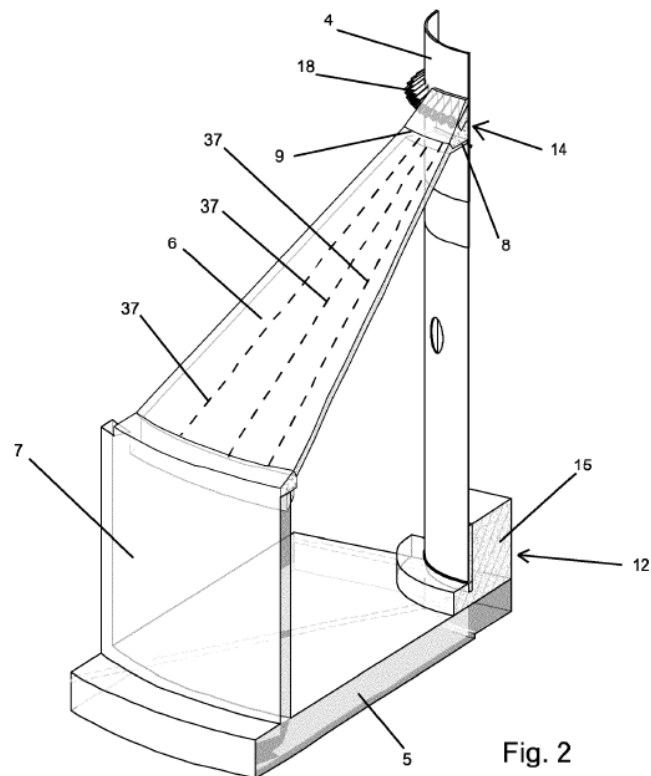
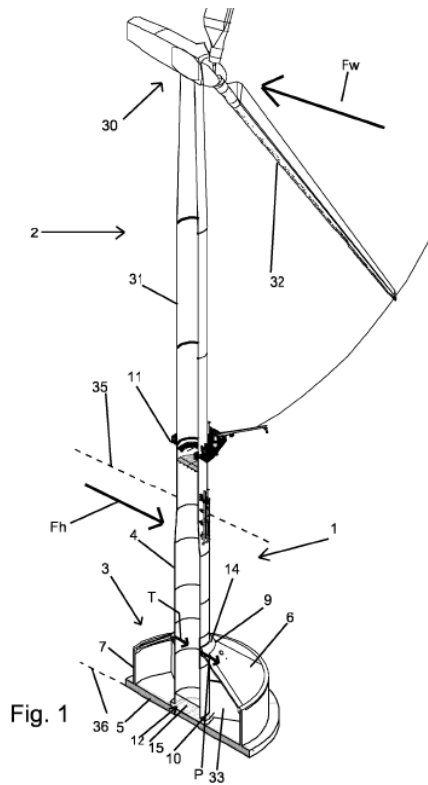
Aunque no se muestra en las imágenes, se describe que el cajón tiene canales de comunicación con el exterior, para controlar la entrada de agua durante el fondeo.



2.16. Gravity based foundation for an offshore installation (EP 2 930 273

A1 - Koninklijke BAM Groep N.V.)

La patente número EP 2 930 273 A1 (Ref. [16]) hace referencia a una cimentación formada por un cajón de hormigón y un mástil de acero. El cajón consta de una losa inferior, una superior y una pared vertical entre ellas, definiendo una estructura hueca. La losa superior permite el paso del mástil, que está unido al cajón por dos soportes.



El soporte inferior es una protuberancia que forma parte de la losa inferior, mientras que el soporte superior es una pieza prefabricada que ocupa el espacio entre mástil y losa superior, y transfiere las cargas del mástil a la losa superior, que a su vez las transmite a las paredes del cajón.

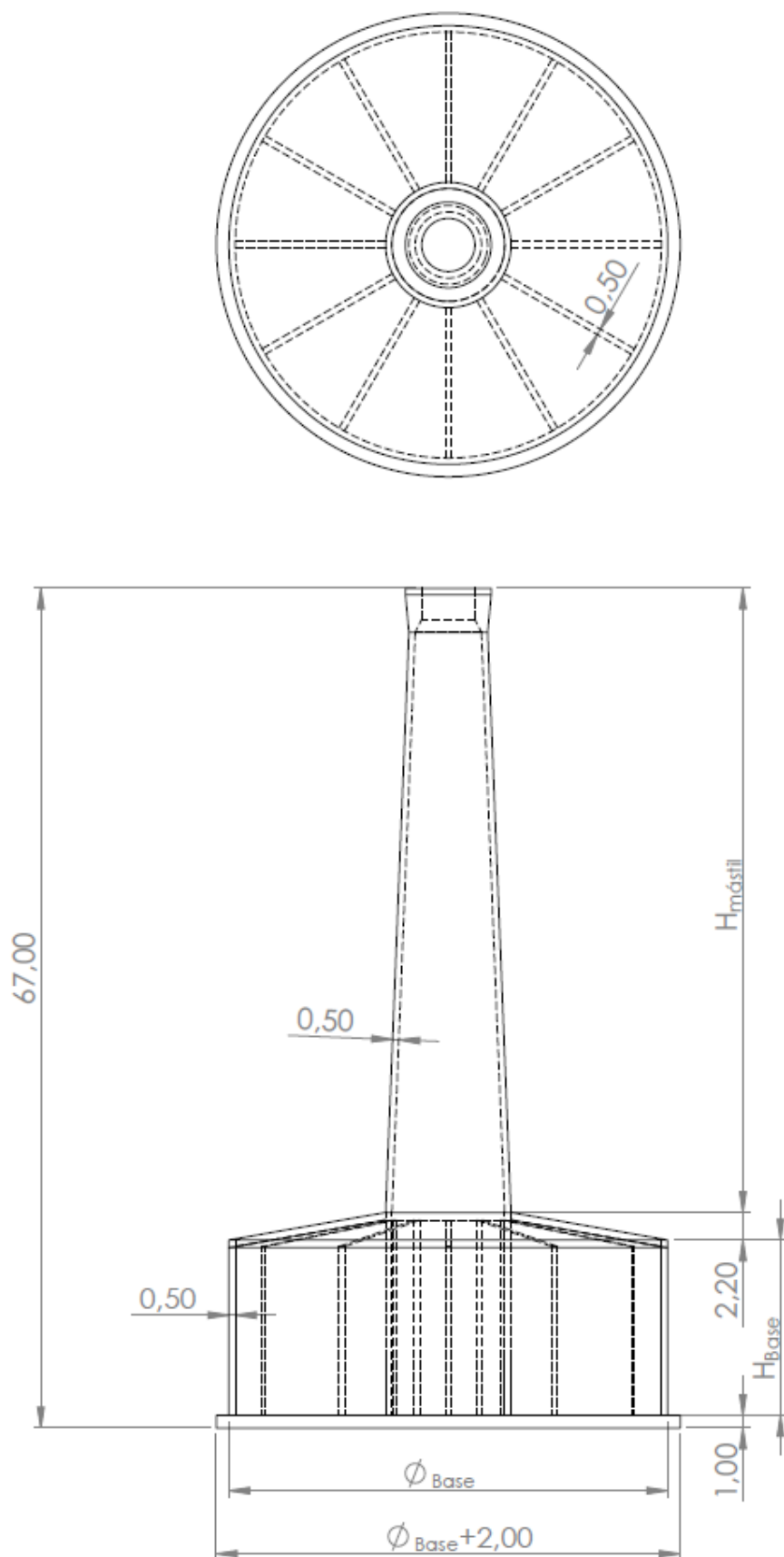
A1.3. Referencias

- [1] M. NUÑEZ POLO, R. MANZANAS OCHAGAVIA y F. SANCHO CASTELLO, «SUPPORTING ELEMENT FOR AN OFFSHORE WIND TURBINE, PRODUCTION METHOD THEREOF AND METHOD FOR INSTALLING SAME». Internacional Patente WO 2009/130343 A1, 29 10 2009.
- [2] A. LI y H. DING, «INSTALLATION METHOD AND RECOVERY METHOD FOR OFFSHORE WIND TURBINE». Europa Patente EP 2 428 443 A1, 14 03 2012.
- [3] Y. Rinta-Jouppi y A. Fagerström, «Procedimiento y aparato para instalar y transportar una central de energía eólica marina». Europa Patente 2 286 039, 07 08 2002.
- [4] M. Torres Martínez, «Sistema de montaje de estructuras acuáticas sobre una cimentación de anclaje y cimentación destinada para dicho montaje». España Patente 2 316 211, 19 11 2009.
- [5] M. Á. Fernández Gómez y J. E. Jimeno Chueca, «Process for Installing an Offshore Tower». Estados Unidos Patente US 9 890 510 B2, 13 02 2018.
- [6] C. Del Campo y Ruiz de Almodóvar, «PLATAFORMA OCEÁNICA, POLIVALENTE Y SU PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN E INSTALACIÓN». España Patente 2 385 509, 18 02 2013.
- [7] P. Van den Bergh y M. Ockier, «Device and method for offshore installations». Europa Patente EP 1 777 348 A1, 21 10 2005.
- [8] E. Borgen, «Wind turbines and floating foundations». Reino Unido Patente GB 2493023 A, 22 07 2011.
- [9] K. Arnt, «Building and installing offshore gravity platforms». Reino Unido Patente GB 2 225 365 A, 30 05 1990.
- [10] H. W. BRADBURY, R. D. GAULT, R. KIRK y J. D. McALLAN, «Plateforme d'extraction ou de prospection d'huile ou de gaz naturel dans les fonds sous-marins». Francia Patente FR 2 261 925, 19 09 1975.
- [11] K. KARAL y S. RAMSLIE, «Support structure for use in the offshore wind farm industry». Internacional Patente WO 2009/154472 A2, 23 12 2009.
- [12] K. Jabbusch, «Verfahren zum Herstellen eines Wasserbauwerks». Alemania Patente DE 10 2006 002 780 A1, 26 07 2007.
- [13] D. Reichel y S. Bogl, «OFFSHORE STATION, FOUNDATION FOR AN OFFSHORE STATION, AND METHOD FOR BUILDING AN OFFSHORE STATION». Estados Unidos Patente US 2011/0158750 A1, 30 06 2011.
- [14] S. Ramslie y P. J. Karal, «Gravity-based structure». Estados Unidos Patente US 2015/0136670 A1, 21 05 2015.

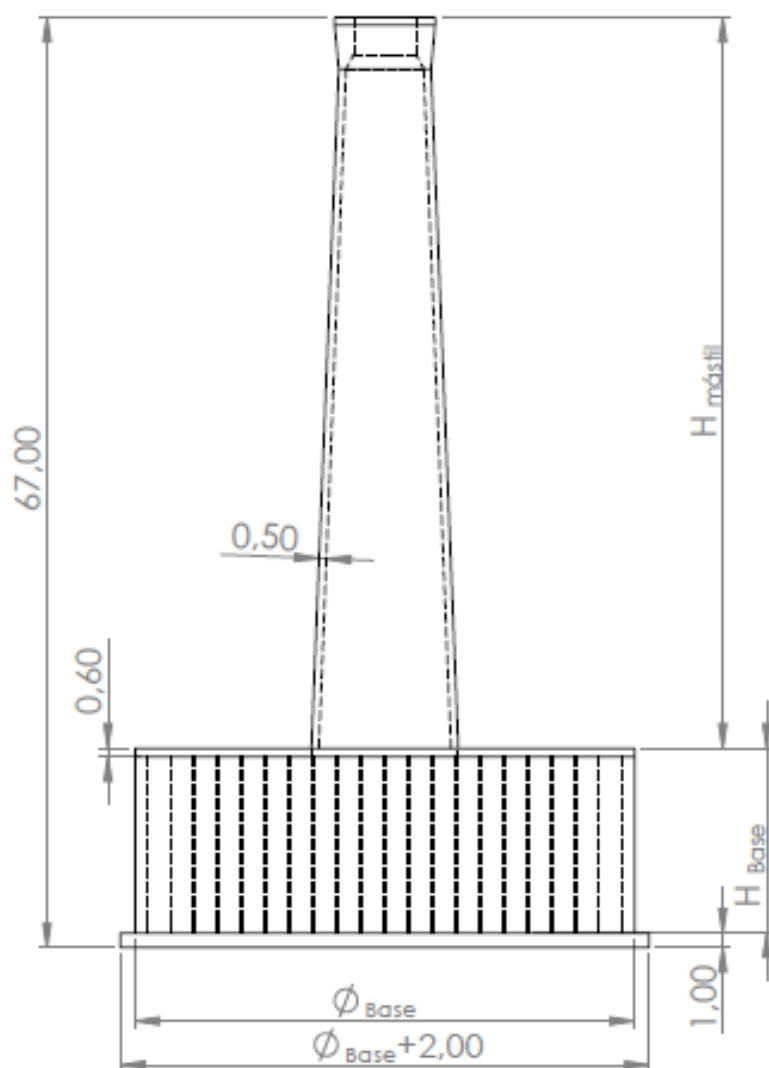
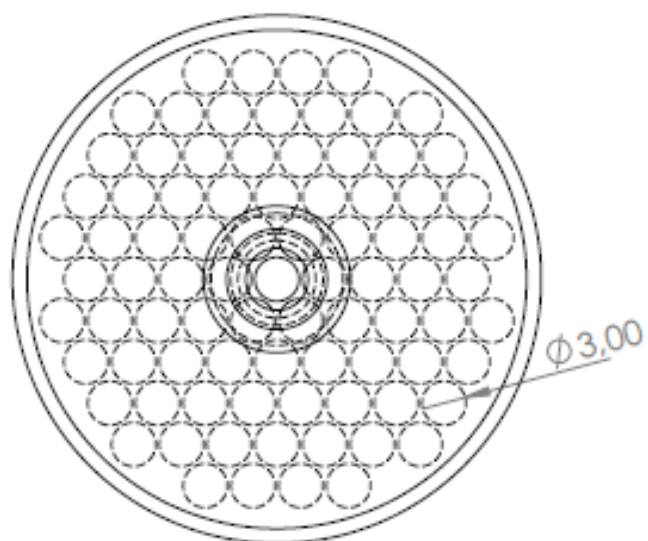
- [15] J. REMÓN HIGUERA, C. J. POLIMÓN OLABARRIETA, N. GONZALEZ PATIÑO y V. R. Miguel, «Gravity foundation for the installation of offshore wind turbines». Estados Unidos Patente US 2018/0119675 A1, 03 05 2018.
- [16] J. F. M. van Rijen y N. Q. Nguyen, «GRAVITY BASED FOUNDATION FOR AN OFFSHORE INSTALLATION». Europa Patente EP 2 930 273 A1, 27 03 2015.

ANEXO II: Esquema de geometrías

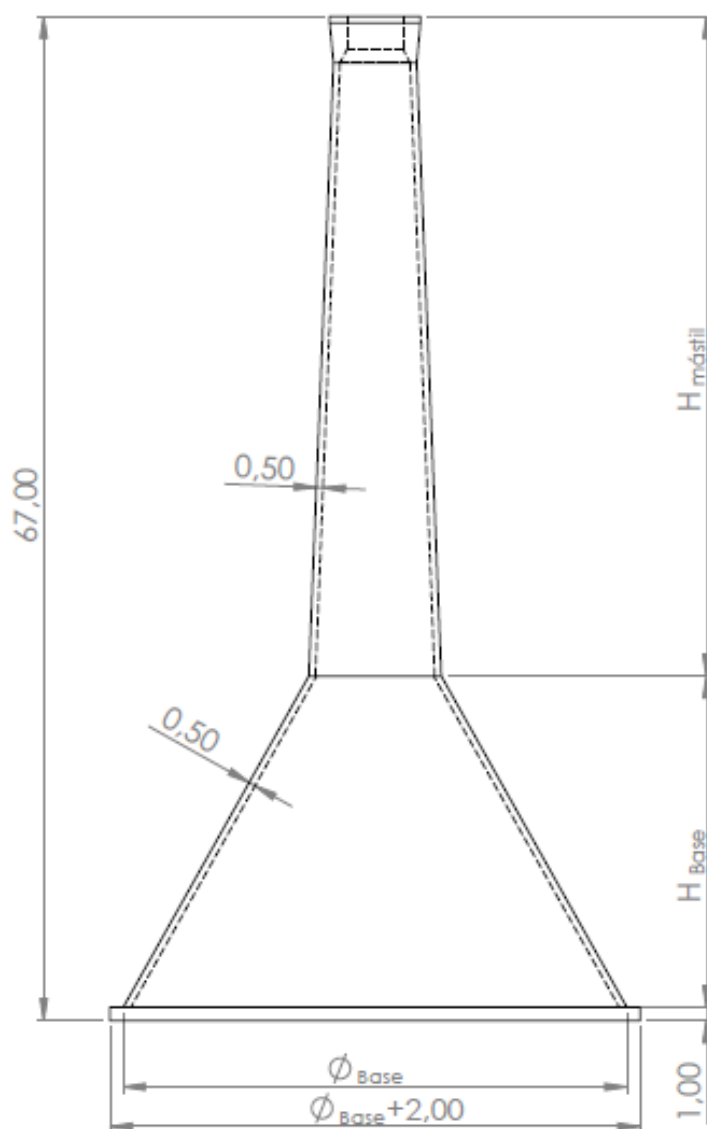
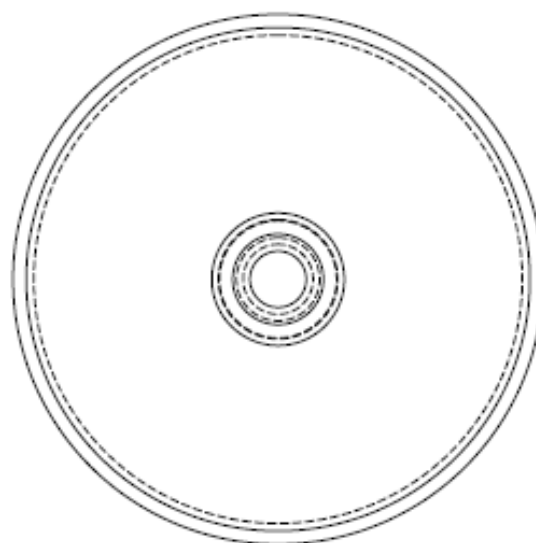
A2.1. GEOMETRÍA 1



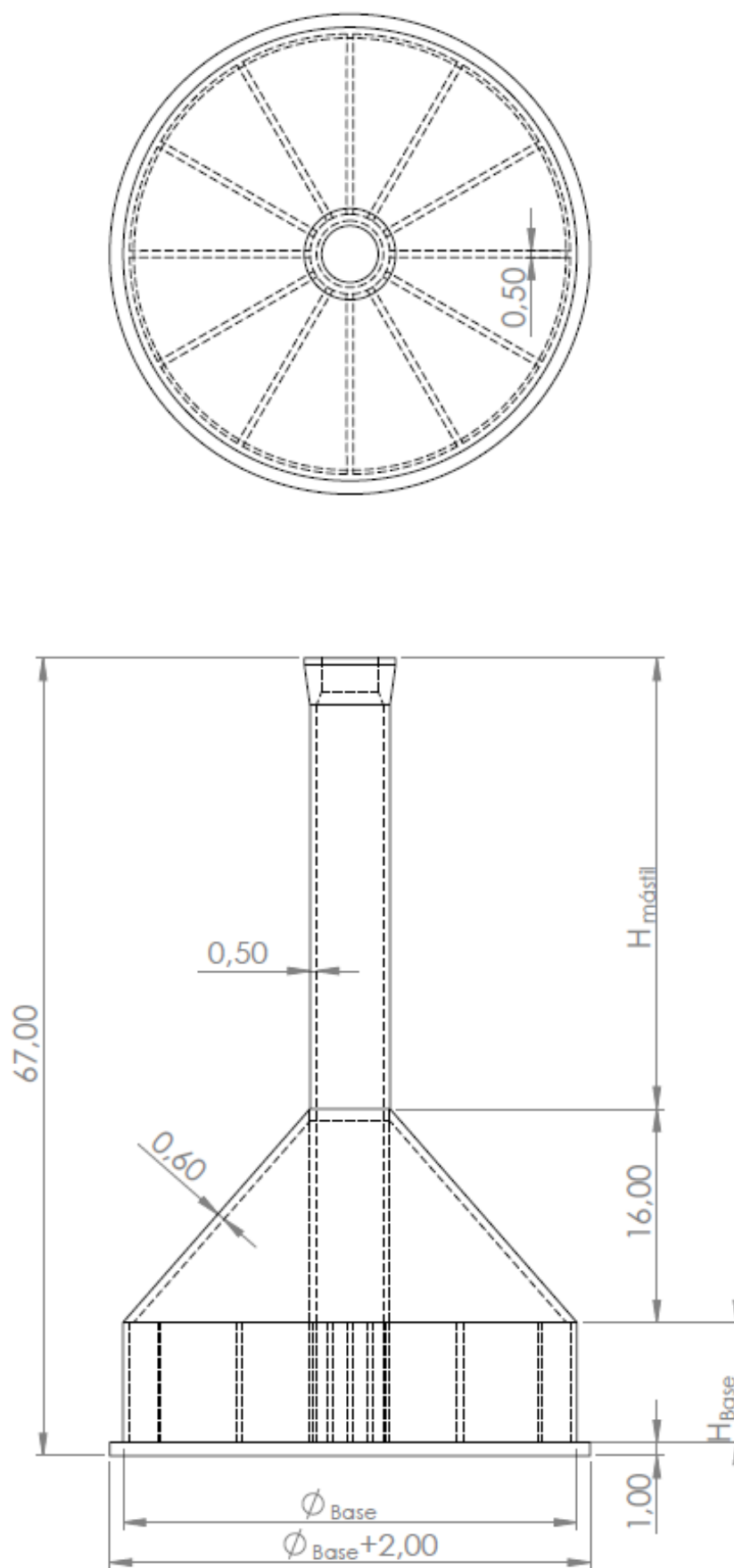
A2.2. GEOMETRÍA 2



A2.3. GEOMETRÍA 3



A2.4. GEOMETRÍA 4



ANEXO III: Resultados del diseño básico

A3.1. TABLA DE CONTENIDO

A3.1.	TABLA DE CONTENIDO	1
A3.1.	S_{11}	3
	$S_{11} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	4
	$S_{11} - F = -3.500 \text{ t}$	7
A3.2.	S_{12}	10
	$S_{12} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	11
	$S_{12} - F = -3.500 \text{ t}$	14
A3.3.	S_{13}	17
	$S_{13} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	18
	$S_{13} - H_{m,PORT} \geq 1 \text{ m}$	21
A3.4.	S_{14}	24
	$S_{14} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$ (NO HAY SOLUCIÓN – $R_3/R_4/R_5$)	25
A3.5.	S_{15}	28
	$S_{15} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	29
	$S_{15} - H_{m,PORT} \geq 1 \text{ m}$	32
A3.6.	S_{21}	35
	$S_{21} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	36
	$S_{21} - F = -3.500 \text{ t}$	39
A3.7.	S_{22}	42
	$S_{22} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	43
	$S_{22} - F = -3.500 \text{ t}$	46
A3.8.	S_{25}	50
	$S_{25} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$ (NO HAY SOLUCIÓN – R_4)	51
A3.9.	S_{31}	54
	$S_{31} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	55
	$S_{31} - F = -3.500 \text{ t}$	59
A3.10.	S_{32}	63
	$S_{32} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	64
	$S_{32} - F = -3.500 \text{ t}$	69
A3.11.	S_{33}	73
	$S_{33} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$ (NO HAY SOLUCIÓN – R_4)	74
A3.12.	S_{35}	77

$S_{35} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	78
$S_{35} - H_{m,PORT} \geq 1 \text{ m}$	82
A3.13. S_{41}	86
$S_{41} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	87
$S_{41} - F = -3.500 \text{ t}$	91
A3.14. S_{42}	95
$S_{42} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	96
$S_{42} - F = -3.500 \text{ t}$	100
A3.15. S_{43}	104
$S_{43} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m (NO HAY SOLUCIÓN - R}_3\text{)}$	105
A3.16. S_{45}	107
$S_{45} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m}$	108
$S_{45} - H_{m,PORT} \geq 1 \text{ m}$	111

A3.1. S₁₁

Base cilíndrica con rigidizadores

**Lastre de Alta Densidad, instalación
mediante embarcación auxiliar**

$S_{11} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{11}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
9,00	30,00	11,50	584,68	12,99	0,152	2,43	3,43
9,00	31,00	11,50	826,48	13,99	0,143	2,79	3,43
9,00	32,00	11,50	1.079,85	14,99	0,135	3,17	3,43
9,00	33,00	11,50	1.344,80	15,99	0,128	3,56	3,42
9,00	34,00	11,50	1.621,31	16,99	0,121	3,95	3,41
9,00	35,00	11,50	1.909,40	17,99	0,115	4,35	3,40
9,00	36,00	11,50	2.209,06	18,99	0,109	4,75	3,39
9,00	37,00	11,50	2.520,28	19,99	0,104	5,16	3,38
9,00	38,00	11,50	2.843,08	20,99	0,099	5,58	3,38
9,00	39,00	11,50	3.177,45	21,99	0,094	6,00	3,37
9,00	40,00	11,50	3.523,40	22,99	0,090	6,42	3,36
10,00	30,00	11,50	756,93	24,33	0,149	2,39	3,42
10,00	31,00	11,50	1.005,60	25,33	0,140	2,74	3,42
10,00	32,00	11,50	1.265,85	26,33	0,132	3,09	3,41
10,00	33,00	11,50	1.537,66	27,33	0,125	3,46	3,40
10,00	34,00	11,50	1.821,05	28,33	0,119	3,82	3,39
10,00	35,00	11,50	2.116,01	29,33	0,113	4,19	3,38
10,00	36,00	11,50	2.422,53	30,33	0,107	4,57	3,38
10,00	37,00	11,50	2.740,63	31,33	0,102	4,95	3,37
10,00	38,00	11,50	3.070,30	32,33	0,097	5,34	3,36
10,00	39,00	11,50	3.411,55	33,33	0,093	5,72	3,35
10,00	40,00	11,50	3.764,36	34,33	0,089	6,11	3,34
11,00	30,00	11,50	556,96	30,00	0,147	2,33	3,40
11,00	31,00	11,50	796,49	31,00	0,138	2,66	3,39
11,00	32,00	11,50	1.047,60	32,00	0,131	2,99	3,38
11,00	33,00	11,50	1.310,27	33,00	0,124	3,33	3,38
11,00	34,00	11,50	1.584,52	34,00	0,118	3,68	3,37
11,00	35,00	11,50	1.870,34	35,00	0,112	4,03	3,36
11,00	36,00	11,50	2.167,72	36,00	0,106	4,38	3,35
11,00	37,00	11,50	2.476,68	37,00	0,101	4,73	3,34
11,00	38,00	11,50	2.797,21	38,00	0,096	5,09	3,33
11,00	39,00	11,50	3.129,32	39,00	0,092	5,45	3,32
11,00	40,00	11,50	3.472,99	40,00	0,088	5,80	3,31
12,00	30,00	11,50	292,69	30,00	0,145	2,27	3,37
12,00	31,00	11,50	520,80	31,00	0,137	2,57	3,36
12,00	32,00	11,50	760,48	32,00	0,130	2,89	3,35
12,00	33,00	11,50	1.011,72	33,00	0,123	3,21	3,35
12,00	34,00	11,50	1.274,54	34,00	0,117	3,53	3,34
12,00	35,00	11,50	1.548,93	35,00	0,111	3,86	3,33
12,00	36,00	11,50	1.834,90	36,00	0,106	4,19	3,31
12,00	37,00	11,50	2.132,43	37,00	0,101	4,52	3,30
12,00	38,00	11,50	2.441,53	38,00	0,096	4,85	3,29
12,00	39,00	11,50	2.762,21	39,00	0,092	5,18	3,29
12,00	40,00	11,50	3.094,45	40,00	0,088	5,51	3,28

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	11,50	28,43	30,00	0,144	2,19	3,34
13,00	31,00	11,50	245,11	31,00	0,136	2,49	3,34
13,00	32,00	11,50	473,36	32,00	0,129	2,78	3,33
13,00	33,00	11,50	713,18	33,00	0,122	3,09	3,32
13,00	34,00	11,50	964,57	34,00	0,116	3,39	3,31
13,00	35,00	11,50	1.227,53	35,00	0,111	3,69	3,30
13,00	36,00	11,50	1.502,07	36,00	0,105	4,00	3,29
13,00	37,00	11,50	1.788,17	37,00	0,101	4,31	3,28
13,00	38,00	11,50	2.085,85	38,00	0,096	4,62	3,27
13,00	39,00	11,50	2.395,10	39,00	0,092	4,93	3,26
13,00	40,00	11,50	2.715,91	40,00	0,088	5,23	3,25
14,00	30,00	11,50	- 235,84	30,00	0,143	2,13	3,33
14,00	31,00	11,50	- 30,59	31,00	0,136	2,40	3,31
14,00	32,00	11,50	186,23	32,00	0,129	2,68	3,30
14,00	33,00	11,50	414,63	33,00	0,122	2,96	3,29
14,00	34,00	11,50	654,59	34,00	0,116	3,25	3,28
14,00	35,00	11,50	906,13	35,00	0,111	3,53	3,27
14,00	36,00	11,50	1.169,24	36,00	0,105	3,82	3,26
14,00	37,00	11,50	1.443,91	37,00	0,101	4,11	3,25
14,00	38,00	11,50	1.730,16	38,00	0,096	4,39	3,24
14,00	39,00	11,50	2.027,98	39,00	0,092	4,68	3,23
14,00	40,00	11,50	2.337,38	40,00	0,088	4,97	3,22
15,00	30,00	11,50	- 500,11	30,00	0,143	2,06	3,31
15,00	31,00	11,50	- 306,29	31,00	0,135	2,31	3,29
15,00	32,00	11,50	- 100,89	32,00	0,128	2,58	3,28
15,00	33,00	11,50	116,08	33,00	0,122	2,84	3,27
15,00	34,00	11,50	344,61	34,00	0,116	3,11	3,25
15,00	35,00	11,50	584,72	35,00	0,111	3,37	3,24
15,00	36,00	11,50	836,40	36,00	0,106	3,64	3,23
15,00	37,00	11,50	1.099,66	37,00	0,101	3,91	3,22
15,00	38,00	11,50	1.374,48	38,00	0,097	4,18	3,21
15,00	39,00	11,50	1.660,87	39,00	0,093	4,45	3,20
15,00	40,00	11,50	1.958,84	40,00	0,089	4,72	3,19
16,00	30,00	11,50	- 764,38	30,00	0,142	1,99	3,29
16,00	31,00	11,50	- 581,98	31,00	0,135	2,23	3,28
16,00	32,00	11,50	- 388,01	32,00	0,128	2,48	3,26
16,00	33,00	11,50	- 182,47	33,00	0,122	2,72	3,25
16,00	34,00	11,50	34,64	34,00	0,117	2,97	3,23
16,00	35,00	11,50	263,32	35,00	0,111	3,22	3,22
16,00	36,00	11,50	503,57	36,00	0,106	3,47	3,21
16,00	37,00	11,50	755,39	37,00	0,102	3,73	3,20
16,00	38,00	11,50	1.018,79	38,00	0,098	3,98	3,18
16,00	39,00	11,50	1.293,76	39,00	0,094	4,23	3,17
16,00	40,00	11,50	1.580,29	40,00	0,090	4,48	3,16

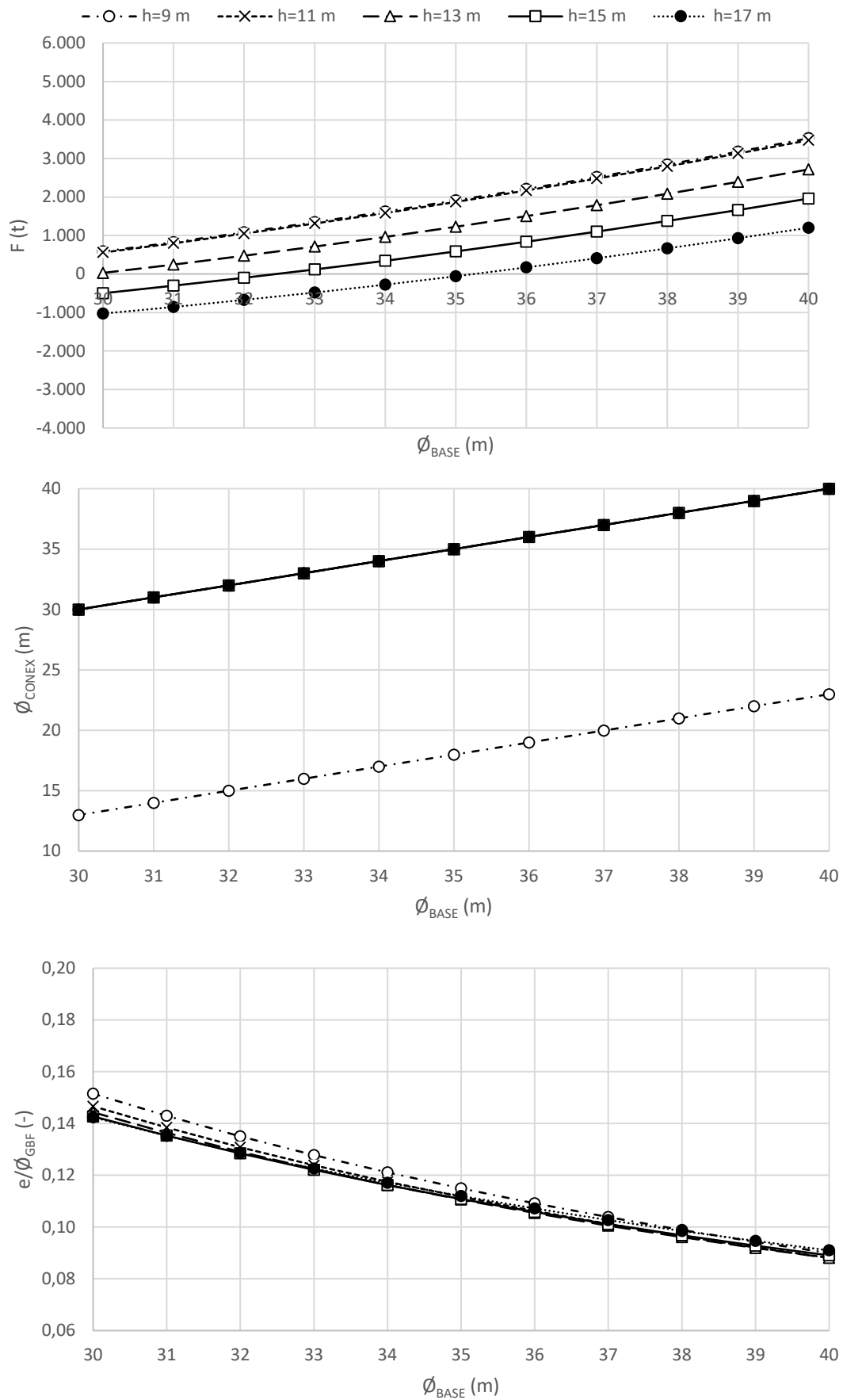


Figura 1: $S_{11} - c_{\text{PORT}} = 11,5\text{ m}$

S₁₁ – F = -3.500 t

S ₁₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	C _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	5,18	- 3.500,00	12,99	0,153	2,41	3,41
9,00	31,00	5,25	- 3.500,00	13,99	0,144	2,76	3,40
9,00	32,00	5,30	- 3.500,00	14,99	0,137	3,13	3,39
9,00	33,00	5,34	- 3.500,00	15,99	0,130	3,51	3,37
9,00	34,00	5,38	- 3.500,00	16,99	0,123	3,89	3,36
9,00	35,00	5,41	- 3.500,00	17,99	0,117	4,28	3,34
9,00	36,00	5,44	- 3.500,00	18,99	0,111	4,67	3,32
9,00	37,00	5,46	- 3.500,00	19,99	0,106	5,08	3,31
9,00	38,00	5,48	- 3.500,00	20,99	0,101	5,48	3,29
9,00	39,00	5,50	- 3.500,00	21,99	0,097	5,89	3,28
9,00	40,00	5,51	- 3.500,00	22,99	0,093	6,31	3,26
10,00	30,00	5,55	- 3.500,00	24,33	0,150	2,37	3,39
10,00	31,00	5,60	- 3.500,00	25,33	0,142	2,70	3,38
10,00	32,00	5,65	- 3.500,00	26,33	0,134	3,05	3,37
10,00	33,00	5,68	- 3.500,00	27,33	0,127	3,40	3,35
10,00	34,00	5,71	- 3.500,00	28,33	0,121	3,76	3,34
10,00	35,00	5,74	- 3.500,00	29,33	0,115	4,12	3,32
10,00	36,00	5,76	- 3.500,00	30,33	0,110	4,49	3,30
10,00	37,00	5,78	- 3.500,00	31,33	0,105	4,87	3,29
10,00	38,00	5,79	- 3.500,00	32,33	0,100	5,24	3,27
10,00	39,00	5,80	- 3.500,00	33,33	0,095	5,62	3,26
10,00	40,00	5,80	- 3.500,00	34,33	0,091	6,00	3,24
11,00	30,00	5,91	- 3.500,00	30,00	0,148	2,31	3,38
11,00	31,00	5,96	- 3.500,00	31,00	0,140	2,63	3,36
11,00	32,00	5,99	- 3.500,00	32,00	0,132	2,96	3,35
11,00	33,00	6,02	- 3.500,00	33,00	0,125	3,29	3,33
11,00	34,00	6,05	- 3.500,00	34,00	0,119	3,63	3,32
11,00	35,00	6,06	- 3.500,00	35,00	0,114	3,97	3,30
11,00	36,00	6,08	- 3.500,00	36,00	0,108	4,31	3,28
11,00	37,00	6,09	- 3.500,00	37,00	0,103	4,66	3,27
11,00	38,00	6,09	- 3.500,00	38,00	0,099	5,01	3,25
11,00	39,00	6,10	- 3.500,00	39,00	0,094	5,36	3,24
11,00	40,00	6,10	- 3.500,00	40,00	0,090	5,72	3,22
12,00	30,00	6,28	- 3.500,00	30,00	0,146	2,26	3,36
12,00	31,00	6,31	- 3.500,00	31,00	0,138	2,56	3,34
12,00	32,00	6,34	- 3.500,00	32,00	0,131	2,87	3,33
12,00	33,00	6,36	- 3.500,00	33,00	0,124	3,18	3,32
12,00	34,00	6,38	- 3.500,00	34,00	0,118	3,50	3,30
12,00	35,00	6,39	- 3.500,00	35,00	0,112	3,81	3,28
12,00	36,00	6,40	- 3.500,00	36,00	0,107	4,14	3,27
12,00	37,00	6,40	- 3.500,00	37,00	0,102	4,46	3,25
12,00	38,00	6,40	- 3.500,00	38,00	0,098	4,79	3,23
12,00	39,00	6,40	- 3.500,00	39,00	0,094	5,11	3,22
12,00	40,00	6,39	- 3.500,00	40,00	0,090	5,44	3,21

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	6,64	- 3.500,00	30,00	0,144	2,19	3,34
13,00	31,00	6,67	- 3.500,00	31,00	0,137	2,48	3,33
13,00	32,00	6,69	- 3.500,00	32,00	0,130	2,77	3,31
13,00	33,00	6,70	- 3.500,00	33,00	0,123	3,07	3,30
13,00	34,00	6,71	- 3.500,00	34,00	0,117	3,36	3,28
13,00	35,00	6,72	- 3.500,00	35,00	0,112	3,66	3,26
13,00	36,00	6,71	- 3.500,00	36,00	0,107	3,96	3,25
13,00	37,00	6,71	- 3.500,00	37,00	0,102	4,26	3,23
13,00	38,00	6,70	- 3.500,00	38,00	0,098	4,57	3,22
13,00	39,00	6,69	- 3.500,00	39,00	0,093	4,87	3,20
13,00	40,00	6,68	- 3.500,00	40,00	0,090	5,18	3,19
14,00	30,00	7,00	- 3.500,00	30,00	0,143	2,13	3,33
14,00	31,00	7,02	- 3.500,00	31,00	0,136	2,40	3,31
14,00	32,00	7,04	- 3.500,00	32,00	0,129	2,67	3,30
14,00	33,00	7,04	- 3.500,00	33,00	0,123	2,95	3,28
14,00	34,00	7,04	- 3.500,00	34,00	0,117	3,23	3,26
14,00	35,00	7,04	- 3.500,00	35,00	0,111	3,51	3,25
14,00	36,00	7,03	- 3.500,00	36,00	0,106	3,79	3,23
14,00	37,00	7,02	- 3.500,00	37,00	0,102	4,07	3,21
14,00	38,00	7,01	- 3.500,00	38,00	0,097	4,36	3,20
14,00	39,00	6,99	- 3.500,00	39,00	0,093	4,64	3,18
14,00	40,00	6,98	- 3.500,00	40,00	0,090	4,92	3,17
15,00	30,00	7,37	- 3.500,00	30,00	0,143	2,06	3,31
15,00	31,00	7,38	- 3.500,00	31,00	0,135	2,31	3,29
15,00	32,00	7,38	- 3.500,00	32,00	0,128	2,58	3,28
15,00	33,00	7,38	- 3.500,00	33,00	0,122	2,84	3,26
15,00	34,00	7,38	- 3.500,00	34,00	0,117	3,10	3,25
15,00	35,00	7,37	- 3.500,00	35,00	0,111	3,36	3,23
15,00	36,00	7,35	- 3.500,00	36,00	0,106	3,63	3,21
15,00	37,00	7,33	- 3.500,00	37,00	0,102	3,89	3,20
15,00	38,00	7,31	- 3.500,00	38,00	0,098	4,15	3,18
15,00	39,00	7,29	- 3.500,00	39,00	0,094	4,42	3,17
15,00	40,00	7,27	- 3.500,00	40,00	0,090	4,68	3,15
16,00	30,00	7,73	- 3.500,00	30,00	0,142	1,99	3,29
16,00	31,00	7,74	- 3.500,00	31,00	0,135	2,23	3,28
16,00	32,00	7,73	- 3.500,00	32,00	0,128	2,48	3,26
16,00	33,00	7,72	- 3.500,00	33,00	0,122	2,72	3,25
16,00	34,00	7,71	- 3.500,00	34,00	0,117	2,97	3,23
16,00	35,00	7,69	- 3.500,00	35,00	0,112	3,22	3,21
16,00	36,00	7,67	- 3.500,00	36,00	0,107	3,46	3,19
16,00	37,00	7,65	- 3.500,00	37,00	0,102	3,71	3,18
16,00	38,00	7,62	- 3.500,00	38,00	0,098	3,96	3,16
16,00	39,00	7,59	- 3.500,00	39,00	0,094	4,21	3,15
16,00	40,00	7,56	- 3.500,00	40,00	0,091	4,45	3,14

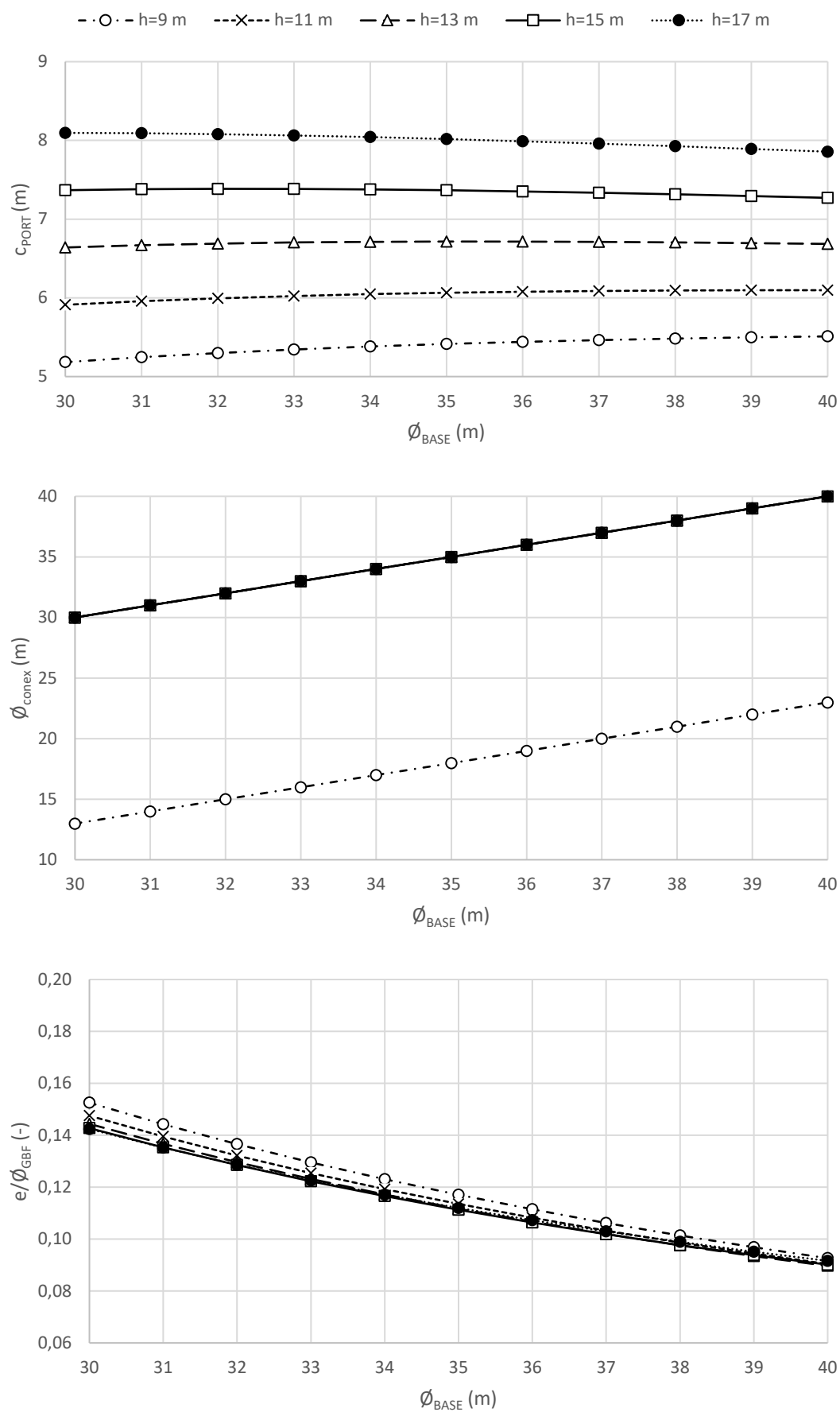


Figura 2: $S_{11} - F = -3.500\text{ t}$

A3.2. S₁₂

Base cilíndrica con rigidizadores

**Instalación mediante embarcación
auxiliar**

$S_{12} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{12}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
9,00	30,00	11,50	584,68	12,99	0,184	1,71	2,83
9,00	31,00	11,50	826,48	13,99	0,172	2,07	2,85
9,00	32,00	11,50	1.079,85	14,99	0,161	2,45	2,87
9,00	33,00	11,50	1.344,80	15,99	0,152	2,85	2,88
9,00	34,00	11,50	1.621,31	16,99	0,143	3,25	2,89
9,00	35,00	11,50	1.909,40	17,99	0,135	3,67	2,90
9,00	36,00	11,50	2.209,06	18,99	0,127	4,09	2,91
9,00	37,00	11,50	2.520,28	19,99	0,120	4,52	2,92
9,00	38,00	11,50	2.843,08	20,99	0,114	4,96	2,93
9,00	39,00	11,50	3.177,45	21,99	0,108	5,40	2,94
9,00	40,00	11,50	3.523,40	22,99	0,103	5,84	2,95
10,00	30,00	11,50	756,93	24,33	0,178	1,74	2,85
10,00	31,00	11,50	1.005,60	25,33	0,167	2,08	2,86
10,00	32,00	11,50	1.265,85	26,33	0,157	2,44	2,88
10,00	33,00	11,50	1.537,66	27,33	0,147	2,82	2,89
10,00	34,00	11,50	1.821,05	28,33	0,139	3,20	2,90
10,00	35,00	11,50	2.116,01	29,33	0,131	3,59	2,91
10,00	36,00	11,50	2.422,53	30,33	0,124	3,98	2,92
10,00	37,00	11,50	2.740,63	31,33	0,117	4,38	2,93
10,00	38,00	11,50	3.070,30	32,33	0,111	4,79	2,94
10,00	39,00	11,50	3.411,55	33,33	0,106	5,19	2,94
10,00	40,00	11,50	3.764,36	34,33	0,100	5,60	2,95
11,00	30,00	11,50	556,96	30,00	0,175	1,73	2,85
11,00	31,00	11,50	796,49	31,00	0,164	2,06	2,86
11,00	32,00	11,50	1.047,60	32,00	0,154	2,40	2,88
11,00	33,00	11,50	1.310,27	33,00	0,145	2,75	2,89
11,00	34,00	11,50	1.584,52	34,00	0,136	3,11	2,90
11,00	35,00	11,50	1.870,34	35,00	0,129	3,48	2,91
11,00	36,00	11,50	2.167,72	36,00	0,122	3,84	2,92
11,00	37,00	11,50	2.476,68	37,00	0,115	4,22	2,92
11,00	38,00	11,50	2.797,21	38,00	0,110	4,59	2,93
11,00	39,00	11,50	3.129,32	39,00	0,104	4,97	2,93
11,00	40,00	11,50	3.472,99	40,00	0,099	5,34	2,94
12,00	30,00	11,50	292,69	30,00	0,172	1,71	2,84
12,00	31,00	11,50	520,80	31,00	0,161	2,02	2,86
12,00	32,00	11,50	760,48	32,00	0,152	2,35	2,87
12,00	33,00	11,50	1.011,72	33,00	0,143	2,68	2,88
12,00	34,00	11,50	1.274,54	34,00	0,135	3,01	2,89
12,00	35,00	11,50	1.548,93	35,00	0,127	3,36	2,90
12,00	36,00	11,50	1.834,90	36,00	0,121	3,70	2,91
12,00	37,00	11,50	2.132,43	37,00	0,114	4,05	2,91
12,00	38,00	11,50	2.441,53	38,00	0,109	4,39	2,92
12,00	39,00	11,50	2.762,21	39,00	0,103	4,74	2,92
12,00	40,00	11,50	3.094,45	40,00	0,098	5,09	2,93

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	11,50	28,43	30,00	0,170	1,68	2,84
13,00	31,00	11,50	245,11	31,00	0,159	1,98	2,85
13,00	32,00	11,50	473,36	32,00	0,150	2,28	2,87
13,00	33,00	11,50	713,18	33,00	0,141	2,60	2,88
13,00	34,00	11,50	964,57	34,00	0,133	2,91	2,88
13,00	35,00	11,50	1.227,53	35,00	0,126	3,23	2,89
13,00	36,00	11,50	1.502,07	36,00	0,120	3,55	2,90
13,00	37,00	11,50	1.788,17	37,00	0,114	3,88	2,90
13,00	38,00	11,50	2.085,85	38,00	0,108	4,20	2,91
13,00	39,00	11,50	2.395,10	39,00	0,103	4,52	2,91
13,00	40,00	11,50	2.715,91	40,00	0,098	4,85	2,92
14,00	30,00	11,50	- 235,84	30,00	0,168	1,65	2,84
14,00	31,00	11,50	- 30,59	31,00	0,158	1,93	2,85
14,00	32,00	11,50	186,23	32,00	0,149	2,21	2,86
14,00	33,00	11,50	414,63	33,00	0,140	2,51	2,87
14,00	34,00	11,50	654,59	34,00	0,132	2,81	2,87
14,00	35,00	11,50	906,13	35,00	0,125	3,11	2,88
14,00	36,00	11,50	1.169,24	36,00	0,119	3,41	2,89
14,00	37,00	11,50	1.443,91	37,00	0,113	3,71	2,89
14,00	38,00	11,50	1.730,16	38,00	0,108	4,01	2,90
14,00	39,00	11,50	2.027,98	39,00	0,103	4,31	2,90
14,00	40,00	11,50	2.337,38	40,00	0,098	4,61	2,90
15,00	30,00	11,50	- 500,11	30,00	0,166	1,62	2,84
15,00	31,00	11,50	- 306,29	31,00	0,156	1,88	2,85
15,00	32,00	11,50	- 100,89	32,00	0,148	2,15	2,85
15,00	33,00	11,50	116,08	33,00	0,139	2,42	2,86
15,00	34,00	11,50	344,61	34,00	0,132	2,70	2,87
15,00	35,00	11,50	584,72	35,00	0,125	2,98	2,87
15,00	36,00	11,50	836,40	36,00	0,119	3,26	2,88
15,00	37,00	11,50	1.099,66	37,00	0,113	3,54	2,88
15,00	38,00	11,50	1.374,48	38,00	0,108	3,83	2,88
15,00	39,00	11,50	1.660,87	39,00	0,103	4,11	2,89
15,00	40,00	11,50	1.958,84	40,00	0,098	4,39	2,89
16,00	30,00	11,50	- 764,38	30,00	0,165	1,58	2,84
16,00	31,00	11,50	- 581,98	31,00	0,155	1,83	2,85
16,00	32,00	11,50	- 388,01	32,00	0,147	2,08	2,85
16,00	33,00	11,50	- 182,47	33,00	0,139	2,33	2,86
16,00	34,00	11,50	34,64	34,00	0,132	2,59	2,86
16,00	35,00	11,50	263,32	35,00	0,125	2,85	2,86
16,00	36,00	11,50	503,57	36,00	0,119	3,12	2,87
16,00	37,00	11,50	755,39	37,00	0,113	3,38	2,87
16,00	38,00	11,50	1.018,79	38,00	0,108	3,65	2,87
16,00	39,00	11,50	1.293,76	39,00	0,103	3,91	2,88
16,00	40,00	11,50	1.580,29	40,00	0,099	4,17	2,88

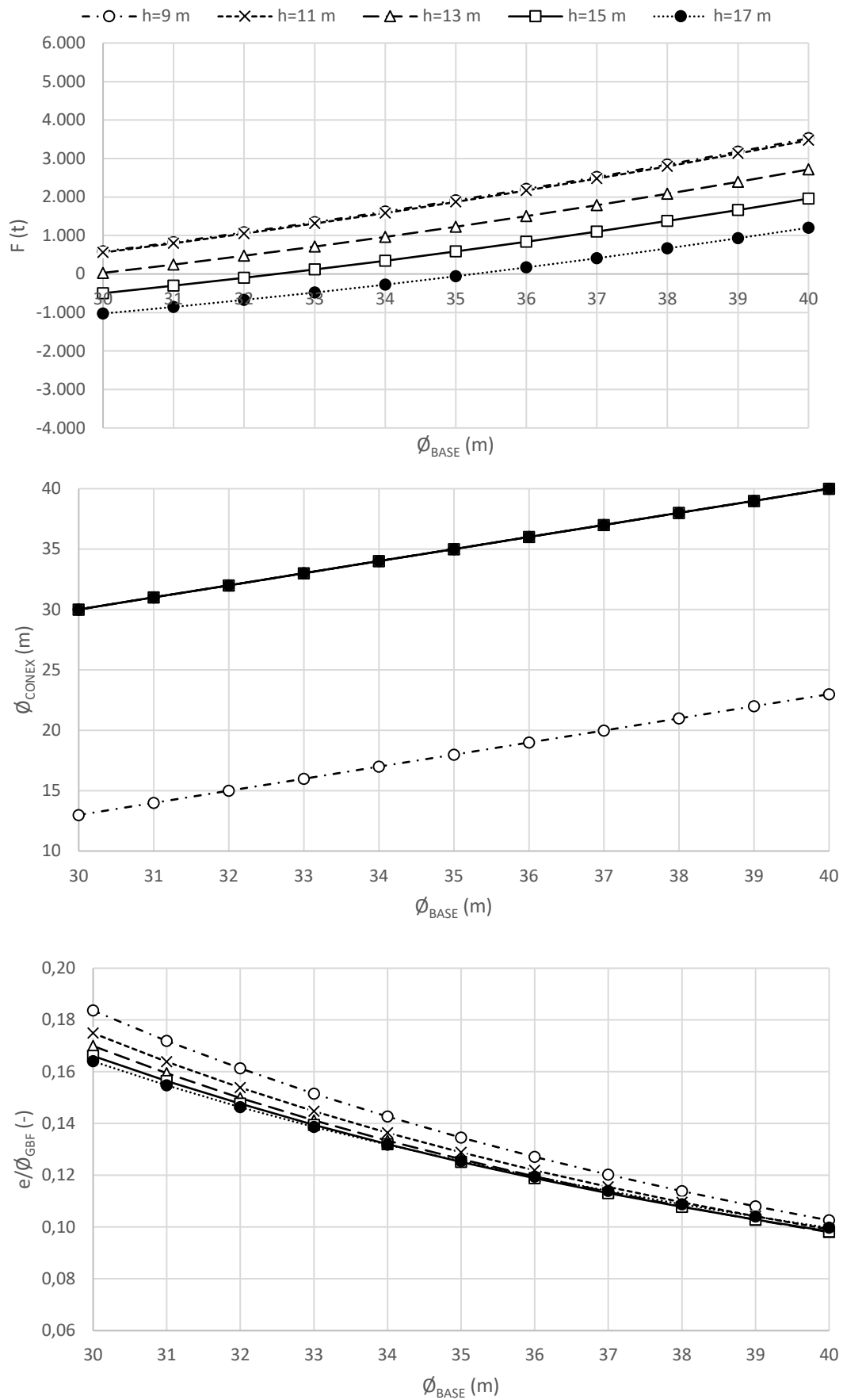


Figura 3: $S_{12} - c_{PORT} = 11,5\text{ m}$

S₁₂ – F = -3.500 t

S ₁₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	5,18	- 3.500,00	12,99	0,185	1,68	2,81
9,00	31,00	5,25	- 3.500,00	13,99	0,174	2,02	2,82
9,00	32,00	5,30	- 3.500,00	14,99	0,164	2,39	2,83
9,00	33,00	5,34	- 3.500,00	15,99	0,154	2,77	2,84
9,00	34,00	5,38	- 3.500,00	16,99	0,145	3,16	2,84
9,00	35,00	5,41	- 3.500,00	17,99	0,138	3,56	2,84
9,00	36,00	5,44	- 3.500,00	18,99	0,130	3,97	2,84
9,00	37,00	5,46	- 3.500,00	19,99	0,123	4,39	2,85
9,00	38,00	5,48	- 3.500,00	20,99	0,117	4,81	2,85
9,00	39,00	5,50	- 3.500,00	21,99	0,111	5,23	2,85
9,00	40,00	5,51	- 3.500,00	22,99	0,106	5,66	2,85
10,00	30,00	5,55	- 3.500,00	24,33	0,180	1,70	2,82
10,00	31,00	5,60	- 3.500,00	25,33	0,169	2,03	2,83
10,00	32,00	5,65	- 3.500,00	26,33	0,159	2,38	2,84
10,00	33,00	5,68	- 3.500,00	27,33	0,150	2,74	2,84
10,00	34,00	5,71	- 3.500,00	28,33	0,142	3,11	2,85
10,00	35,00	5,74	- 3.500,00	29,33	0,134	3,48	2,85
10,00	36,00	5,76	- 3.500,00	30,33	0,127	3,87	2,85
10,00	37,00	5,78	- 3.500,00	31,33	0,120	4,25	2,85
10,00	38,00	5,79	- 3.500,00	32,33	0,114	4,65	2,85
10,00	39,00	5,80	- 3.500,00	33,33	0,109	5,04	2,85
10,00	40,00	5,80	- 3.500,00	34,33	0,104	5,44	2,85
11,00	30,00	5,91	- 3.500,00	30,00	0,176	1,70	2,83
11,00	31,00	5,96	- 3.500,00	31,00	0,165	2,02	2,84
11,00	32,00	5,99	- 3.500,00	32,00	0,156	2,35	2,84
11,00	33,00	6,02	- 3.500,00	33,00	0,147	2,69	2,85
11,00	34,00	6,05	- 3.500,00	34,00	0,139	3,04	2,85
11,00	35,00	6,06	- 3.500,00	35,00	0,131	3,39	2,85
11,00	36,00	6,08	- 3.500,00	36,00	0,125	3,75	2,85
11,00	37,00	6,09	- 3.500,00	37,00	0,118	4,11	2,86
11,00	38,00	6,09	- 3.500,00	38,00	0,112	4,48	2,86
11,00	39,00	6,10	- 3.500,00	39,00	0,107	4,84	2,86
11,00	40,00	6,10	- 3.500,00	40,00	0,102	5,21	2,86
12,00	30,00	6,28	- 3.500,00	30,00	0,173	1,70	2,83
12,00	31,00	6,31	- 3.500,00	31,00	0,162	2,00	2,84
12,00	32,00	6,34	- 3.500,00	32,00	0,153	2,31	2,85
12,00	33,00	6,36	- 3.500,00	33,00	0,144	2,64	2,85
12,00	34,00	6,38	- 3.500,00	34,00	0,136	2,96	2,85
12,00	35,00	6,39	- 3.500,00	35,00	0,129	3,29	2,86
12,00	36,00	6,40	- 3.500,00	36,00	0,123	3,63	2,86
12,00	37,00	6,40	- 3.500,00	37,00	0,116	3,96	2,86
12,00	38,00	6,40	- 3.500,00	38,00	0,111	4,30	2,86
12,00	39,00	6,40	- 3.500,00	39,00	0,106	4,64	2,86
12,00	40,00	6,39	- 3.500,00	40,00	0,101	4,98	2,86

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	6,64	- 3.500,00	30,00	0,170	1,68	2,84
13,00	31,00	6,67	- 3.500,00	31,00	0,160	1,97	2,84
13,00	32,00	6,69	- 3.500,00	32,00	0,151	2,26	2,85
13,00	33,00	6,70	- 3.500,00	33,00	0,142	2,57	2,86
13,00	34,00	6,71	- 3.500,00	34,00	0,135	2,88	2,86
13,00	35,00	6,72	- 3.500,00	35,00	0,128	3,19	2,86
13,00	36,00	6,71	- 3.500,00	36,00	0,121	3,50	2,86
13,00	37,00	6,71	- 3.500,00	37,00	0,115	3,81	2,86
13,00	38,00	6,70	- 3.500,00	38,00	0,110	4,13	2,86
13,00	39,00	6,69	- 3.500,00	39,00	0,105	4,45	2,86
13,00	40,00	6,68	- 3.500,00	40,00	0,100	4,76	2,86
14,00	30,00	7,00	- 3.500,00	30,00	0,168	1,65	2,84
14,00	31,00	7,02	- 3.500,00	31,00	0,158	1,93	2,85
14,00	32,00	7,04	- 3.500,00	32,00	0,149	2,21	2,85
14,00	33,00	7,04	- 3.500,00	33,00	0,141	2,50	2,86
14,00	34,00	7,04	- 3.500,00	34,00	0,133	2,78	2,86
14,00	35,00	7,04	- 3.500,00	35,00	0,126	3,07	2,86
14,00	36,00	7,03	- 3.500,00	36,00	0,120	3,37	2,86
14,00	37,00	7,02	- 3.500,00	37,00	0,114	3,66	2,86
14,00	38,00	7,01	- 3.500,00	38,00	0,109	3,96	2,86
14,00	39,00	6,99	- 3.500,00	39,00	0,104	4,25	2,86
14,00	40,00	6,98	- 3.500,00	40,00	0,100	4,55	2,85
15,00	30,00	7,37	- 3.500,00	30,00	0,166	1,62	2,84
15,00	31,00	7,38	- 3.500,00	31,00	0,156	1,88	2,85
15,00	32,00	7,38	- 3.500,00	32,00	0,148	2,15	2,85
15,00	33,00	7,38	- 3.500,00	33,00	0,140	2,42	2,86
15,00	34,00	7,38	- 3.500,00	34,00	0,132	2,69	2,86
15,00	35,00	7,37	- 3.500,00	35,00	0,126	2,96	2,86
15,00	36,00	7,35	- 3.500,00	36,00	0,120	3,24	2,86
15,00	37,00	7,33	- 3.500,00	37,00	0,114	3,51	2,86
15,00	38,00	7,31	- 3.500,00	38,00	0,109	3,79	2,85
15,00	39,00	7,29	- 3.500,00	39,00	0,104	4,06	2,85
15,00	40,00	7,27	- 3.500,00	40,00	0,100	4,34	2,85
16,00	30,00	7,73	- 3.500,00	30,00	0,165	1,58	2,84
16,00	31,00	7,74	- 3.500,00	31,00	0,155	1,83	2,85
16,00	32,00	7,73	- 3.500,00	32,00	0,147	2,08	2,85
16,00	33,00	7,72	- 3.500,00	33,00	0,139	2,33	2,86
16,00	34,00	7,71	- 3.500,00	34,00	0,132	2,59	2,86
16,00	35,00	7,69	- 3.500,00	35,00	0,125	2,85	2,86
16,00	36,00	7,67	- 3.500,00	36,00	0,119	3,10	2,85
16,00	37,00	7,65	- 3.500,00	37,00	0,114	3,36	2,85
16,00	38,00	7,62	- 3.500,00	38,00	0,109	3,62	2,85
16,00	39,00	7,59	- 3.500,00	39,00	0,104	3,88	2,85
16,00	40,00	7,56	- 3.500,00	40,00	0,100	4,13	2,85

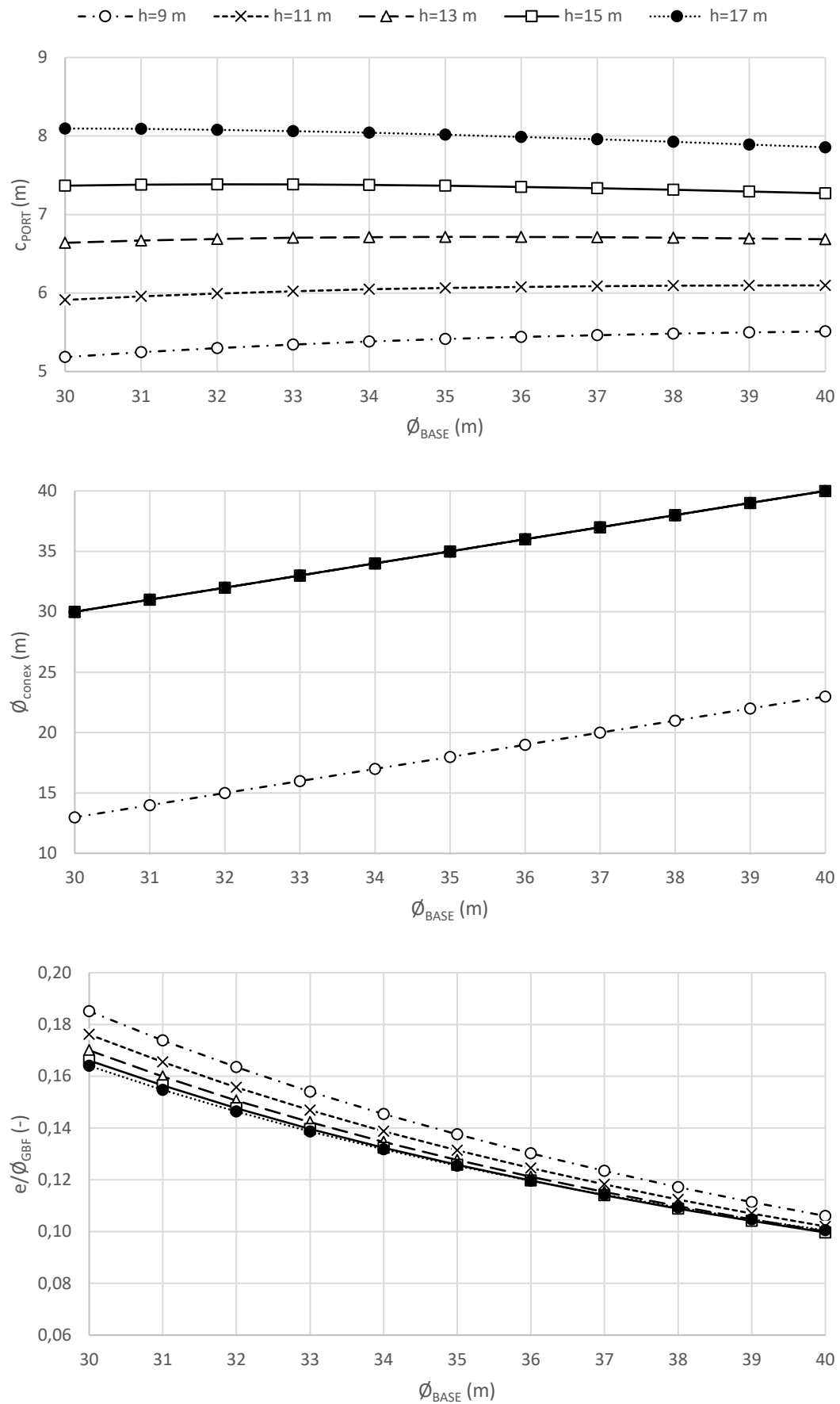


Figura 4: $S_{12} - F = -3.500\text{ t}$

A3.3. S₁₃

Base cilíndrica con rigidizadores

**Autoestable en transporte, fondeo
mediante embarcación auxiliar**

S₁₃ – c_{PORT} = 11,5 m

S ₁₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	11,50	584,68	12,99	- 6,28	- 1,50	0,184	1,71	2,83
9,00	31,00	11,50	826,48	13,99	- 5,69	- 1,50	0,172	2,07	2,85
9,00	32,00	11,50	1.079,85	14,99	- 5,14	- 1,50	0,161	2,45	2,87
9,00	33,00	11,50	1.344,80	15,99	- 4,62	- 1,50	0,152	2,85	2,88
9,00	34,00	11,50	1.621,31	16,99	- 4,15	- 1,50	0,143	3,25	2,89
9,00	35,00	11,50	1.909,40	17,99	- 3,70	- 1,50	0,135	3,67	2,90
9,00	36,00	11,50	2.209,06	18,99	- 3,27	- 1,50	0,127	4,09	2,91
9,00	37,00	11,50	2.520,28	19,99	- 2,87	- 1,50	0,120	4,52	2,92
9,00	38,00	11,50	2.843,08	20,99	- 2,48	- 1,50	0,114	4,96	2,93
9,00	39,00	11,50	3.177,45	21,99	- 2,11	- 1,50	0,108	5,40	2,94
9,00	40,00	11,50	3.523,40	22,99	- 1,75	- 1,50	0,103	5,84	2,95
10,00	30,00	11,50	756,93	24,33	- 3,93	- 0,50	0,178	1,74	2,85
10,00	31,00	11,50	1.005,60	25,33	- 3,21	- 0,50	0,167	2,08	2,86
10,00	32,00	11,50	1.265,85	26,33	- 2,53	- 0,50	0,157	2,44	2,88
10,00	33,00	11,50	1.537,66	27,33	- 1,88	- 0,50	0,147	2,82	2,89
10,00	34,00	11,50	1.821,05	28,33	- 1,26	- 0,50	0,139	3,20	2,90
10,00	35,00	11,50	2.116,01	29,33	- 0,66	- 0,50	0,131	3,59	2,91
10,00	36,00	11,50	2.422,53	30,33	- 0,08	- 0,50	0,124	3,98	2,92
10,00	37,00	11,50	2.740,63	31,33	0,48	- 0,50	0,117	4,38	2,93
10,00	38,00	11,50	3.070,30	32,33	1,04	- 0,50	0,111	4,79	2,94
10,00	39,00	11,50	3.411,55	33,33	1,58	- 0,50	0,106	5,19	2,94
10,00	40,00	11,50	3.764,36	34,33	2,11	- 0,50	0,100	5,60	2,95
11,00	30,00	11,50	556,96	30,00	- 1,51	0,50	0,175	1,73	2,85
11,00	31,00	11,50	796,49	31,00	- 0,67	0,50	0,164	2,06	2,86
11,00	32,00	11,50	1.047,60	32,00	0,13	0,50	0,154	2,40	2,88
11,00	33,00	11,50	1.310,27	33,00	0,90	0,50	0,145	2,75	2,89
11,00	34,00	11,50	1.584,52	34,00	1,64	0,50	0,136	3,11	2,90
11,00	35,00	11,50	1.870,34	35,00	2,36	0,50	0,129	3,48	2,91
11,00	36,00	11,50	2.167,72	36,00	3,06	0,50	0,122	3,84	2,92
11,00	37,00	11,50	2.476,68	37,00	3,75	0,50	0,115	4,22	2,92
11,00	38,00	11,50	2.797,21	38,00	4,42	0,50	0,110	4,59	2,93
11,00	39,00	11,50	3.129,32	39,00	5,08	0,50	0,104	4,97	2,93
11,00	40,00	11,50	3.472,99	40,00	5,74	0,50	0,099	5,34	2,94
12,00	30,00	11,50	292,69	30,00	- 1,98	1,50	0,172	1,71	2,84
12,00	31,00	11,50	520,80	31,00	- 1,13	1,50	0,161	2,02	2,86
12,00	32,00	11,50	760,48	32,00	- 0,32	1,50	0,152	2,35	2,87
12,00	33,00	11,50	1.011,72	33,00	0,46	1,50	0,143	2,68	2,88
12,00	34,00	11,50	1.274,54	34,00	1,21	1,50	0,135	3,01	2,89
12,00	35,00	11,50	1.548,93	35,00	1,94	1,50	0,127	3,36	2,90
12,00	36,00	11,50	1.834,90	36,00	2,65	1,50	0,121	3,70	2,91
12,00	37,00	11,50	2.132,43	37,00	3,34	1,50	0,114	4,05	2,91
12,00	38,00	11,50	2.441,53	38,00	4,02	1,50	0,109	4,39	2,92
12,00	39,00	11,50	2.762,21	39,00	4,69	1,50	0,103	4,74	2,92
12,00	40,00	11,50	3.094,45	40,00	5,35	1,50	0,098	5,09	2,93
13,00	30,00	11,50	28,43	30,00	- 2,48	2,50	0,170	1,68	2,84
13,00	31,00	11,50	245,11	31,00	- 1,62	2,50	0,159	1,98	2,85
13,00	32,00	11,50	473,36	32,00	- 0,80	2,50	0,150	2,28	2,87
13,00	33,00	11,50	713,18	33,00	- 0,01	2,50	0,141	2,60	2,88
13,00	34,00	11,50	964,57	34,00	0,75	2,50	0,133	2,91	2,88
13,00	35,00	11,50	1.227,53	35,00	1,49	2,50	0,126	3,23	2,89
13,00	36,00	11,50	1.502,07	36,00	2,21	2,50	0,120	3,55	2,90
13,00	37,00	11,50	1.788,17	37,00	2,91	2,50	0,114	3,88	2,90
13,00	38,00	11,50	2.085,85	38,00	3,60	2,50	0,108	4,20	2,91
13,00	39,00	11,50	2.395,10	39,00	4,27	2,50	0,103	4,52	2,91
13,00	40,00	11,50	2.715,91	40,00	4,94	2,50	0,098	4,85	2,92

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
14,00	30,00	11,50	- 235,84	30,00	-	3,50	0,168	1,65	2,84
14,00	31,00	11,50	- 30,59	31,00	-	3,50	0,158	1,93	2,85
14,00	32,00	11,50	186,23	32,00	- 1,31	3,50	0,149	2,21	2,86
14,00	33,00	11,50	414,63	33,00	- 0,51	3,50	0,140	2,51	2,87
14,00	34,00	11,50	654,59	34,00	0,26	3,50	0,132	2,81	2,87
14,00	35,00	11,50	906,13	35,00	1,00	3,50	0,125	3,11	2,88
14,00	36,00	11,50	1.169,24	36,00	1,73	3,50	0,119	3,41	2,89
14,00	37,00	11,50	1.443,91	37,00	2,44	3,50	0,113	3,71	2,89
14,00	38,00	11,50	1.730,16	38,00	3,14	3,50	0,108	4,01	2,90
14,00	39,00	11,50	2.027,98	39,00	3,82	3,50	0,103	4,31	2,90
14,00	40,00	11,50	2.337,38	40,00	4,50	3,50	0,098	4,61	2,90
15,00	30,00	11,50	- 500,11	30,00	-	4,50	0,166	1,62	2,84
15,00	31,00	11,50	- 306,29	31,00	-	4,50	0,156	1,88	2,85
15,00	32,00	11,50	- 100,89	32,00	-	4,50	0,148	2,15	2,85
15,00	33,00	11,50	116,08	33,00	- 1,05	4,50	0,139	2,42	2,86
15,00	34,00	11,50	344,61	34,00	- 0,27	4,50	0,132	2,70	2,87
15,00	35,00	11,50	584,72	35,00	0,49	4,50	0,125	2,98	2,87
15,00	36,00	11,50	836,40	36,00	1,23	4,50	0,119	3,26	2,88
15,00	37,00	11,50	1.099,66	37,00	1,94	4,50	0,113	3,54	2,88
15,00	38,00	11,50	1.374,48	38,00	2,65	4,50	0,108	3,83	2,88
15,00	39,00	11,50	1.660,87	39,00	3,34	4,50	0,103	4,11	2,89
15,00	40,00	11,50	1.958,84	40,00	4,03	4,50	0,098	4,39	2,89
16,00	30,00	11,50	- 764,38	30,00	-	5,50	0,165	1,58	2,84
16,00	31,00	11,50	- 581,98	31,00	-	5,50	0,155	1,83	2,85
16,00	32,00	11,50	- 388,01	32,00	-	5,50	0,147	2,08	2,85
16,00	33,00	11,50	- 182,47	33,00	-	5,50	0,139	2,33	2,86
16,00	34,00	11,50	34,64	34,00	- 0,83	5,50	0,132	2,59	2,86
16,00	35,00	11,50	263,32	35,00	- 0,06	5,50	0,125	2,85	2,86
16,00	36,00	11,50	503,57	36,00	0,69	5,50	0,119	3,12	2,87
16,00	37,00	11,50	755,39	37,00	1,42	5,50	0,113	3,38	2,87
16,00	38,00	11,50	1.018,79	38,00	2,13	5,50	0,108	3,65	2,87
16,00	39,00	11,50	1.293,76	39,00	2,83	5,50	0,103	3,91	2,88
16,00	40,00	11,50	1.580,29	40,00	3,53	5,50	0,099	4,17	2,88

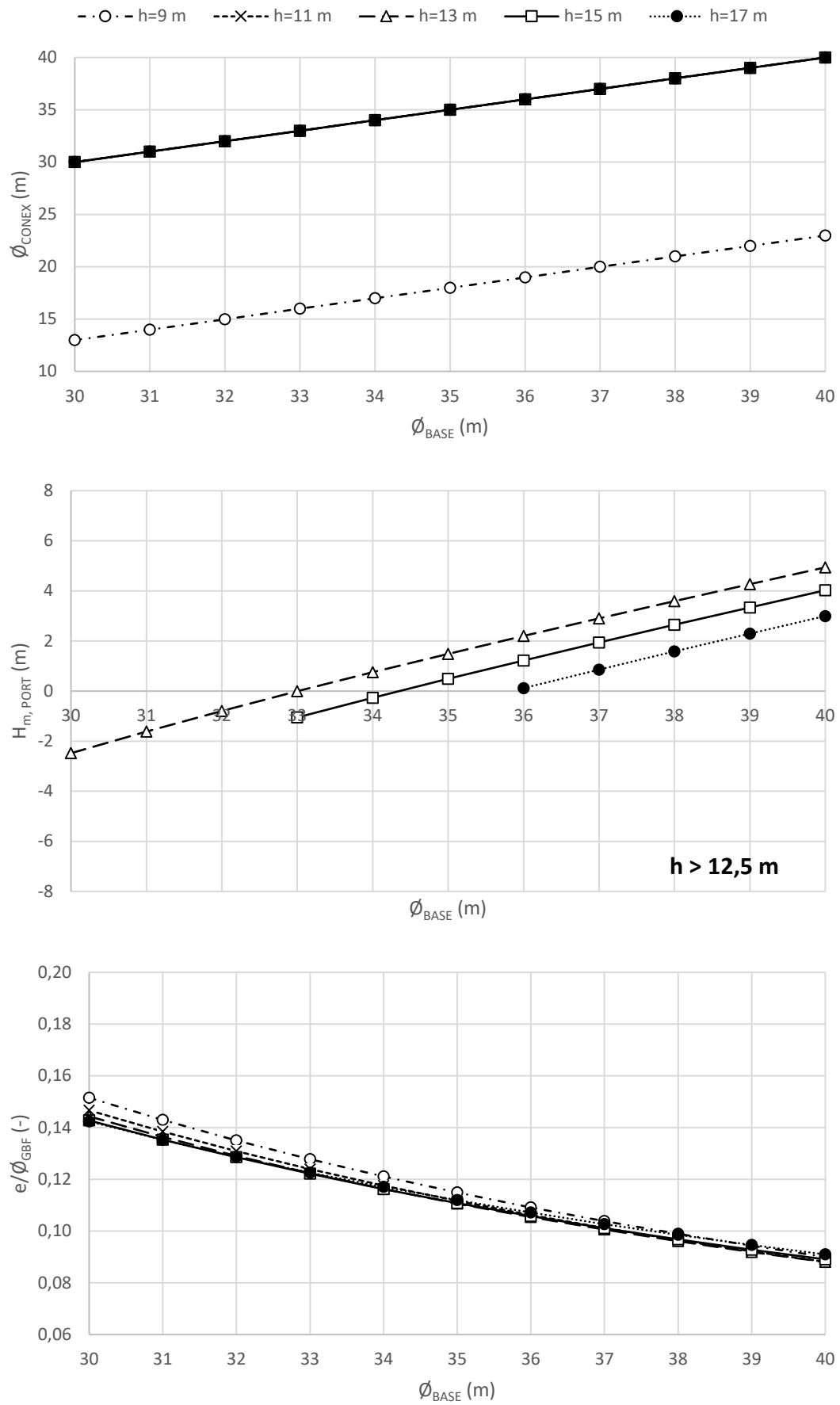


Figura 5: $S_{13} - C_{PORT} = 11,5\text{ m}$

$S_{13} - H_{m,PORT} \geq 1 \text{ m}$

S_{13}		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	ϕ_{BASE}	C_{port}	F	ϕ_{conex}	$H_{m,port}$	fb	e/ϕ_{GBF}	FS_1	FS_2
9,00	30,00	47,64	3.506,99	8,05	1,00	- 37,64	0,176	1,87	2,95
9,00	31,00	47,43	3.737,00	8,06	1,00	- 37,43	0,166	2,23	2,96
9,00	32,00	47,19	3.979,59	8,08	1,00	- 37,19	0,156	2,61	2,97
9,00	33,00	46,95	4.234,83	8,09	1,00	- 36,95	0,146	3,00	2,98
9,00	34,00	9,43	269,88	34,00	1,00	0,57	0,145	3,17	2,85
9,00	35,00	8,96	0,00	35,00	1,56	1,04	0,138	3,56	2,84
9,00	36,00	8,79	0,01	36,00	2,36	1,21	0,130	3,97	2,84
9,00	37,00	8,63	0,00	37,00	3,18	1,37	0,123	4,39	2,85
9,00	38,00	8,49	0,00	38,00	4,02	1,51	0,117	4,81	2,85
9,00	39,00	8,35	0,00	39,00	4,89	1,65	0,111	5,23	2,85
9,00	40,00	8,22	0,00	40,00	5,77	1,78	0,106	5,66	2,85
10,00	30,00	46,66	3.808,39	8,13	1,00	- 35,66	0,172	1,89	2,96
10,00	31,00	46,36	4.069,53	8,14	1,00	- 35,36	0,161	2,23	2,98
10,00	32,00	46,04	4.344,42	8,16	1,00	- 35,04	0,151	2,60	2,99
10,00	33,00	45,70	4.633,17	8,18	1,00	- 34,70	0,142	2,97	3,00
10,00	34,00	10,02	516,55	34,00	1,00	0,98	0,141	3,13	2,86
10,00	35,00	9,28	0,00	35,00	1,31	1,72	0,134	3,48	2,85
10,00	36,00	9,11	0,00	36,00	2,07	1,89	0,127	3,87	2,85
10,00	37,00	8,95	0,01	37,00	2,86	2,05	0,120	4,25	2,85
10,00	38,00	8,79	0,01	38,00	3,66	2,21	0,114	4,65	2,85
10,00	39,00	8,65	0,01	39,00	4,49	2,35	0,109	5,04	2,85
10,00	40,00	8,52	0,00	40,00	5,33	2,48	0,104	5,44	2,85
11,00	30,00	45,55	4.100,01	8,21	1,00	- 33,55	0,167	1,89	2,97
11,00	31,00	45,15	4.391,05	8,23	1,00	- 33,15	0,157	2,22	2,99
11,00	32,00	44,73	4.696,94	8,26	1,00	- 32,73	0,148	2,56	3,00
11,00	33,00	11,64	1.429,11	33,00	1,00	0,36	0,145	2,76	2,89
11,00	34,00	10,62	764,11	34,00	1,00	1,38	0,138	3,08	2,87
11,00	35,00	9,61	0,00	35,00	1,05	2,39	0,131	3,39	2,85
11,00	36,00	9,43	0,01	36,00	1,78	2,57	0,125	3,75	2,85
11,00	37,00	9,26	0,01	37,00	2,53	2,74	0,118	4,11	2,86
11,00	38,00	9,10	0,01	38,00	3,30	2,90	0,112	4,48	2,86
11,00	39,00	8,95	0,01	39,00	4,09	3,05	0,107	4,84	2,86
11,00	40,00	8,81	0,00	40,00	4,90	3,19	0,102	5,21	2,86
12,00	30,00	44,31	4.381,24	8,30	1,00	- 31,31	0,164	1,88	2,98
12,00	31,00	43,80	4.700,80	8,33	1,00	- 30,80	0,154	2,19	3,00
12,00	32,00	43,25	5.036,17	8,37	1,00	- 30,25	0,145	2,52	3,01
12,00	33,00	12,19	1.615,36	33,00	1,00	0,81	0,142	2,70	2,90
12,00	34,00	11,22	1.012,41	34,00	1,00	1,78	0,135	3,00	2,88
12,00	35,00	10,20	265,06	35,00	1,00	2,80	0,129	3,30	2,86
12,00	36,00	9,74	0,00	36,00	1,48	3,26	0,123	3,63	2,86
12,00	37,00	9,57	0,01	37,00	2,20	3,43	0,116	3,96	2,86
12,00	38,00	9,40	0,01	38,00	2,94	3,60	0,111	4,30	2,86
12,00	39,00	9,25	0,01	39,00	3,70	3,75	0,106	4,64	2,86
12,00	40,00	9,10	0,00	40,00	4,47	3,90	0,101	4,98	2,86
13,00	30,00	42,94	4.651,35	8,41	1,00	- 28,94	0,161	1,85	2,99
13,00	31,00	42,29	4.997,83	8,45	1,00	- 28,29	0,151	2,15	3,00
13,00	32,00	13,64	2.240,75	32,00	1,00	0,36	0,147	2,35	2,92
13,00	33,00	12,74	1.806,56	33,00	1,00	1,26	0,140	2,64	2,91
13,00	34,00	11,82	1.261,33	34,00	1,00	2,18	0,133	2,92	2,89
13,00	35,00	10,85	585,36	35,00	1,00	3,15	0,127	3,21	2,87
13,00	36,00	10,06	0,01	36,00	1,19	3,94	0,121	3,50	2,86
13,00	37,00	9,88	0,01	37,00	1,87	4,12	0,115	3,81	2,86
13,00	38,00	9,71	0,01	38,00	2,58	4,29	0,110	4,13	2,86
13,00	39,00	9,55	0,01	39,00	3,30	4,45	0,105	4,45	2,86
13,00	40,00	9,40	0,01	40,00	4,05	4,60	0,100	4,76	2,86

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₅	R ₆	R ₇
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
14,00	30,00	41,41	4.909,39	8,53	1,00	- 26,41	0,159	1,82	3,00
14,00	31,00	15,00	2.682,42	31,00	0,99	0,00	0,154	2,02	2,93
14,00	32,00	14,17	2.391,31	32,00	1,00	0,83	0,145	2,29	2,92
14,00	33,00	13,31	2.002,04	33,00	1,00	1,69	0,138	2,56	2,91
14,00	34,00	12,42	1.510,79	34,00	1,00	2,58	0,131	2,84	2,90
14,00	35,00	11,49	900,44	35,00	1,00	3,51	0,125	3,11	2,88
14,00	36,00	10,52	149,65	36,00	1,00	4,48	0,120	3,37	2,86
14,00	37,00	10,19	0,01	37,00	1,54	4,81	0,114	3,66	2,86
14,00	38,00	10,01	0,00	38,00	2,22	4,99	0,109	3,96	2,86
14,00	39,00	9,85	0,00	39,00	2,92	5,15	0,104	4,25	2,86
14,00	40,00	9,69	0,00	40,00	3,63	5,31	0,100	4,55	2,85
15,00	30,00	39,72	5.154,21	8,66	1,00	- 23,72	0,157	1,78	3,00
15,00	31,00	15,52	2.812,96	31,00	1,00	0,48	0,152	1,97	2,93
15,00	32,00	14,71	2.547,82	32,00	1,00	1,29	0,144	2,23	2,92
15,00	33,00	13,87	2.201,26	33,00	1,00	2,13	0,137	2,49	2,92
15,00	34,00	13,02	1.760,71	34,00	1,00	2,98	0,130	2,74	2,90
15,00	35,00	12,13	1.211,11	35,00	1,00	3,87	0,124	3,00	2,89
15,00	36,00	11,21	534,10	36,00	1,00	4,79	0,119	3,25	2,87
15,00	37,00	10,50	0,01	37,00	1,21	5,50	0,114	3,51	2,86
15,00	38,00	10,32	0,01	38,00	1,86	5,68	0,109	3,79	2,85
15,00	39,00	10,15	0,01	39,00	2,53	5,85	0,104	4,06	2,85
15,00	40,00	9,98	0,01	40,00	3,22	6,02	0,100	4,34	2,85
16,00	30,00	16,83	3.104,25	30,00	1,00	0,17	0,160	1,67	2,94
16,00	31,00	16,04	2.939,84	31,00	1,00	0,96	0,151	1,91	2,93
16,00	32,00	15,25	2.709,58	32,00	1,00	1,75	0,143	2,16	2,93
16,00	33,00	14,44	2.403,75	33,00	1,00	2,56	0,136	2,40	2,92
16,00	34,00	13,62	2.011,02	34,00	1,00	3,38	0,130	2,65	2,90
16,00	35,00	12,77	1.518,02	35,00	1,00	4,23	0,124	2,89	2,89
16,00	36,00	11,89	908,71	36,00	1,00	5,11	0,119	3,13	2,87
16,00	37,00	10,96	163,43	37,00	1,00	6,04	0,114	3,37	2,86
16,00	38,00	10,63	0,00	38,00	1,50	6,37	0,109	3,62	2,85
16,00	39,00	10,45	0,01	39,00	2,15	6,55	0,104	3,88	2,85
16,00	40,00	10,28	0,01	40,00	2,81	6,72	0,100	4,13	2,85

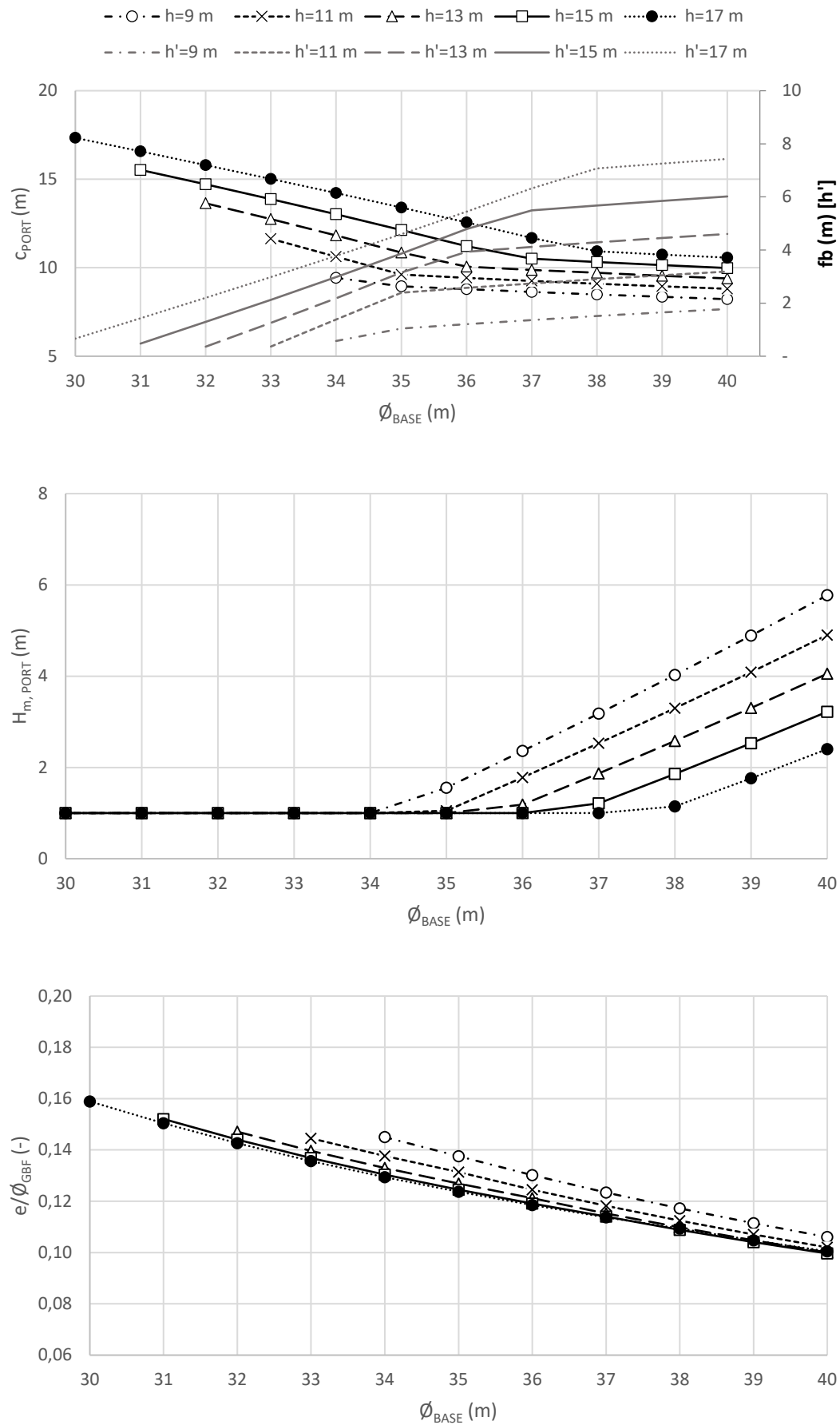


Figura 6: $S_{13} - H_{m, PORT} \geq 1$ m

A3.4. S₁₄

Base cilíndrica con rigidizadores

**GBF + WTG, Autoestable en transporte,
fondeo mediante embarcación auxiliar**

$S_{14} - C_{PORT} = 11,5 \text{ m (NO HAY SOLUCIÓN - } R_3/R_4/R_5)$

S_{14}		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	C_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$H_{m,port}$	fb	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
9,00	30,00	11,50	947,92	12,99	- 9,74	- 1,50	0,185	1,68	2,81
9,00	31,00	11,50	1.263,53	13,99	- 8,38	- 1,50	0,174	2,02	2,82
9,00	32,00	11,50	1.411,29	14,99	- 7,08	- 1,50	0,163	2,40	2,84
9,00	33,00	11,50	1.560,76	15,99	- 5,86	- 1,50	0,153	2,79	2,85
9,00	34,00	11,50	1.715,46	16,99	- 4,71	- 1,50	0,144	3,19	2,86
9,00	35,00	11,50	1.875,39	17,99	- 3,62	- 1,50	0,136	3,60	2,87
9,00	36,00	11,50	2.040,55	18,99	- 2,59	- 1,50	0,129	4,03	2,88
9,00	37,00	11,50	2.210,94	19,99	- 1,60	- 1,50	0,122	4,45	2,88
9,00	38,00	11,50	2.386,57	20,99	- 0,66	- 1,50	0,115	4,89	2,89
9,00	39,00	11,50	2.567,43	21,99	- 0,25	- 1,50	0,110	5,32	2,90
9,00	40,00	11,50	2.753,52	22,99	1,13	- 1,50	0,104	5,76	2,90
10,00	30,00	11,50	394,23	24,33	- 10,68	- 0,50	0,180	1,70	2,82
10,00	31,00	11,50	667,51	25,33	- 9,27	- 0,50	0,169	2,03	2,83
10,00	32,00	11,50	953,16	26,33	- 7,95	- 0,50	0,159	2,38	2,84
10,00	33,00	11,50	1.173,78	27,33	- 6,71	- 0,50	0,150	2,74	2,85
10,00	34,00	11,50	1.292,73	28,33	- 5,52	- 0,50	0,141	3,12	2,85
10,00	35,00	11,50	1.415,30	29,33	- 4,39	- 0,50	0,133	3,51	2,86
10,00	36,00	11,50	1.541,49	30,33	- 3,32	- 0,50	0,126	3,90	2,87
10,00	37,00	11,50	1.671,30	31,33	- 2,30	- 0,50	0,119	4,30	2,88
10,00	38,00	11,50	1.804,73	32,33	- 1,31	- 0,50	0,113	4,70	2,88
10,00	39,00	11,50	1.941,78	33,33	- 0,36	- 0,50	0,108	5,10	2,89
10,00	40,00	11,50	2.082,45	34,33	- 0,55	- 0,50	0,102	5,51	2,89
11,00	30,00	11,50	- 168,71	30,00		0,50	0,176	1,70	2,83
11,00	31,00	11,50	70,82	31,00	- 10,36	0,50	0,165	2,02	2,84
11,00	32,00	11,50	321,93	32,00	- 8,97	0,50	0,156	2,35	2,84
11,00	33,00	11,50	584,60	33,00	- 7,67	0,50	0,147	2,69	2,85
11,00	34,00	11,50	858,85	34,00	- 6,45	0,50	0,139	3,04	2,85
11,00	35,00	11,50	996,99	35,00	- 5,28	0,50	0,131	3,40	2,86
11,00	36,00	11,50	1.096,83	36,00	- 4,16	0,50	0,124	3,77	2,86
11,00	37,00	11,50	1.199,49	37,00	- 3,09	0,50	0,118	4,14	2,87
11,00	38,00	11,50	1.304,96	38,00	- 2,07	0,50	0,112	4,51	2,88
11,00	39,00	11,50	1.413,24	39,00	- 1,08	0,50	0,106	4,88	2,88
11,00	40,00	11,50	1.524,33	40,00	- 0,12	0,50	0,101	5,26	2,89
12,00	30,00	11,50	- 432,98	30,00		1,50	0,173	1,70	2,83
12,00	31,00	11,50	- 204,87	31,00		1,50	0,162	2,00	2,84
12,00	32,00	11,50	34,81	32,00	- 9,42	1,50	0,153	2,31	2,85
12,00	33,00	11,50	286,05	33,00	- 8,11	1,50	0,144	2,64	2,85
12,00	34,00	11,50	548,87	34,00	- 6,88	1,50	0,136	2,96	2,85
12,00	35,00	11,50	823,26	35,00	- 5,71	1,50	0,129	3,29	2,86
12,00	36,00	11,50	1.096,83	36,00	- 4,60	1,50	0,123	3,63	2,86
12,00	37,00	11,50	1.199,49	37,00	- 3,52	1,50	0,116	3,97	2,86
12,00	38,00	11,50	1.304,96	38,00	- 2,49	1,50	0,110	4,32	2,87
12,00	39,00	11,50	1.413,24	39,00	- 1,49	1,50	0,105	4,67	2,87
12,00	40,00	11,50	1.524,33	40,00	- 0,52	1,50	0,100	5,01	2,88
13,00	30,00	11,50	- 697,24	30,00		2,50	0,170	1,68	2,84
13,00	31,00	11,50	- 480,57	31,00		2,50	0,160	1,97	2,84
13,00	32,00	11,50	- 252,32	32,00		2,50	0,151	2,26	2,85
13,00	33,00	11,50	- 12,49	33,00		2,50	0,142	2,57	2,86
13,00	34,00	11,50	238,90	34,00	- 7,34	2,50	0,135	2,88	2,86
13,00	35,00	11,50	501,86	35,00	- 6,16	2,50	0,128	3,19	2,86
13,00	36,00	11,50	776,40	36,00	- 5,04	2,50	0,121	3,50	2,86
13,00	37,00	11,50	1.062,50	37,00	- 3,97	2,50	0,115	3,81	2,86
13,00	38,00	11,50	1.304,96	38,00	- 2,94	2,50	0,110	4,13	2,86
13,00	39,00	11,50	1.413,24	39,00	- 1,93	2,50	0,105	4,45	2,86
13,00	40,00	11,50	1.524,33	40,00	- 0,96	2,50	0,100	4,78	2,87

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₄		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
14,00	30,00	11,50	- 961,51	30,00		3,50	0,168	1,65	2,84
14,00	31,00	11,50	- 756,26	31,00		3,50	0,158	1,93	2,85
14,00	32,00	11,50	- 539,44	32,00		3,50	0,149	2,21	2,85
14,00	33,00	11,50	- 311,04	33,00		3,50	0,141	2,50	2,86
14,00	34,00	11,50	- 71,08	34,00		3,50	0,133	2,78	2,86
14,00	35,00	11,50	180,46	35,00	- 6,65	3,50	0,126	3,07	2,86
14,00	36,00	11,50	443,56	36,00	- 5,51	3,50	0,120	3,37	2,86
14,00	37,00	11,50	718,24	37,00	- 4,43	3,50	0,114	3,66	2,86
14,00	38,00	11,50	1.004,49	38,00	- 3,39	3,50	0,109	3,96	2,86
14,00	39,00	11,50	1.302,31	39,00	- 2,39	3,50	0,104	4,25	2,86
14,00	40,00	11,50	1.524,33	40,00	- 1,42	3,50	0,100	4,55	2,86
15,00	30,00	11,50	- 1.225,78	30,00		4,50	0,166	1,62	2,84
15,00	31,00	11,50	- 1.031,96	31,00		4,50	0,156	1,88	2,85
15,00	32,00	11,50	- 826,56	32,00		4,50	0,148	2,15	2,85
15,00	33,00	11,50	- 609,59	33,00		4,50	0,140	2,42	2,86
15,00	34,00	11,50	- 381,06	34,00		4,50	0,132	2,69	2,86
15,00	35,00	11,50	- 140,95	35,00		4,50	0,126	2,96	2,86
15,00	36,00	11,50	110,73	36,00	- 6,02	4,50	0,120	3,24	2,86
15,00	37,00	11,50	373,98	37,00	- 4,93	4,50	0,114	3,51	2,86
15,00	38,00	11,50	648,81	38,00	- 3,88	4,50	0,109	3,79	2,85
15,00	39,00	11,50	935,20	39,00	- 2,87	4,50	0,104	4,06	2,85
15,00	40,00	11,50	1.233,16	40,00	- 1,89	4,50	0,100	4,34	2,85
16,00	30,00	11,50	- 1.490,05	30,00		5,50	0,165	1,58	2,84
16,00	31,00	11,50	- 1.307,65	31,00		5,50	0,155	1,83	2,85
16,00	32,00	11,50	- 1.113,69	32,00		5,50	0,147	2,08	2,85
16,00	33,00	11,50	- 908,15	33,00		5,50	0,139	2,33	2,86
16,00	34,00	11,50	- 691,04	34,00		5,50	0,132	2,59	2,86
16,00	35,00	11,50	- 462,35	35,00		5,50	0,125	2,85	2,86
16,00	36,00	11,50	- 222,10	36,00		5,50	0,119	3,10	2,85
16,00	37,00	11,50	29,72	37,00	- 5,46	5,50	0,114	3,36	2,85
16,00	38,00	11,50	293,12	38,00	- 4,39	5,50	0,109	3,62	2,85
16,00	39,00	11,50	568,09	39,00	- 3,37	5,50	0,104	3,88	2,85
16,00	40,00	11,50	854,62	40,00	- 2,39	5,50	0,100	4,13	2,85
17,00	30,00	11,50	- 1.754,32	30,00		6,50	0,164	1,54	2,84
17,00	31,00	11,50	- 1.583,35	31,00		6,50	0,155	1,77	2,85
17,00	32,00	11,50	- 1.400,81	32,00		6,50	0,146	2,01	2,85
17,00	33,00	11,50	- 1.206,70	33,00		6,50	0,139	2,25	2,85
17,00	34,00	11,50	- 1.001,02	34,00		6,50	0,132	2,49	2,85
17,00	35,00	11,50	- 783,76	35,00		6,50	0,125	2,73	2,85
17,00	36,00	11,50	- 554,94	36,00		6,50	0,120	2,97	2,85
17,00	37,00	11,50	- 314,54	37,00		6,50	0,114	3,21	2,85
17,00	38,00	11,50	- 62,57	38,00		6,50	0,109	3,46	2,85
17,00	39,00	11,50	200,97	39,00	- 3,91	6,50	0,105	3,70	2,85
17,00	40,00	11,50	476,08	40,00	- 2,92	6,50	0,100	3,94	2,84

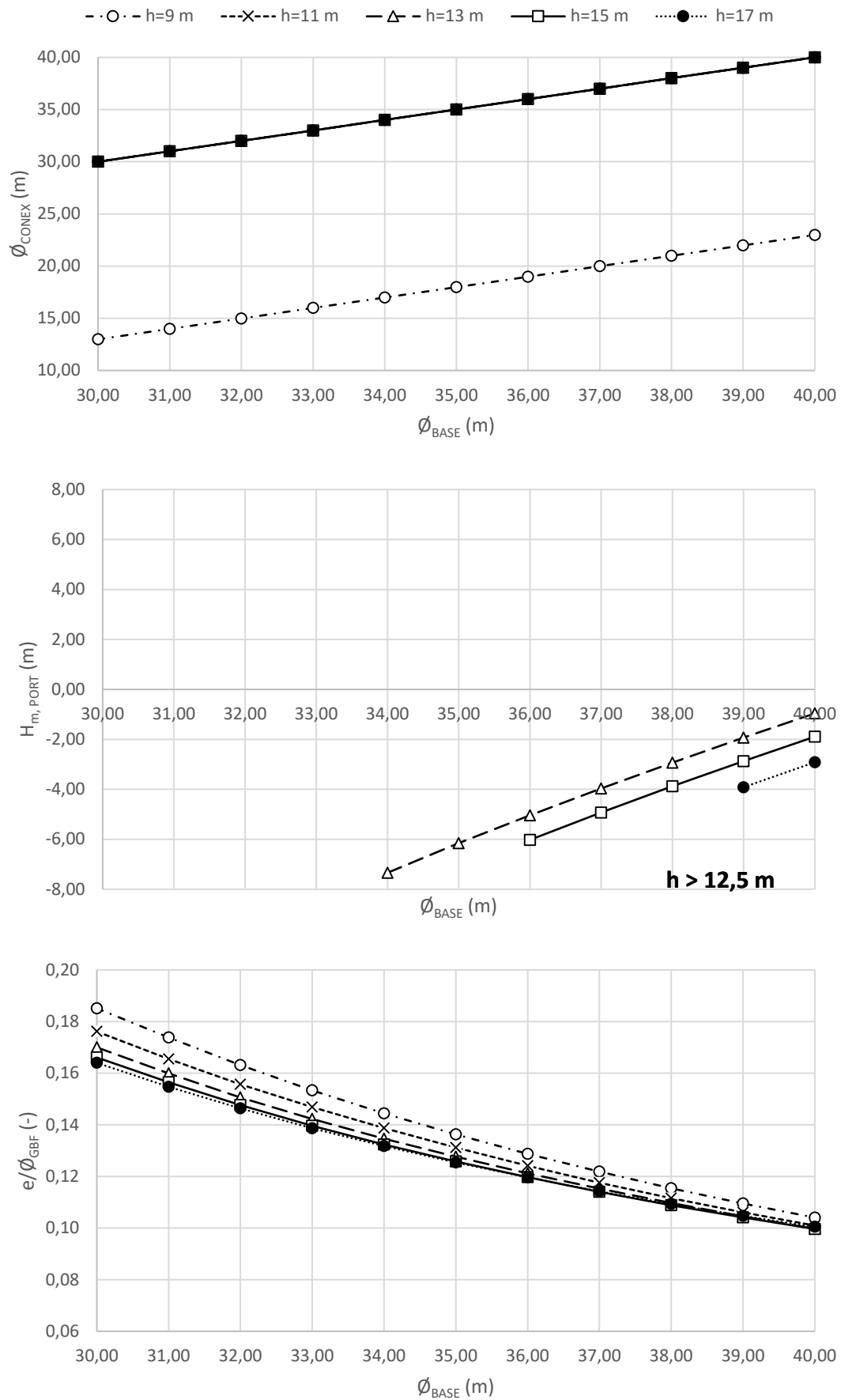


Figura 7: $S_{14} - C_{PORT} = 11,5$ m

A3.5. S₁₅

Base cilíndrica con rigidizadores

**Mástil metálico, autoestable en
transporte, fondeo mediante
embarcación auxiliar**

$S_{15} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{15}		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	ϕ_{BASE}	c_{port}	F	ϕ_{conex}	$H_{m,port}$	fb	e/ϕ_{GBF}	FS_1	FS_2
9,00	30,00	11,50	1.823,81	12,99	- 0,77	- 1,50	0,181	1,76	2,87
9,00	31,00	11,50	2.063,76	13,99	- 0,54	- 1,50	0,170	2,13	2,89
9,00	32,00	11,50	2.315,29	14,99	- 0,33	- 1,50	0,159	2,51	2,91
9,00	33,00	11,50	2.578,38	15,99	- 0,12	- 1,50	0,150	2,90	2,92
9,00	34,00	11,50	2.853,05	16,99	0,08	- 1,50	0,141	3,31	2,93
9,00	35,00	11,50	3.139,29	17,99	0,28	- 1,50	0,133	3,72	2,94
9,00	36,00	11,50	3.437,10	18,99	0,48	- 1,50	0,126	4,14	2,95
9,00	37,00	11,50	3.746,48	19,99	0,67	- 1,50	0,119	4,57	2,95
9,00	38,00	11,50	4.067,43	20,99	0,87	- 1,50	0,113	5,01	2,96
9,00	39,00	11,50	4.399,95	21,99	1,06	- 1,50	0,107	5,44	2,97
9,00	40,00	11,50	4.744,04	22,99	1,26	- 1,50	0,102	5,88	2,97
10,00	30,00	11,50	1.975,09	24,33	1,27	- 0,50	0,176	1,79	2,89
10,00	31,00	11,50	2.221,92	25,33	1,65	- 0,50	0,165	2,13	2,90
10,00	32,00	11,50	2.480,31	26,33	2,02	- 0,50	0,155	2,49	2,92
10,00	33,00	11,50	2.750,28	27,33	2,39	- 0,50	0,146	2,87	2,93
10,00	34,00	11,50	3.031,82	28,33	2,75	- 0,50	0,137	3,25	2,94
10,00	35,00	11,50	3.324,92	29,33	3,12	- 0,50	0,130	3,64	2,94
10,00	36,00	11,50	3.629,60	30,33	3,48	- 0,50	0,123	4,03	2,95
10,00	37,00	11,50	3.945,86	31,33	3,85	- 0,50	0,116	4,43	2,96
10,00	38,00	11,50	4.273,68	32,33	4,22	- 0,50	0,110	4,83	2,96
10,00	39,00	11,50	4.613,07	33,33	4,60	- 0,50	0,105	5,23	2,97
10,00	40,00	11,50	4.964,03	34,33	4,98	- 0,50	0,100	5,64	2,97
11,00	30,00	11,50	1.754,15	30,00	3,66	0,50	0,173	1,77	2,88
11,00	31,00	11,50	1.991,84	31,00	4,16	0,50	0,162	2,10	2,90
11,00	32,00	11,50	2.241,09	32,00	4,65	0,50	0,152	2,45	2,91
11,00	33,00	11,50	2.501,92	33,00	5,14	0,50	0,143	2,80	2,92
11,00	34,00	11,50	2.774,32	34,00	5,63	0,50	0,135	3,16	2,93
11,00	35,00	11,50	3.058,29	35,00	6,12	0,50	0,128	3,52	2,94
11,00	36,00	11,50	3.353,83	36,00	6,61	0,50	0,121	3,89	2,94
11,00	37,00	11,50	3.660,94	37,00	7,10	0,50	0,114	4,26	2,95
11,00	38,00	11,50	3.979,62	38,00	7,59	0,50	0,109	4,63	2,95
11,00	39,00	11,50	4.309,87	39,00	8,09	0,50	0,103	5,00	2,96
11,00	40,00	11,50	4.651,70	40,00	8,59	0,50	0,098	5,38	2,96
12,00	30,00	11,50	1.468,92	30,00	3,20	1,50	0,170	1,75	2,88
12,00	31,00	11,50	1.695,18	31,00	3,71	1,50	0,160	2,06	2,89
12,00	32,00	11,50	1.933,01	32,00	4,21	1,50	0,150	2,39	2,90
12,00	33,00	11,50	2.182,41	33,00	4,71	1,50	0,141	2,72	2,91
12,00	34,00	11,50	2.443,38	34,00	5,21	1,50	0,133	3,05	2,92
12,00	35,00	11,50	2.715,92	35,00	5,70	1,50	0,126	3,39	2,93
12,00	36,00	11,50	3.000,03	36,00	6,20	1,50	0,119	3,73	2,93
12,00	37,00	11,50	3.295,72	37,00	6,70	1,50	0,113	4,08	2,94
12,00	38,00	11,50	3.602,97	38,00	7,20	1,50	0,108	4,43	2,94
12,00	39,00	11,50	3.921,80	39,00	7,70	1,50	0,102	4,77	2,95
12,00	40,00	11,50	4.252,19	40,00	8,21	1,50	0,098	5,12	2,95
13,00	30,00	11,50	1.183,69	30,00	2,71	2,50	0,168	1,71	2,87
13,00	31,00	11,50	1.398,52	31,00	3,22	2,50	0,158	2,01	2,88
13,00	32,00	11,50	1.624,92	32,00	3,74	2,50	0,148	2,32	2,89
13,00	33,00	11,50	1.862,89	33,00	4,24	2,50	0,140	2,63	2,90
13,00	34,00	11,50	2.112,44	34,00	4,75	2,50	0,132	2,95	2,91
13,00	35,00	11,50	2.373,55	35,00	5,25	2,50	0,125	3,26	2,91
13,00	36,00	11,50	2.646,24	36,00	5,76	2,50	0,119	3,58	2,92
13,00	37,00	11,50	2.930,49	37,00	6,26	2,50	0,113	3,91	2,92
13,00	38,00	11,50	3.226,32	38,00	6,77	2,50	0,107	4,23	2,93
13,00	39,00	11,50	3.533,72	39,00	7,28	2,50	0,102	4,55	2,93
13,00	40,00	11,50	3.852,69	40,00	7,79	2,50	0,097	4,87	2,94

ANEXO III: Resultados del diseño básico

h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$H_{m,port}$	fb	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
14,00	30,00	11,50	898,45	30,00	2,17	3,50	0,167	1,68	2,86
14,00	31,00	11,50	1.101,86	31,00	2,70	3,50	0,156	1,96	2,87
14,00	32,00	11,50	1.316,83	32,00	3,22	3,50	0,147	2,25	2,88
14,00	33,00	11,50	1.543,38	33,00	3,74	3,50	0,139	2,54	2,89
14,00	34,00	11,50	1.781,49	34,00	4,25	3,50	0,131	2,84	2,90
14,00	35,00	11,50	2.031,18	35,00	4,77	3,50	0,124	3,13	2,90
14,00	36,00	11,50	2.292,44	36,00	5,28	3,50	0,118	3,43	2,91
14,00	37,00	11,50	2.565,27	37,00	5,79	3,50	0,112	3,74	2,91
14,00	38,00	11,50	2.849,67	38,00	6,31	3,50	0,107	4,04	2,92
14,00	39,00	11,50	3.145,64	39,00	6,83	3,50	0,102	4,34	2,92
14,00	40,00	11,50	3.453,19	40,00	7,35	3,50	0,097	4,64	2,92
15,00	30,00	11,50	613,22	30,00	1,59	4,50	0,165	1,63	2,86
15,00	31,00	11,50	805,20	31,00	2,13	4,50	0,156	1,90	2,87
15,00	32,00	11,50	1.008,74	32,00	2,67	4,50	0,147	2,17	2,88
15,00	33,00	11,50	1.223,86	33,00	3,20	4,50	0,138	2,45	2,88
15,00	34,00	11,50	1.450,55	34,00	3,72	4,50	0,131	2,73	2,89
15,00	35,00	11,50	1.688,81	35,00	4,25	4,50	0,124	3,01	2,89
15,00	36,00	11,50	1.938,65	36,00	4,77	4,50	0,118	3,29	2,90
15,00	37,00	11,50	2.200,05	37,00	5,29	4,50	0,112	3,57	2,90
15,00	38,00	11,50	2.473,02	38,00	5,82	4,50	0,107	3,85	2,90
15,00	39,00	11,50	2.757,57	39,00	6,34	4,50	0,102	4,13	2,91
15,00	40,00	11,50	3.053,69	40,00	6,87	4,50	0,098	4,41	2,91
16,00	30,00	11,50	327,99	30,00	0,97	5,50	0,165	1,58	2,85
16,00	31,00	11,50	508,54	31,00	1,53	5,50	0,155	1,83	2,86
16,00	32,00	11,50	700,66	32,00	2,08	5,50	0,146	2,09	2,87
16,00	33,00	11,50	904,35	33,00	2,62	5,50	0,138	2,35	2,87
16,00	34,00	11,50	1.119,61	34,00	3,16	5,50	0,131	2,62	2,88
16,00	35,00	11,50	1.346,45	35,00	3,69	5,50	0,124	2,88	2,88
16,00	36,00	11,50	1.584,85	36,00	4,23	5,50	0,118	3,14	2,88
16,00	37,00	11,50	1.834,83	37,00	4,76	5,50	0,113	3,40	2,89
16,00	38,00	11,50	2.096,37	38,00	5,29	5,50	0,108	3,67	2,89
16,00	39,00	11,50	2.369,49	39,00	5,83	5,50	0,103	3,93	2,89
16,00	40,00	11,50	2.654,18	40,00	6,37	5,50	0,098	4,19	2,89

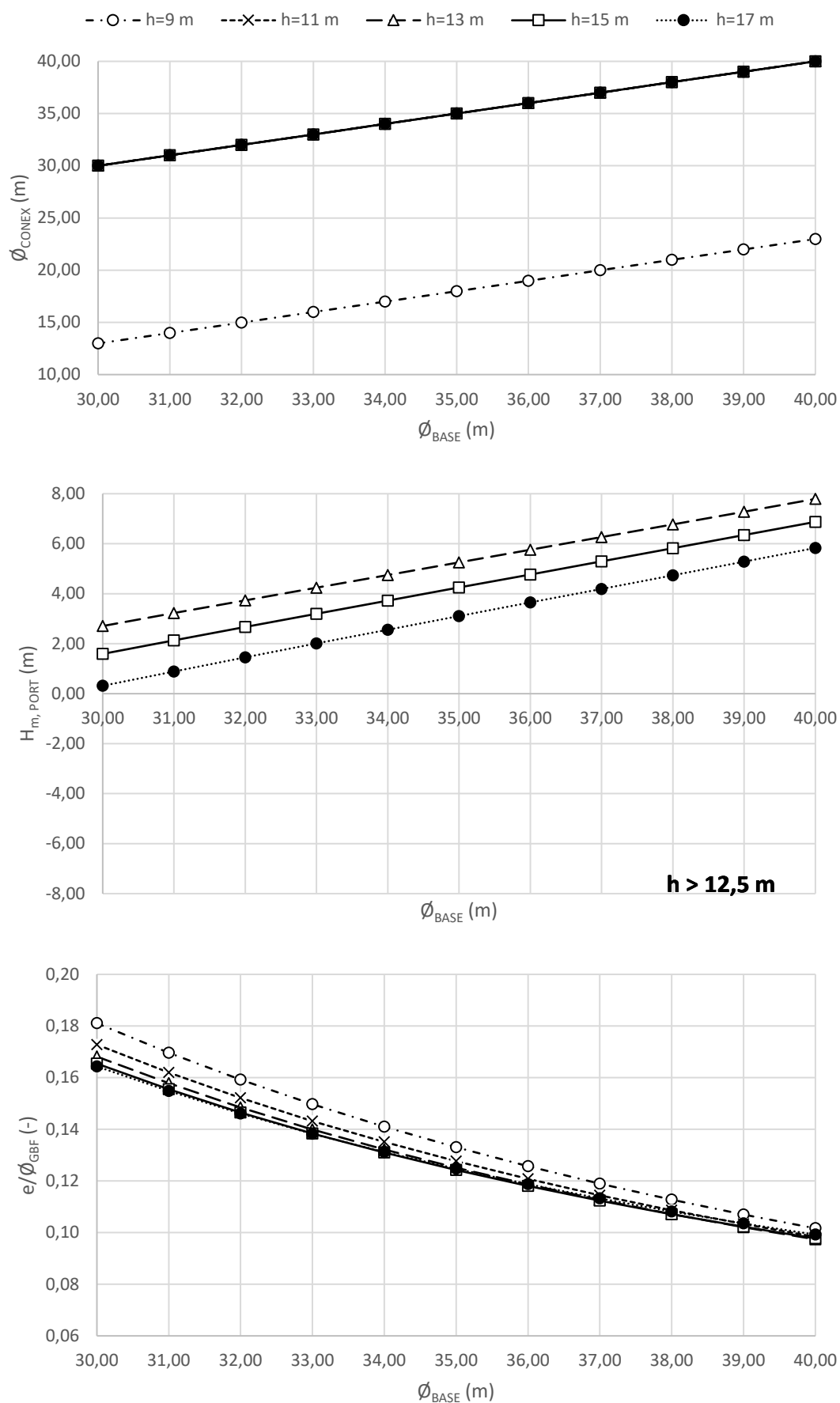


Figura 8: $S_{15} - C_{PORT} = 11,5\text{ m}$

$$S_{15} - H_{m,PORT} \geq 1m$$

S ₁₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m, port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	10,50	1.533,50	24,35	1,00	- 0,50	0,182	1,75	2,86
9,00	31,00	10,61	1.795,60	24,13	1,00	- 0,61	0,170	2,11	2,88
9,00	32,00	10,71	2.071,77	23,89	1,00	- 0,71	0,160	2,49	2,90
9,00	33,00	10,83	2.362,19	23,64	1,00	- 0,83	0,150	2,89	2,91
9,00	34,00	10,94	2.667,06	23,36	1,00	- 0,94	0,141	3,30	2,92
9,00	35,00	11,05	2.986,56	23,06	1,00	- 1,05	0,133	3,71	2,93
9,00	36,00	11,17	3.320,88	22,73	1,00	- 1,17	0,126	4,14	2,94
9,00	37,00	11,29	3.670,24	22,37	1,00	- 1,29	0,119	4,57	2,95
9,00	38,00	11,41	4.034,84	21,98	1,00	- 1,41	0,113	5,01	2,96
9,00	39,00	11,50	4.399,95	21,99	1,06	- 1,50	0,107	5,44	2,97
9,00	40,00	11,50	4.744,04	22,99	1,26	- 1,50	0,102	5,88	2,97
10,00	30,00	11,50	1.975,09	24,33	1,27	- 0,50	0,176	1,79	2,89
10,00	31,00	11,50	2.221,92	25,33	1,65	- 0,50	0,165	2,13	2,90
10,00	32,00	11,50	2.480,31	26,33	2,02	- 0,50	0,155	2,49	2,92
10,00	33,00	11,50	2.750,28	27,33	2,39	- 0,50	0,146	2,87	2,93
10,00	34,00	11,50	3.031,82	28,33	2,75	- 0,50	0,137	3,25	2,94
10,00	35,00	11,50	3.324,92	29,33	3,12	- 0,50	0,130	3,64	2,94
10,00	36,00	11,50	3.629,60	30,33	3,48	- 0,50	0,123	4,03	2,95
10,00	37,00	11,50	3.945,86	31,33	3,85	- 0,50	0,116	4,43	2,96
10,00	38,00	11,50	4.273,68	32,33	4,22	- 0,50	0,110	4,83	2,96
10,00	39,00	11,50	4.613,07	33,33	4,60	- 0,50	0,105	5,23	2,97
10,00	40,00	11,50	4.964,03	34,33	4,98	- 0,50	0,100	5,64	2,97
11,00	30,00	9,09	1,30	30,00	2,34	2,91	0,177	1,69	2,82
11,00	31,00	8,93	0,01	31,00	2,90	3,07	0,166	2,01	2,83
11,00	32,00	8,79	0,25	32,00	3,48	3,21	0,156	2,34	2,84
11,00	33,00	8,66	2,94	33,00	4,09	3,34	0,147	2,68	2,84
11,00	34,00	8,53	3,01	34,00	4,71	3,47	0,139	3,03	2,84
11,00	35,00	8,41	0,59	35,00	5,36	3,59	0,132	3,38	2,85
11,00	36,00	8,30	4,01	36,00	6,03	3,70	0,125	3,74	2,85
11,00	37,00	8,19	8,97	37,00	6,72	3,81	0,118	4,10	2,85
11,00	38,00	8,73	749,58	38,00	7,42	3,27	0,112	4,50	2,87
11,00	39,00	10,00	2.472,04	39,00	8,04	2,00	0,105	4,93	2,91
11,00	40,00	11,13	4.178,69	40,00	8,59	0,87	0,099	5,36	2,95
12,00	30,00	9,48	0,08	30,00	1,99	3,52	0,173	1,69	2,83
12,00	31,00	9,31	0,22	31,00	2,52	3,69	0,163	1,99	2,83
12,00	32,00	9,16	0,43	32,00	3,07	3,84	0,153	2,30	2,84
12,00	33,00	9,02	0,05	33,00	3,64	3,98	0,145	2,63	2,85
12,00	34,00	8,88	0,77	34,00	4,23	4,12	0,137	2,95	2,85
12,00	35,00	8,75	0,07	35,00	4,85	4,25	0,130	3,28	2,85
12,00	36,00	8,63	0,67	36,00	5,48	4,37	0,123	3,62	2,85
12,00	37,00	8,52	2,27	37,00	6,14	4,48	0,117	3,96	2,85
12,00	38,00	8,41	8,23	38,00	6,83	4,59	0,111	4,30	2,85
12,00	39,00	8,73	527,12	39,00	7,53	4,27	0,105	4,65	2,86
12,00	40,00	10,03	2.354,51	40,00	8,16	2,97	0,099	5,06	2,91
13,00	30,00	9,87	0,75	30,00	1,64	4,13	0,170	1,67	2,83
13,00	31,00	9,70	0,01	31,00	2,13	4,30	0,160	1,96	2,84
13,00	32,00	9,54	3,27	32,00	2,66	4,46	0,151	2,26	2,84
13,00	33,00	9,38	0,03	33,00	3,20	4,62	0,143	2,56	2,85
13,00	34,00	9,24	0,48	34,00	3,76	4,76	0,135	2,87	2,85
13,00	35,00	9,10	0,85	35,00	4,35	4,90	0,128	3,18	2,85
13,00	36,00	8,97	0,09	36,00	4,96	5,03	0,121	3,49	2,85
13,00	37,00	8,85	0,01	37,00	5,59	5,15	0,115	3,81	2,85
13,00	38,00	8,73	0,08	38,00	6,24	5,27	0,110	4,12	2,85
13,00	39,00	8,63	9,81	39,00	6,92	5,37	0,105	4,44	2,85
13,00	40,00	8,71	256,92	40,00	7,62	5,29	0,100	4,76	2,86

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₁₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
14,00	30,00	10,26	0,20	30,00	1,29	4,74	0,168	1,64	2,83
14,00	31,00	10,08	0,00	31,00	1,76	4,92	0,158	1,92	2,84
14,00	32,00	9,91	0,17	32,00	2,25	5,09	0,149	2,20	2,85
14,00	33,00	9,74	0,00	33,00	2,77	5,26	0,141	2,49	2,85
14,00	34,00	9,59	1,35	34,00	3,30	5,41	0,134	2,78	2,85
14,00	35,00	9,44	0,01	35,00	3,86	5,56	0,127	3,07	2,85
14,00	36,00	9,31	0,44	36,00	4,44	5,69	0,120	3,36	2,85
14,00	37,00	9,18	0,51	37,00	5,05	5,82	0,115	3,65	2,85
14,00	38,00	9,07	24,45	38,00	5,68	5,93	0,109	3,95	2,85
14,00	39,00	8,94	1,97	39,00	6,32	6,06	0,104	4,25	2,85
14,00	40,00	8,83	5,23	40,00	7,00	6,17	0,100	4,54	2,85
15,00	30,00	10,73	51,06	30,00	1,00	5,27	0,166	1,61	2,84
15,00	31,00	10,46	0,35	31,00	1,39	5,54	0,157	1,87	2,84
15,00	32,00	10,28	0,17	32,00	1,86	5,72	0,148	2,14	2,85
15,00	33,00	10,11	0,72	33,00	2,34	5,89	0,140	2,41	2,85
15,00	34,00	9,94	0,05	34,00	2,85	6,06	0,133	2,68	2,85
15,00	35,00	9,79	0,05	35,00	3,39	6,21	0,126	2,95	2,85
15,00	36,00	9,65	0,09	36,00	3,94	6,35	0,120	3,23	2,85
15,00	37,00	9,51	0,80	37,00	4,52	6,49	0,114	3,50	2,85
15,00	38,00	9,38	0,79	38,00	5,12	6,62	0,109	3,78	2,85
15,00	39,00	9,25	2,49	39,00	5,75	6,75	0,104	4,06	2,85
15,00	40,00	9,14	3,51	40,00	6,39	6,86	0,100	4,33	2,85
16,00	30,00	11,50	327,99	30,00	0,97	5,50	0,165	1,58	2,85
16,00	31,00	10,84	0,00	31,00	1,02	6,16	0,156	1,82	2,84
16,00	32,00	10,65	0,00	32,00	1,47	6,35	0,147	2,07	2,85
16,00	33,00	10,47	0,08	33,00	1,93	6,53	0,139	2,33	2,85
16,00	34,00	10,30	0,42	34,00	2,41	6,70	0,132	2,58	2,85
16,00	35,00	10,14	0,12	35,00	2,92	6,86	0,126	2,84	2,85
16,00	36,00	9,98	0,04	36,00	3,45	7,02	0,120	3,10	2,85
16,00	37,00	9,84	1,73	37,00	4,01	7,16	0,114	3,36	2,85
16,00	38,00	9,70	3,36	38,00	4,58	7,30	0,109	3,61	2,85
16,00	39,00	9,57	4,30	39,00	5,18	7,43	0,104	3,87	2,85
16,00	40,00	9,45	9,54	40,00	5,81	7,55	0,100	4,13	2,84

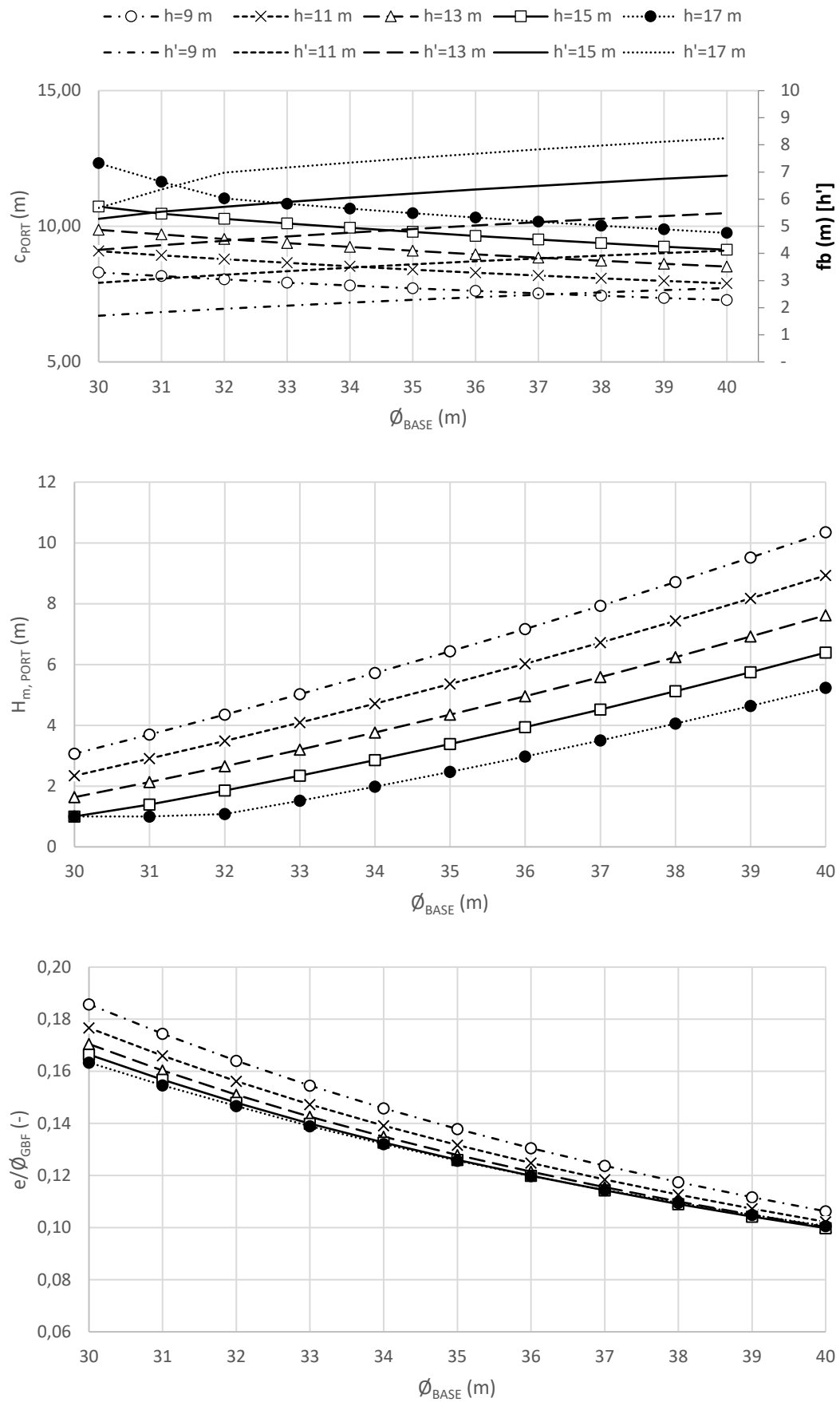


Figura 9: $S_{15} - H_{m, PORT} \geq 1$ m

A3.6. S₂₁

Base cilíndrica con celdas

**Lastre de Alta Densidad, instalación
mediante embarcación auxiliar**

$S_{21} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{21}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
9,00	30,00	11,50	- 1.857,04	30,00	0,144	2,65	3,65
9,00	31,00	11,50	- 1.835,60	31,00	0,136	3,04	3,66
9,00	32,00	11,50	- 1.812,49	32,00	0,128	3,44	3,66
9,00	33,00	11,50	- 1.787,72	33,00	0,121	3,85	3,66
9,00	34,00	11,50	- 1.761,28	34,00	0,114	4,28	3,67
9,00	35,00	11,50	- 1.733,18	35,00	0,108	4,72	3,67
9,00	36,00	11,50	- 1.703,41	36,00	0,103	5,16	3,67
9,00	37,00	11,50	- 1.671,97	37,00	0,097	5,61	3,67
9,00	38,00	11,50	- 1.638,87	38,00	0,093	6,07	3,68
9,00	39,00	11,50	- 1.604,11	39,00	0,088	6,54	3,68
9,00	40,00	11,50	- 1.567,67	40,00	0,084	7,01	3,68
10,00	30,00	11,50	- 2.436,88	30,00	0,141	2,61	3,64
10,00	31,00	11,50	- 2.454,13	31,00	0,133	2,97	3,64
10,00	32,00	11,50	- 2.470,88	32,00	0,125	3,35	3,65
10,00	33,00	11,50	- 2.487,14	33,00	0,118	3,74	3,65
10,00	34,00	11,50	- 2.502,92	34,00	0,112	4,14	3,65
10,00	35,00	11,50	- 2.518,21	35,00	0,106	4,55	3,65
10,00	36,00	11,50	- 2.533,01	36,00	0,101	4,96	3,65
10,00	37,00	11,50	- 2.547,33	37,00	0,095	5,38	3,66
10,00	38,00	11,50	- 2.561,15	38,00	0,091	5,81	3,66
10,00	39,00	11,50	- 2.574,49	39,00	0,086	6,24	3,66
10,00	40,00	11,50	- 2.587,34	40,00	0,082	6,67	3,66
11,00	30,00	11,50	- 3.016,73	30,00	0,138	2,56	3,63
11,00	31,00	11,50	- 3.072,65	31,00	0,130	2,90	3,63
11,00	32,00	11,50	- 3.129,26	32,00	0,123	3,26	3,63
11,00	33,00	11,50	- 3.186,57	33,00	0,116	3,62	3,63
11,00	34,00	11,50	- 3.244,56	34,00	0,110	4,00	3,63
11,00	35,00	11,50	- 3.303,24	35,00	0,104	4,38	3,64
11,00	36,00	11,50	- 3.362,62	36,00	0,099	4,77	3,64
11,00	37,00	11,50	- 3.422,68	37,00	0,094	5,16	3,64
11,00	38,00	11,50	- 3.483,43	38,00	0,089	5,55	3,64
11,00	39,00	11,50	- 3.544,88	39,00	0,085	5,95	3,64
11,00	40,00	11,50	- 3.607,01	40,00	0,081	6,35	3,64
12,00	30,00	11,50	- 3.596,58	30,00	0,136	2,49	3,62
12,00	31,00	11,50	- 3.691,18	31,00	0,128	2,82	3,62
12,00	32,00	11,50	- 3.787,65	32,00	0,121	3,16	3,62
12,00	33,00	11,50	- 3.885,99	33,00	0,115	3,50	3,62
12,00	34,00	11,50	- 3.986,20	34,00	0,108	3,86	3,62
12,00	35,00	11,50	- 4.088,28	35,00	0,103	4,21	3,62
12,00	36,00	11,50	- 4.192,22	36,00	0,098	4,57	3,62
12,00	37,00	11,50	- 4.298,03	37,00	0,093	4,94	3,62
12,00	38,00	11,50	- 4.405,72	38,00	0,088	5,30	3,62
12,00	39,00	11,50	- 4.515,27	39,00	0,084	5,67	3,62
12,00	40,00	11,50	- 4.626,68	40,00	0,080	6,04	3,62

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₂₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	11,50	- 4.176,43	30,00	0,135	2,43	3,60
13,00	31,00	11,50	- 4.309,71	31,00	0,127	2,74	3,60
13,00	32,00	11,50	- 4.446,04	32,00	0,120	3,06	3,60
13,00	33,00	11,50	- 4.585,42	33,00	0,113	3,38	3,60
13,00	34,00	11,50	- 4.727,84	34,00	0,107	3,71	3,60
13,00	35,00	11,50	- 4.873,31	35,00	0,102	4,05	3,60
13,00	36,00	11,50	- 5.021,83	36,00	0,097	4,38	3,60
13,00	37,00	11,50	- 5.173,39	37,00	0,092	4,72	3,60
13,00	38,00	11,50	- 5.328,00	38,00	0,088	5,07	3,60
13,00	39,00	11,50	- 5.485,65	39,00	0,084	5,41	3,60
13,00	40,00	11,50	- 5.646,36	40,00	0,080	5,75	3,60
14,00	30,00	11,50	- 4.756,28	30,00	0,133	2,36	3,59
14,00	31,00	11,50	- 4.928,24	31,00	0,126	2,65	3,59
14,00	32,00	11,50	- 5.104,43	32,00	0,119	2,95	3,59
14,00	33,00	11,50	- 5.284,84	33,00	0,112	3,26	3,59
14,00	34,00	11,50	- 5.469,48	34,00	0,107	3,57	3,59
14,00	35,00	11,50	- 5.658,35	35,00	0,101	3,88	3,59
14,00	36,00	11,50	- 5.851,43	36,00	0,096	4,20	3,59
14,00	37,00	11,50	- 6.048,74	37,00	0,092	4,52	3,59
14,00	38,00	11,50	- 6.250,28	38,00	0,087	4,84	3,58
14,00	39,00	11,50	- 6.456,04	39,00	0,083	5,16	3,58
14,00	40,00	11,50	- 6.666,03	40,00	0,080	5,48	3,58
15,00	30,00	11,50	- 5.336,13	30,00	0,132	2,29	3,58
15,00	31,00	11,50	- 5.546,77	31,00	0,125	2,57	3,58
15,00	32,00	11,50	- 5.762,82	32,00	0,118	2,85	3,57
15,00	33,00	11,50	- 5.984,27	33,00	0,112	3,14	3,57
15,00	34,00	11,50	- 6.211,13	34,00	0,106	3,43	3,57
15,00	35,00	11,50	- 6.443,38	35,00	0,101	3,73	3,57
15,00	36,00	11,50	- 6.681,04	36,00	0,096	4,02	3,57
15,00	37,00	11,50	- 6.924,10	37,00	0,091	4,32	3,57
15,00	38,00	11,50	- 7.172,57	38,00	0,087	4,62	3,57
15,00	39,00	11,50	- 7.426,43	39,00	0,083	4,92	3,57
15,00	40,00	11,50	- 7.685,70	40,00	0,080	5,21	3,56
16,00	30,00	11,50	- 5.915,98	30,00	0,132	2,22	3,56
16,00	31,00	11,50	- 6.165,31	31,00	0,125	2,48	3,56
16,00	32,00	11,50	- 6.421,21	32,00	0,118	2,75	3,56
16,00	33,00	11,50	- 6.683,70	33,00	0,112	3,02	3,56
16,00	34,00	11,50	- 6.952,77	34,00	0,106	3,29	3,56
16,00	35,00	11,50	- 7.228,42	35,00	0,101	3,57	3,55
16,00	36,00	11,50	- 7.510,65	36,00	0,096	3,85	3,55
16,00	37,00	11,50	- 7.799,46	37,00	0,092	4,13	3,55
16,00	38,00	11,50	- 8.094,85	38,00	0,087	4,41	3,55
16,00	39,00	11,50	- 8.396,82	39,00	0,084	4,69	3,55
16,00	40,00	11,50	- 8.705,38	40,00	0,080	4,97	3,55

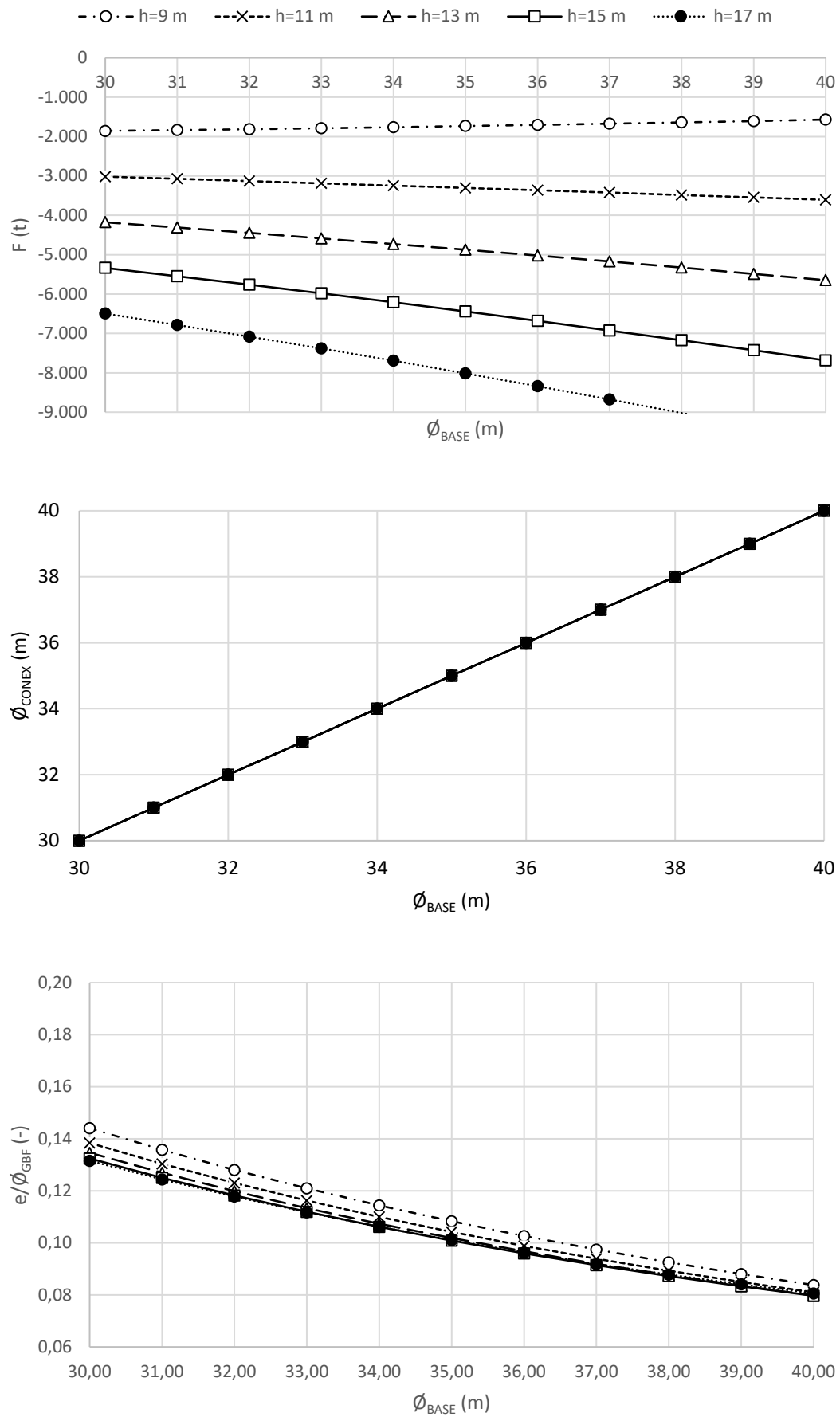


Figura 10: $S_{21} - C_{PORT} = 11,5$ m

S₂₁ – F = -3.500t

S ₂₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	9,24	- 3.500,00	30,00	0,144	2,65	3,65
9,00	31,00	9,35	- 3.500,00	31,00	0,136	3,04	3,66
9,00	32,00	9,46	- 3.500,00	32,00	0,128	3,44	3,66
9,00	33,00	9,55	- 3.500,00	33,00	0,121	3,85	3,66
9,00	34,00	9,64	- 3.500,00	34,00	0,114	4,28	3,67
9,00	35,00	9,71	- 3.500,00	35,00	0,108	4,72	3,67
9,00	36,00	9,78	- 3.500,00	36,00	0,103	5,16	3,67
9,00	37,00	9,84	- 3.500,00	37,00	0,097	5,61	3,67
9,00	38,00	9,90	- 3.500,00	38,00	0,093	6,07	3,68
9,00	39,00	9,95	- 3.500,00	39,00	0,088	6,54	3,68
9,00	40,00	10,00	- 3.500,00	40,00	0,084	7,01	3,68
10,00	30,00	10,04	- 3.500,00	30,00	0,141	2,61	3,64
10,00	31,00	10,15	- 3.500,00	31,00	0,133	2,97	3,64
10,00	32,00	10,25	- 3.500,00	32,00	0,125	3,35	3,65
10,00	33,00	10,35	- 3.500,00	33,00	0,118	3,74	3,65
10,00	34,00	10,43	- 3.500,00	34,00	0,112	4,14	3,65
10,00	35,00	10,51	- 3.500,00	35,00	0,106	4,55	3,65
10,00	36,00	10,57	- 3.500,00	36,00	0,101	4,96	3,65
10,00	37,00	10,64	- 3.500,00	37,00	0,095	5,38	3,66
10,00	38,00	10,69	- 3.500,00	38,00	0,091	5,81	3,66
10,00	39,00	10,75	- 3.500,00	39,00	0,086	6,24	3,66
10,00	40,00	10,79	- 3.500,00	40,00	0,082	6,67	3,66
11,00	30,00	10,83	- 3.500,00	30,00	0,138	2,56	3,63
11,00	31,00	10,95	- 3.500,00	31,00	0,130	2,90	3,63
11,00	32,00	11,05	- 3.500,00	32,00	0,123	3,26	3,63
11,00	33,00	11,14	- 3.500,00	33,00	0,116	3,62	3,63
11,00	34,00	11,23	- 3.500,00	34,00	0,110	4,00	3,63
11,00	35,00	11,30	- 3.500,00	35,00	0,104	4,38	3,64
11,00	36,00	11,37	- 3.500,00	36,00	0,099	4,77	3,64
11,00	37,00	11,43	- 3.500,00	37,00	0,094	5,16	3,64
11,00	38,00	11,49	- 3.500,00	38,00	0,089	5,55	3,64
11,00	39,00	11,50	- 3.544,88	39,00	0,085	5,95	3,64
11,00	40,00	11,50	- 3.607,01	40,00	0,081	6,35	3,64
12,00	30,00	11,50	- 3.596,58	30,00	0,136	2,49	3,62
12,00	31,00	11,50	- 3.691,18	31,00	0,128	2,82	3,62
12,00	32,00	11,50	- 3.787,65	32,00	0,121	3,16	3,62
12,00	33,00	11,50	- 3.885,99	33,00	0,115	3,50	3,62
12,00	34,00	11,50	- 3.986,20	34,00	0,108	3,86	3,62
12,00	35,00	11,50	- 4.088,28	35,00	0,103	4,21	3,62
12,00	36,00	11,50	- 4.192,22	36,00	0,098	4,57	3,62
12,00	37,00	11,50	- 4.298,03	37,00	0,093	4,94	3,62
12,00	38,00	11,50	- 4.405,72	38,00	0,088	5,30	3,62
12,00	39,00	11,50	- 4.515,27	39,00	0,084	5,67	3,62
12,00	40,00	11,50	- 4.626,68	40,00	0,080	6,04	3,62

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₂₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	11,50	- 4.176,43	30,00	0,135	2,43	3,60
13,00	31,00	11,50	- 4.309,71	31,00	0,127	2,74	3,60
13,00	32,00	11,50	- 4.446,04	32,00	0,120	3,06	3,60
13,00	33,00	11,50	- 4.585,42	33,00	0,113	3,38	3,60
13,00	34,00	11,50	- 4.727,84	34,00	0,107	3,71	3,60
13,00	35,00	11,50	- 4.873,31	35,00	0,102	4,05	3,60
13,00	36,00	11,50	- 5.021,83	36,00	0,097	4,38	3,60
13,00	37,00	11,50	- 5.173,39	37,00	0,092	4,72	3,60
13,00	38,00	11,50	- 5.328,00	38,00	0,088	5,07	3,60
13,00	39,00	11,50	- 5.485,65	39,00	0,084	5,41	3,60
13,00	40,00	11,50	- 5.646,36	40,00	0,080	5,75	3,60
14,00	30,00	11,50	- 4.756,28	30,00	0,133	2,36	3,59
14,00	31,00	11,50	- 4.928,24	31,00	0,126	2,65	3,59
14,00	32,00	11,50	- 5.104,43	32,00	0,119	2,95	3,59
14,00	33,00	11,50	- 5.284,84	33,00	0,112	3,26	3,59
14,00	34,00	11,50	- 5.469,48	34,00	0,107	3,57	3,59
14,00	35,00	11,50	- 5.658,35	35,00	0,101	3,88	3,59
14,00	36,00	11,50	- 5.851,43	36,00	0,096	4,20	3,59
14,00	37,00	11,50	- 6.048,74	37,00	0,092	4,52	3,59
14,00	38,00	11,50	- 6.250,28	38,00	0,087	4,84	3,58
14,00	39,00	11,50	- 6.456,04	39,00	0,083	5,16	3,58
14,00	40,00	11,50	- 6.666,03	40,00	0,080	5,48	3,58
15,00	30,00	11,50	- 5.336,13	30,00	0,132	2,29	3,58
15,00	31,00	11,50	- 5.546,77	31,00	0,125	2,57	3,58
15,00	32,00	11,50	- 5.762,82	32,00	0,118	2,85	3,57
15,00	33,00	11,50	- 5.984,27	33,00	0,112	3,14	3,57
15,00	34,00	11,50	- 6.211,13	34,00	0,106	3,43	3,57
15,00	35,00	11,50	- 6.443,38	35,00	0,101	3,73	3,57
15,00	36,00	11,50	- 6.681,04	36,00	0,096	4,02	3,57
15,00	37,00	11,50	- 6.924,10	37,00	0,091	4,32	3,57
15,00	38,00	11,50	- 7.172,57	38,00	0,087	4,62	3,57
15,00	39,00	11,50	- 7.426,43	39,00	0,083	4,92	3,57
15,00	40,00	11,50	- 7.685,70	40,00	0,080	5,21	3,56
16,00	30,00	11,50	- 5.915,98	30,00	0,132	2,22	3,56
16,00	31,00	11,50	- 6.165,31	31,00	0,125	2,48	3,56
16,00	32,00	11,50	- 6.421,21	32,00	0,118	2,75	3,56
16,00	33,00	11,50	- 6.683,70	33,00	0,112	3,02	3,56
16,00	34,00	11,50	- 6.952,77	34,00	0,106	3,29	3,56
16,00	35,00	11,50	- 7.228,42	35,00	0,101	3,57	3,55
16,00	36,00	11,50	- 7.510,65	36,00	0,096	3,85	3,55
16,00	37,00	11,50	- 7.799,46	37,00	0,092	4,13	3,55
16,00	38,00	11,50	- 8.094,85	38,00	0,087	4,41	3,55
16,00	39,00	11,50	- 8.396,82	39,00	0,084	4,69	3,55
16,00	40,00	11,50	- 8.705,38	40,00	0,080	4,97	3,55

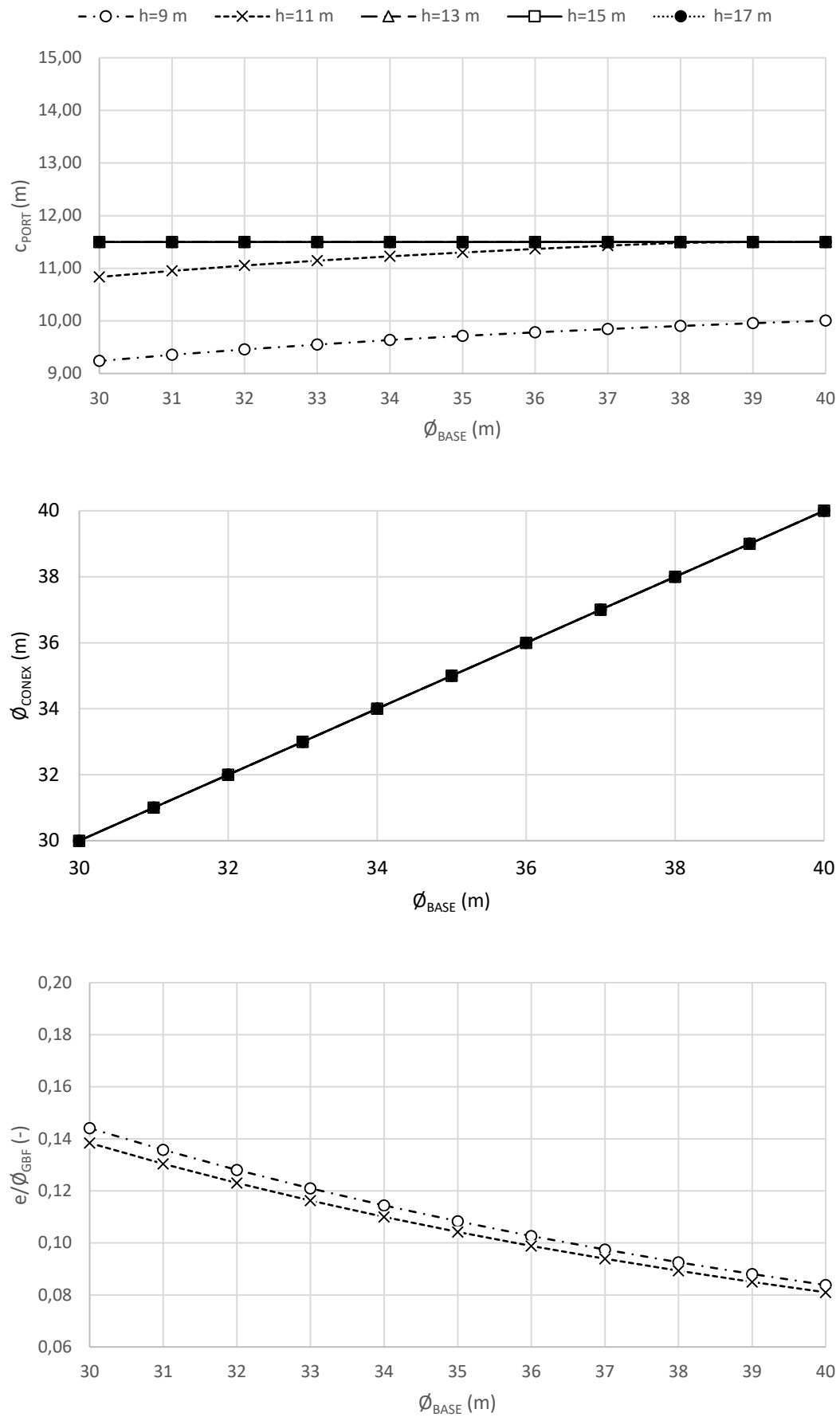


Figura 11: $S_{21} - F = -3.500\text{t}$

A3.7. S₂₂

Base cilíndrica con celdas

**Instalación mediante embarcación
auxiliar**

$S_{22} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{22}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
9,00	30,00	11,50	- 1.857,04	30,00	0,173	1,99	3,04
9,00	31,00	11,50	- 1.835,60	31,00	0,162	2,38	3,06
9,00	32,00	11,50	- 1.812,49	32,00	0,152	2,79	3,09
9,00	33,00	11,50	- 1.787,72	33,00	0,142	3,22	3,11
9,00	34,00	11,50	- 1.761,28	34,00	0,134	3,67	3,13
9,00	35,00	11,50	- 1.733,18	35,00	0,126	4,12	3,15
9,00	36,00	11,50	- 1.703,41	36,00	0,119	4,59	3,17
9,00	37,00	11,50	- 1.671,97	37,00	0,112	5,07	3,19
9,00	38,00	11,50	- 1.638,87	38,00	0,106	5,56	3,21
9,00	39,00	11,50	- 1.604,11	39,00	0,100	6,05	3,23
9,00	40,00	11,50	- 1.567,67	40,00	0,095	6,55	3,25
10,00	30,00	11,50	- 2.436,88	30,00	0,168	2,01	3,05
10,00	31,00	11,50	- 2.454,13	31,00	0,157	2,38	3,08
10,00	32,00	11,50	- 2.470,88	32,00	0,147	2,77	3,10
10,00	33,00	11,50	- 2.487,14	33,00	0,138	3,18	3,12
10,00	34,00	11,50	- 2.502,92	34,00	0,130	3,60	3,14
10,00	35,00	11,50	- 2.518,21	35,00	0,122	4,03	3,16
10,00	36,00	11,50	- 2.533,01	36,00	0,115	4,47	3,18
10,00	37,00	11,50	- 2.547,33	37,00	0,109	4,91	3,20
10,00	38,00	11,50	- 2.561,15	38,00	0,103	5,36	3,22
10,00	39,00	11,50	- 2.574,49	39,00	0,098	5,82	3,23
10,00	40,00	11,50	- 2.587,34	40,00	0,093	6,27	3,25
11,00	30,00	11,50	- 3.016,73	30,00	0,164	2,01	3,07
11,00	31,00	11,50	- 3.072,65	31,00	0,153	2,37	3,09
11,00	32,00	11,50	- 3.129,26	32,00	0,144	2,74	3,11
11,00	33,00	11,50	- 3.186,57	33,00	0,135	3,12	3,13
11,00	34,00	11,50	- 3.244,56	34,00	0,127	3,52	3,15
11,00	35,00	11,50	- 3.303,24	35,00	0,119	3,92	3,17
11,00	36,00	11,50	- 3.362,62	36,00	0,113	4,33	3,19
11,00	37,00	11,50	- 3.422,68	37,00	0,106	4,74	3,21
11,00	38,00	11,50	- 3.483,43	38,00	0,101	5,16	3,22
11,00	39,00	11,50	- 3.544,88	39,00	0,095	5,58	3,24
11,00	40,00	11,50	- 3.607,01	40,00	0,091	6,00	3,25
12,00	30,00	11,50	- 3.596,58	30,00	0,160	2,00	3,08
12,00	31,00	11,50	- 3.691,18	31,00	0,150	2,34	3,10
12,00	32,00	11,50	- 3.787,65	32,00	0,140	2,69	3,12
12,00	33,00	11,50	- 3.885,99	33,00	0,132	3,05	3,14
12,00	34,00	11,50	- 3.986,20	34,00	0,124	3,42	3,16
12,00	35,00	11,50	- 4.088,28	35,00	0,117	3,80	3,18
12,00	36,00	11,50	- 4.192,22	36,00	0,111	4,18	3,20
12,00	37,00	11,50	- 4.298,03	37,00	0,105	4,57	3,21
12,00	38,00	11,50	- 4.405,72	38,00	0,099	4,95	3,23
12,00	39,00	11,50	- 4.515,27	39,00	0,094	5,34	3,24
12,00	40,00	11,50	- 4.626,68	40,00	0,089	5,73	3,26

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₂₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	11,50	- 4.176,43	30,00	0,157	1,98	3,09
13,00	31,00	11,50	- 4.309,71	31,00	0,147	2,30	3,11
13,00	32,00	11,50	- 4.446,04	32,00	0,138	2,63	3,13
13,00	33,00	11,50	- 4.585,42	33,00	0,130	2,97	3,15
13,00	34,00	11,50	- 4.727,84	34,00	0,122	3,32	3,17
13,00	35,00	11,50	- 4.873,31	35,00	0,115	3,67	3,18
13,00	36,00	11,50	- 5.021,83	36,00	0,109	4,03	3,20
13,00	37,00	11,50	- 5.173,39	37,00	0,103	4,39	3,21
13,00	38,00	11,50	- 5.328,00	38,00	0,098	4,75	3,23
13,00	39,00	11,50	- 5.485,65	39,00	0,093	5,11	3,24
13,00	40,00	11,50	- 5.646,36	40,00	0,088	5,47	3,26
14,00	30,00	11,50	- 4.756,28	30,00	0,155	1,95	3,10
14,00	31,00	11,50	- 4.928,24	31,00	0,145	2,25	3,12
14,00	32,00	11,50	- 5.104,43	32,00	0,136	2,57	3,14
14,00	33,00	11,50	- 5.284,84	33,00	0,128	2,89	3,15
14,00	34,00	11,50	- 5.469,48	34,00	0,121	3,22	3,17
14,00	35,00	11,50	- 5.658,35	35,00	0,114	3,55	3,19
14,00	36,00	11,50	- 5.851,43	36,00	0,108	3,88	3,20
14,00	37,00	11,50	- 6.048,74	37,00	0,102	4,21	3,22
14,00	38,00	11,50	- 6.250,28	38,00	0,097	4,55	3,23
14,00	39,00	11,50	- 6.456,04	39,00	0,092	4,89	3,24
14,00	40,00	11,50	- 6.666,03	40,00	0,088	5,22	3,25
15,00	30,00	11,50	- 5.336,13	30,00	0,153	1,91	3,10
15,00	31,00	11,50	- 5.546,77	31,00	0,143	2,20	3,12
15,00	32,00	11,50	- 5.762,82	32,00	0,135	2,50	3,14
15,00	33,00	11,50	- 5.984,27	33,00	0,127	2,80	3,16
15,00	34,00	11,50	- 6.211,13	34,00	0,120	3,11	3,17
15,00	35,00	11,50	- 6.443,38	35,00	0,113	3,42	3,19
15,00	36,00	11,50	- 6.681,04	36,00	0,107	3,73	3,20
15,00	37,00	11,50	- 6.924,10	37,00	0,101	4,04	3,22
15,00	38,00	11,50	- 7.172,57	38,00	0,096	4,36	3,23
15,00	39,00	11,50	- 7.426,43	39,00	0,092	4,67	3,24
15,00	40,00	11,50	- 7.685,70	40,00	0,087	4,98	3,25
16,00	30,00	11,50	- 5.915,98	30,00	0,151	1,86	3,11
16,00	31,00	11,50	- 6.165,31	31,00	0,142	2,14	3,13
16,00	32,00	11,50	- 6.421,21	32,00	0,134	2,42	3,14
16,00	33,00	11,50	- 6.683,70	33,00	0,126	2,71	3,16
16,00	34,00	11,50	- 6.952,77	34,00	0,119	3,00	3,17
16,00	35,00	11,50	- 7.228,42	35,00	0,112	3,29	3,19
16,00	36,00	11,50	- 7.510,65	36,00	0,107	3,58	3,20
16,00	37,00	11,50	- 7.799,46	37,00	0,101	3,87	3,21
16,00	38,00	11,50	- 8.094,85	38,00	0,096	4,17	3,23
16,00	39,00	11,50	- 8.396,82	39,00	0,092	4,46	3,24
16,00	40,00	11,50	- 8.705,38	40,00	0,087	4,75	3,25

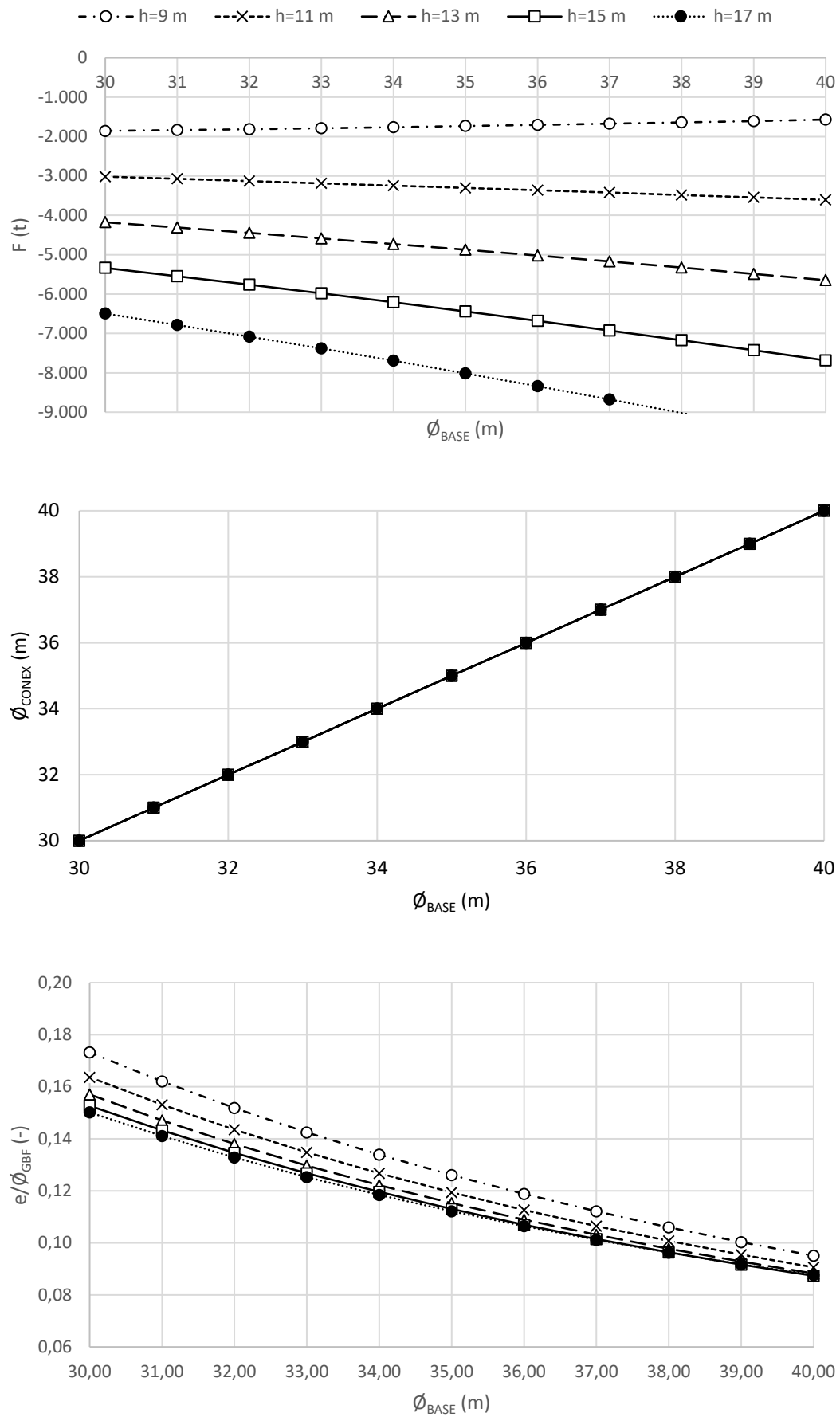


Figura 12: $S_{22} - C_{PORT} = 11,5$ m

S₂₂ – F = -3.500t

S ₂₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	9,24	- 3.500,00	30,00	0,173	1,99	3,04
9,00	31,00	9,35	- 3.500,00	31,00	0,162	2,38	3,06
9,00	32,00	9,46	- 3.500,00	32,00	0,152	2,79	3,09
9,00	33,00	9,55	- 3.500,00	33,00	0,142	3,22	3,11
9,00	34,00	9,64	- 3.500,00	34,00	0,134	3,67	3,13
9,00	35,00	9,71	- 3.500,00	35,00	0,126	4,12	3,15
9,00	36,00	9,78	- 3.500,00	36,00	0,119	4,59	3,17
9,00	37,00	9,84	- 3.500,00	37,00	0,112	5,07	3,19
9,00	38,00	9,90	- 3.500,00	38,00	0,106	5,56	3,21
9,00	39,00	9,95	- 3.500,00	39,00	0,100	6,05	3,23
9,00	40,00	10,00	- 3.500,00	40,00	0,095	6,55	3,25
10,00	30,00	10,04	- 3.500,00	30,00	0,168	2,01	3,05
10,00	31,00	10,15	- 3.500,00	31,00	0,157	2,38	3,08
10,00	32,00	10,25	- 3.500,00	32,00	0,147	2,77	3,10
10,00	33,00	10,35	- 3.500,00	33,00	0,138	3,18	3,12
10,00	34,00	10,43	- 3.500,00	34,00	0,130	3,60	3,14
10,00	35,00	10,51	- 3.500,00	35,00	0,122	4,03	3,16
10,00	36,00	10,57	- 3.500,00	36,00	0,115	4,47	3,18
10,00	37,00	10,64	- 3.500,00	37,00	0,109	4,91	3,20
10,00	38,00	10,69	- 3.500,00	38,00	0,103	5,36	3,22
10,00	39,00	10,75	- 3.500,00	39,00	0,098	5,82	3,23
10,00	40,00	10,79	- 3.500,00	40,00	0,093	6,27	3,25
11,00	30,00	10,83	- 3.500,00	30,00	0,164	2,01	3,07
11,00	31,00	10,95	- 3.500,00	31,00	0,153	2,37	3,09
11,00	32,00	11,05	- 3.500,00	32,00	0,144	2,74	3,11
11,00	33,00	11,14	- 3.500,00	33,00	0,135	3,12	3,13
11,00	34,00	11,23	- 3.500,00	34,00	0,127	3,52	3,15
11,00	35,00	11,30	- 3.500,00	35,00	0,119	3,92	3,17
11,00	36,00	11,37	- 3.500,00	36,00	0,113	4,33	3,19
11,00	37,00	11,43	- 3.500,00	37,00	0,106	4,74	3,21
11,00	38,00	11,49	- 3.500,00	38,00	0,101	5,16	3,22
11,00	39,00	11,50	- 3.544,88	39,00	0,095	5,58	3,24
11,00	40,00	11,50	- 3.607,01	40,00	0,091	6,00	3,25
12,00	30,00	11,50	- 3.596,58	30,00	0,160	2,00	3,08
12,00	31,00	11,50	- 3.691,18	31,00	0,150	2,34	3,10
12,00	32,00	11,50	- 3.787,65	32,00	0,140	2,69	3,12
12,00	33,00	11,50	- 3.885,99	33,00	0,132	3,05	3,14
12,00	34,00	11,50	- 3.986,20	34,00	0,124	3,42	3,16
12,00	35,00	11,50	- 4.088,28	35,00	0,117	3,80	3,18
12,00	36,00	11,50	- 4.192,22	36,00	0,111	4,18	3,20
12,00	37,00	11,50	- 4.298,03	37,00	0,105	4,57	3,21
12,00	38,00	11,50	- 4.405,72	38,00	0,099	4,95	3,23
12,00	39,00	11,50	- 4.515,27	39,00	0,094	5,34	3,24
12,00	40,00	11,50	- 4.626,68	40,00	0,089	5,73	3,26

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₂₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	11,50	- 4.176,43	30,00	0,157	1,98	3,09
13,00	31,00	11,50	- 4.309,71	31,00	0,147	2,30	3,11
13,00	32,00	11,50	- 4.446,04	32,00	0,138	2,63	3,13
13,00	33,00	11,50	- 4.585,42	33,00	0,130	2,97	3,15
13,00	34,00	11,50	- 4.727,84	34,00	0,122	3,32	3,17
13,00	35,00	11,50	- 4.873,31	35,00	0,115	3,67	3,18
13,00	36,00	11,50	- 5.021,83	36,00	0,109	4,03	3,20
13,00	37,00	11,50	- 5.173,39	37,00	0,103	4,39	3,21
13,00	38,00	11,50	- 5.328,00	38,00	0,098	4,75	3,23
13,00	39,00	11,50	- 5.485,65	39,00	0,093	5,11	3,24
13,00	40,00	11,50	- 5.646,36	40,00	0,088	5,47	3,26
14,00	30,00	11,50	- 4.756,28	30,00	0,155	1,95	3,10
14,00	31,00	11,50	- 4.928,24	31,00	0,145	2,25	3,12
14,00	32,00	11,50	- 5.104,43	32,00	0,136	2,57	3,14
14,00	33,00	11,50	- 5.284,84	33,00	0,128	2,89	3,15
14,00	34,00	11,50	- 5.469,48	34,00	0,121	3,22	3,17
14,00	35,00	11,50	- 5.658,35	35,00	0,114	3,55	3,19
14,00	36,00	11,50	- 5.851,43	36,00	0,108	3,88	3,20
14,00	37,00	11,50	- 6.048,74	37,00	0,102	4,21	3,22
14,00	38,00	11,50	- 6.250,28	38,00	0,097	4,55	3,23
14,00	39,00	11,50	- 6.456,04	39,00	0,092	4,89	3,24
14,00	40,00	11,50	- 6.666,03	40,00	0,088	5,22	3,25
15,00	30,00	11,50	- 5.336,13	30,00	0,153	1,91	3,10
15,00	31,00	11,50	- 5.546,77	31,00	0,143	2,20	3,12
15,00	32,00	11,50	- 5.762,82	32,00	0,135	2,50	3,14
15,00	33,00	11,50	- 5.984,27	33,00	0,127	2,80	3,16
15,00	34,00	11,50	- 6.211,13	34,00	0,120	3,11	3,17
15,00	35,00	11,50	- 6.443,38	35,00	0,113	3,42	3,19
15,00	36,00	11,50	- 6.681,04	36,00	0,107	3,73	3,20
15,00	37,00	11,50	- 6.924,10	37,00	0,101	4,04	3,22
15,00	38,00	11,50	- 7.172,57	38,00	0,096	4,36	3,23
15,00	39,00	11,50	- 7.426,43	39,00	0,092	4,67	3,24
15,00	40,00	11,50	- 7.685,70	40,00	0,087	4,98	3,25
16,00	30,00	11,50	- 5.915,98	30,00	0,151	1,86	3,11
16,00	31,00	11,50	- 6.165,31	31,00	0,142	2,14	3,13
16,00	32,00	11,50	- 6.421,21	32,00	0,134	2,42	3,14
16,00	33,00	11,50	- 6.683,70	33,00	0,126	2,71	3,16
16,00	34,00	11,50	- 6.952,77	34,00	0,119	3,00	3,17
16,00	35,00	11,50	- 7.228,42	35,00	0,112	3,29	3,19
16,00	36,00	11,50	- 7.510,65	36,00	0,107	3,58	3,20
16,00	37,00	11,50	- 7.799,46	37,00	0,101	3,87	3,21
16,00	38,00	11,50	- 8.094,85	38,00	0,096	4,17	3,23
16,00	39,00	11,50	- 8.396,82	39,00	0,092	4,46	3,24
16,00	40,00	11,50	- 8.705,38	40,00	0,087	4,75	3,25

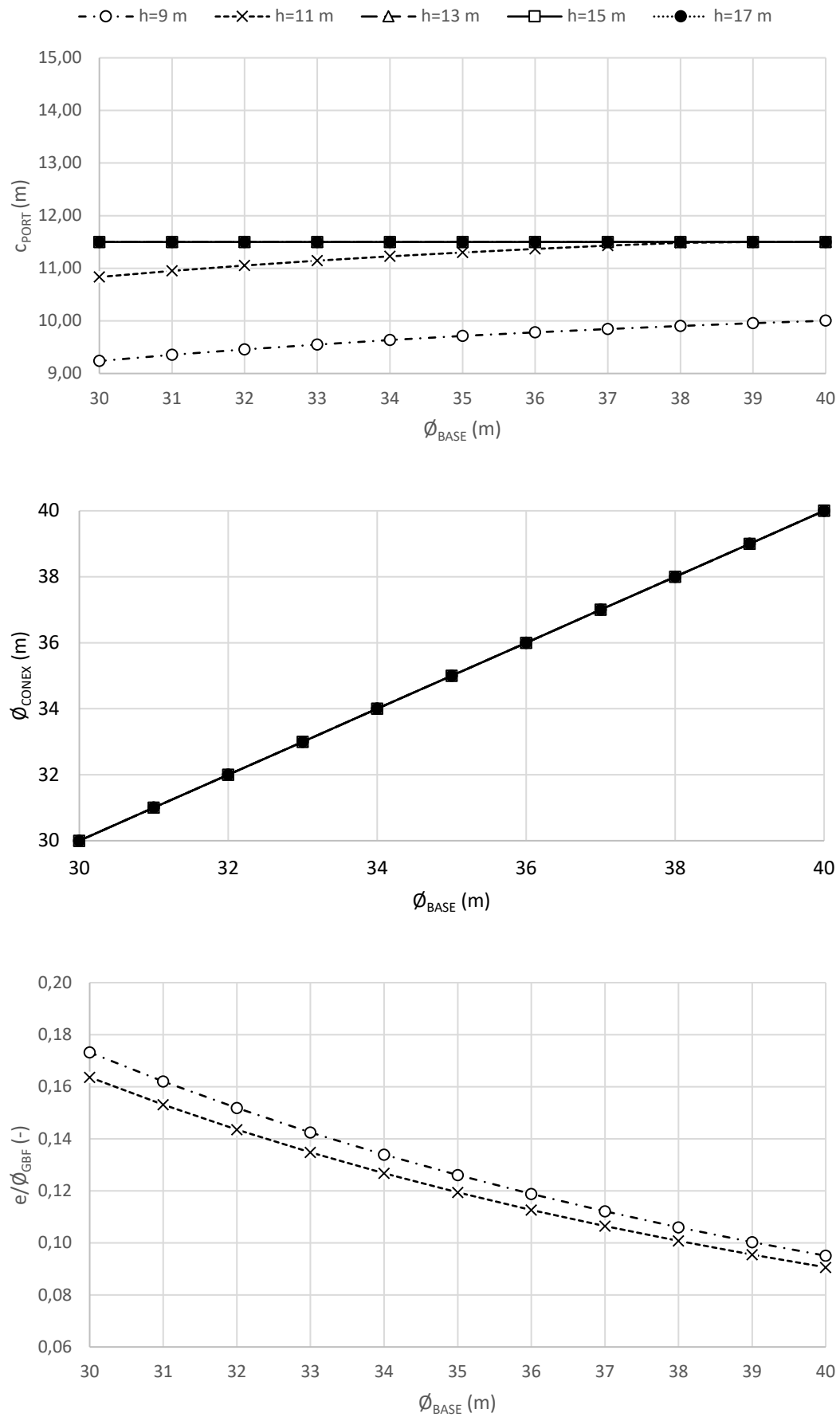


Figura 13: S₂₂ – F = -3.500t

A3.8. S₂₅

Base cilíndrica con celdas

**Mástil metálico, autoestable en
transporte, fondeo mediante
embarcación auxiliar**

S₂₅ – c_{PORT} = 11,5 m (NO HAY SOLUCIÓN – R₄)

S ₂₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	11,50	- 968,39	9,95		- 1,50	0,170	2,06	3,10
9,00	31,00	11,50	- 946,95	9,95		- 1,50	0,159	2,45	3,12
9,00	32,00	11,50	- 923,84	9,95		- 1,50	0,149	2,86	3,14
9,00	33,00	11,50	- 899,07	9,95		- 1,50	0,140	3,29	3,16
9,00	34,00	11,50	- 872,64	9,95		- 1,50	0,132	3,74	3,18
9,00	35,00	11,50	- 844,53	9,95		- 1,50	0,124	4,19	3,20
9,00	36,00	11,50	- 814,76	9,95		- 1,50	0,117	4,66	3,22
9,00	37,00	11,50	- 783,33	9,95		- 1,50	0,111	5,14	3,24
9,00	38,00	11,50	- 750,23	9,95		- 1,50	0,105	5,62	3,26
9,00	39,00	11,50	- 715,46	9,95		- 1,50	0,099	6,11	3,27
9,00	40,00	11,50	- 679,03	9,95		- 1,50	0,094	6,60	3,29
10,00	30,00	11,50	- 1.569,30	30,00		- 0,50	0,165	2,07	3,11
10,00	31,00	11,50	- 1.586,54	31,00		- 0,50	0,154	2,45	3,13
10,00	32,00	11,50	- 1.603,29	32,00		- 0,50	0,145	2,84	3,15
10,00	33,00	11,50	- 1.619,56	33,00		- 0,50	0,136	3,24	3,17
10,00	34,00	11,50	- 1.635,34	34,00		- 0,50	0,128	3,66	3,19
10,00	35,00	11,50	- 1.650,63	35,00		- 0,50	0,121	4,09	3,21
10,00	36,00	11,50	- 1.665,43	36,00		- 0,50	0,114	4,53	3,23
10,00	37,00	11,50	- 1.679,74	37,00		- 0,50	0,108	4,97	3,24
10,00	38,00	11,50	- 1.693,57	38,00		- 0,50	0,102	5,41	3,26
10,00	39,00	11,50	- 1.706,91	39,00		- 0,50	0,096	5,87	3,28
10,00	40,00	11,50	- 1.719,76	40,00		- 0,50	0,091	6,32	3,29
11,00	30,00	11,50	- 2.170,21	30,00		0,50	0,161	2,07	3,12
11,00	31,00	11,50	- 2.226,13	31,00		0,50	0,151	2,43	3,14
11,00	32,00	11,50	- 2.282,75	32,00		0,50	0,141	2,80	3,16
11,00	33,00	11,50	- 2.340,05	33,00		0,50	0,133	3,18	3,18
11,00	34,00	11,50	- 2.398,04	34,00		0,50	0,125	3,57	3,20
11,00	35,00	11,50	- 2.456,72	35,00		0,50	0,118	3,97	3,22
11,00	36,00	11,50	- 2.516,10	36,00		0,50	0,111	4,38	3,23
11,00	37,00	11,50	- 2.576,16	37,00		0,50	0,105	4,79	3,25
11,00	38,00	11,50	- 2.636,92	38,00		0,50	0,100	5,20	3,26
11,00	39,00	11,50	- 2.698,36	39,00		0,50	0,094	5,62	3,28
11,00	40,00	11,50	- 2.760,49	40,00		0,50	0,090	6,04	3,29
12,00	30,00	11,50	- 2.771,13	30,00		1,50	0,157	2,06	3,13
12,00	31,00	11,50	- 2.865,73	31,00		1,50	0,147	2,39	3,15
12,00	32,00	11,50	- 2.962,20	32,00		1,50	0,138	2,74	3,17
12,00	33,00	11,50	- 3.060,54	33,00		1,50	0,130	3,11	3,19
12,00	34,00	11,50	- 3.160,75	34,00		1,50	0,122	3,47	3,20
12,00	35,00	11,50	- 3.262,83	35,00		1,50	0,116	3,85	3,22
12,00	36,00	11,50	- 3.366,77	36,00		1,50	0,109	4,23	3,24
12,00	37,00	11,50	- 3.472,58	37,00		1,50	0,103	4,61	3,25
12,00	38,00	11,50	- 3.580,27	38,00		1,50	0,098	4,99	3,26
12,00	39,00	11,50	- 3.689,82	39,00		1,50	0,093	5,38	3,28
12,00	40,00	11,50	- 3.801,23	40,00		1,50	0,088	5,77	3,29
13,00	30,00	11,50	- 3.372,05	30,00		2,50	0,155	2,03	3,14
13,00	31,00	11,50	- 3.505,33	31,00		2,50	0,145	2,35	3,16
13,00	32,00	11,50	- 3.641,66	32,00		2,50	0,136	2,68	3,18
13,00	33,00	11,50	- 3.781,04	33,00		2,50	0,128	3,02	3,19
13,00	34,00	11,50	- 3.923,46	34,00		2,50	0,121	3,37	3,21
13,00	35,00	11,50	- 4.068,93	35,00		2,50	0,114	3,72	3,22
13,00	36,00	11,50	- 4.217,45	36,00		2,50	0,108	4,07	3,24
13,00	37,00	11,50	- 4.369,01	37,00		2,50	0,102	4,43	3,25
13,00	38,00	11,50	- 4.523,62	38,00		2,50	0,097	4,79	3,26
13,00	39,00	11,50	- 4.681,27	39,00		2,50	0,092	5,15	3,28
13,00	40,00	11,50	- 4.841,98	40,00		2,50	0,087	5,50	3,29

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₂₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	fb	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
14,00	30,00	11,50	- 3.972,97	30,00		3,50	0,152	1,99	3,14
14,00	31,00	11,50	- 4.144,94	31,00		3,50	0,143	2,30	3,16
14,00	32,00	11,50	- 4.321,13	32,00		3,50	0,134	2,61	3,18
14,00	33,00	11,50	- 4.501,54	33,00		3,50	0,126	2,93	3,20
14,00	34,00	11,50	- 4.686,18	34,00		3,50	0,119	3,26	3,21
14,00	35,00	11,50	- 4.875,04	35,00		3,50	0,113	3,58	3,22
14,00	36,00	11,50	- 5.068,13	36,00		3,50	0,107	3,92	3,24
14,00	37,00	11,50	- 5.265,44	37,00		3,50	0,101	4,25	3,25
14,00	38,00	11,50	- 5.466,98	38,00		3,50	0,096	4,58	3,26
14,00	39,00	11,50	- 5.672,74	39,00		3,50	0,091	4,92	3,27
14,00	40,00	11,50	- 5.882,72	40,00		3,50	0,087	5,25	3,29
15,00	30,00	11,50	- 4.573,90	30,00		4,50	0,150	1,95	3,15
15,00	31,00	11,50	- 4.784,55	31,00		4,50	0,141	2,24	3,17
15,00	32,00	11,50	- 5.000,59	32,00		4,50	0,133	2,54	3,18
15,00	33,00	11,50	- 5.222,05	33,00		4,50	0,125	2,84	3,20
15,00	34,00	11,50	- 5.448,90	34,00		4,50	0,118	3,14	3,21
15,00	35,00	11,50	- 5.681,15	35,00		4,50	0,112	3,45	3,22
15,00	36,00	11,50	- 5.918,81	36,00		4,50	0,106	3,76	3,24
15,00	37,00	11,50	- 6.161,87	37,00		4,50	0,100	4,07	3,25
15,00	38,00	11,50	- 6.410,34	38,00		4,50	0,095	4,39	3,26
15,00	39,00	11,50	- 6.664,21	39,00		4,50	0,091	4,70	3,27
15,00	40,00	11,50	- 6.923,48	40,00		4,50	0,087	5,01	3,28
16,00	30,00	11,50	- 5.174,83	30,00		5,50	0,149	1,90	3,15
16,00	31,00	11,50	- 5.424,16	31,00		5,50	0,140	2,18	3,17
16,00	32,00	11,50	- 5.680,07	32,00		5,50	0,132	2,46	3,18
16,00	33,00	11,50	- 5.942,55	33,00		5,50	0,124	2,74	3,20
16,00	34,00	11,50	- 6.211,62	34,00		5,50	0,117	3,03	3,21
16,00	35,00	11,50	- 6.487,27	35,00		5,50	0,111	3,32	3,22
16,00	36,00	11,50	- 6.769,50	36,00		5,50	0,105	3,61	3,23
16,00	37,00	11,50	- 7.058,31	37,00		5,50	0,100	3,90	3,25
16,00	38,00	11,50	- 7.353,71	38,00		5,50	0,095	4,19	3,26
16,00	39,00	11,50	- 7.655,68	39,00		5,50	0,091	4,49	3,27
16,00	40,00	11,50	- 7.964,23	40,00		5,50	0,087	4,78	3,28

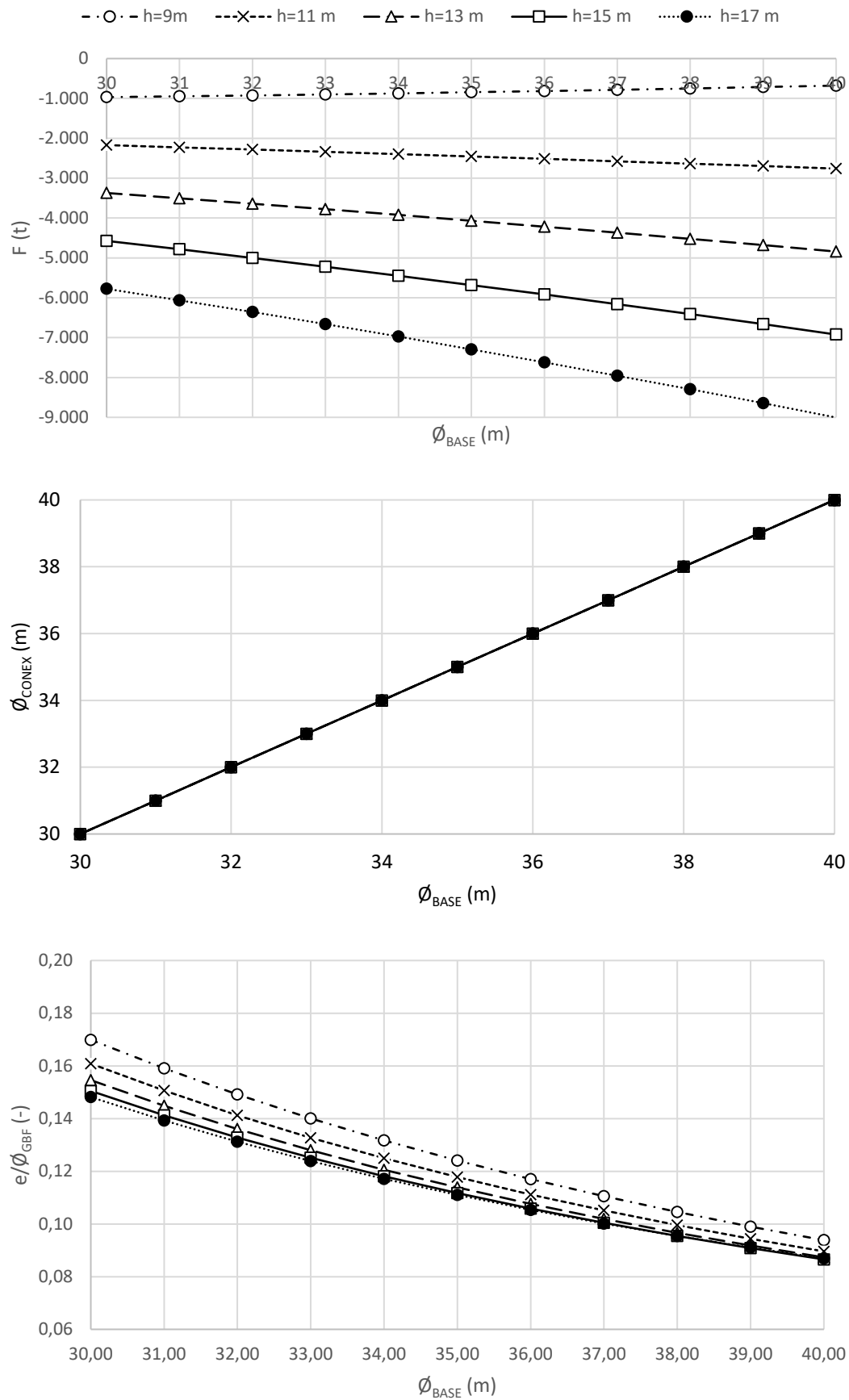


Figura 14: $S_{25} - C_{PORT} = 11,5$ m

A3.9. S₃₁

Base cónica

**Lastre de Alta Densidad, instalación
mediante embarcación auxiliar**

$S_{31} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{31}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8	R_9
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2	i_{TRANS}
18,00	30,00	11,50	721,46	18,33	0,131	3,13	4,41	60,95
18,00	31,00	11,50	890,53	18,75	0,125	3,53	4,39	59,74
18,00	32,00	11,50	1.064,68	19,17	0,119	3,95	4,37	58,57
18,00	33,00	11,50	1.243,88	19,58	0,114	4,39	4,35	57,43
18,00	34,00	11,50	1.428,10	20,00	0,108	4,84	4,33	56,31
18,00	35,00	11,50	1.617,30	20,42	0,104	5,32	4,31	55,22
18,00	36,00	11,50	1.811,47	20,83	0,099	5,81	4,30	54,16
18,00	37,00	11,50	2.010,58	21,25	0,095	6,31	4,28	53,13
18,00	38,00	11,50	2.214,61	21,67	0,091	6,82	4,27	52,13
18,00	39,00	11,50	2.423,55	22,08	0,087	7,35	4,25	51,15
18,00	40,00	11,50	2.637,36	22,50	0,083	7,89	4,24	50,19
19,00	30,00	11,50	802,45	18,95	0,131	3,08	4,38	62,24
19,00	31,00	11,50	979,70	19,39	0,125	3,47	4,36	61,07
19,00	32,00	11,50	1.162,42	19,84	0,119	3,88	4,33	59,93
19,00	33,00	11,50	1.350,55	20,29	0,113	4,31	4,31	58,82
19,00	34,00	11,50	1.544,07	20,74	0,108	4,75	4,30	57,72
19,00	35,00	11,50	1.742,95	21,18	0,103	5,21	4,28	56,66
19,00	36,00	11,50	1.947,16	21,63	0,099	5,68	4,26	55,62
19,00	37,00	11,50	2.156,67	22,08	0,094	6,17	4,24	54,61
19,00	38,00	11,50	2.371,46	22,53	0,090	6,67	4,23	53,62
19,00	39,00	11,50	2.591,51	22,97	0,087	7,18	4,21	52,65
19,00	40,00	11,50	2.816,81	23,42	0,083	7,70	4,20	51,71
20,00	30,00	11,50	872,89	19,50	0,130	3,03	4,35	63,43
20,00	31,00	11,50	1.057,53	19,98	0,124	3,41	4,32	62,30
20,00	32,00	11,50	1.247,97	20,45	0,118	3,81	4,30	61,19
20,00	33,00	11,50	1.444,19	20,93	0,113	4,23	4,28	60,10
20,00	34,00	11,50	1.646,14	21,40	0,108	4,66	4,26	59,04
20,00	35,00	11,50	1.853,79	21,88	0,103	5,10	4,24	57,99
20,00	36,00	11,50	2.067,11	22,35	0,098	5,56	4,22	56,98
20,00	37,00	11,50	2.286,08	22,83	0,094	6,03	4,21	55,98
20,00	38,00	11,50	2.510,67	23,30	0,090	6,51	4,19	55,01
20,00	39,00	11,50	2.740,86	23,78	0,086	7,01	4,18	54,06
20,00	40,00	11,50	2.976,62	24,25	0,083	7,51	4,16	53,13
21,00	30,00	11,50	934,01	20,00	0,130	2,98	4,32	64,54
21,00	31,00	11,50	1.125,31	20,50	0,124	3,35	4,29	63,43
21,00	32,00	11,50	1.322,75	21,00	0,118	3,74	4,27	62,35
21,00	33,00	11,50	1.526,29	21,50	0,113	4,15	4,25	61,29
21,00	34,00	11,50	1.735,88	22,00	0,107	4,56	4,23	60,26
21,00	35,00	11,50	1.951,50	22,50	0,103	5,00	4,21	59,24
21,00	36,00	11,50	2.173,12	23,00	0,098	5,44	4,19	58,24
21,00	37,00	11,50	2.400,69	23,50	0,094	5,90	4,17	57,26
21,00	38,00	11,50	2.634,21	24,00	0,090	6,36	4,16	56,31
21,00	39,00	11,50	2.873,64	24,50	0,086	6,84	4,14	55,38
21,00	40,00	11,50	3.118,96	25,00	0,083	7,32	4,12	54,46
22,00	30,00	11,50	986,87	20,45	0,130	2,93	4,29	65,56
22,00	31,00	11,50	1.184,20	20,98	0,124	3,30	4,26	64,49
22,00	32,00	11,50	1.387,97	21,50	0,118	3,67	4,24	63,43
22,00	33,00	11,50	1.598,14	22,02	0,112	4,07	4,22	62,40
22,00	34,00	11,50	1.814,68	22,55	0,107	4,47	4,20	61,39
22,00	35,00	11,50	2.037,54	23,07	0,102	4,89	4,18	60,40
22,00	36,00	11,50	2.266,70	23,59	0,098	5,32	4,16	59,42
22,00	37,00	11,50	2.502,12	24,11	0,094	5,76	4,14	58,47
22,00	38,00	11,50	2.743,78	24,64	0,090	6,21	4,12	57,53
22,00	39,00	11,50	2.991,66	25,16	0,086	6,67	4,10	56,61
22,00	40,00	11,50	3.245,72	25,68	0,083	7,14	4,09	55,71

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
23,00	30,00	11,50	1.032,38	20,87	0,130	2,88	4,26	66,50
23,00	31,00	11,50	1.235,16	21,41	0,123	3,24	4,23	65,46
23,00	32,00	11,50	1.444,66	21,96	0,118	3,60	4,21	64,44
23,00	33,00	11,50	1.660,86	22,50	0,112	3,99	4,19	63,43
23,00	34,00	11,50	1.883,70	23,04	0,107	4,38	4,16	62,45
23,00	35,00	11,50	2.113,16	23,59	0,102	4,79	4,14	61,48
23,00	36,00	11,50	2.349,19	24,13	0,098	5,20	4,12	60,52
23,00	37,00	11,50	2.591,77	24,67	0,094	5,63	4,11	59,59
23,00	38,00	11,50	2.840,87	25,22	0,090	6,07	4,09	58,67
23,00	39,00	11,50	3.096,47	25,76	0,086	6,51	4,07	57,77
23,00	40,00	11,50	3.358,52	26,30	0,083	6,96	4,05	56,89
24,00	30,00	11,50	1.071,33	21,25	0,130	2,83	4,23	67,38
24,00	31,00	11,50	1.279,03	21,81	0,123	3,18	4,20	66,37
24,00	32,00	11,50	1.493,74	22,38	0,118	3,54	4,18	65,38
24,00	33,00	11,50	1.715,40	22,94	0,112	3,91	4,16	64,40
24,00	34,00	11,50	1.943,98	23,50	0,107	4,29	4,13	63,43
24,00	35,00	11,50	2.179,44	24,06	0,102	4,68	4,11	62,49
24,00	36,00	11,50	2.421,75	24,63	0,098	5,09	4,09	61,56
24,00	37,00	11,50	2.670,86	25,19	0,094	5,50	4,07	60,64
24,00	38,00	11,50	2.926,76	25,75	0,090	5,92	4,05	59,74
24,00	39,00	11,50	3.189,42	26,31	0,086	6,35	4,04	58,86
24,00	40,00	11,50	3.458,81	26,88	0,083	6,79	4,02	57,99
25,00	30,00	11,50	1.104,40	21,60	0,129	2,78	4,20	68,20
25,00	31,00	11,50	1.316,56	22,18	0,123	3,12	4,18	67,22
25,00	32,00	11,50	1.535,98	22,76	0,118	3,47	4,15	66,25
25,00	33,00	11,50	1.762,60	23,34	0,112	3,83	4,13	65,30
25,00	34,00	11,50	1.996,40	23,92	0,107	4,20	4,10	64,36
25,00	35,00	11,50	2.237,33	24,50	0,103	4,58	4,08	63,43
25,00	36,00	11,50	2.485,36	25,08	0,098	4,97	4,06	62,53
25,00	37,00	11,50	2.740,45	25,66	0,094	5,37	4,04	61,63
25,00	38,00	11,50	3.002,58	26,24	0,090	5,78	4,02	60,75
25,00	39,00	11,50	3.271,70	26,82	0,086	6,20	4,01	59,89
25,00	40,00	11,50	3.547,81	27,40	0,083	6,62	3,99	59,04
26,00	30,00	11,50	1.132,18	21,92	0,130	2,73	4,18	68,96
26,00	31,00	11,50	1.348,37	22,52	0,123	3,06	4,15	68,01
26,00	32,00	11,50	1.572,06	23,12	0,118	3,40	4,12	67,07
26,00	33,00	11,50	1.803,20	23,71	0,112	3,75	4,10	66,14
26,00	34,00	11,50	2.041,75	24,31	0,107	4,11	4,07	65,22
26,00	35,00	11,50	2.287,67	24,90	0,103	4,48	4,05	64,32
26,00	36,00	11,50	2.540,92	25,50	0,098	4,86	4,03	63,43
26,00	37,00	11,50	2.801,47	26,10	0,094	5,25	4,01	62,56
26,00	38,00	11,50	3.069,29	26,69	0,090	5,64	3,99	61,70
26,00	39,00	11,50	3.344,35	27,29	0,087	6,05	3,97	60,85
26,00	40,00	11,50	3.626,62	27,88	0,083	6,45	3,96	60,02
27,00	32,00	11,50	1.602,58	23,44	0,118	3,33	4,09	67,83
27,00	33,00	11,50	1.837,82	24,06	0,113	3,67	4,07	66,93
27,00	34,00	11,50	2.080,70	24,67	0,108	4,02	4,05	66,04
27,00	35,00	11,50	2.331,16	25,28	0,103	4,38	4,02	65,16
27,00	36,00	11,50	2.589,19	25,89	0,099	4,75	4,00	64,29
27,00	37,00	11,50	2.854,74	26,50	0,094	5,13	3,98	63,43
27,00	38,00	11,50	3.127,78	27,11	0,091	5,51	3,96	62,59
27,00	39,00	11,50	3.408,28	27,72	0,087	5,90	3,94	61,76
27,00	40,00	11,50	3.696,21	28,33	0,084	6,29	3,93	60,95

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
28,00	30,00	11,50	1.173,86	22,50	0,130	2,63	4,12	70,35
28,00	31,00	11,50	1.396,99	23,13	0,124	2,94	4,09	69,44
28,00	32,00	11,50	1.628,07	23,75	0,118	3,26	4,07	68,55
28,00	33,00	11,50	1.867,03	24,38	0,113	3,59	4,04	67,67
28,00	34,00	11,50	2.113,84	25,00	0,108	3,93	4,02	66,80
28,00	35,00	11,50	2.368,46	25,63	0,103	4,28	3,99	65,94
28,00	36,00	11,50	2.630,85	26,25	0,099	4,64	3,97	65,10
28,00	37,00	11,50	2.900,97	26,88	0,095	5,00	3,95	64,26
28,00	38,00	11,50	3.178,79	27,50	0,091	5,37	3,93	63,43
28,00	39,00	11,50	3.464,28	28,13	0,087	5,75	3,91	62,62
28,00	40,00	11,50	3.757,41	28,75	0,084	6,13	3,90	61,82
29,00	30,00	11,50	1.188,61	22,76	0,130	2,58	4,10	70,97
29,00	31,00	11,50	1.414,72	23,40	0,124	2,88	4,07	70,10
29,00	32,00	11,50	1.648,98	24,03	0,118	3,19	4,04	69,23
29,00	33,00	11,50	1.891,32	24,67	0,113	3,52	4,02	68,37
29,00	34,00	11,50	2.141,72	25,31	0,108	3,85	3,99	67,52
29,00	35,00	11,50	2.400,12	25,95	0,104	4,19	3,97	66,68
29,00	36,00	11,50	2.666,49	26,59	0,099	4,53	3,95	65,85
29,00	37,00	11,50	2.940,79	27,22	0,095	4,89	3,92	65,04
29,00	38,00	11,50	3.223,00	27,86	0,091	5,24	3,90	64,23
29,00	39,00	11,50	3.513,07	28,50	0,088	5,61	3,89	63,43
29,00	40,00	11,50	3.810,98	29,14	0,085	5,98	3,87	62,65
30,00	30,00	11,50	1.199,79	23,00	0,130	2,53	4,07	71,57
30,00	31,00	11,50	1.428,59	23,65	0,124	2,82	4,04	70,71
30,00	32,00	11,50	1.665,72	24,30	0,119	3,13	4,02	69,86
30,00	33,00	11,50	1.911,13	24,95	0,113	3,44	3,99	69,03
30,00	34,00	11,50	2.164,78	25,60	0,109	3,76	3,96	68,20
30,00	35,00	11,50	2.426,63	26,25	0,104	4,09	3,94	67,38
30,00	36,00	11,50	2.696,64	26,90	0,100	4,43	3,92	66,57
30,00	37,00	11,50	2.974,77	27,55	0,096	4,77	3,90	65,77
30,00	38,00	11,50	3.261,00	28,20	0,092	5,12	3,88	64,98
30,00	39,00	11,50	3.555,28	28,85	0,088	5,47	3,86	64,20
30,00	40,00	11,50	3.857,58	29,50	0,085	5,83	3,84	63,43
31,00	30,00	11,50	1.207,71	23,23	0,131	2,48	4,05	72,12
31,00	31,00	11,50	1.438,92	23,89	0,125	2,77	4,02	71,29
31,00	32,00	11,50	1.678,65	24,55	0,119	3,06	3,99	70,46
31,00	33,00	11,50	1.926,84	25,21	0,114	3,36	3,96	69,65
31,00	34,00	11,50	2.183,45	25,87	0,109	3,68	3,94	68,84
31,00	35,00	11,50	2.448,44	26,53	0,105	4,00	3,91	68,04
31,00	36,00	11,50	2.721,78	27,19	0,100	4,32	3,89	67,25
31,00	37,00	11,50	3.003,41	27,85	0,096	4,65	3,87	66,47
31,00	38,00	11,50	3.293,31	28,52	0,092	4,99	3,85	65,70
31,00	39,00	11,50	3.591,45	29,18	0,089	5,33	3,83	64,93
31,00	40,00	11,50	3.897,80	29,84	0,086	5,68	3,81	64,18
32,00	30,00	11,50	1.212,63	23,44	0,131	2,43	4,02	72,65
32,00	31,00	11,50	1.446,02	24,11	0,125	2,71	3,99	71,83
32,00	32,00	11,50	1.688,09	24,78	0,120	2,99	3,96	71,03
32,00	33,00	11,50	1.938,80	25,45	0,114	3,29	3,94	70,23
32,00	34,00	11,50	2.198,10	26,13	0,110	3,59	3,91	69,44
32,00	35,00	11,50	2.465,95	26,80	0,105	3,90	3,89	68,66
32,00	36,00	11,50	2.742,31	27,47	0,101	4,22	3,86	67,89
32,00	37,00	11,50	3.027,15	28,14	0,097	4,54	3,84	67,13
32,00	38,00	11,50	3.320,42	28,81	0,093	4,87	3,82	66,37
32,00	39,00	11,50	3.622,10	29,48	0,090	5,20	3,80	65,62
32,00	40,00	11,50	3.932,16	30,16	0,086	5,53	3,79	64,89

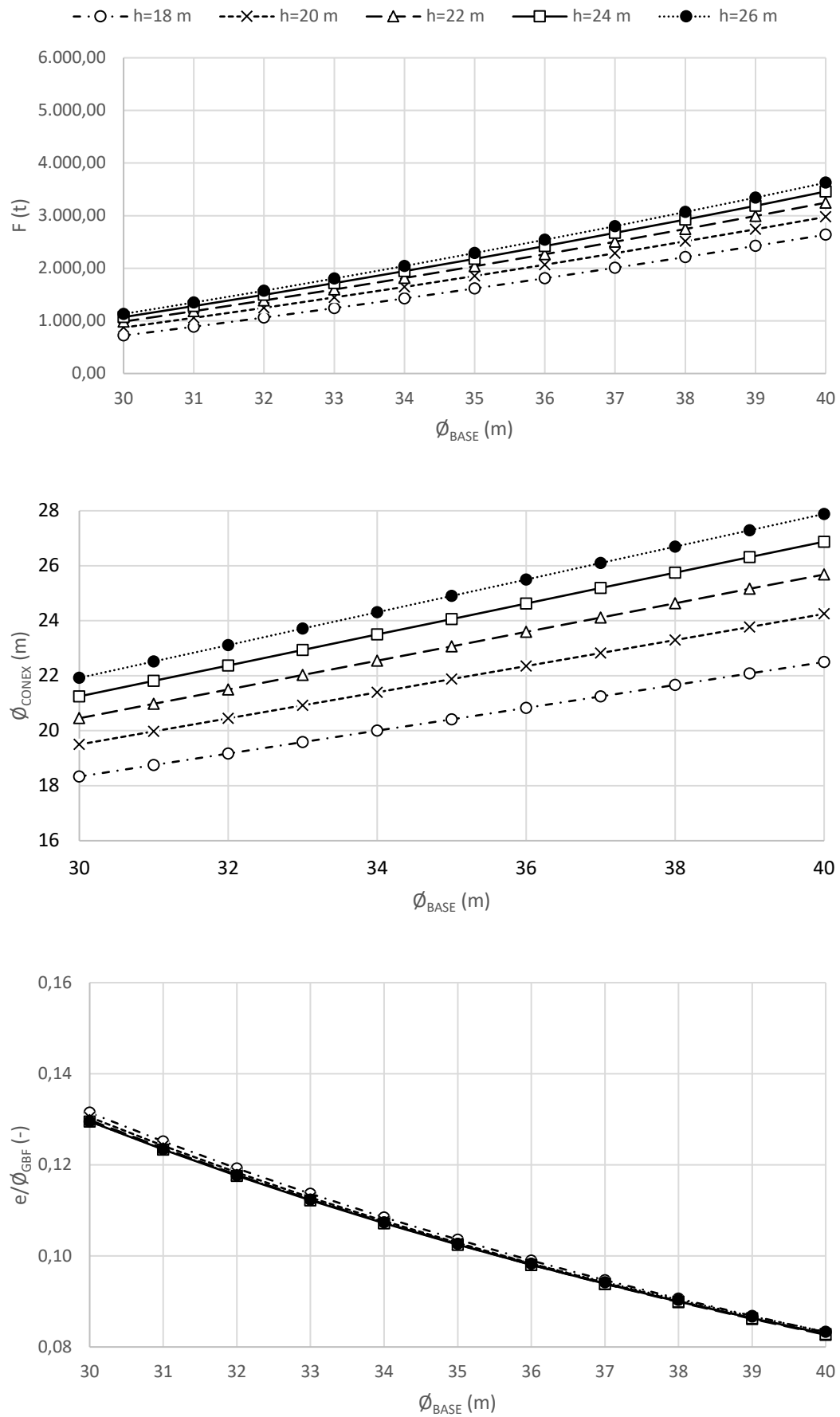


Figura 15: $S_{31} - C_{PORT} = 11,5$ m

S₃₁ – F = -3.500t

S ₃₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
18,00	30,00	5,00	- 1.826,11	25,56	0,132	3,11	4,38	60,95
18,00	31,00	5,00	- 1.798,67	26,33	0,126	3,50	4,35	59,74
18,00	32,00	5,00	- 1.770,00	27,11	0,120	3,92	4,32	58,57
18,00	33,00	5,00	- 1.740,14	27,89	0,115	4,36	4,30	57,43
18,00	34,00	5,00	- 1.709,12	28,67	0,110	4,81	4,27	56,31
18,00	35,00	5,00	- 1.676,96	29,44	0,105	5,28	4,25	55,22
18,00	36,00	5,00	- 1.643,69	30,22	0,101	5,76	4,23	54,16
18,00	37,00	5,00	- 1.609,33	31,00	0,096	6,26	4,21	53,13
18,00	38,00	5,00	- 1.573,91	31,78	0,092	6,78	4,19	52,13
18,00	39,00	5,00	- 1.537,44	32,56	0,089	7,30	4,17	51,15
18,00	40,00	5,00	- 1.499,94	33,33	0,085	7,84	4,15	50,19
19,00	30,00	5,00	- 1.841,28	25,79	0,132	3,06	4,34	62,24
19,00	31,00	5,00	- 1.813,18	26,58	0,126	3,44	4,31	61,07
19,00	32,00	5,00	- 1.783,73	27,37	0,120	3,85	4,29	59,93
19,00	33,00	5,00	- 1.752,98	28,16	0,115	4,27	4,26	58,82
19,00	34,00	5,00	- 1.720,95	28,95	0,110	4,71	4,24	57,72
19,00	35,00	5,00	- 1.687,67	29,74	0,105	5,17	4,21	56,66
19,00	36,00	5,00	- 1.653,18	30,53	0,100	5,64	4,19	55,62
19,00	37,00	5,00	- 1.617,50	31,32	0,096	6,12	4,17	54,61
19,00	38,00	5,00	- 1.580,65	32,11	0,092	6,62	4,15	53,62
19,00	39,00	5,00	- 1.542,65	32,89	0,088	7,13	4,13	52,65
19,00	40,00	5,00	- 1.503,52	33,68	0,085	7,65	4,11	51,71
20,00	30,00	5,00	- 1.859,11	26,00	0,132	3,01	4,31	63,43
20,00	31,00	5,00	- 1.830,58	26,80	0,125	3,39	4,28	62,30
20,00	32,00	5,00	- 1.800,58	27,60	0,120	3,78	4,25	61,19
20,00	33,00	5,00	- 1.769,17	28,40	0,114	4,19	4,23	60,10
20,00	34,00	5,00	- 1.736,39	29,20	0,109	4,62	4,20	59,04
20,00	35,00	5,00	- 1.702,25	30,00	0,105	5,06	4,17	57,99
20,00	36,00	5,00	- 1.666,80	30,80	0,100	5,52	4,15	56,98
20,00	37,00	5,00	- 1.630,05	31,60	0,096	5,98	4,13	55,98
20,00	38,00	5,00	- 1.592,04	32,40	0,092	6,46	4,11	55,01
20,00	39,00	5,00	- 1.552,79	33,20	0,088	6,95	4,09	54,06
20,00	40,00	5,00	- 1.512,31	34,00	0,085	7,45	4,07	53,13
21,00	30,00	5,00	- 1.879,26	26,19	0,131	2,96	4,28	64,54
21,00	31,00	5,00	- 1.850,49	27,00	0,125	3,33	4,25	63,43
21,00	32,00	5,00	- 1.820,15	27,81	0,119	3,71	4,22	62,35
21,00	33,00	5,00	- 1.788,30	28,62	0,114	4,11	4,19	61,29
21,00	34,00	5,00	- 1.754,98	29,43	0,109	4,52	4,16	60,26
21,00	35,00	5,00	- 1.720,20	30,24	0,104	4,95	4,14	59,24
21,00	36,00	5,00	- 1.684,02	31,05	0,100	5,39	4,12	58,24
21,00	37,00	5,00	- 1.646,44	31,86	0,096	5,85	4,09	57,26
21,00	38,00	5,00	- 1.607,51	32,67	0,092	6,31	4,07	56,31
21,00	39,00	5,00	- 1.567,24	33,48	0,088	6,78	4,05	55,38
21,00	40,00	5,00	- 1.525,66	34,29	0,085	7,27	4,03	54,46
22,00	30,00	5,00	- 1.901,44	26,36	0,131	2,91	4,25	65,56
22,00	31,00	5,00	- 1.872,60	27,18	0,125	3,27	4,22	64,49
22,00	32,00	5,00	- 1.842,11	28,00	0,119	3,64	4,19	63,43
22,00	33,00	5,00	- 1.810,01	28,82	0,114	4,03	4,16	62,40
22,00	34,00	5,00	- 1.776,34	29,64	0,109	4,43	4,13	61,39
22,00	35,00	5,00	- 1.741,12	30,45	0,104	4,85	4,10	60,40
22,00	36,00	5,00	- 1.704,41	31,27	0,100	5,27	4,08	59,42
22,00	37,00	5,00	- 1.666,22	32,09	0,096	5,71	4,06	58,47
22,00	38,00	5,00	- 1.626,58	32,91	0,092	6,16	4,03	57,53
22,00	39,00	5,00	- 1.585,51	33,73	0,088	6,62	4,01	56,61
22,00	40,00	5,00	- 1.543,05	34,55	0,085	7,08	3,99	55,71

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
23,00	30,00	5,00	- 1.925,40	26,52	0,131	2,86	4,22	66,50
23,00	31,00	5,00	- 1.896,66	27,35	0,125	3,21	4,19	65,46
23,00	32,00	5,00	- 1.866,17	28,17	0,119	3,57	4,16	64,44
23,00	33,00	5,00	- 1.833,99	29,00	0,114	3,95	4,13	63,43
23,00	34,00	5,00	- 1.800,14	29,83	0,109	4,34	4,10	62,45
23,00	35,00	5,00	- 1.764,67	30,65	0,104	4,74	4,07	61,48
23,00	36,00	5,00	- 1.727,61	31,48	0,100	5,16	4,05	60,52
23,00	37,00	5,00	- 1.688,98	32,30	0,096	5,58	4,02	59,59
23,00	38,00	5,00	- 1.648,83	33,13	0,092	6,01	4,00	58,67
23,00	39,00	5,00	- 1.607,17	33,96	0,088	6,46	3,98	57,77
23,00	40,00	5,00	- 1.564,03	34,78	0,085	6,91	3,96	56,89
24,00	30,00	5,00	- 1.950,94	26,67	0,131	2,81	4,19	67,38
24,00	31,00	5,00	- 1.922,43	27,50	0,125	3,15	4,16	66,37
24,00	32,00	5,00	- 1.892,10	28,33	0,119	3,50	4,13	65,38
24,00	33,00	5,00	- 1.859,98	29,17	0,114	3,87	4,10	64,40
24,00	34,00	5,00	- 1.826,12	30,00	0,109	4,25	4,07	63,43
24,00	35,00	5,00	- 1.790,55	30,83	0,104	4,64	4,04	62,49
24,00	36,00	5,00	- 1.753,30	31,67	0,100	5,04	4,01	61,56
24,00	37,00	5,00	- 1.714,41	32,50	0,096	5,45	3,99	60,64
24,00	38,00	5,00	- 1.673,92	33,33	0,092	5,87	3,97	59,74
24,00	39,00	5,00	- 1.631,83	34,17	0,088	6,30	3,94	58,86
24,00	40,00	5,00	- 1.588,19	35,00	0,085	6,73	3,92	57,99
25,00	30,00	5,00	- 1.977,88	26,80	0,131	2,76	4,16	68,20
25,00	31,00	5,00	- 1.949,74	27,64	0,125	3,09	4,13	67,22
25,00	32,00	5,00	- 1.919,69	28,48	0,119	3,43	4,10	66,25
25,00	33,00	5,00	- 1.887,78	29,32	0,114	3,79	4,07	65,30
25,00	34,00	5,00	- 1.854,03	30,16	0,109	4,16	4,04	64,36
25,00	35,00	5,00	- 1.818,50	31,00	0,104	4,54	4,01	63,43
25,00	36,00	5,00	- 1.781,22	31,84	0,100	4,93	3,98	62,53
25,00	37,00	5,00	- 1.742,23	32,68	0,096	5,32	3,96	61,63
25,00	38,00	5,00	- 1.701,54	33,52	0,092	5,73	3,94	60,75
25,00	39,00	5,00	- 1.659,19	34,36	0,089	6,14	3,91	59,89
25,00	40,00	5,17	- 1.449,59	35,00	0,085	6,56	3,89	59,04
26,00	30,00	5,00	- 2.006,08	26,92	0,131	2,71	4,13	68,96
26,00	31,00	5,00	- 1.978,42	27,77	0,125	3,03	4,10	68,01
26,00	32,00	5,00	- 1.948,77	28,62	0,119	3,37	4,07	67,07
26,00	33,00	5,00	- 1.917,18	29,46	0,114	3,71	4,04	66,14
26,00	34,00	5,00	- 1.883,68	30,31	0,109	4,07	4,01	65,22
26,00	35,00	5,00	- 1.848,33	31,15	0,105	4,44	3,98	64,32
26,00	36,00	5,00	- 1.811,14	32,00	0,100	4,81	3,95	63,43
26,00	37,00	5,00	- 1.772,17	32,85	0,096	5,20	3,93	62,56
26,00	38,00	5,00	- 1.731,44	33,69	0,092	5,59	3,90	61,70
26,00	39,00	5,00	- 1.688,97	34,54	0,089	5,99	3,88	60,85
26,00	40,00	5,33	- 1.311,81	35,00	0,085	6,40	3,86	60,02
27,00	32,00	5,00	- 1.979,18	28,74	0,119	3,30	4,04	67,83
27,00	33,00	5,00	- 1.948,02	29,59	0,114	3,63	4,01	66,93
27,00	34,00	5,00	- 1.914,89	30,44	0,109	3,98	3,98	66,04
27,00	35,00	5,00	- 1.879,82	31,30	0,105	4,34	3,95	65,16
27,00	36,00	5,00	- 1.842,86	32,15	0,101	4,70	3,92	64,29
27,00	37,00	5,00	- 1.804,04	33,00	0,096	5,07	3,90	63,43
27,00	38,00	5,00	- 1.763,38	33,85	0,093	5,45	3,88	62,59
27,00	39,00	5,00	- 1.720,93	34,70	0,089	5,84	3,85	61,76
27,00	40,00	5,50	- 1.174,78	35,00	0,086	6,23	3,83	60,95

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
28,00	30,00	5,00	- 2.065,74	27,14	0,131	2,61	4,08	70,35
28,00	31,00	5,00	- 2.039,33	28,00	0,125	2,91	4,05	69,44
28,00	32,00	5,00	- 2.010,79	28,86	0,120	3,23	4,01	68,55
28,00	33,00	5,00	- 1.980,17	29,71	0,114	3,56	3,98	67,67
28,00	34,00	5,00	- 1.947,50	30,57	0,110	3,89	3,95	66,80
28,00	35,00	5,00	- 1.912,83	31,43	0,105	4,24	3,92	65,94
28,00	36,00	5,00	- 1.876,20	32,29	0,101	4,59	3,90	65,10
28,00	37,00	5,00	- 1.837,64	33,14	0,097	4,95	3,87	64,26
28,00	38,00	5,00	- 1.797,18	34,00	0,093	5,32	3,85	63,43
28,00	39,00	5,00	- 1.754,86	34,86	0,090	5,70	3,82	62,62
28,00	40,00	5,67	- 1.038,45	35,00	0,086	6,07	3,80	61,82
29,00	30,00	5,00	- 2.097,00	27,24	0,131	2,56	4,06	70,97
29,00	31,00	5,00	- 2.071,34	28,10	0,125	2,86	4,02	70,10
29,00	32,00	5,00	- 2.043,49	28,97	0,120	3,16	3,99	69,23
29,00	33,00	5,00	- 2.013,49	29,83	0,115	3,48	3,96	68,37
29,00	34,00	5,00	- 1.981,38	30,69	0,110	3,81	3,92	67,52
29,00	35,00	5,00	- 1.947,21	31,55	0,105	4,14	3,90	66,68
29,00	36,00	5,00	- 1.911,01	32,41	0,101	4,49	3,87	65,85
29,00	37,00	5,00	- 1.872,81	33,28	0,097	4,84	3,84	65,04
29,00	38,00	5,00	- 1.832,66	34,14	0,093	5,19	3,82	64,23
29,00	39,00	5,00	- 1.790,59	35,00	0,090	5,55	3,80	63,43
29,00	40,00	5,83	- 902,75	35,00	0,087	5,92	3,77	62,65
30,00	30,00	5,00	- 2.129,08	27,33	0,132	2,51	4,03	71,57
30,00	31,00	5,00	- 2.104,26	28,20	0,126	2,80	4,00	70,71
30,00	32,00	5,00	- 2.077,17	29,07	0,120	3,10	3,96	69,86
30,00	33,00	5,00	- 2.047,88	29,93	0,115	3,40	3,93	69,03
30,00	34,00	5,00	- 2.016,42	30,80	0,110	3,72	3,90	68,20
30,00	35,00	5,00	- 1.982,83	31,67	0,106	4,05	3,87	67,38
30,00	36,00	5,00	- 1.947,15	32,53	0,102	4,38	3,84	66,57
30,00	37,00	5,00	- 1.909,42	33,40	0,098	4,72	3,82	65,77
30,00	38,00	5,00	- 1.869,67	34,27	0,094	5,06	3,79	64,98
30,00	39,00	5,14	- 1.691,13	35,00	0,090	5,41	3,77	64,20
30,00	40,00	6,00	- 767,65	35,00	0,087	5,77	3,75	63,43
31,00	30,00	5,00	- 2.161,92	27,42	0,132	2,46	4,01	72,12
31,00	31,00	5,00	- 2.137,99	28,29	0,126	2,74	3,97	71,29
31,00	32,00	5,00	- 2.111,75	29,16	0,121	3,03	3,94	70,46
31,00	33,00	5,00	- 2.083,24	30,03	0,116	3,33	3,90	69,65
31,00	34,00	5,00	- 2.052,50	30,90	0,111	3,64	3,87	68,84
31,00	35,00	5,00	- 2.019,58	31,77	0,106	3,95	3,84	68,04
31,00	36,00	5,00	- 1.984,51	32,65	0,102	4,28	3,82	67,25
31,00	37,00	5,00	- 1.947,33	33,52	0,098	4,60	3,79	66,47
31,00	38,00	5,00	- 1.908,07	34,39	0,095	4,94	3,77	65,70
31,00	39,00	5,28	- 1.592,18	35,00	0,091	5,28	3,74	64,93
31,00	40,00	6,17	- 633,10	35,00	0,088	5,62	3,72	64,18
32,00	30,00	5,00	- 2.195,44	27,50	0,132	2,41	3,98	72,65
32,00	31,00	5,00	- 2.172,48	28,38	0,127	2,68	3,95	71,83
32,00	32,00	5,00	- 2.147,15	29,25	0,121	2,96	3,91	71,03
32,00	33,00	5,00	- 2.119,49	30,13	0,116	3,25	3,88	70,23
32,00	34,00	5,00	- 2.089,55	31,00	0,111	3,55	3,85	69,44
32,00	35,00	5,00	- 2.057,36	31,88	0,107	3,86	3,82	68,66
32,00	36,00	5,00	- 2.022,98	32,75	0,103	4,17	3,79	67,89
32,00	37,00	5,00	- 1.986,43	33,63	0,099	4,49	3,77	67,13
32,00	38,00	5,00	- 1.947,74	34,50	0,095	4,81	3,74	66,37
32,00	39,00	5,41	- 1.493,70	35,00	0,092	5,14	3,72	65,62
32,00	40,00	6,33	- 499,04	35,00	0,088	5,48	3,69	64,89

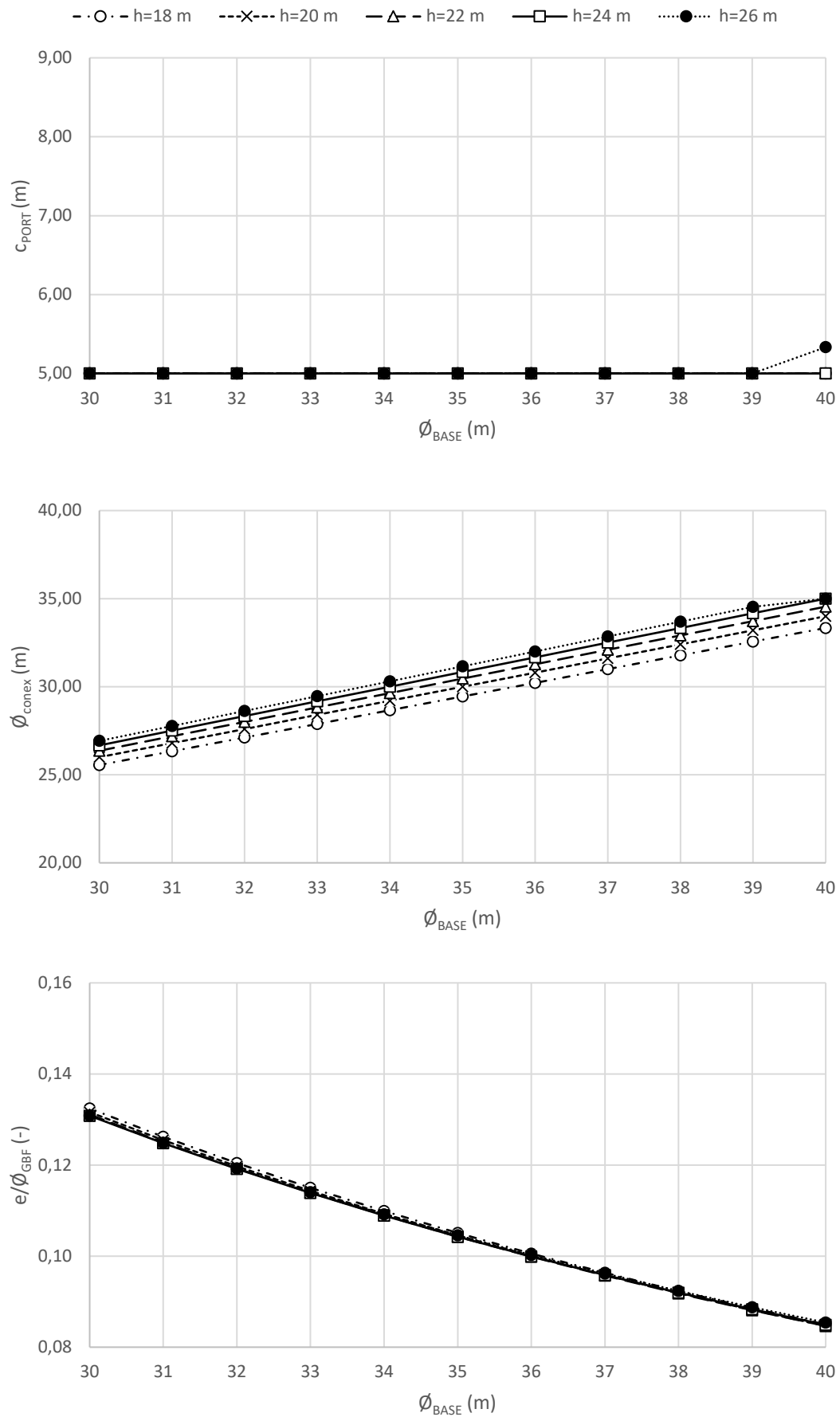


Figura 16: $S_{31} - F = -3.500t$

A3.10. S₃₂

Base cónica

**Instalación mediante embarcación
auxiliar**

S₃₂ – c_{PORT} = 11,5 m

S ₃₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
18,00	30,00	11,50	721,46	18,33	0,201	1,53	2,88	60,95
18,00	31,00	11,50	890,53	18,75	0,189	1,91	2,90	59,74
18,00	32,00	11,50	1.064,68	19,17	0,178	2,33	2,92	58,57
18,00	33,00	11,50	1.243,88	19,58	0,168	2,77	2,95	57,43
18,00	34,00	11,50	1.428,10	20,00	0,158	3,25	2,97	56,31
18,00	35,00	11,50	1.617,30	20,42	0,149	3,75	2,99	55,22
18,00	36,00	11,50	1.811,47	20,83	0,141	4,27	3,01	54,16
18,00	37,00	11,50	2.010,58	21,25	0,134	4,81	3,03	53,13
18,00	38,00	11,50	2.214,61	21,67	0,127	5,38	3,05	52,13
18,00	39,00	11,50	2.423,55	22,08	0,120	5,95	3,07	51,15
18,00	40,00	11,50	2.637,36	22,50	0,114	6,55	3,09	50,19
19,00	30,00	11,50	802,45	18,95	0,199	1,55	2,88	62,24
19,00	31,00	11,50	979,70	19,39	0,187	1,92	2,90	61,07
19,00	32,00	11,50	1.162,42	19,84	0,176	2,33	2,92	59,93
19,00	33,00	11,50	1.350,55	20,29	0,166	2,77	2,95	58,82
19,00	34,00	11,50	1.544,07	20,74	0,156	3,23	2,97	57,72
19,00	35,00	11,50	1.742,95	21,18	0,148	3,71	2,99	56,66
19,00	36,00	11,50	1.947,16	21,63	0,140	4,22	3,01	55,62
19,00	37,00	11,50	2.156,67	22,08	0,132	4,75	3,03	54,61
19,00	38,00	11,50	2.371,46	22,53	0,125	5,29	3,05	53,62
19,00	39,00	11,50	2.591,51	22,97	0,119	5,85	3,07	52,65
19,00	40,00	11,50	2.816,81	23,42	0,113	6,42	3,08	51,71
20,00	30,00	11,50	872,89	19,50	0,197	1,56	2,88	63,43
20,00	31,00	11,50	1.057,53	19,98	0,185	1,93	2,90	62,30
20,00	32,00	11,50	1.247,97	20,45	0,174	2,33	2,92	61,19
20,00	33,00	11,50	1.444,19	20,93	0,164	2,75	2,94	60,10
20,00	34,00	11,50	1.646,14	21,40	0,155	3,20	2,97	59,04
20,00	35,00	11,50	1.853,79	21,88	0,146	3,67	2,99	57,99
20,00	36,00	11,50	2.067,11	22,35	0,138	4,17	3,00	56,98
20,00	37,00	11,50	2.286,08	22,83	0,131	4,67	3,02	55,98
20,00	38,00	11,50	2.510,67	23,30	0,124	5,20	3,04	55,01
20,00	39,00	11,50	2.740,86	23,78	0,118	5,74	3,06	54,06
20,00	40,00	11,50	2.976,62	24,25	0,112	6,29	3,08	53,13
21,00	30,00	11,50	934,01	20,00	0,195	1,57	2,88	64,54
21,00	31,00	11,50	1.125,31	20,50	0,183	1,93	2,90	63,43
21,00	32,00	11,50	1.322,75	21,00	0,172	2,32	2,92	62,35
21,00	33,00	11,50	1.526,29	21,50	0,162	2,73	2,94	61,29
21,00	34,00	11,50	1.735,88	22,00	0,153	3,17	2,96	60,26
21,00	35,00	11,50	1.951,50	22,50	0,145	3,63	2,98	59,24
21,00	36,00	11,50	2.173,12	23,00	0,137	4,11	3,00	58,24
21,00	37,00	11,50	2.400,69	23,50	0,130	4,60	3,02	57,26
21,00	38,00	11,50	2.634,21	24,00	0,123	5,11	3,04	56,31
21,00	39,00	11,50	2.873,64	24,50	0,117	5,63	3,05	55,38
21,00	40,00	11,50	3.118,96	25,00	0,111	6,16	3,07	54,46
22,00	30,00	11,50	986,87	20,45	0,193	1,57	2,88	65,56
22,00	31,00	11,50	1.184,20	20,98	0,182	1,92	2,90	64,49
22,00	32,00	11,50	1.387,97	21,50	0,171	2,31	2,92	63,43
22,00	33,00	11,50	1.598,14	22,02	0,161	2,71	2,94	62,40
22,00	34,00	11,50	1.814,68	22,55	0,152	3,14	2,96	61,39
22,00	35,00	11,50	2.037,54	23,07	0,144	3,58	2,98	60,40
22,00	36,00	11,50	2.266,70	23,59	0,136	4,04	3,00	59,42
22,00	37,00	11,50	2.502,12	24,11	0,129	4,52	3,02	58,47
22,00	38,00	11,50	2.743,78	24,64	0,122	5,01	3,03	57,53
22,00	39,00	11,50	2.991,66	25,16	0,116	5,51	3,05	56,61
22,00	40,00	11,50	3.245,72	25,68	0,110	6,03	3,07	55,71

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
23,00	30,00	11,50	1.032,38	20,87	0,192	1,57	2,88	66,50
23,00	31,00	11,50	1.235,16	21,41	0,180	1,92	2,90	65,46
23,00	32,00	11,50	1.444,66	21,96	0,169	2,29	2,92	64,44
23,00	33,00	11,50	1.660,86	22,50	0,160	2,68	2,94	63,43
23,00	34,00	11,50	1.883,70	23,04	0,151	3,10	2,96	62,45
23,00	35,00	11,50	2.113,16	23,59	0,143	3,53	2,98	61,48
23,00	36,00	11,50	2.349,19	24,13	0,135	3,98	2,99	60,52
23,00	37,00	11,50	2.591,77	24,67	0,128	4,44	3,01	59,59
23,00	38,00	11,50	2.840,87	25,22	0,121	4,91	3,03	58,67
23,00	39,00	11,50	3.096,47	25,76	0,115	5,40	3,04	57,77
23,00	40,00	11,50	3.358,52	26,30	0,110	5,89	3,06	56,89
24,00	30,00	11,50	1.071,33	21,25	0,190	1,57	2,88	67,38
24,00	31,00	11,50	1.279,03	21,81	0,179	1,91	2,90	66,37
24,00	32,00	11,50	1.493,74	22,38	0,168	2,27	2,92	65,38
24,00	33,00	11,50	1.715,40	22,94	0,159	2,65	2,94	64,40
24,00	34,00	11,50	1.943,98	23,50	0,150	3,06	2,96	63,43
24,00	35,00	11,50	2.179,44	24,06	0,142	3,48	2,97	62,49
24,00	36,00	11,50	2.421,75	24,63	0,134	3,91	2,99	61,56
24,00	37,00	11,50	2.670,86	25,19	0,127	4,36	3,01	60,64
24,00	38,00	11,50	2.926,76	25,75	0,121	4,82	3,02	59,74
24,00	39,00	11,50	3.189,42	26,31	0,115	5,28	3,04	58,86
24,00	40,00	11,50	3.458,81	26,88	0,109	5,76	3,05	57,99
25,00	30,00	11,50	1.104,40	21,60	0,189	1,56	2,88	68,20
25,00	31,00	11,50	1.316,56	22,18	0,178	1,89	2,90	67,22
25,00	32,00	11,50	1.535,98	22,76	0,167	2,24	2,92	66,25
25,00	33,00	11,50	1.762,60	23,34	0,158	2,62	2,94	65,30
25,00	34,00	11,50	1.996,40	23,92	0,149	3,01	2,95	64,36
25,00	35,00	11,50	2.237,33	24,50	0,141	3,42	2,97	63,43
25,00	36,00	11,50	2.485,36	25,08	0,134	3,84	2,98	62,53
25,00	37,00	11,50	2.740,45	25,66	0,127	4,27	3,00	61,63
25,00	38,00	11,50	3.002,58	26,24	0,120	4,72	3,01	60,75
25,00	39,00	11,50	3.271,70	26,82	0,114	5,17	3,03	59,89
25,00	40,00	11,50	3.547,81	27,40	0,109	5,63	3,04	59,04
26,00	30,00	11,50	1.132,18	21,92	0,188	1,55	2,88	68,96
26,00	31,00	11,50	1.348,37	22,52	0,177	1,87	2,90	68,01
26,00	32,00	11,50	1.572,06	23,12	0,166	2,22	2,92	67,07
26,00	33,00	11,50	1.803,20	23,71	0,157	2,58	2,93	66,14
26,00	34,00	11,50	2.041,75	24,31	0,148	2,96	2,95	65,22
26,00	35,00	11,50	2.287,67	24,90	0,140	3,36	2,96	64,32
26,00	36,00	11,50	2.540,92	25,50	0,133	3,77	2,98	63,43
26,00	37,00	11,50	2.801,47	26,10	0,126	4,19	2,99	62,56
26,00	38,00	11,50	3.069,29	26,69	0,120	4,61	3,01	61,70
26,00	39,00	11,50	3.344,35	27,29	0,114	5,05	3,02	60,85
26,00	40,00	11,50	3.626,62	27,88	0,109	5,50	3,04	60,02
27,00	30,00	11,50	1.155,18	22,22	0,187	1,54	2,88	69,68
27,00	31,00	11,50	1.375,02	22,83	0,176	1,85	2,90	68,75
27,00	32,00	11,50	1.602,58	23,44	0,166	2,19	2,91	67,83
27,00	33,00	11,50	1.837,82	24,06	0,156	2,54	2,93	66,93
27,00	34,00	11,50	2.080,70	24,67	0,148	2,91	2,94	66,04
27,00	35,00	11,50	2.331,16	25,28	0,140	3,30	2,96	65,16
27,00	36,00	11,50	2.589,19	25,89	0,133	3,69	2,97	64,29
27,00	37,00	11,50	2.854,74	26,50	0,126	4,10	2,99	63,43
27,00	38,00	11,50	3.127,78	27,11	0,120	4,51	3,00	62,59
27,00	39,00	11,50	3.408,28	27,72	0,114	4,94	3,01	61,76
27,00	40,00	11,50	3.696,21	28,33	0,109	5,37	3,03	60,95

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
28,00	30,00	11,50	1.173,86	22,50	0,186	1,52	2,88	70,35
28,00	31,00	11,50	1.396,99	23,13	0,175	1,83	2,89	69,44
28,00	32,00	11,50	1.628,07	23,75	0,165	2,16	2,91	68,55
28,00	33,00	11,50	1.867,03	24,38	0,156	2,50	2,93	67,67
28,00	34,00	11,50	2.113,84	25,00	0,147	2,86	2,94	66,80
28,00	35,00	11,50	2.368,46	25,63	0,140	3,24	2,95	65,94
28,00	36,00	11,50	2.630,85	26,25	0,132	3,62	2,97	65,10
28,00	37,00	11,50	2.900,97	26,88	0,126	4,01	2,98	64,26
28,00	38,00	11,50	3.178,79	27,50	0,120	4,41	2,99	63,43
28,00	39,00	11,50	3.464,28	28,13	0,114	4,82	3,01	62,62
28,00	40,00	11,50	3.757,41	28,75	0,108	5,24	3,02	61,82
29,00	30,00	11,50	1.188,61	22,76	0,185	1,51	2,88	70,97
29,00	31,00	11,50	1.414,72	23,40	0,174	1,81	2,89	70,10
29,00	32,00	11,50	1.648,98	24,03	0,165	2,13	2,91	69,23
29,00	33,00	11,50	1.891,32	24,67	0,155	2,46	2,92	68,37
29,00	34,00	11,50	2.141,72	25,31	0,147	2,81	2,94	67,52
29,00	35,00	11,50	2.400,12	25,95	0,139	3,17	2,95	66,68
29,00	36,00	11,50	2.666,49	26,59	0,132	3,54	2,96	65,85
29,00	37,00	11,50	2.940,79	27,22	0,126	3,92	2,98	65,04
29,00	38,00	11,50	3.223,00	27,86	0,119	4,31	2,99	64,23
29,00	39,00	11,50	3.513,07	28,50	0,114	4,71	3,00	63,43
29,00	40,00	11,50	3.810,98	29,14	0,109	5,11	3,01	62,65
30,00	30,00	11,50	1.199,79	23,00	0,185	1,49	2,87	71,57
30,00	31,00	11,50	1.428,59	23,65	0,174	1,78	2,89	70,71
30,00	32,00	11,50	1.665,72	24,30	0,164	2,09	2,90	69,86
30,00	33,00	11,50	1.911,13	24,95	0,155	2,42	2,92	69,03
30,00	34,00	11,50	2.164,78	25,60	0,147	2,76	2,93	68,20
30,00	35,00	11,50	2.426,63	26,25	0,139	3,11	2,94	67,38
30,00	36,00	11,50	2.696,64	26,90	0,132	3,47	2,96	66,57
30,00	37,00	11,50	2.974,77	27,55	0,126	3,84	2,97	65,77
30,00	38,00	11,50	3.261,00	28,20	0,120	4,21	2,98	64,98
30,00	39,00	11,50	3.555,28	28,85	0,114	4,59	2,99	64,20
30,00	40,00	11,50	3.857,58	29,50	0,109	4,98	3,00	63,43
31,00	30,00	11,50	1.207,71	23,23	0,184	1,47	2,87	72,12
31,00	31,00	11,50	1.438,92	23,89	0,174	1,75	2,89	71,29
31,00	32,00	11,50	1.678,65	24,55	0,164	2,06	2,90	70,46
31,00	33,00	11,50	1.926,84	25,21	0,155	2,37	2,91	69,65
31,00	34,00	11,50	2.183,45	25,87	0,147	2,70	2,93	68,84
31,00	35,00	11,50	2.448,44	26,53	0,139	3,04	2,94	68,04
31,00	36,00	11,50	2.721,78	27,19	0,132	3,39	2,95	67,25
31,00	37,00	11,50	3.003,41	27,85	0,126	3,75	2,96	66,47
31,00	38,00	11,50	3.293,31	28,52	0,120	4,11	2,97	65,70
31,00	39,00	11,50	3.591,45	29,18	0,114	4,48	2,98	64,93
31,00	40,00	11,50	3.897,80	29,84	0,109	4,86	3,00	64,18
32,00	30,00	11,50	1.212,63	23,44	0,184	1,45	2,87	72,65
32,00	31,00	11,50	1.446,02	24,11	0,173	1,73	2,88	71,83
32,00	32,00	11,50	1.688,09	24,78	0,164	2,02	2,90	71,03
32,00	33,00	11,50	1.938,80	25,45	0,155	2,33	2,91	70,23
32,00	34,00	11,50	2.198,10	26,13	0,147	2,65	2,92	69,44
32,00	35,00	11,50	2.465,95	26,80	0,139	2,98	2,93	68,66
32,00	36,00	11,50	2.742,31	27,47	0,132	3,32	2,94	67,89
32,00	37,00	11,50	3.027,15	28,14	0,126	3,66	2,95	67,13
32,00	38,00	11,50	3.320,42	28,81	0,120	4,01	2,97	66,37
32,00	39,00	11,50	3.622,10	29,48	0,114	4,37	2,98	65,62
32,00	40,00	11,50	3.932,16	30,16	0,109	4,73	2,99	64,89

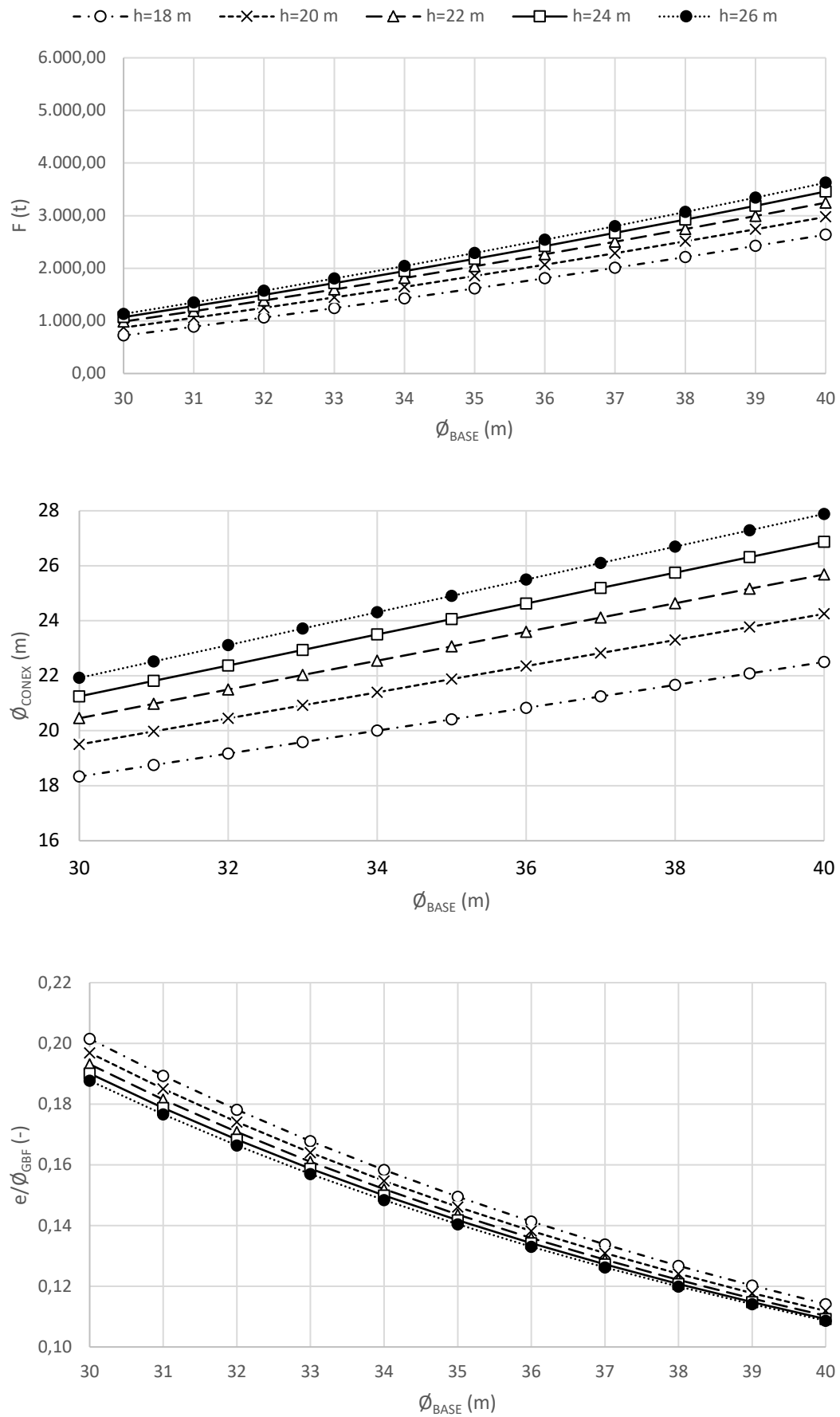


Figura 17: $S_{32} - C_{PORT} = 11,5\text{ m}$

S₃₂ – F = -3.500 t

S ₃₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
18,00	30,00	5,00	- 1.826,11	25,56	0,204	1,49	2,84	60,95
18,00	31,00	5,00	- 1.798,67	26,33	0,192	1,85	2,86	59,74
18,00	32,00	5,00	- 1.770,00	27,11	0,181	2,25	2,88	58,57
18,00	33,00	5,00	- 1.740,14	27,89	0,171	2,68	2,89	57,43
18,00	34,00	5,00	- 1.709,12	28,67	0,161	3,14	2,91	56,31
18,00	35,00	5,00	- 1.676,96	29,44	0,153	3,63	2,93	55,22
18,00	36,00	5,00	- 1.643,69	30,22	0,145	4,13	2,94	54,16
18,00	37,00	5,00	- 1.609,33	31,00	0,137	4,66	2,96	53,13
18,00	38,00	5,00	- 1.573,91	31,78	0,130	5,21	2,97	52,13
18,00	39,00	5,00	- 1.537,44	32,56	0,124	5,78	2,99	51,15
18,00	40,00	5,00	- 1.499,94	33,33	0,117	6,36	3,00	50,19
19,00	30,00	5,00	- 1.841,28	25,79	0,202	1,50	2,84	62,24
19,00	31,00	5,00	- 1.813,18	26,58	0,190	1,86	2,86	61,07
19,00	32,00	5,00	- 1.783,73	27,37	0,179	2,25	2,88	59,93
19,00	33,00	5,00	- 1.752,98	28,16	0,169	2,67	2,89	58,82
19,00	34,00	5,00	- 1.720,95	28,95	0,160	3,12	2,91	57,72
19,00	35,00	5,00	- 1.687,67	29,74	0,151	3,59	2,92	56,66
19,00	36,00	5,00	- 1.653,18	30,53	0,143	4,08	2,94	55,62
19,00	37,00	5,00	- 1.617,50	31,32	0,136	4,59	2,95	54,61
19,00	38,00	5,00	- 1.580,65	32,11	0,129	5,13	2,97	53,62
19,00	39,00	5,00	- 1.542,65	32,89	0,122	5,67	2,98	52,65
19,00	40,00	5,00	- 1.503,52	33,68	0,116	6,23	2,99	51,71
20,00	30,00	5,00	- 1.859,11	26,00	0,199	1,51	2,84	63,43
20,00	31,00	5,00	- 1.830,58	26,80	0,188	1,86	2,86	62,30
20,00	32,00	5,00	- 1.800,58	27,60	0,177	2,24	2,87	61,19
20,00	33,00	5,00	- 1.769,17	28,40	0,167	2,65	2,89	60,10
20,00	34,00	5,00	- 1.736,39	29,20	0,158	3,09	2,90	59,04
20,00	35,00	5,00	- 1.702,25	30,00	0,150	3,55	2,92	57,99
20,00	36,00	5,00	- 1.666,80	30,80	0,142	4,03	2,93	56,98
20,00	37,00	5,00	- 1.630,05	31,60	0,134	4,52	2,95	55,98
20,00	38,00	5,00	- 1.592,04	32,40	0,128	5,04	2,96	55,01
20,00	39,00	5,00	- 1.552,79	33,20	0,121	5,56	2,97	54,06
20,00	40,00	5,00	- 1.512,31	34,00	0,115	6,10	2,98	53,13
21,00	30,00	5,00	- 1.879,26	26,19	0,198	1,51	2,84	64,54
21,00	31,00	5,00	- 1.850,49	27,00	0,186	1,86	2,86	63,43
21,00	32,00	5,00	- 1.820,15	27,81	0,175	2,23	2,87	62,35
21,00	33,00	5,00	- 1.788,30	28,62	0,166	2,63	2,89	61,29
21,00	34,00	5,00	- 1.754,98	29,43	0,157	3,06	2,90	60,26
21,00	35,00	5,00	- 1.720,20	30,24	0,148	3,50	2,91	59,24
21,00	36,00	5,00	- 1.684,02	31,05	0,140	3,97	2,93	58,24
21,00	37,00	5,00	- 1.646,44	31,86	0,133	4,45	2,94	57,26
21,00	38,00	5,00	- 1.607,51	32,67	0,127	4,94	2,95	56,31
21,00	39,00	5,00	- 1.567,24	33,48	0,120	5,45	2,96	55,38
21,00	40,00	5,00	- 1.525,66	34,29	0,115	5,97	2,98	54,46
22,00	30,00	5,00	- 1.901,44	26,36	0,196	1,51	2,84	65,56
22,00	31,00	5,00	- 1.872,60	27,18	0,184	1,85	2,86	64,49
22,00	32,00	5,00	- 1.842,11	28,00	0,174	2,22	2,87	63,43
22,00	33,00	5,00	- 1.810,01	28,82	0,164	2,61	2,88	62,40
22,00	34,00	5,00	- 1.776,34	29,64	0,155	3,02	2,90	61,39
22,00	35,00	5,00	- 1.741,12	30,45	0,147	3,46	2,91	60,40
22,00	36,00	5,00	- 1.704,41	31,27	0,139	3,91	2,92	59,42
22,00	37,00	5,00	- 1.666,22	32,09	0,132	4,37	2,93	58,47
22,00	38,00	5,00	- 1.626,58	32,91	0,126	4,85	2,95	57,53
22,00	39,00	5,00	- 1.585,51	33,73	0,120	5,34	2,96	56,61
22,00	40,00	5,00	- 1.543,05	34,55	0,114	5,84	2,97	55,71

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
23,00	30,00	5,00	- 1.925,40	26,52	0,194	1,51	2,84	66,50
23,00	31,00	5,00	- 1.896,66	27,35	0,183	1,85	2,85	65,46
23,00	32,00	5,00	- 1.866,17	28,17	0,173	2,20	2,87	64,44
23,00	33,00	5,00	- 1.833,99	29,00	0,163	2,59	2,88	63,43
23,00	34,00	5,00	- 1.800,14	29,83	0,154	2,99	2,89	62,45
23,00	35,00	5,00	- 1.764,67	30,65	0,146	3,41	2,90	61,48
23,00	36,00	5,00	- 1.727,61	31,48	0,139	3,84	2,92	60,52
23,00	37,00	5,00	- 1.688,98	32,30	0,132	4,29	2,93	59,59
23,00	38,00	5,00	- 1.648,83	33,13	0,125	4,75	2,94	58,67
23,00	39,00	5,00	- 1.607,17	33,96	0,119	5,23	2,95	57,77
23,00	40,00	5,00	- 1.564,03	34,78	0,113	5,71	2,96	56,89
24,00	30,00	5,00	- 1.950,94	26,67	0,193	1,51	2,84	67,38
24,00	31,00	5,00	- 1.922,43	27,50	0,182	1,84	2,85	66,37
24,00	32,00	5,00	- 1.892,10	28,33	0,171	2,19	2,87	65,38
24,00	33,00	5,00	- 1.859,98	29,17	0,162	2,56	2,88	64,40
24,00	34,00	5,00	- 1.826,12	30,00	0,153	2,95	2,89	63,43
24,00	35,00	5,00	- 1.790,55	30,83	0,145	3,35	2,90	62,49
24,00	36,00	5,00	- 1.753,30	31,67	0,138	3,78	2,91	61,56
24,00	37,00	5,00	- 1.714,41	32,50	0,131	4,21	2,92	60,64
24,00	38,00	5,00	- 1.673,92	33,33	0,124	4,66	2,93	59,74
24,00	39,00	5,00	- 1.631,83	34,17	0,118	5,12	2,94	58,86
24,00	40,00	5,00	- 1.588,19	35,00	0,113	5,58	2,95	57,99
25,00	30,00	5,00	- 1.977,88	26,80	0,192	1,50	2,84	68,20
25,00	31,00	5,00	- 1.949,74	27,64	0,181	1,82	2,85	67,22
25,00	32,00	5,00	- 1.919,69	28,48	0,170	2,16	2,86	66,25
25,00	33,00	5,00	- 1.887,78	29,32	0,161	2,52	2,87	65,30
25,00	34,00	5,00	- 1.854,03	30,16	0,152	2,90	2,89	64,36
25,00	35,00	5,00	- 1.818,50	31,00	0,145	3,30	2,90	63,43
25,00	36,00	5,00	- 1.781,22	31,84	0,137	3,71	2,91	62,53
25,00	37,00	5,00	- 1.742,23	32,68	0,130	4,13	2,92	61,63
25,00	38,00	5,00	- 1.701,54	33,52	0,124	4,56	2,93	60,75
25,00	39,00	5,00	- 1.659,19	34,36	0,118	5,01	2,94	59,89
25,00	40,00	5,17	- 1.449,59	35,00	0,112	5,46	2,95	59,04
26,00	30,00	5,00	- 2.006,08	26,92	0,191	1,49	2,84	68,96
26,00	31,00	5,00	- 1.978,42	27,77	0,180	1,80	2,85	68,01
26,00	32,00	5,00	- 1.948,77	28,62	0,170	2,14	2,86	67,07
26,00	33,00	5,00	- 1.917,18	29,46	0,160	2,49	2,87	66,14
26,00	34,00	5,00	- 1.883,68	30,31	0,152	2,86	2,88	65,22
26,00	35,00	5,00	- 1.848,33	31,15	0,144	3,24	2,89	64,32
26,00	36,00	5,00	- 1.811,14	32,00	0,137	3,64	2,90	63,43
26,00	37,00	5,00	- 1.772,17	32,85	0,130	4,05	2,91	62,56
26,00	38,00	5,00	- 1.731,44	33,69	0,124	4,47	2,92	61,70
26,00	39,00	5,00	- 1.688,97	34,54	0,118	4,89	2,93	60,85
26,00	40,00	5,33	- 1.311,81	35,00	0,112	5,33	2,94	60,02
27,00	30,00	5,00	- 2.035,41	27,04	0,190	1,48	2,84	69,68
27,00	31,00	5,00	- 2.008,32	27,89	0,179	1,79	2,85	68,75
27,00	32,00	5,00	- 1.979,18	28,74	0,169	2,11	2,86	67,83
27,00	33,00	5,00	- 1.948,02	29,59	0,160	2,45	2,87	66,93
27,00	34,00	5,00	- 1.914,89	30,44	0,151	2,81	2,88	66,04
27,00	35,00	5,00	- 1.879,82	31,30	0,143	3,18	2,89	65,16
27,00	36,00	5,00	- 1.842,86	32,15	0,136	3,57	2,90	64,29
27,00	37,00	5,00	- 1.804,04	33,00	0,129	3,96	2,91	63,43
27,00	38,00	5,00	- 1.763,38	33,85	0,123	4,37	2,91	62,59
27,00	39,00	5,00	- 1.720,93	34,70	0,117	4,78	2,92	61,76
27,00	40,00	5,50	- 1.174,78	35,00	0,112	5,20	2,93	60,95

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
28,00	30,00	5,00	- 2.065,74	27,14	0,189	1,47	2,84	70,35
28,00	31,00	5,00	- 2.039,33	28,00	0,178	1,77	2,85	69,44
28,00	32,00	5,00	- 2.010,79	28,86	0,168	2,08	2,86	68,55
28,00	33,00	5,00	- 1.980,17	29,71	0,159	2,42	2,86	67,67
28,00	34,00	5,00	- 1.947,50	30,57	0,151	2,76	2,87	66,80
28,00	35,00	5,00	- 1.912,83	31,43	0,143	3,12	2,88	65,94
28,00	36,00	5,00	- 1.876,20	32,29	0,136	3,50	2,89	65,10
28,00	37,00	5,00	- 1.837,64	33,14	0,129	3,88	2,90	64,26
28,00	38,00	5,00	- 1.797,18	34,00	0,123	4,27	2,91	63,43
28,00	39,00	5,00	- 1.754,86	34,86	0,117	4,67	2,92	62,62
28,00	40,00	5,67	- 1.038,45	35,00	0,112	5,08	2,92	61,82
29,00	30,00	5,00	- 2.097,00	27,24	0,188	1,45	2,83	70,97
29,00	31,00	5,00	- 2.071,34	28,10	0,177	1,74	2,84	70,10
29,00	32,00	5,00	- 2.043,49	28,97	0,168	2,05	2,85	69,23
29,00	33,00	5,00	- 2.013,49	29,83	0,159	2,38	2,86	68,37
29,00	34,00	5,00	- 1.981,38	30,69	0,150	2,71	2,87	67,52
29,00	35,00	5,00	- 1.947,21	31,55	0,143	3,06	2,88	66,68
29,00	36,00	5,00	- 1.911,01	32,41	0,136	3,43	2,89	65,85
29,00	37,00	5,00	- 1.872,81	33,28	0,129	3,80	2,89	65,04
29,00	38,00	5,00	- 1.832,66	34,14	0,123	4,18	2,90	64,23
29,00	39,00	5,00	- 1.790,59	35,00	0,117	4,56	2,91	63,43
29,00	40,00	5,83	- 902,75	35,00	0,112	4,95	2,92	62,65
30,00	30,00	5,00	- 2.129,08	27,33	0,187	1,44	2,83	71,57
30,00	31,00	5,00	- 2.104,26	28,20	0,177	1,72	2,84	70,71
30,00	32,00	5,00	- 2.077,17	29,07	0,167	2,02	2,85	69,86
30,00	33,00	5,00	- 2.047,88	29,93	0,158	2,34	2,86	69,03
30,00	34,00	5,00	- 2.016,42	30,80	0,150	2,66	2,87	68,20
30,00	35,00	5,00	- 1.982,83	31,67	0,143	3,00	2,87	67,38
30,00	36,00	5,00	- 1.947,15	32,53	0,136	3,35	2,88	66,57
30,00	37,00	5,00	- 1.909,42	33,40	0,129	3,71	2,89	65,77
30,00	38,00	5,00	- 1.869,67	34,27	0,123	4,08	2,90	64,98
30,00	39,00	5,14	- 1.691,13	35,00	0,117	4,45	2,90	64,20
30,00	40,00	6,00	- 767,65	35,00	0,112	4,83	2,91	63,43
31,00	30,00	5,00	- 2.161,92	27,42	0,187	1,42	2,83	72,12
31,00	31,00	5,00	- 2.137,99	28,29	0,177	1,69	2,84	71,29
31,00	32,00	5,00	- 2.111,75	29,16	0,167	1,99	2,85	70,46
31,00	33,00	5,00	- 2.083,24	30,03	0,158	2,29	2,85	69,65
31,00	34,00	5,00	- 2.052,50	30,90	0,150	2,61	2,86	68,84
31,00	35,00	5,00	- 2.019,58	31,77	0,143	2,94	2,87	68,04
31,00	36,00	5,00	- 1.984,51	32,65	0,136	3,28	2,88	67,25
31,00	37,00	5,00	- 1.947,33	33,52	0,129	3,63	2,88	66,47
31,00	38,00	5,00	- 1.908,07	34,39	0,123	3,98	2,89	65,70
31,00	39,00	5,28	- 1.592,18	35,00	0,118	4,34	2,90	64,93
31,00	40,00	6,17	- 633,10	35,00	0,112	4,71	2,90	64,18
32,00	30,00	5,00	- 2.195,44	27,50	0,187	1,40	2,83	72,65
32,00	31,00	5,00	- 2.172,48	28,38	0,176	1,67	2,84	71,83
32,00	32,00	5,00	- 2.147,15	29,25	0,167	1,95	2,84	71,03
32,00	33,00	5,00	- 2.119,49	30,13	0,158	2,25	2,85	70,23
32,00	34,00	5,00	- 2.089,55	31,00	0,150	2,56	2,86	69,44
32,00	35,00	5,00	- 2.057,36	31,88	0,143	2,88	2,86	68,66
32,00	36,00	5,00	- 2.022,98	32,75	0,136	3,21	2,87	67,89
32,00	37,00	5,00	- 1.986,43	33,63	0,129	3,54	2,88	67,13
32,00	38,00	5,00	- 1.947,74	34,50	0,123	3,89	2,88	66,37
32,00	39,00	5,41	- 1.493,70	35,00	0,118	4,24	2,89	65,62
32,00	40,00	6,33	- 499,04	35,00	0,113	4,59	2,90	64,89

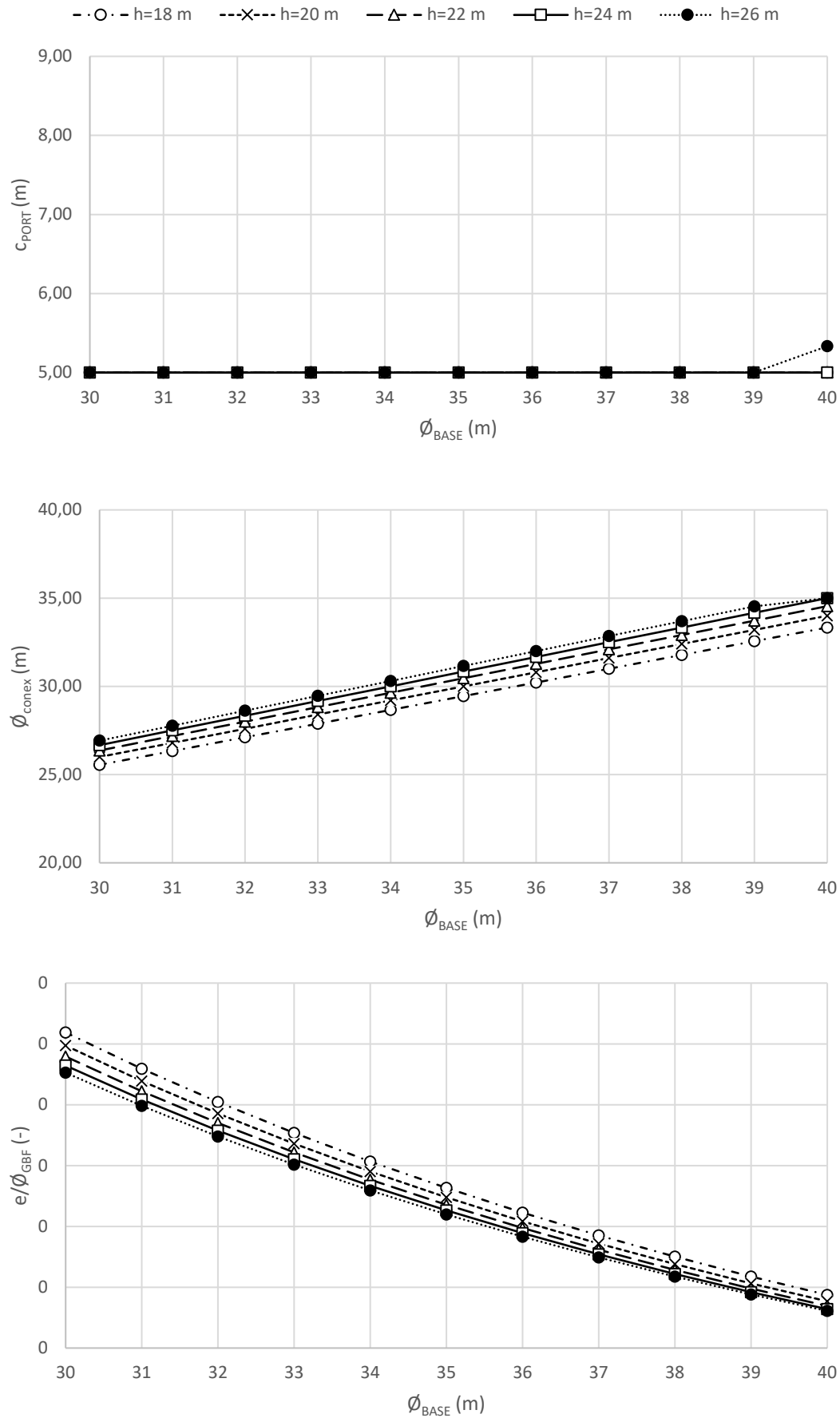


Figura 18: S32 – F= -3.500 t

A3.11. S₃₃

Base cónica

**Autoestable en transporte, fondeo
mediante embarcación auxiliar**

S₃₃ – c_{PORT} = 11,5 m (NO HAY SOLUCIÓN – R₄)

S ₃₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
18,00	30,00	11,50	721,46	18,33	- 7,27	0,201	1,53	2,88	60,95
18,00	31,00	11,50	890,53	18,75	- 6,60	0,189	1,91	2,90	59,74
18,00	32,00	11,50	1.064,68	19,17	- 5,96	0,178	2,33	2,92	58,57
18,00	33,00	11,50	1.243,88	19,58	- 5,36	0,168	2,77	2,95	57,43
18,00	34,00	11,50	1.428,10	20,00	- 4,81	0,158	3,25	2,97	56,31
18,00	35,00	11,50	1.617,30	20,42	- 4,30	0,149	3,75	2,99	55,22
18,00	36,00	11,50	1.811,47	20,83	- 3,83	0,141	4,27	3,01	54,16
18,00	37,00	11,50	2.010,58	21,25	- 3,38	0,134	4,81	3,03	53,13
18,00	38,00	11,50	2.214,61	21,67	- 2,97	0,127	5,38	3,05	52,13
18,00	39,00	11,50	2.423,55	22,08	- 2,58	0,120	5,95	3,07	51,15
18,00	40,00	11,50	2.637,36	22,50	- 2,21	0,114	6,55	3,09	50,19
19,00	30,00	11,50	802,45	18,95	- 7,05	0,199	1,55	2,88	62,24
19,00	31,00	11,50	979,70	19,39	- 6,35	0,187	1,92	2,90	61,07
19,00	32,00	11,50	1.162,42	19,84	- 5,70	0,176	2,33	2,92	59,93
19,00	33,00	11,50	1.350,55	20,29	- 5,11	0,166	2,77	2,95	58,82
19,00	34,00	11,50	1.544,07	20,74	- 4,56	0,156	3,23	2,97	57,72
19,00	35,00	11,50	1.742,95	21,18	- 4,04	0,148	3,71	2,99	56,66
19,00	36,00	11,50	1.947,16	21,63	- 3,56	0,140	4,22	3,01	55,62
19,00	37,00	11,50	2.156,67	22,08	- 3,12	0,132	4,75	3,03	54,61
19,00	38,00	11,50	2.371,46	22,53	- 2,70	0,125	5,29	3,05	53,62
19,00	39,00	11,50	2.591,51	22,97	- 2,37	0,119	5,85	3,07	52,65
19,00	40,00	11,50	2.816,81	23,42	- 2,00	0,113	6,42	3,08	51,71
20,00	30,00	11,50	872,89	19,50	- 6,83	0,197	1,56	2,88	63,43
20,00	31,00	11,50	1.057,53	19,98	- 6,13	0,185	1,93	2,90	62,30
20,00	32,00	11,50	1.247,97	20,45	- 5,48	0,174	2,33	2,92	61,19
20,00	33,00	11,50	1.444,19	20,93	- 4,88	0,164	2,75	2,94	60,10
20,00	34,00	11,50	1.646,14	21,40	- 4,33	0,155	3,20	2,97	59,04
20,00	35,00	11,50	1.853,79	21,88	- 3,81	0,146	3,67	2,99	57,99
20,00	36,00	11,50	2.067,11	22,35	- 3,33	0,138	4,17	3,00	56,98
20,00	37,00	11,50	2.286,08	22,83	- 2,94	0,131	4,67	3,02	55,98
20,00	38,00	11,50	2.510,67	23,30	- 2,52	0,124	5,20	3,04	55,01
20,00	39,00	11,50	2.740,86	23,78	- 2,12	0,118	5,74	3,06	54,06
20,00	40,00	11,50	2.976,62	24,25	- 1,75	0,112	6,29	3,08	53,13
21,00	30,00	11,50	934,01	20,00	- 6,64	0,195	1,57	2,88	64,54
21,00	31,00	11,50	1.125,31	20,50	- 5,94	0,183	1,93	2,90	63,43
21,00	32,00	11,50	1.322,75	21,00	- 5,29	0,172	2,32	2,92	62,35
21,00	33,00	11,50	1.526,29	21,50	- 4,69	0,162	2,73	2,94	61,29
21,00	34,00	11,50	1.735,88	22,00	- 4,13	0,153	3,17	2,96	60,26
21,00	35,00	11,50	1.951,50	22,50	- 3,61	0,145	3,63	2,98	59,24
21,00	36,00	11,50	2.173,12	23,00	- 3,18	0,137	4,11	3,00	58,24
21,00	37,00	11,50	2.400,69	23,50	- 2,73	0,130	4,60	3,02	57,26
21,00	38,00	11,50	2.634,21	24,00	- 2,30	0,123	5,11	3,04	56,31
21,00	39,00	11,50	2.873,64	24,50	- 1,90	0,117	5,63	3,05	55,38
21,00	40,00	11,50	3.118,96	25,00	- 1,52	0,111	6,16	3,07	54,46
22,00	30,00	11,50	986,87	20,45	- 6,48	0,193	1,57	2,88	65,56
22,00	31,00	11,50	1.184,20	20,98	- 5,78	0,182	1,92	2,90	64,49
22,00	32,00	11,50	1.387,97	21,50	- 5,12	0,171	2,31	2,92	63,43
22,00	33,00	11,50	1.598,14	22,02	- 4,52	0,161	2,71	2,94	62,40
22,00	34,00	11,50	1.814,68	22,55	- 3,95	0,152	3,14	2,96	61,39
22,00	35,00	11,50	2.037,54	23,07	- 3,43	0,144	3,58	2,98	60,40
22,00	36,00	11,50	2.266,70	23,59	- 3,00	0,136	4,04	3,00	59,42
22,00	37,00	11,50	2.502,12	24,11	- 2,54	0,129	4,52	3,02	58,47
22,00	38,00	11,50	2.743,78	24,64	- 2,11	0,122	5,01	3,03	57,53
22,00	39,00	11,50	2.991,66	25,16	- 1,70	0,116	5,51	3,05	56,61
22,00	40,00	11,50	3.245,72	25,68	- 1,31	0,110	6,03	3,07	55,71

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
23,00	30,00	11,50	1.032,38	20,87	- 6,35	0,192	1,57	2,88	66,50
23,00	31,00	11,50	1.235,16	21,41	- 5,64	0,180	1,92	2,90	65,46
23,00	32,00	11,50	1.444,66	21,96	- 4,98	0,169	2,29	2,92	64,44
23,00	33,00	11,50	1.660,86	22,50	- 4,37	0,160	2,68	2,94	63,43
23,00	34,00	11,50	1.883,70	23,04	- 3,80	0,151	3,10	2,96	62,45
23,00	35,00	11,50	2.113,16	23,59	- 3,33	0,143	3,53	2,98	61,48
23,00	36,00	11,50	2.349,19	24,13	- 2,83	0,135	3,98	2,99	60,52
23,00	37,00	11,50	2.591,77	24,67	- 2,37	0,128	4,44	3,01	59,59
23,00	38,00	11,50	2.840,87	25,22	- 1,93	0,121	4,91	3,03	58,67
23,00	39,00	11,50	3.096,47	25,76	- 1,52	0,115	5,40	3,04	57,77
23,00	40,00	11,50	3.358,52	26,30	- 1,12	0,110	5,89	3,06	56,89
24,00	30,00	11,50	1.071,33	21,25	- 6,24	0,190	1,57	2,88	67,38
24,00	31,00	11,50	1.279,03	21,81	- 5,52	0,179	1,91	2,90	66,37
24,00	32,00	11,50	1.493,74	22,38	- 4,86	0,168	2,27	2,92	65,38
24,00	33,00	11,50	1.715,40	22,94	- 4,24	0,159	2,65	2,94	64,40
24,00	34,00	11,50	1.943,98	23,50	- 3,73	0,150	3,06	2,96	63,43
24,00	35,00	11,50	2.179,44	24,06	- 3,19	0,142	3,48	2,97	62,49
24,00	36,00	11,50	2.421,75	24,63	- 2,69	0,134	3,91	2,99	61,56
24,00	37,00	11,50	2.670,86	25,19	- 2,22	0,127	4,36	3,01	60,64
24,00	38,00	11,50	2.926,76	25,75	- 1,78	0,121	4,82	3,02	59,74
24,00	39,00	11,50	3.189,42	26,31	- 1,35	0,115	5,28	3,04	58,86
24,00	40,00	11,50	3.458,81	26,88	- 0,96	0,109	5,76	3,05	57,99
25,00	30,00	11,50	1.104,40	21,60	- 6,14	0,189	1,56	2,88	68,20
25,00	31,00	11,50	1.316,56	22,18	- 5,42	0,178	1,89	2,90	67,22
25,00	32,00	11,50	1.535,98	22,76	- 4,76	0,167	2,24	2,92	66,25
25,00	33,00	11,50	1.762,60	23,34	- 4,13	0,158	2,62	2,94	65,30
25,00	34,00	11,50	1.996,40	23,92	- 3,61	0,149	3,01	2,95	64,36
25,00	35,00	11,50	2.237,33	24,50	- 3,07	0,141	3,42	2,97	63,43
25,00	36,00	11,50	2.485,36	25,08	- 2,57	0,134	3,84	2,98	62,53
25,00	37,00	11,50	2.740,45	25,66	- 2,09	0,127	4,27	3,00	61,63
25,00	38,00	11,50	3.002,58	26,24	- 1,64	0,120	4,72	3,01	60,75
25,00	39,00	11,50	3.271,70	26,82	- 1,21	0,114	5,17	3,03	59,89
25,00	40,00	11,50	3.547,81	27,40	- 0,80	0,109	5,63	3,04	59,04
26,00	30,00	11,50	1.132,18	21,92	- 6,07	0,188	1,55	2,88	68,96
26,00	31,00	11,50	1.348,37	22,52	- 5,34	0,177	1,87	2,90	68,01
26,00	32,00	11,50	1.572,06	23,12	- 4,67	0,166	2,22	2,92	67,07
26,00	33,00	11,50	1.803,20	23,71	- 4,04	0,157	2,58	2,93	66,14
26,00	34,00	11,50	2.041,75	24,31	- 3,52	0,148	2,96	2,95	65,22
26,00	35,00	11,50	2.287,67	24,90	- 2,97	0,140	3,36	2,96	64,32
26,00	36,00	11,50	2.540,92	25,50	- 2,46	0,133	3,77	2,98	63,43
26,00	37,00	11,50	2.801,47	26,10	- 1,98	0,126	4,19	2,99	62,56
26,00	38,00	11,50	3.069,29	26,69	- 1,52	0,120	4,61	3,01	61,70
26,00	39,00	11,50	3.344,35	27,29	- 1,08	0,114	5,05	3,02	60,85
26,00	40,00	11,50	3.626,62	27,88	- 0,67	0,109	5,50	3,04	60,02
27,00	30,00	11,50	1.155,18	22,22	- 6,01	0,187	1,54	2,88	69,68
27,00	31,00	11,50	1.375,02	22,83	- 5,28	0,176	1,85	2,90	68,75
27,00	32,00	11,50	1.602,58	23,44	- 4,60	0,166	2,19	2,91	67,83
27,00	33,00	11,50	1.837,82	24,06	- 4,03	0,156	2,54	2,93	66,93
27,00	34,00	11,50	2.080,70	24,67	- 3,44	0,148	2,91	2,94	66,04
27,00	35,00	11,50	2.331,16	25,28	- 2,89	0,140	3,30	2,96	65,16
27,00	36,00	11,50	2.589,19	25,89	- 2,37	0,133	3,69	2,97	64,29
27,00	37,00	11,50	2.854,74	26,50	- 1,88	0,126	4,10	2,99	63,43
27,00	38,00	11,50	3.127,78	27,11	- 1,41	0,120	4,51	3,00	62,59
27,00	39,00	11,50	3.408,28	27,72	- 0,97	0,114	4,94	3,01	61,76
27,00	40,00	11,50	3.696,21	28,33	- 0,55	0,109	5,37	3,03	60,95
28,00	30,00	11,50	1.173,86	22,50	- 5,97	0,186	1,52	2,88	70,35
28,00	31,00	11,50	1.396,99	23,13	- 5,23	0,175	1,83	2,89	69,44
28,00	32,00	11,50	1.628,07	23,75	- 4,55	0,165	2,16	2,91	68,55
28,00	33,00	11,50	1.867,03	24,38	- 3,97	0,156	2,50	2,93	67,67
28,00	34,00	11,50	2.113,84	25,00	- 3,37	0,147	2,86	2,94	66,80
28,00	35,00	11,50	2.368,46	25,63	- 2,82	0,140	3,24	2,95	65,94
28,00	36,00	11,50	2.630,85	26,25	- 2,29	0,132	3,62	2,97	65,10
28,00	37,00	11,50	2.900,97	26,88	- 1,79	0,126	4,01	2,98	64,26
28,00	38,00	11,50	3.178,79	27,50	- 1,32	0,120	4,41	2,99	63,43
28,00	39,00	11,50	3.464,28	28,13	- 0,87	0,114	4,82	3,01	62,62
28,00	40,00	11,50	3.757,41	28,75	- 0,45	0,108	5,24	3,02	61,82

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
29,00	30,00	11,50	1.188,61	22,76	- 5,94	0,185	1,51	2,88	70,97
29,00	31,00	11,50	1.414,72	23,40	- 5,20	0,174	1,81	2,89	70,10
29,00	32,00	11,50	1.648,98	24,03	- 4,51	0,165	2,13	2,91	69,23
29,00	33,00	11,50	1.891,32	24,67	- 3,92	0,155	2,46	2,92	68,37
29,00	34,00	11,50	2.141,72	25,31	- 3,32	0,147	2,81	2,94	67,52
29,00	35,00	11,50	2.400,12	25,95	- 2,76	0,139	3,17	2,95	66,68
29,00	36,00	11,50	2.666,49	26,59	- 2,23	0,132	3,54	2,96	65,85
29,00	37,00	11,50	2.940,79	27,22	- 1,72	0,126	3,92	2,98	65,04
29,00	38,00	11,50	3.223,00	27,86	- 1,24	0,119	4,31	2,99	64,23
29,00	39,00	11,50	3.513,07	28,50	- 0,79	0,114	4,71	3,00	63,43
29,00	40,00	11,50	3.810,98	29,14	- 0,35	0,109	5,11	3,01	62,65
30,00	30,00	11,50	1.199,79	23,00	- 5,92	0,185	1,49	2,87	71,57
30,00	31,00	11,50	1.428,59	23,65	- 5,18	0,174	1,78	2,89	70,71
30,00	32,00	11,50	1.665,72	24,30	- 4,48	0,164	2,09	2,90	69,86
30,00	33,00	11,50	1.911,13	24,95	- 3,89	0,155	2,42	2,92	69,03
30,00	34,00	11,50	2.164,78	25,60	- 3,28	0,147	2,76	2,93	68,20
30,00	35,00	11,50	2.426,63	26,25	- 2,71	0,139	3,11	2,94	67,38
30,00	36,00	11,50	2.696,64	26,90	- 2,18	0,132	3,47	2,96	66,57
30,00	37,00	11,50	2.974,77	27,55	- 1,67	0,126	3,84	2,97	65,77
30,00	38,00	11,50	3.261,00	28,20	- 1,18	0,120	4,21	2,98	64,98
30,00	39,00	11,50	3.555,28	28,85	- 0,72	0,114	4,59	2,99	64,20
30,00	40,00	11,50	3.857,58	29,50	- 0,28	0,109	4,98	3,00	63,43
31,00	30,00	11,50	1.207,71	23,23	- 5,92	0,184	1,47	2,87	72,12
31,00	31,00	11,50	1.438,92	23,89	- 5,17	0,174	1,75	2,89	71,29
31,00	32,00	11,50	1.678,65	24,55	- 4,47	0,164	2,06	2,90	70,46
31,00	33,00	11,50	1.926,84	25,21	- 3,87	0,155	2,37	2,91	69,65
31,00	34,00	11,50	2.183,45	25,87	- 3,26	0,147	2,70	2,93	68,84
31,00	35,00	11,50	2.448,44	26,53	- 2,68	0,139	3,04	2,94	68,04
31,00	36,00	11,50	2.721,78	27,19	- 2,14	0,132	3,39	2,95	67,25
31,00	37,00	11,50	3.003,41	27,85	- 1,62	0,126	3,75	2,96	66,47
31,00	38,00	11,50	3.293,31	28,52	- 1,13	0,120	4,11	2,97	65,70
31,00	39,00	11,50	3.591,45	29,18	- 0,66	0,114	4,48	2,98	64,93
31,00	40,00	11,50	3.897,80	29,84	- 0,21	0,109	4,86	3,00	64,18
32,00	30,00	11,50	1.212,63	23,44	- 5,93	0,184	1,45	2,87	72,65
32,00	31,00	11,50	1.446,02	24,11	- 5,17	0,173	1,73	2,88	71,83
32,00	32,00	11,50	1.688,09	24,78	- 4,46	0,164	2,02	2,90	71,03
32,00	33,00	11,50	1.938,80	25,45	- 3,86	0,155	2,33	2,91	70,23
32,00	34,00	11,50	2.198,10	26,13	- 3,24	0,147	2,65	2,92	69,44
32,00	35,00	11,50	2.465,95	26,80	- 2,66	0,139	2,98	2,93	68,66
32,00	36,00	11,50	2.742,31	27,47	- 2,11	0,132	3,32	2,94	67,89
32,00	37,00	11,50	3.027,15	28,14	- 1,58	0,126	3,66	2,95	67,13
32,00	38,00	11,50	3.320,42	28,81	- 1,09	0,120	4,01	2,97	66,37
32,00	39,00	11,50	3.622,10	29,48	- 0,61	0,114	4,37	2,98	65,62
32,00	40,00	11,50	3.932,16	30,16	- 0,15	0,109	4,73	2,99	64,89
33,00	30,00	11,50	1.214,82	23,64	- 5,95	0,184	1,42	2,87	73,14
33,00	31,00	11,50	1.450,15	24,32	- 5,18	0,173	1,70	2,88	72,35
33,00	32,00	11,50	1.694,33	25,00	- 4,47	0,164	1,98	2,89	71,57
33,00	33,00	11,50	1.947,31	25,68	- 3,86	0,155	2,28	2,90	70,79
33,00	34,00	11,50	2.209,05	26,36	- 3,24	0,147	2,59	2,91	70,02
33,00	35,00	11,50	2.479,50	27,05	- 2,65	0,139	2,91	2,93	69,25
33,00	36,00	11,50	2.758,62	27,73	- 2,09	0,133	3,24	2,94	68,50
33,00	37,00	11,50	3.046,38	28,41	- 1,56	0,126	3,57	2,95	67,75
33,00	38,00	11,50	3.342,74	29,09	- 1,06	0,120	3,92	2,96	67,01
33,00	39,00	11,50	3.647,67	29,77	- 0,57	0,115	4,26	2,97	66,28
33,00	40,00	11,50	3.961,14	30,45	- 0,11	0,110	4,61	2,98	65,56
34,00	30,00	11,50	1.214,49	23,82	- 5,98	0,184	1,40	2,86	73,61
34,00	31,00	11,50	1.451,55	24,51	- 5,21	0,173	1,67	2,87	72,84
34,00	32,00	11,50	1.697,62	25,21	- 4,49	0,164	1,94	2,89	72,07
34,00	33,00	11,50	1.952,65	25,90	- 3,87	0,155	2,23	2,90	71,31
34,00	34,00	11,50	2.216,59	26,59	- 3,24	0,147	2,54	2,91	70,56
34,00	35,00	11,50	2.489,40	27,28	- 2,65	0,140	2,85	2,92	69,81
34,00	36,00	11,50	2.771,03	27,97	- 2,08	0,133	3,16	2,93	69,08
34,00	37,00	11,50	3.061,46	28,66	- 1,55	0,127	3,49	2,94	68,34
34,00	38,00	11,50	3.360,65	29,35	- 1,04	0,121	3,82	2,95	67,62
34,00	39,00	11,50	3.668,56	30,04	- 0,55	0,115	4,15	2,96	66,90
34,00	40,00	11,50	3.985,16	30,74	- 0,08	0,110	4,49	2,97	66,19

A3.12. S₃₅

Base cónica

**Mástil metálico, autoestable en
transporte, fondeo mediante
embarcación auxiliar**

S₃₅ – c_{PORT} = 11,5 m

S ₃₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
18,00	30,00	11,50	1.433,09	18,33	- 2,65	0,194	1,69	2,98	60,95
18,00	31,00	11,50	1.602,15	18,75	- 2,29	0,183	2,08	3,00	59,74
18,00	32,00	11,50	1.776,31	19,17	- 1,89	0,172	2,50	3,02	58,57
18,00	33,00	11,50	1.955,51	19,58	- 1,52	0,163	2,94	3,04	57,43
18,00	34,00	11,50	2.139,72	20,00	- 1,18	0,153	3,42	3,06	56,31
18,00	35,00	11,50	2.328,93	20,42	- 0,86	0,145	3,92	3,08	55,22
18,00	36,00	11,50	2.523,10	20,83	- 0,57	0,137	4,44	3,10	54,16
18,00	37,00	11,50	2.722,21	21,25	- 0,29	0,130	4,98	3,12	53,13
18,00	38,00	11,50	2.926,24	21,67	- 0,03	0,123	5,54	3,13	52,13
18,00	39,00	11,50	3.135,17	22,08	- 0,22	0,117	6,11	3,15	51,15
18,00	40,00	11,50	3.348,99	22,50	- 0,45	0,111	6,70	3,17	50,19
19,00	30,00	11,50	1.492,99	18,95	- 2,63	0,192	1,70	2,98	62,24
19,00	31,00	11,50	1.670,24	19,39	- 2,19	0,181	2,08	3,00	61,07
19,00	32,00	11,50	1.852,96	19,84	- 1,79	0,170	2,49	3,02	59,93
19,00	33,00	11,50	2.041,09	20,29	- 1,41	0,161	2,92	3,04	58,82
19,00	34,00	11,50	2.234,61	20,74	- 1,06	0,152	3,39	3,06	57,72
19,00	35,00	11,50	2.433,49	21,18	- 0,74	0,144	3,87	3,08	56,66
19,00	36,00	11,50	2.637,70	21,63	- 0,43	0,136	4,38	3,09	55,62
19,00	37,00	11,50	2.847,21	22,08	- 0,14	0,129	4,90	3,11	54,61
19,00	38,00	11,50	3.062,00	22,53	- 0,13	0,122	5,44	3,13	53,62
19,00	39,00	11,50	3.282,05	22,97	- 0,39	0,116	6,00	3,14	52,65
19,00	40,00	11,50	3.507,35	23,42	- 0,63	0,110	6,56	3,16	51,71
20,00	30,00	11,50	1.542,33	19,50	- 2,57	0,190	1,70	2,98	63,43
20,00	31,00	11,50	1.726,97	19,98	- 2,12	0,179	2,07	3,00	62,30
20,00	32,00	11,50	1.917,42	20,45	- 1,71	0,169	2,48	3,02	61,19
20,00	33,00	11,50	2.113,63	20,93	- 1,32	0,159	2,90	3,03	60,10
20,00	34,00	11,50	2.315,58	21,40	- 0,96	0,150	3,35	3,05	59,04
20,00	35,00	11,50	2.523,24	21,88	- 0,63	0,142	3,82	3,07	57,99
20,00	36,00	11,50	2.736,56	22,35	- 0,31	0,135	4,31	3,09	56,98
20,00	37,00	11,50	2.955,53	22,83	- 0,01	0,128	4,82	3,10	55,98
20,00	38,00	11,50	3.180,12	23,30	- 0,27	0,121	5,34	3,12	55,01
20,00	39,00	11,50	3.410,30	23,78	- 0,53	0,115	5,88	3,14	54,06
20,00	40,00	11,50	3.646,07	24,25	- 0,78	0,109	6,42	3,15	53,13
21,00	30,00	11,50	1.582,35	20,00	- 2,53	0,189	1,70	2,98	64,54
21,00	31,00	11,50	1.773,66	20,50	- 2,08	0,178	2,07	3,00	63,43
21,00	32,00	11,50	1.971,10	21,00	- 1,65	0,167	2,46	3,01	62,35
21,00	33,00	11,50	2.174,64	21,50	- 1,26	0,158	2,87	3,03	61,29
21,00	34,00	11,50	2.384,23	22,00	- 0,89	0,149	3,31	3,05	60,26
21,00	35,00	11,50	2.599,85	22,50	- 0,54	0,141	3,77	3,06	59,24
21,00	36,00	11,50	2.821,46	23,00	- 0,21	0,133	4,24	3,08	58,24
21,00	37,00	11,50	3.049,04	23,50	- 0,09	0,127	4,74	3,10	57,26
21,00	38,00	11,50	3.282,56	24,00	- 0,38	0,120	5,24	3,11	56,31
21,00	39,00	11,50	3.521,99	24,50	- 0,66	0,114	5,76	3,13	55,38
21,00	40,00	11,50	3.767,31	25,00	- 0,92	0,109	6,28	3,14	54,46
22,00	30,00	11,50	1.614,11	20,45	- 2,52	0,187	1,70	2,98	65,56
22,00	31,00	11,50	1.811,44	20,98	- 2,05	0,176	2,06	2,99	64,49
22,00	32,00	11,50	2.015,21	21,50	- 1,61	0,166	2,44	3,01	63,43
22,00	33,00	11,50	2.225,39	22,02	- 1,21	0,157	2,84	3,03	62,40
22,00	34,00	11,50	2.441,92	22,55	- 0,83	0,148	3,27	3,04	61,39
22,00	35,00	11,50	2.664,79	23,07	- 0,47	0,140	3,71	3,06	60,40
22,00	36,00	11,50	2.893,95	23,59	- 0,14	0,133	4,17	3,07	59,42
22,00	37,00	11,50	3.129,37	24,11	- 0,18	0,126	4,65	3,09	58,47
22,00	38,00	11,50	3.371,03	24,64	- 0,48	0,119	5,14	3,10	57,53
22,00	39,00	11,50	3.618,90	25,16	- 0,77	0,113	5,63	3,12	56,61
22,00	40,00	11,50	3.872,96	25,68	- 1,04	0,108	6,14	3,13	55,71

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
23,00	30,00	11,50	1.638,52	20,87	- 2,52	0,186	1,69	2,97	66,50
23,00	31,00	11,50	1.841,29	21,41	- 2,04	0,175	2,04	2,99	65,46
23,00	32,00	11,50	2.050,80	21,96	- 1,60	0,165	2,41	3,01	64,44
23,00	33,00	11,50	2.267,00	22,50	- 1,18	0,155	2,81	3,02	63,43
23,00	34,00	11,50	2.489,84	23,04	- 0,79	0,147	3,22	3,04	62,45
23,00	35,00	11,50	2.719,30	23,59	- 0,42	0,139	3,65	3,05	61,48
23,00	36,00	11,50	2.955,33	24,13	- 0,08	0,132	4,10	3,07	60,52
23,00	37,00	11,50	3.197,91	24,67	0,25	0,125	4,56	3,08	59,59
23,00	38,00	11,50	3.447,01	25,22	0,56	0,119	5,03	3,10	58,67
23,00	39,00	11,50	3.702,60	25,76	0,86	0,113	5,51	3,11	57,77
23,00	40,00	11,50	3.964,66	26,30	1,05	0,107	6,00	3,12	56,89
24,00	30,00	11,50	1.656,36	21,25	- 2,54	0,185	1,68	2,97	67,38
24,00	31,00	11,50	1.864,06	21,81	- 2,05	0,174	2,02	2,99	66,37
24,00	32,00	11,50	2.078,76	22,38	- 1,60	0,164	2,39	3,00	65,38
24,00	33,00	11,50	2.300,43	22,94	- 1,17	0,155	2,77	3,02	64,40
24,00	34,00	11,50	2.529,01	23,50	- 0,77	0,146	3,18	3,03	63,43
24,00	35,00	11,50	2.764,47	24,06	- 0,39	0,138	3,59	3,05	62,49
24,00	36,00	11,50	3.006,77	24,63	- 0,03	0,131	4,03	3,06	61,56
24,00	37,00	11,50	3.255,89	25,19	0,31	0,124	4,47	3,07	60,64
24,00	38,00	11,50	3.511,79	25,75	0,63	0,118	4,93	3,09	59,74
24,00	39,00	11,50	3.774,45	26,31	0,85	0,112	5,39	3,10	58,86
24,00	40,00	11,50	4.043,83	26,88	1,14	0,107	5,86	3,11	57,99
25,00	30,00	11,50	1.668,31	21,60	- 2,58	0,183	1,67	2,97	68,20
25,00	31,00	11,50	1.880,47	22,18	- 2,08	0,173	2,00	2,98	67,22
25,00	32,00	11,50	2.099,88	22,76	- 1,61	0,163	2,36	3,00	66,25
25,00	33,00	11,50	2.326,51	23,34	- 1,17	0,154	2,73	3,01	65,30
25,00	34,00	11,50	2.560,31	23,92	- 0,76	0,145	3,12	3,03	64,36
25,00	35,00	11,50	2.801,24	24,50	- 0,37	0,138	3,53	3,04	63,43
25,00	36,00	11,50	3.049,27	25,08	- 0,00	0,131	3,95	3,05	62,53
25,00	37,00	11,50	3.304,36	25,66	0,35	0,124	4,38	3,07	61,63
25,00	38,00	11,50	3.566,48	26,24	0,68	0,118	4,82	3,08	60,75
25,00	39,00	11,50	3.835,61	26,82	0,91	0,112	5,27	3,09	59,89
25,00	40,00	11,50	4.111,72	27,40	1,21	0,107	5,73	3,10	59,04
26,00	30,00	11,50	1.674,96	21,92	- 2,64	0,183	1,65	2,96	68,96
26,00	31,00	11,50	1.891,15	22,52	- 2,12	0,172	1,98	2,98	68,01
26,00	32,00	11,50	2.114,84	23,12	- 1,64	0,162	2,33	2,99	67,07
26,00	33,00	11,50	2.345,98	23,71	- 1,19	0,153	2,69	3,01	66,14
26,00	34,00	11,50	2.584,53	24,31	- 0,77	0,145	3,07	3,02	65,22
26,00	35,00	11,50	2.830,45	24,90	- 0,37	0,137	3,46	3,03	64,32
26,00	36,00	11,50	3.083,70	25,50	0,01	0,130	3,87	3,05	63,43
26,00	37,00	11,50	3.344,26	26,10	0,37	0,124	4,29	3,06	62,56
26,00	38,00	11,50	3.612,08	26,69	0,63	0,117	4,71	3,07	61,70
26,00	39,00	11,50	3.887,14	27,29	0,95	0,112	5,15	3,08	60,85
26,00	40,00	11,50	4.169,41	27,88	1,26	0,107	5,59	3,09	60,02
27,00	30,00	11,50	1.676,83	22,22	- 2,71	0,182	1,64	2,96	69,68
27,00	31,00	11,50	1.896,67	22,83	- 2,18	0,171	1,95	2,97	68,75
27,00	32,00	11,50	2.124,23	23,44	- 1,69	0,162	2,29	2,99	67,83
27,00	33,00	11,50	2.359,47	24,06	- 1,23	0,153	2,65	3,00	66,93
27,00	34,00	11,50	2.602,35	24,67	- 0,79	0,144	3,02	3,01	66,04
27,00	35,00	11,50	2.852,82	25,28	- 0,38	0,137	3,40	3,03	65,16
27,00	36,00	11,50	3.110,84	25,89	0,01	0,130	3,79	3,04	64,29
27,00	37,00	11,50	3.376,39	26,50	0,38	0,123	4,20	3,05	63,43
27,00	38,00	11,50	3.649,43	27,11	0,65	0,117	4,61	3,06	62,59
27,00	39,00	11,50	3.929,93	27,72	0,98	0,112	5,03	3,07	61,76
27,00	40,00	11,50	4.217,86	28,33	1,31	0,107	5,45	3,08	60,95
28,00	30,00	11,50	1.674,37	22,50	- 2,79	0,181	1,62	2,96	70,35
28,00	31,00	11,50	1.897,51	23,13	- 2,25	0,171	1,93	2,97	69,44
28,00	32,00	11,50	2.128,58	23,75	- 1,75	0,161	2,26	2,98	68,55
28,00	33,00	11,50	2.367,55	24,38	- 1,27	0,152	2,60	2,99	67,67
28,00	34,00	11,50	2.614,36	25,00	- 0,83	0,144	2,96	3,01	66,80
28,00	35,00	11,50	2.868,97	25,63	- 0,40	0,137	3,33	3,02	65,94
28,00	36,00	11,50	3.131,36	26,25	- 0,00	0,130	3,71	3,03	65,10
28,00	37,00	11,50	3.401,48	26,88	0,38	0,123	4,10	3,04	64,26
28,00	38,00	11,50	3.679,30	27,50	0,65	0,117	4,50	3,05	63,43
28,00	39,00	11,50	3.964,80	28,13	1,00	0,112	4,91	3,06	62,62
28,00	40,00	11,50	4.257,93	28,75	1,34	0,107	5,32	3,07	61,82

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
29,00	30,00	11,50	1.667,98	22,76	- 2,89	0,181	1,60	2,95	70,97
29,00	31,00	11,50	1.894,09	23,40	- 2,34	0,170	1,90	2,96	70,10
29,00	32,00	11,50	2.128,35	24,03	- 1,82	0,161	2,22	2,98	69,23
29,00	33,00	11,50	2.370,69	24,67	- 1,33	0,152	2,56	2,99	68,37
29,00	34,00	11,50	2.621,08	25,31	- 0,88	0,144	2,90	3,00	67,52
29,00	35,00	11,50	2.879,49	25,95	- 0,44	0,136	3,26	3,01	66,68
29,00	36,00	11,50	3.145,86	26,59	- 0,03	0,130	3,63	3,02	65,85
29,00	37,00	11,50	3.420,16	27,22	0,36	0,123	4,01	3,03	65,04
29,00	38,00	11,50	3.702,37	27,86	0,65	0,117	4,40	3,04	64,23
29,00	39,00	11,50	3.992,44	28,50	1,01	0,112	4,79	3,05	63,43
29,00	40,00	11,50	4.290,35	29,14	1,35	0,107	5,19	3,06	62,65
30,00	30,00	11,50	1.658,00	23,00	- 3,00	0,180	1,57	2,95	71,57
30,00	31,00	11,50	1.886,80	23,65	- 2,43	0,170	1,87	2,96	70,71
30,00	32,00	11,50	2.123,93	24,30	- 1,91	0,160	2,18	2,97	69,86
30,00	33,00	11,50	2.369,34	24,95	- 1,41	0,152	2,51	2,98	69,03
30,00	34,00	11,50	2.623,00	25,60	- 0,94	0,144	2,85	2,99	68,20
30,00	35,00	11,50	2.884,85	26,25	- 0,49	0,136	3,19	3,00	67,38
30,00	36,00	11,50	3.154,86	26,90	- 0,07	0,130	3,55	3,01	66,57
30,00	37,00	11,50	3.432,99	27,55	0,33	0,123	3,92	3,03	65,77
30,00	38,00	11,50	3.719,21	28,20	0,63	0,117	4,29	3,04	64,98
30,00	39,00	11,50	4.013,49	28,85	1,00	0,112	4,67	3,04	64,20
30,00	40,00	11,50	4.315,80	29,50	1,36	0,107	5,06	3,05	63,43
31,00	30,00	11,50	1.644,76	23,23	- 3,12	0,180	1,55	2,94	72,12
31,00	31,00	11,50	1.875,97	23,89	- 2,55	0,170	1,84	2,95	71,29
31,00	32,00	11,50	2.115,70	24,55	- 2,00	0,160	2,14	2,96	70,46
31,00	33,00	11,50	2.363,89	25,21	- 1,49	0,152	2,46	2,98	69,65
31,00	34,00	11,50	2.620,51	25,87	- 1,01	0,144	2,79	2,99	68,84
31,00	35,00	11,50	2.885,50	26,53	- 0,56	0,136	3,13	3,00	68,04
31,00	36,00	11,50	3.158,83	27,19	- 0,12	0,130	3,47	3,01	67,25
31,00	37,00	11,50	3.440,46	27,85	0,21	0,123	3,83	3,02	66,47
31,00	38,00	11,50	3.730,36	28,52	0,60	0,118	4,19	3,03	65,70
31,00	39,00	11,50	4.028,51	29,18	0,98	0,112	4,56	3,04	64,93
31,00	40,00	11,50	4.334,85	29,84	1,35	0,107	4,93	3,04	64,18
32,00	30,00	11,50	1.628,51	23,44	- 3,26	0,180	1,53	2,94	72,65
32,00	31,00	11,50	1.861,90	24,11	- 2,67	0,170	1,81	2,95	71,83
32,00	32,00	11,50	2.103,97	24,78	- 2,11	0,160	2,10	2,96	71,03
32,00	33,00	11,50	2.354,68	25,45	- 1,59	0,152	2,41	2,97	70,23
32,00	34,00	11,50	2.613,98	26,13	- 1,10	0,144	2,73	2,98	69,44
32,00	35,00	11,50	2.881,83	26,80	- 0,63	0,137	3,06	2,99	68,66
32,00	36,00	11,50	3.158,19	27,47	- 0,18	0,130	3,39	3,00	67,89
32,00	37,00	11,50	3.443,02	28,14	0,24	0,124	3,74	3,01	67,13
32,00	38,00	11,50	3.736,30	28,81	0,56	0,118	4,09	3,02	66,37
32,00	39,00	11,50	4.037,98	29,48	0,95	0,113	4,44	3,03	65,62
32,00	40,00	11,50	4.348,04	30,16	1,33	0,108	4,80	3,03	64,89
33,00	30,00	11,50	1.609,52	23,64	- 3,40	0,180	1,50	2,93	73,14
33,00	31,00	11,50	1.844,85	24,32	- 2,80	0,170	1,77	2,94	72,35
33,00	32,00	11,50	2.089,03	25,00	- 2,23	0,160	2,06	2,95	71,57
33,00	33,00	11,50	2.342,01	25,68	- 1,70	0,152	2,36	2,96	70,79
33,00	34,00	11,50	2.603,74	26,36	- 1,20	0,144	2,67	2,97	70,02
33,00	35,00	11,50	2.874,19	27,05	- 0,72	0,137	2,99	2,98	69,25
33,00	36,00	11,50	3.153,31	27,73	- 0,26	0,130	3,31	2,99	68,50
33,00	37,00	11,50	3.441,07	28,41	0,18	0,124	3,65	3,00	67,75
33,00	38,00	11,50	3.737,44	29,09	0,51	0,118	3,99	3,01	67,01
33,00	39,00	11,50	4.042,37	29,77	0,91	0,113	4,33	3,02	66,28
33,00	40,00	11,50	4.355,84	30,45	1,30	0,108	4,68	3,02	65,56
34,00	30,00	11,50	1.587,99	23,82	- 3,56	0,180	1,47	2,93	73,61
34,00	31,00	11,50	1.825,05	24,51	- 2,94	0,170	1,74	2,94	72,84
34,00	32,00	11,50	2.071,12	25,21	- 2,37	0,160	2,02	2,95	72,07
34,00	33,00	11,50	2.326,15	25,90	- 1,82	0,152	2,31	2,96	71,31
34,00	34,00	11,50	2.590,09	26,59	- 1,30	0,144	2,61	2,96	70,56
34,00	35,00	11,50	2.862,90	27,28	- 0,81	0,137	2,92	2,97	69,81
34,00	36,00	11,50	3.144,53	27,97	- 0,34	0,131	3,23	2,98	69,08
34,00	37,00	11,50	3.434,96	28,66	0,10	0,124	3,56	2,99	68,34
34,00	38,00	11,50	3.734,15	29,35	0,45	0,119	3,89	3,00	67,62
34,00	39,00	11,50	4.042,06	30,04	0,86	0,113	4,22	3,01	66,90
34,00	40,00	11,50	4.358,66	30,74	1,26	0,109	4,56	3,01	66,19

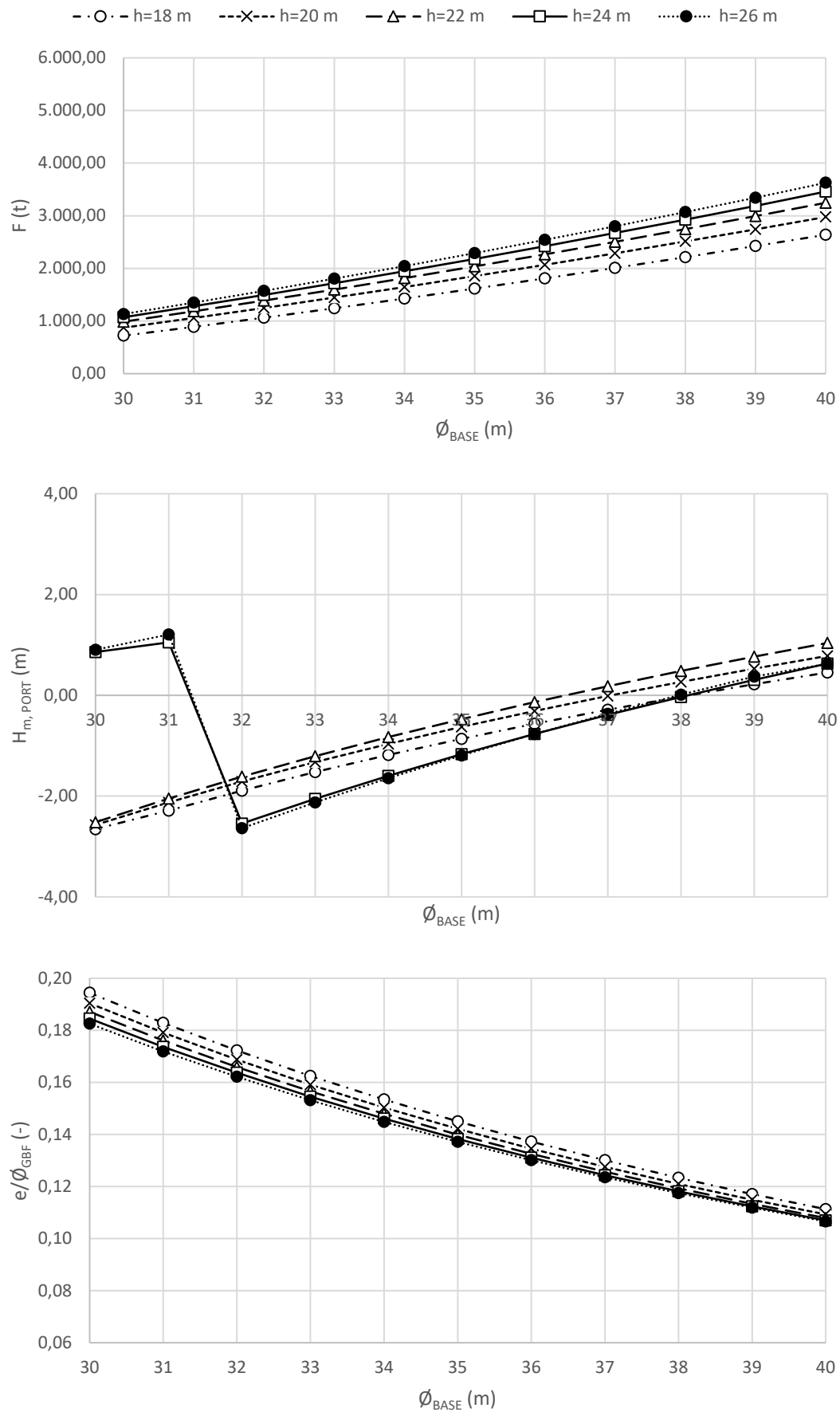


Figura 19: $S_{35} - C_{\text{PORT}} = 11,5\text{ m}$

$S_{35} - H_{m,PORT} \geq 1 \text{ m}$

S_{35}		R_1	R_2	R_3	R_4	R_6	R_7	R_8	R_9
h_{BASE}	ϕ_{BASE}	C_{port}	F	ϕ_{conex}	$H_{m,port}$	e/ϕ_{GBF}	FS_1	FS_2	i_{TRANS}
18,00	30,00	11,50	1.433,09	18,33	- 2,65	0,194	1,69	2,98	60,95
18,00	31,00	11,50	1.602,15	18,75	- 2,29	0,183	2,08	3,00	59,74
18,00	32,00	11,50	1.776,31	19,17	- 1,89	0,172	2,50	3,02	58,57
18,00	33,00	11,50	1.955,51	19,58	- 1,52	0,163	2,94	3,04	57,43
18,00	34,00	11,50	2.139,72	20,00	- 1,18	0,153	3,42	3,06	56,31
18,00	35,00	6,48	0,00	27,39	- 1,66	0,149	3,75	2,99	55,22
18,00	36,00	6,35	0,01	28,27	- 0,96	0,142	4,26	3,00	54,16
18,00	37,00	6,23	0,00	29,16	- 0,25	0,134	4,79	3,02	53,13
18,00	38,00	5,83	- 210,36	30,48		0,128	5,34	3,03	52,13
18,00	39,00	6,25	177,34	30,54	1,00	0,121	5,91	3,05	51,15
18,00	40,00	7,01	836,75	29,99	1,00	0,114	6,54	3,09	50,19
19,00	30,00	11,50	1.492,99	18,95	- 2,63	0,192	1,70	2,98	62,24
19,00	31,00	11,50	1.670,24	19,39	- 2,19	0,181	2,08	3,00	61,07
19,00	32,00	11,50	1.852,96	19,84	- 1,79	0,170	2,49	3,02	59,93
19,00	33,00	11,50	2.041,09	20,29	- 1,41	0,161	2,92	3,04	58,82
19,00	34,00	11,50	2.234,61	20,74	- 1,06	0,152	3,39	3,06	57,72
19,00	35,00	6,49	0,00	27,77	- 1,55	0,148	3,71	2,98	56,66
19,00	36,00	6,36	0,01	28,66	- 0,84	0,140	4,20	3,00	55,62
19,00	37,00	6,24	0,00	29,55	- 0,11	0,133	4,71	3,01	54,61
19,00	38,00	5,93	- 150,90	30,74		0,126	5,24	3,02	53,62
19,00	39,00	6,50	368,31	30,60	1,00	0,120	5,81	3,05	52,65
19,00	40,00	7,40	1.149,25	29,89	1,00	0,113	6,42	3,08	51,71
20,00	30,00	11,50	1.542,33	19,50	- 2,57	0,190	1,70	2,98	63,43
20,00	31,00	11,50	1.726,97	19,98	- 2,12	0,179	2,07	3,00	62,30
20,00	32,00	11,50	1.917,42	20,45	- 1,71	0,169	2,48	3,02	61,19
20,00	33,00	11,50	2.113,63	20,93	- 1,32	0,159	2,90	3,03	60,10
20,00	34,00	11,50	2.315,58	21,40	- 0,96	0,150	3,35	3,05	59,04
20,00	35,00	6,52	0,00	28,10	- 1,48	0,147	3,66	2,98	57,99
20,00	36,00	6,38	0,00	29,00	- 0,75	0,139	4,14	2,99	56,98
20,00	37,00	6,26	0,00	29,90	- 0,01	0,132	4,63	3,00	55,98
20,00	38,00	6,01	- 105,30	30,99		0,125	5,14	3,01	55,01
20,00	39,00	6,74	552,54	30,67	1,00	0,118	5,71	3,04	54,06
20,00	40,00	7,73	1.410,54	29,90	1,00	0,112	6,29	3,08	53,13
21,00	30,00	11,50	1.582,35	20,00	- 2,53	0,189	1,70	2,98	64,54
21,00	31,00	11,50	1.773,66	20,50	- 2,08	0,178	2,07	3,00	63,43
21,00	32,00	11,50	1.971,10	21,00	- 1,65	0,167	2,46	3,01	62,35
21,00	33,00	11,50	2.174,64	21,50	- 1,26	0,158	2,87	3,03	61,29
21,00	34,00	11,50	2.384,23	22,00	- 0,89	0,149	3,31	3,05	60,26
21,00	35,00	6,55	0,00	28,40	- 1,44	0,145	3,61	2,97	59,24
21,00	36,00	6,41	0,00	29,30	- 0,70	0,138	4,07	2,98	58,24
21,00	37,00	6,28	0,00	30,21	- 0,06	0,131	4,55	2,99	57,26
21,00	38,00	6,08	- 73,30	31,23		0,124	5,05	3,01	56,31
21,00	39,00	6,98	728,38	30,74	1,00	0,117	5,60	3,04	55,38
21,00	40,00	8,19	1.766,31	29,72	1,00	0,111	6,17	3,08	54,46
22,00	30,00	11,50	1.614,11	20,45	- 2,52	0,187	1,70	2,98	65,56
22,00	31,00	11,50	1.811,44	20,98	- 2,05	0,176	2,06	2,99	64,49
22,00	32,00	11,50	2.015,21	21,50	- 1,61	0,166	2,44	3,01	63,43
22,00	33,00	11,50	2.225,39	22,02	- 1,21	0,157	2,84	3,03	62,40
22,00	34,00	11,50	2.441,92	22,55	- 0,83	0,148	3,27	3,04	61,39
22,00	35,00	11,50	2.664,79	23,07	- 0,47	0,140	3,71	3,06	60,40
22,00	36,00	6,44	0,00	29,57	- 0,68	0,137	4,01	2,98	59,42
22,00	37,00	5,79	- 400,18	31,12		0,130	4,47	2,99	58,47
22,00	38,00	6,13	- 54,56	31,47		0,124	4,95	3,00	57,53
22,00	39,00	7,20	893,14	30,82	1,00	0,117	5,49	3,04	56,61
22,00	40,00	11,27	3.751,69	25,99	1,00	0,108	6,14	3,13	55,71

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m, port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
23,00	30,00	11,50	1.638,52	20,87	- 2,52	0,186	1,69	2,97	66,50
23,00	31,00	11,50	1.841,29	21,41	- 2,04	0,175	2,04	2,99	65,46
23,00	32,00	11,50	2.050,80	21,96	- 1,60	0,165	2,41	3,01	64,44
23,00	33,00	11,50	2.267,00	22,50	- 1,18	0,155	2,81	3,02	63,43
23,00	34,00	11,50	2.489,84	23,04	- 0,79	0,147	3,22	3,04	62,45
23,00	35,00	11,50	2.719,30	23,59	- 0,42	0,139	3,65	3,05	61,48
23,00	36,00	6,48	0,00	29,80	- 0,68	0,136	3,94	2,97	60,52
23,00	37,00	5,83	- 407,84	31,33		0,129	4,39	2,98	59,59
23,00	38,00	6,17	- 48,69	31,70		0,123	4,85	2,99	58,67
23,00	39,00	7,41	1.042,40	30,92	1,00	0,116	5,38	3,03	57,77
23,00	40,00	11,49	3.961,07	26,31	1,05	0,107	6,00	3,12	56,89
24,00	30,00	11,50	1.656,36	21,25	- 2,54	0,185	1,68	2,97	67,38
24,00	31,00	11,50	1.864,06	21,81	- 2,05	0,174	2,02	2,99	66,37
24,00	32,00	11,50	2.078,76	22,38	- 1,60	0,164	2,39	3,00	65,38
24,00	33,00	11,50	2.300,43	22,94	- 1,17	0,155	2,77	3,02	64,40
24,00	34,00	11,50	2.529,01	23,50	- 0,77	0,146	3,18	3,03	63,43
24,00	35,00	11,50	2.764,47	24,06	- 0,39	0,138	3,59	3,05	62,49
24,00	36,00	6,52	0,00	30,02	- 0,71	0,135	3,87	2,96	61,56
24,00	37,00	5,85	- 426,56	31,54		0,129	4,30	2,97	60,64
24,00	38,00	6,20	- 55,25	31,93		0,122	4,75	2,98	59,74
24,00	39,00	11,50	3.774,43	26,31	0,94	0,112	5,39	3,10	58,86
24,00	40,00	11,38	3.971,44	27,03	1,12	0,107	5,86	3,11	57,99
25,00	30,00	11,50	1.668,31	21,60	- 2,58	0,183	1,67	2,97	68,20
25,00	31,00	11,50	1.880,47	22,18	- 2,08	0,173	2,00	2,98	67,22
25,00	32,00	11,50	2.099,88	22,76	- 1,61	0,163	2,36	3,00	66,25
25,00	33,00	11,50	2.326,51	23,34	- 1,17	0,154	2,73	3,01	65,30
25,00	34,00	11,50	2.560,31	23,92	- 0,76	0,145	3,12	3,03	64,36
25,00	35,00	11,50	2.801,24	24,50	- 0,37	0,138	3,53	3,04	63,43
25,00	36,00	6,57	0,00	30,21	- 0,76	0,135	3,80	2,96	62,53
25,00	37,00	5,86	- 455,82	31,75		0,128	4,22	2,97	61,63
25,00	38,00	6,22	- 73,74	32,15		0,122	4,65	2,97	60,75
25,00	39,00	7,71	1.260,17	31,21	1,00	0,115	5,15	3,02	59,89
25,00	40,00	11,29	3.980,95	27,66	1,17	0,107	5,72	3,10	59,04
26,00	30,00	11,50	1.674,96	21,92	- 2,64	0,183	1,65	2,96	68,96
26,00	31,00	11,50	1.891,15	22,52	- 2,12	0,172	1,98	2,98	68,01
26,00	32,00	11,50	2.114,84	23,12	- 1,64	0,162	2,33	2,99	67,07
26,00	33,00	11,50	2.345,98	23,71	- 1,19	0,153	2,69	3,01	66,14
26,00	34,00	11,50	2.584,53	24,31	- 0,77	0,145	3,07	3,02	65,22
26,00	35,00	11,50	2.830,45	24,90	- 0,37	0,137	3,46	3,03	64,32
26,00	36,00	6,62	0,00	30,38	- 0,83	0,134	3,72	2,95	63,43
26,00	37,00	5,87	- 495,08	31,95		0,128	4,13	2,96	62,56
26,00	38,00	6,23	- 103,62	32,36		0,122	4,55	2,97	61,70
26,00	39,00	7,78	1.298,04	31,43	1,00	0,114	5,03	3,01	60,85
26,00	40,00	11,22	3.989,69	28,21	1,22	0,107	5,58	3,09	60,02
27,00	30,00	11,50	1.676,83	22,22	- 2,71	0,182	1,64	2,96	69,68
27,00	31,00	11,50	1.896,67	22,83	- 2,18	0,171	1,95	2,97	68,75
27,00	32,00	11,50	2.124,23	23,44	- 1,69	0,162	2,29	2,99	67,83
27,00	33,00	11,50	2.359,47	24,06	- 1,23	0,153	2,65	3,00	66,93
27,00	34,00	11,50	2.602,35	24,67	- 0,79	0,144	3,02	3,01	66,04
27,00	35,00	11,50	2.852,82	25,28	- 0,38	0,137	3,40	3,03	65,16
27,00	36,00	11,50	3.110,84	25,89	0,01	0,130	3,79	3,04	64,29
27,00	37,00	5,86	- 543,80	32,14		0,127	4,04	2,95	63,43
27,00	38,00	6,23	- 144,31	32,57		0,121	4,45	2,96	62,59
27,00	39,00	7,76	1.259,83	31,74	1,00	0,114	4,91	3,00	61,76
27,00	40,00	11,16	3.997,76	28,71	1,25	0,107	5,44	3,08	60,95
28,00	30,00	11,50	1.674,37	22,50	- 2,79	0,181	1,62	2,96	70,35
28,00	31,00	11,50	1.897,51	23,13	- 2,25	0,171	1,93	2,97	69,44
28,00	32,00	11,50	2.128,58	23,75	- 1,75	0,161	2,26	2,98	68,55
28,00	33,00	11,50	2.367,55	24,38	- 1,27	0,152	2,60	2,99	67,67
28,00	34,00	11,50	2.614,36	25,00	- 0,83	0,144	2,96	3,01	66,80
28,00	35,00	11,50	2.868,97	25,63	- 0,40	0,137	3,33	3,02	65,94
28,00	36,00	11,50	3.131,36	26,25	- 0,00	0,130	3,71	3,03	65,10
28,00	37,00	5,85	- 601,39	32,32		0,127	3,96	2,95	64,26
28,00	38,00	6,22	- 195,21	32,78		0,121	4,35	2,95	63,43
28,00	39,00	11,49	3.959,66	28,13	1,00	0,112	4,91	3,06	62,62
28,00	40,00	9,58	2.883,13	30,81	1,23	0,108	5,27	3,04	61,82

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₃₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂	i _{TRANS}
29,00	30,00	11,50	1.667,98	22,76	- 2,89	0,181	1,60	2,95	70,97
29,00	31,00	11,50	1.894,09	23,40	- 2,34	0,170	1,90	2,96	70,10
29,00	32,00	11,50	2.128,35	24,03	- 1,82	0,161	2,22	2,98	69,23
29,00	33,00	11,50	2.370,69	24,67	- 1,33	0,152	2,56	2,99	68,37
29,00	34,00	11,50	2.621,08	25,31	- 0,88	0,144	2,90	3,00	67,52
29,00	35,00	11,50	2.879,49	25,95	- 0,44	0,136	3,26	3,01	66,68
29,00	36,00	11,50	3.145,86	26,59	- 0,03	0,130	3,63	3,02	65,85
29,00	37,00	5,83	- 667,26	32,50		0,127	3,87	2,94	65,04
29,00	38,00	6,21	- 255,67	32,97		0,121	4,25	2,95	64,23
29,00	39,00	11,47	3.970,89	28,53	1,00	0,112	4,79	3,05	63,43
29,00	40,00	9,50	2.819,23	31,21	1,24	0,108	5,13	3,03	62,65
30,00	30,00	11,50	1.658,00	23,00	- 3,00	0,180	1,57	2,95	71,57
30,00	31,00	11,50	1.886,80	23,65	- 2,43	0,170	1,87	2,96	70,71
30,00	32,00	11,50	2.123,93	24,30	- 1,91	0,160	2,18	2,97	69,86
30,00	33,00	11,50	2.369,34	24,95	- 1,41	0,152	2,51	2,98	69,03
30,00	34,00	11,50	2.623,00	25,60	- 0,94	0,144	2,85	2,99	68,20
30,00	35,00	11,50	2.884,85	26,25	- 0,49	0,136	3,19	3,00	67,38
30,00	36,00	11,50	3.154,86	26,90	- 0,07	0,130	3,55	3,01	66,57
30,00	37,00	5,81	- 740,83	32,67		0,127	3,78	2,93	65,77
30,00	38,00	6,18	- 325,08	33,16		0,121	4,15	2,94	64,98
30,00	39,00	11,50	4.011,64	28,85	1,00	0,112	4,67	3,04	64,20
30,00	40,00	9,40	2.737,31	31,60	1,22	0,108	5,00	3,02	63,43
31,00	30,00	11,50	1.644,76	23,23	- 3,12	0,180	1,55	2,94	72,12
31,00	31,00	11,50	1.875,97	23,89	- 2,55	0,170	1,84	2,95	71,29
31,00	32,00	11,50	2.115,70	24,55	- 2,00	0,160	2,14	2,96	70,46
31,00	33,00	11,50	2.363,89	25,21	- 1,49	0,152	2,46	2,98	69,65
31,00	34,00	11,50	2.620,51	25,87	- 1,01	0,144	2,79	2,99	68,84
31,00	35,00	11,50	2.885,50	26,53	- 0,56	0,136	3,13	3,00	68,04
31,00	36,00	11,50	3.158,83	27,19	- 0,12	0,130	3,47	3,01	67,25
31,00	37,00	5,78	- 821,52	32,84		0,127	3,70	2,93	66,47
31,00	38,00	6,15	- 402,77	33,34		0,121	4,05	2,93	65,70
31,00	39,00	6,78	270,83	33,59	1,00	0,116	4,42	2,94	64,93
31,00	40,00	9,39	2.716,71	31,88	1,19	0,109	4,87	3,01	64,18
32,00	30,00	11,50	1.628,51	23,44	- 3,26	0,180	1,53	2,94	72,65
32,00	31,00	11,50	1.861,90	24,11	- 2,67	0,170	1,81	2,95	71,83
32,00	32,00	11,50	2.103,97	24,78	- 2,11	0,160	2,10	2,96	71,03
32,00	33,00	11,50	2.354,68	25,45	- 1,59	0,152	2,41	2,97	70,23
32,00	34,00	11,50	2.613,98	26,13	- 1,10	0,144	2,73	2,98	69,44
32,00	35,00	11,50	2.881,83	26,80	- 0,63	0,137	3,06	2,99	68,66
32,00	36,00	11,50	3.158,19	27,47	- 0,18	0,130	3,39	3,00	67,89
32,00	37,00	11,50	3.443,02	28,14	0,24	0,124	3,74	3,01	67,13
32,00	38,00	6,12	- 488,13	33,52		0,122	3,95	2,92	66,37
32,00	39,00	6,51	- 24,80	34,01		0,116	4,30	2,93	65,62
32,00	40,00	9,42	2.719,38	32,11	1,15	0,109	4,75	3,00	64,89
33,00	30,00	11,50	1.609,52	23,64	- 3,40	0,180	1,50	2,93	73,14
33,00	31,00	11,50	1.844,85	24,32	- 2,80	0,170	1,77	2,94	72,35
33,00	32,00	11,50	2.089,03	25,00	- 2,23	0,160	2,06	2,95	71,57
33,00	33,00	11,50	2.342,01	25,68	- 1,70	0,152	2,36	2,96	70,79
33,00	34,00	11,50	2.603,74	26,36	- 1,20	0,144	2,67	2,97	70,02
33,00	35,00	11,50	2.874,19	27,05	- 0,72	0,137	2,99	2,98	69,25
33,00	36,00	11,50	3.153,31	27,73	- 0,26	0,130	3,31	2,99	68,50
33,00	37,00	11,50	3.441,07	28,41	0,18	0,124	3,65	3,00	67,75
33,00	38,00	6,08	- 580,51	33,69		0,122	3,85	2,92	67,01
33,00	39,00	6,47	- 115,36	34,19		0,117	4,19	2,92	66,28
33,00	40,00	9,44	2.721,91	32,32	1,10	0,109	4,63	2,99	65,56
34,00	30,00	11,50	1.587,99	23,82	- 3,56	0,180	1,47	2,93	73,61
34,00	31,00	11,50	1.825,05	24,51	- 2,94	0,170	1,74	2,94	72,84
34,00	32,00	11,50	2.071,12	25,21	- 2,37	0,160	2,02	2,95	72,07
34,00	33,00	11,50	2.326,15	25,90	- 1,82	0,152	2,31	2,96	71,31
34,00	34,00	11,50	2.590,09	26,59	- 1,30	0,144	2,61	2,96	70,56
34,00	35,00	11,50	2.862,90	27,28	- 0,81	0,137	2,92	2,97	69,81
34,00	36,00	11,50	3.144,53	27,97	- 0,34	0,131	3,23	2,98	69,08
34,00	37,00	11,50	3.434,96	28,66	0,10	0,124	3,56	2,99	68,34
34,00	38,00	6,03	- 679,33	33,86		0,122	3,76	2,91	67,62
34,00	39,00	6,42	- 213,45	34,38		0,117	4,08	2,91	66,90
34,00	40,00	8,77	2.111,61	33,14	1,07	0,110	4,48	2,96	66,19

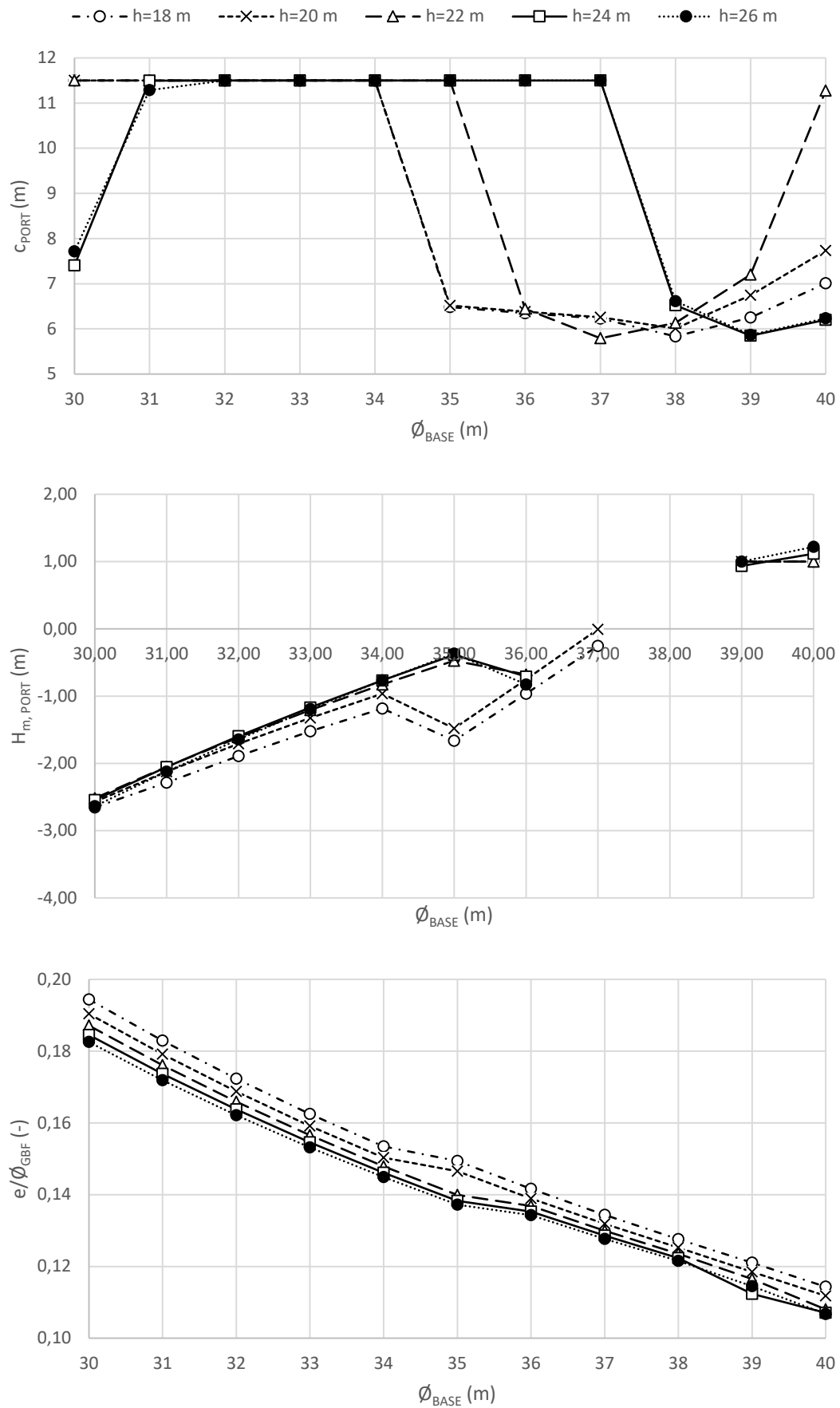


Figura 20: $S_{35} - H \geq 1$ m

A3.13. S₄₁

Base cilíndrica + cónica

**Lastre de Alta Densidad, instalación
mediante embarcación auxiliar**

$S_{41} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{41}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
5,00	30,00	11,50	- 120,81	20,77	0,140	2,92	3,71
5,00	31,00	11,50	44,18	21,77	0,132	3,28	3,68
5,00	32,00	11,50	217,69	22,77	0,125	3,64	3,66
5,00	33,00	11,50	399,71	23,77	0,118	4,00	3,64
5,00	34,00	11,50	590,25	24,77	0,111	4,35	3,63
5,00	35,00	11,50	789,30	25,77	0,106	4,69	3,60
5,00	36,00	11,50	996,87	26,77	0,101	5,03	3,59
5,00	37,00	11,50	1.212,95	27,77	0,096	5,35	3,56
5,00	38,00	11,50	1.437,55	28,77	0,091	5,67	3,55
5,00	39,00	11,50	1.670,67	29,77	0,087	5,97	3,53
5,00	40,00	11,50	1.912,30	30,77	0,084	6,26	3,51
6,00	30,00	11,50	- 52,54	22,45	0,138	2,84	3,67
6,00	31,00	11,50	114,56	23,45	0,130	3,17	3,65
6,00	32,00	11,50	290,17	24,45	0,123	3,51	3,63
6,00	33,00	11,50	474,31	25,45	0,116	3,84	3,61
6,00	34,00	11,50	666,95	26,45	0,110	4,17	3,59
6,00	35,00	11,50	868,11	27,45	0,105	4,48	3,57
6,00	36,00	11,50	1.077,79	28,45	0,100	4,79	3,55
6,00	37,00	11,50	1.295,98	29,45	0,095	5,09	3,53
6,00	38,00	11,50	1.522,69	30,45	0,091	5,38	3,51
6,00	39,00	11,50	1.757,92	31,45	0,087	5,66	3,49
6,00	40,00	11,50	2.001,66	32,45	0,084	5,92	3,47
7,00	30,00	11,50	- 45,05	24,13	0,136	2,75	3,63
7,00	31,00	11,50	121,45	25,13	0,128	3,06	3,61
7,00	32,00	11,50	296,47	26,13	0,121	3,37	3,59
7,00	33,00	11,50	480,00	27,13	0,115	3,68	3,57
7,00	34,00	11,50	672,05	28,13	0,109	3,99	3,55
7,00	35,00	11,50	872,62	29,13	0,104	4,27	3,53
7,00	36,00	11,50	1.081,70	30,13	0,099	4,56	3,51
7,00	37,00	11,50	1.299,29	31,13	0,095	4,84	3,49
7,00	38,00	11,50	1.525,40	32,13	0,091	5,10	3,47
7,00	39,00	11,50	1.760,03	33,13	0,087	5,36	3,46
7,00	40,00	11,50	2.003,17	34,13	0,084	5,61	3,44
8,00	30,00	11,50	- 102,87	25,80	0,135	2,66	3,60
8,00	31,00	11,50	60,32	26,80	0,127	2,95	3,57
8,00	32,00	11,50	232,04	27,80	0,121	3,24	3,55
8,00	33,00	11,50	412,26	28,80	0,114	3,52	3,53
8,00	34,00	11,50	601,01	29,80	0,109	3,81	3,51
8,00	35,00	11,50	798,27	30,80	0,104	4,07	3,49
8,00	36,00	11,50	1.004,04	31,80	0,099	4,34	3,47
8,00	37,00	11,50	1.218,33	32,80	0,095	4,59	3,45
8,00	38,00	11,50	1.441,14	33,80	0,091	4,84	3,44
8,00	39,00	11,50	1.672,46	34,80	0,087	5,08	3,42
8,00	40,00	11,50	1.912,29	35,80	0,084	5,31	3,40

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	11,50	- 230,56	27,48	0,134	2,56	3,56
9,00	31,00	11,50	- 73,37	28,48	0,127	2,83	3,54
9,00	32,00	11,50	92,32	29,48	0,120	3,10	3,51
9,00	33,00	11,50	266,54	30,48	0,114	3,37	3,49
9,00	34,00	11,50	449,27	31,48	0,109	3,63	3,48
9,00	35,00	11,50	640,52	32,48	0,104	3,88	3,45
9,00	36,00	11,50	840,28	33,48	0,099	4,13	3,44
9,00	37,00	11,50	1.048,56	34,48	0,095	4,36	3,42
9,00	38,00	11,50	1.265,35	35,48	0,092	4,59	3,40
9,00	39,00	11,50	1.490,66	36,48	0,088	4,81	3,38
9,00	40,00	11,50	1.724,49	37,48	0,085	5,02	3,36
10,00	30,00	11,50	- 432,65	29,16	0,133	2,46	3,53
10,00	31,00	11,50	- 284,18	30,16	0,126	2,72	3,51
10,00	32,00	11,50	- 127,20	31,16	0,120	2,97	3,48
10,00	33,00	11,50	38,29	32,16	0,114	3,21	3,46
10,00	34,00	11,50	212,30	33,16	0,109	3,46	3,44
10,00	35,00	11,50	394,83	34,16	0,104	3,69	3,42
10,00	36,00	11,50	585,87	35,16	0,100	3,92	3,40
10,00	37,00	11,50	785,43	36,16	0,096	4,14	3,38
10,00	38,00	11,50	993,51	37,16	0,092	4,35	3,36
10,00	39,00	11,50	1.210,09	38,16	0,089	4,56	3,34
10,00	40,00	11,50	1.435,20	39,16	0,086	4,75	3,33
11,00	30,00	11,50	- 703,44	30,00	0,133	2,37	3,50
11,00	31,00	11,50	- 566,06	31,00	0,126	2,61	3,48
11,00	32,00	11,50	- 420,17	32,00	0,120	2,84	3,45
11,00	33,00	11,50	- 265,76	33,00	0,115	3,07	3,42
11,00	34,00	11,50	- 102,84	34,00	0,110	3,29	3,40
11,00	35,00	11,50	68,60	35,00	0,105	3,51	3,38
11,00	36,00	11,50	248,55	36,00	0,101	3,72	3,36
11,00	37,00	11,50	437,02	37,00	0,097	3,92	3,34
11,00	38,00	11,50	634,01	38,00	0,093	4,12	3,32
11,00	39,00	11,50	839,51	39,00	0,090	4,32	3,31
11,00	40,00	11,50	1.053,53	40,00	0,087	4,50	3,29
12,00	30,00	11,50	- 984,28	30,00	0,133	2,27	3,47
12,00	31,00	11,50	- 858,33	31,00	0,127	2,50	3,45
12,00	32,00	11,50	- 723,87	32,00	0,121	2,71	3,42
12,00	33,00	11,50	- 580,89	33,00	0,115	2,92	3,40
12,00	34,00	11,50	- 429,39	34,00	0,110	3,13	3,37
12,00	35,00	11,50	- 269,38	35,00	0,106	3,33	3,35
12,00	36,00	11,50	- 100,85	36,00	0,102	3,53	3,33
12,00	37,00	11,50	76,19	37,00	0,098	3,72	3,30
12,00	38,00	11,50	261,75	38,00	0,095	3,90	3,29
12,00	39,00	11,50	455,82	39,00	0,092	4,09	3,27
12,00	40,00	11,50	658,41	40,00	0,089	4,25	3,25

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S_{41}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
13,00	30,00	11,50	- 1.265,13	30,00	0,133	2,18	3,44
13,00	31,00	11,50	- 1.150,61	31,00	0,127	2,39	3,42
13,00	32,00	11,50	- 1.027,57	32,00	0,121	2,59	3,39
13,00	33,00	11,50	- 896,02	33,00	0,116	2,79	3,37
13,00	34,00	11,50	- 755,95	34,00	0,111	2,98	3,34
13,00	35,00	11,50	- 607,36	35,00	0,107	3,17	3,32
13,00	36,00	11,50	- 450,26	36,00	0,103	3,35	3,30
13,00	37,00	11,50	- 284,65	37,00	0,100	3,53	3,28
13,00	38,00	11,50	- 110,52	38,00	0,096	3,70	3,26
13,00	39,00	11,50	72,13	39,00	0,093	3,87	3,24
13,00	40,00	11,50	263,29	40,00	0,090	4,02	3,22
14,00	30,00	11,50	- 1.545,98	30,00	0,134	2,08	3,42
14,00	31,00	11,50	- 1.442,88	31,00	0,128	2,28	3,39
14,00	32,00	11,50	- 1.331,27	32,00	0,122	2,47	3,36
14,00	33,00	11,50	- 1.211,14	33,00	0,117	2,65	3,34
14,00	34,00	11,50	- 1.082,50	34,00	0,113	2,84	3,32
14,00	35,00	11,50	- 945,34	35,00	0,108	3,01	3,29
14,00	36,00	11,50	- 799,67	36,00	0,104	3,18	3,27
14,00	37,00	11,50	- 645,48	37,00	0,101	3,35	3,25
14,00	38,00	11,50	- 482,78	38,00	0,098	3,51	3,23
14,00	39,00	11,50	- 311,56	39,00	0,095	3,66	3,21
14,00	40,00	11,50	- 131,82	40,00	0,092	3,81	3,19
15,00	30,00	11,50	- 1.826,82	30,00	0,135	1,99	3,39
15,00	31,00	11,50	- 1.735,15	31,00	0,129	2,17	3,36
15,00	32,00	11,50	- 1.634,97	32,00	0,123	2,35	3,34
15,00	33,00	11,50	- 1.526,27	33,00	0,118	2,52	3,31
15,00	34,00	11,50	- 1.409,06	34,00	0,114	2,70	3,29
15,00	35,00	11,50	- 1.283,33	35,00	0,110	2,86	3,27
15,00	36,00	11,50	- 1.149,08	36,00	0,106	3,02	3,24
15,00	37,00	11,50	- 1.006,32	37,00	0,103	3,17	3,22
15,00	38,00	11,50	- 855,04	38,00	0,100	3,32	3,20
15,00	39,00	11,50	- 695,25	39,00	0,097	3,47	3,18
15,00	40,00	11,50	- 526,94	40,00	0,094	3,61	3,16

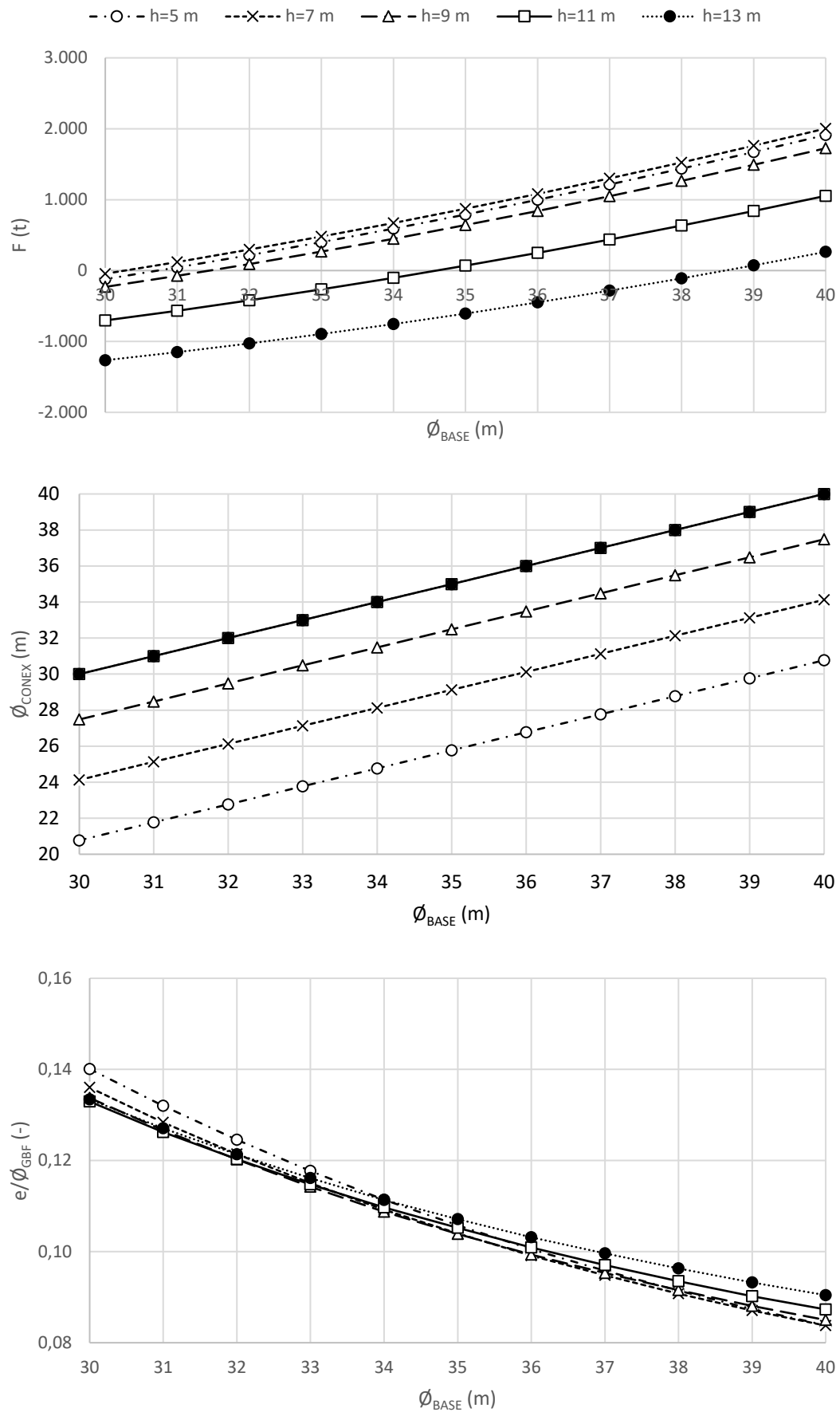


Figura 21: $S_{41} - C_{\text{PORT}}=11,5\text{ m}$

S₄₁ – F = -3.500 t

S ₄₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
5,00	30,00	5,33	- 3.500,00	30,00	0,140	2,92	3,71
5,00	31,00	5,45	- 3.500,00	31,00	0,132	3,28	3,68
5,00	32,00	5,57	- 3.500,00	32,00	0,125	3,63	3,65
5,00	33,00	5,67	- 3.500,00	33,00	0,118	3,98	3,63
5,00	34,00	5,76	- 3.500,00	34,00	0,112	4,33	3,61
5,00	35,00	5,84	- 3.500,00	35,00	0,107	4,67	3,58
5,00	36,00	5,91	- 3.500,00	36,00	0,101	5,00	3,55
5,00	37,00	5,97	- 3.500,00	37,00	0,097	5,32	3,53
5,00	38,00	6,03	- 3.500,00	37,94	0,092	5,63	3,51
5,00	39,00	6,09	- 3.500,00	38,85	0,089	5,93	3,48
5,00	40,00	6,14	- 3.500,00	39,77	0,085	6,22	3,46
6,00	30,00	5,71	- 3.500,00	30,00	0,138	2,84	3,67
6,00	31,00	5,83	- 3.500,00	31,00	0,130	3,17	3,64
6,00	32,00	5,93	- 3.500,00	32,00	0,123	3,50	3,62
6,00	33,00	6,02	- 3.500,00	33,00	0,117	3,82	3,59
6,00	34,00	6,11	- 3.500,00	34,00	0,111	4,15	3,57
6,00	35,00	6,18	- 3.500,00	35,00	0,105	4,46	3,54
6,00	36,00	6,24	- 3.500,00	36,00	0,101	4,76	3,52
6,00	37,00	6,30	- 3.500,00	37,00	0,096	5,06	3,49
6,00	38,00	6,35	- 3.500,00	38,00	0,092	5,34	3,47
6,00	39,00	6,40	- 3.500,00	39,00	0,088	5,62	3,45
6,00	40,00	6,44	- 3.500,00	40,00	0,085	5,88	3,42
7,00	30,00	6,10	- 3.500,00	30,00	0,136	2,75	3,63
7,00	31,00	6,21	- 3.500,00	31,00	0,129	3,06	3,61
7,00	32,00	6,30	- 3.500,00	32,00	0,122	3,36	3,58
7,00	33,00	6,38	- 3.500,00	33,00	0,116	3,67	3,55
7,00	34,00	6,46	- 3.500,00	34,00	0,110	3,97	3,53
7,00	35,00	6,52	- 3.500,00	35,00	0,105	4,25	3,50
7,00	36,00	6,58	- 3.500,00	36,00	0,100	4,54	3,48
7,00	37,00	6,63	- 3.500,00	37,00	0,096	4,81	3,46
7,00	38,00	6,67	- 3.500,00	38,00	0,092	5,07	3,43
7,00	39,00	6,71	- 3.500,00	39,00	0,088	5,33	3,41
7,00	40,00	6,75	- 3.500,00	40,00	0,085	5,57	3,39
8,00	30,00	6,49	- 3.500,00	30,00	0,135	2,66	3,60
8,00	31,00	6,58	- 3.500,00	31,00	0,127	2,95	3,57
8,00	32,00	6,67	- 3.500,00	32,00	0,121	3,23	3,54
8,00	33,00	6,74	- 3.500,00	33,00	0,115	3,51	3,52
8,00	34,00	6,81	- 3.500,00	34,00	0,109	3,79	3,50
8,00	35,00	6,86	- 3.500,00	35,00	0,104	4,06	3,47
8,00	36,00	6,91	- 3.500,00	36,00	0,100	4,32	3,45
8,00	37,00	6,95	- 3.500,00	37,00	0,096	4,57	3,42
8,00	38,00	6,99	- 3.500,00	38,00	0,092	4,81	3,40
8,00	39,00	7,02	- 3.500,00	39,00	0,088	5,05	3,38
8,00	40,00	7,05	- 3.500,00	40,00	0,085	5,27	3,36

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₁		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	6,87	- 3.500,00	30,00	0,134	2,56	3,56
9,00	31,00	6,96	- 3.500,00	31,00	0,127	2,83	3,54
9,00	32,00	7,04	- 3.500,00	32,00	0,120	3,10	3,51
9,00	33,00	7,10	- 3.500,00	33,00	0,114	3,36	3,49
9,00	34,00	7,16	- 3.500,00	34,00	0,109	3,62	3,46
9,00	35,00	7,20	- 3.500,00	35,00	0,104	3,87	3,44
9,00	36,00	7,25	- 3.500,00	36,00	0,100	4,11	3,41
9,00	37,00	7,28	- 3.500,00	37,00	0,096	4,34	3,39
9,00	38,00	7,31	- 3.500,00	38,00	0,092	4,57	3,37
9,00	39,00	7,34	- 3.500,00	39,00	0,089	4,79	3,35
9,00	40,00	7,36	- 3.500,00	40,00	0,086	4,99	3,33
10,00	30,00	7,26	- 3.500,00	30,00	0,133	2,46	3,53
10,00	31,00	7,34	- 3.500,00	31,00	0,126	2,72	3,51
10,00	32,00	7,40	- 3.500,00	32,00	0,120	2,97	3,48
10,00	33,00	7,46	- 3.500,00	33,00	0,114	3,21	3,45
10,00	34,00	7,51	- 3.500,00	34,00	0,109	3,45	3,43
10,00	35,00	7,55	- 3.500,00	35,00	0,105	3,68	3,41
10,00	36,00	7,58	- 3.500,00	36,00	0,100	3,91	3,38
10,00	37,00	7,61	- 3.500,00	37,00	0,097	4,12	3,36
10,00	38,00	7,63	- 3.500,00	38,00	0,093	4,33	3,34
10,00	39,00	7,65	- 3.500,00	39,00	0,090	4,54	3,32
10,00	40,00	7,67	- 3.500,00	40,00	0,087	4,73	3,30
11,00	30,00	7,65	- 3.500,00	30,00	0,133	2,37	3,50
11,00	31,00	7,71	- 3.500,00	31,00	0,126	2,61	3,48
11,00	32,00	7,77	- 3.500,00	32,00	0,120	2,84	3,45
11,00	33,00	7,82	- 3.500,00	33,00	0,115	3,07	3,42
11,00	34,00	7,86	- 3.500,00	34,00	0,110	3,29	3,40
11,00	35,00	7,89	- 3.500,00	35,00	0,105	3,50	3,38
11,00	36,00	7,91	- 3.500,00	36,00	0,101	3,72	3,35
11,00	37,00	7,93	- 3.500,00	37,00	0,097	3,92	3,33
11,00	38,00	7,95	- 3.500,00	38,00	0,094	4,11	3,31
11,00	39,00	7,96	- 3.500,00	39,00	0,091	4,30	3,29
11,00	40,00	7,97	- 3.500,00	40,00	0,088	4,48	3,27
12,00	30,00	8,03	- 3.500,00	30,00	0,133	2,27	3,47
12,00	31,00	8,09	- 3.500,00	31,00	0,127	2,50	3,45
12,00	32,00	8,14	- 3.500,00	32,00	0,121	2,71	3,42
12,00	33,00	8,18	- 3.500,00	33,00	0,115	2,92	3,40
12,00	34,00	8,21	- 3.500,00	34,00	0,110	3,13	3,37
12,00	35,00	8,23	- 3.500,00	35,00	0,106	3,33	3,35
12,00	36,00	8,25	- 3.500,00	36,00	0,102	3,53	3,33
12,00	37,00	8,26	- 3.500,00	37,00	0,098	3,72	3,30
12,00	38,00	8,27	- 3.500,00	38,00	0,095	3,90	3,28
12,00	39,00	8,28	- 3.500,00	39,00	0,092	4,08	3,26
12,00	40,00	8,28	- 3.500,00	40,00	0,089	4,24	3,24

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S_{41}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
13,00	30,00	8,42	- 3.500,00	30,00	0,133	2,18	3,44
13,00	31,00	8,47	- 3.500,00	31,00	0,127	2,39	3,42
13,00	32,00	8,51	- 3.500,00	32,00	0,121	2,59	3,39
13,00	33,00	8,54	- 3.500,00	33,00	0,116	2,79	3,37
13,00	34,00	8,56	- 3.500,00	34,00	0,111	2,98	3,34
13,00	35,00	8,57	- 3.500,00	35,00	0,107	3,17	3,32
13,00	36,00	8,58	- 3.500,00	36,00	0,103	3,35	3,30
13,00	37,00	8,59	- 3.500,00	37,00	0,100	3,53	3,28
13,00	38,00	8,59	- 3.500,00	38,00	0,096	3,70	3,26
13,00	39,00	8,59	- 3.500,00	39,00	0,093	3,87	3,24
13,00	40,00	8,58	- 3.500,00	40,00	0,091	4,02	3,22
14,00	30,00	8,81	- 3.500,00	30,00	0,134	2,08	3,42
14,00	31,00	8,85	- 3.500,00	31,00	0,128	2,28	3,39
14,00	32,00	8,87	- 3.500,00	32,00	0,122	2,47	3,36
14,00	33,00	8,89	- 3.500,00	33,00	0,117	2,65	3,34
14,00	34,00	8,91	- 3.500,00	34,00	0,113	2,84	3,32
14,00	35,00	8,91	- 3.500,00	35,00	0,108	3,01	3,29
14,00	36,00	8,92	- 3.500,00	36,00	0,104	3,18	3,27
14,00	37,00	8,91	- 3.500,00	37,00	0,101	3,35	3,25
14,00	38,00	8,91	- 3.500,00	38,00	0,098	3,51	3,23
14,00	39,00	8,90	- 3.500,00	39,00	0,095	3,66	3,21
14,00	40,00	8,89	- 3.500,00	40,00	0,092	3,81	3,19
15,00	30,00	9,20	- 3.500,00	30,00	0,135	1,99	3,39
15,00	31,00	9,22	- 3.500,00	31,00	0,129	2,17	3,36
15,00	32,00	9,24	- 3.500,00	32,00	0,123	2,35	3,34
15,00	33,00	9,25	- 3.500,00	33,00	0,118	2,52	3,31
15,00	34,00	9,26	- 3.500,00	34,00	0,114	2,70	3,29
15,00	35,00	9,26	- 3.500,00	35,00	0,110	2,86	3,27
15,00	36,00	9,25	- 3.500,00	36,00	0,106	3,02	3,24
15,00	37,00	9,24	- 3.500,00	37,00	0,103	3,17	3,22
15,00	38,00	9,23	- 3.500,00	38,00	0,100	3,32	3,20
15,00	39,00	9,21	- 3.500,00	39,00	0,097	3,47	3,18
15,00	40,00	9,20	- 3.500,00	40,00	0,094	3,61	3,16

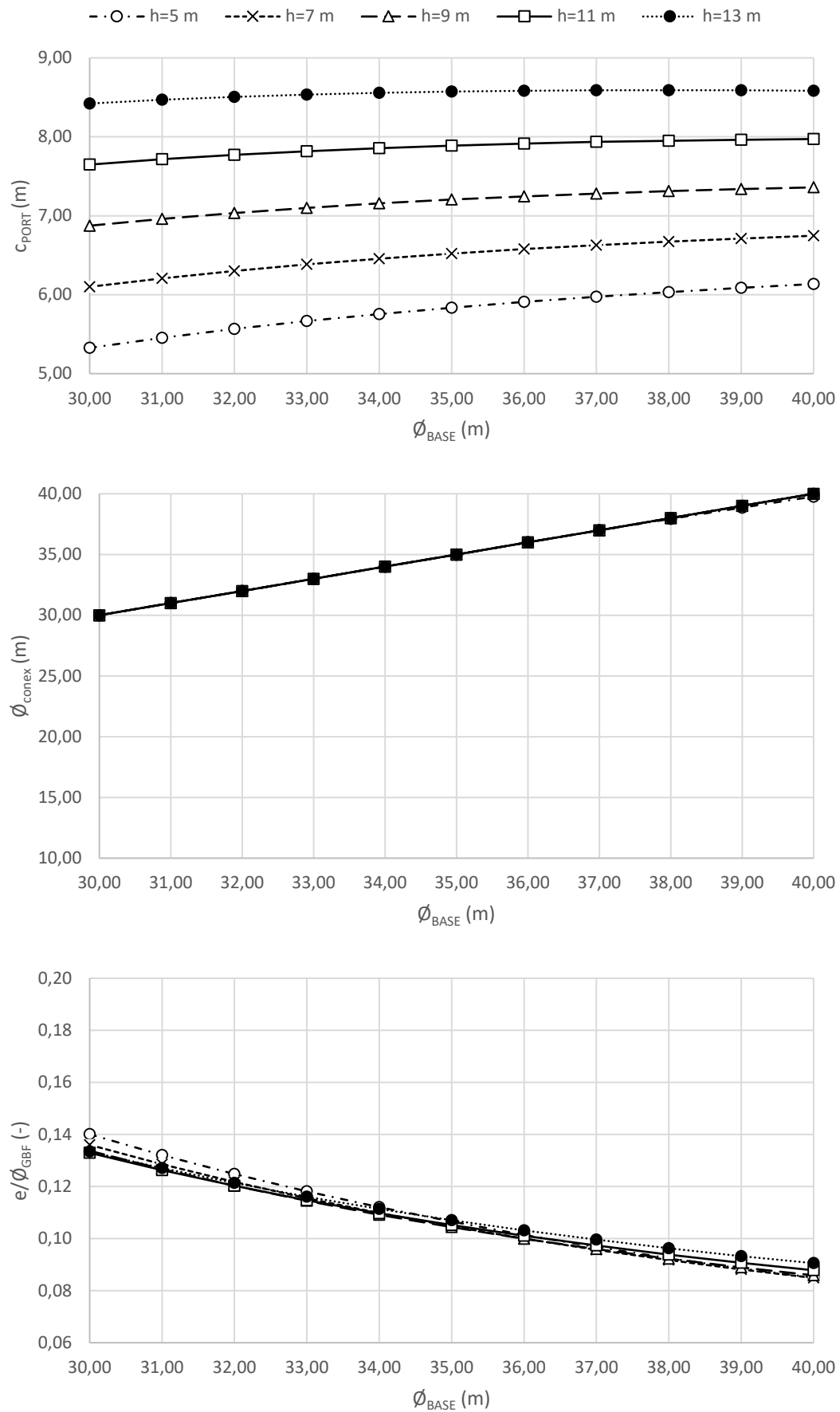


Figura 22: S_{41} - $F=3.500\text{ t}$

A3.14. S₄₂

Base cilíndrica + cónica

**Instalación mediante embarcación
auxiliar**

$S_{42} - c_{PORT} = 11,5 \text{ m}$

S_{42}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
5,00	30,00	11,50	- 120,81	20,77	0,170	2,19	3,06
5,00	31,00	11,50	44,18	21,77	0,159	2,57	3,07
5,00	32,00	11,50	217,69	22,77	0,148	2,96	3,08
5,00	33,00	11,50	399,71	23,77	0,139	3,35	3,09
5,00	34,00	11,50	590,25	24,77	0,130	3,74	3,10
5,00	35,00	11,50	789,30	25,77	0,123	4,12	3,10
5,00	36,00	11,50	996,87	26,77	0,116	4,49	3,11
5,00	37,00	11,50	1.212,95	27,77	0,110	4,85	3,11
5,00	38,00	11,50	1.437,55	28,77	0,104	5,20	3,12
5,00	39,00	11,50	1.670,67	29,77	0,099	5,53	3,12
5,00	40,00	11,50	1.912,30	30,77	0,094	5,85	3,12
6,00	30,00	11,50	- 52,54	22,45	0,166	2,17	3,05
6,00	31,00	11,50	114,56	23,45	0,155	2,54	3,06
6,00	32,00	11,50	290,17	24,45	0,145	2,90	3,07
6,00	33,00	11,50	474,31	25,45	0,136	3,26	3,08
6,00	34,00	11,50	666,95	26,45	0,128	3,62	3,09
6,00	35,00	11,50	868,11	27,45	0,121	3,97	3,09
6,00	36,00	11,50	1.077,79	28,45	0,114	4,31	3,10
6,00	37,00	11,50	1.295,98	29,45	0,108	4,64	3,10
6,00	38,00	11,50	1.522,69	30,45	0,103	4,95	3,10
6,00	39,00	11,50	1.757,92	31,45	0,098	5,26	3,11
6,00	40,00	11,50	2.001,66	32,45	0,093	5,55	3,11
7,00	30,00	11,50	- 45,05	24,13	0,162	2,14	3,04
7,00	31,00	11,50	121,45	25,13	0,152	2,48	3,05
7,00	32,00	11,50	296,47	26,13	0,142	2,82	3,06
7,00	33,00	11,50	480,00	27,13	0,134	3,16	3,07
7,00	34,00	11,50	672,05	28,13	0,126	3,49	3,08
7,00	35,00	11,50	872,62	29,13	0,119	3,81	3,08
7,00	36,00	11,50	1.081,70	30,13	0,113	4,13	3,08
7,00	37,00	11,50	1.299,29	31,13	0,107	4,42	3,09
7,00	38,00	11,50	1.525,40	32,13	0,102	4,72	3,09
7,00	39,00	11,50	1.760,03	33,13	0,097	5,00	3,09
7,00	40,00	11,50	2.003,17	34,13	0,093	5,26	3,09
8,00	30,00	11,50	- 102,87	25,80	0,160	2,10	3,04
8,00	31,00	11,50	60,32	26,80	0,150	2,42	3,04
8,00	32,00	11,50	232,04	27,80	0,140	2,73	3,05
8,00	33,00	11,50	412,26	28,80	0,132	3,05	3,06
8,00	34,00	11,50	601,01	29,80	0,125	3,35	3,06
8,00	35,00	11,50	798,27	30,80	0,118	3,65	3,06
8,00	36,00	11,50	1.004,04	31,80	0,112	3,94	3,07
8,00	37,00	11,50	1.218,33	32,80	0,107	4,22	3,07
8,00	38,00	11,50	1.441,14	33,80	0,102	4,49	3,07
8,00	39,00	11,50	1.672,46	34,80	0,097	4,75	3,07
8,00	40,00	11,50	1.912,29	35,80	0,093	4,99	3,07

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	11,50	- 230,56	27,48	0,157	2,05	3,03
9,00	31,00	11,50	- 73,37	28,48	0,148	2,35	3,03
9,00	32,00	11,50	92,32	29,48	0,139	2,64	3,03
9,00	33,00	11,50	266,54	30,48	0,131	2,93	3,04
9,00	34,00	11,50	449,27	31,48	0,124	3,21	3,05
9,00	35,00	11,50	640,52	32,48	0,118	3,49	3,05
9,00	36,00	11,50	840,28	33,48	0,112	3,75	3,05
9,00	37,00	11,50	1.048,56	34,48	0,107	4,01	3,05
9,00	38,00	11,50	1.265,35	35,48	0,102	4,26	3,05
9,00	39,00	11,50	1.490,66	36,48	0,098	4,50	3,05
9,00	40,00	11,50	1.724,49	37,48	0,094	4,73	3,05
10,00	30,00	11,50	- 432,65	29,16	0,156	2,00	3,02
10,00	31,00	11,50	- 284,18	30,16	0,147	2,27	3,02
10,00	32,00	11,50	- 127,20	31,16	0,138	2,54	3,02
10,00	33,00	11,50	38,29	32,16	0,131	2,80	3,02
10,00	34,00	11,50	212,30	33,16	0,124	3,07	3,03
10,00	35,00	11,50	394,83	34,16	0,118	3,32	3,03
10,00	36,00	11,50	585,87	35,16	0,112	3,57	3,03
10,00	37,00	11,50	785,43	36,16	0,107	3,81	3,03
10,00	38,00	11,50	993,51	37,16	0,102	4,04	3,03
10,00	39,00	11,50	1.210,09	38,16	0,098	4,27	3,03
10,00	40,00	11,50	1.435,20	39,16	0,094	4,48	3,03
11,00	30,00	11,50	- 703,44	30,00	0,155	1,94	3,01
11,00	31,00	11,50	- 566,06	31,00	0,146	2,19	3,01
11,00	32,00	11,50	- 420,17	32,00	0,138	2,44	3,01
11,00	33,00	11,50	- 265,76	33,00	0,131	2,69	3,01
11,00	34,00	11,50	- 102,84	34,00	0,124	2,93	3,01
11,00	35,00	11,50	68,60	35,00	0,118	3,16	3,01
11,00	36,00	11,50	248,55	36,00	0,113	3,40	3,01
11,00	37,00	11,50	437,02	37,00	0,108	3,62	3,01
11,00	38,00	11,50	634,01	38,00	0,103	3,83	3,01
11,00	39,00	11,50	839,51	39,00	0,099	4,04	3,01
11,00	40,00	11,50	1.053,53	40,00	0,096	4,23	3,01
12,00	30,00	11,50	- 984,28	30,00	0,154	1,87	3,00
12,00	31,00	11,50	- 858,33	31,00	0,145	2,11	3,00
12,00	32,00	11,50	- 723,87	32,00	0,138	2,34	3,00
12,00	33,00	11,50	- 580,89	33,00	0,131	2,57	3,00
12,00	34,00	11,50	- 429,39	34,00	0,124	2,80	3,00
12,00	35,00	11,50	- 269,38	35,00	0,119	3,01	2,99
12,00	36,00	11,50	- 100,85	36,00	0,113	3,23	2,99
12,00	37,00	11,50	76,19	37,00	0,109	3,43	2,99
12,00	38,00	11,50	261,75	38,00	0,104	3,63	2,99
12,00	39,00	11,50	455,82	39,00	0,100	3,82	2,99
12,00	40,00	11,50	658,41	40,00	0,097	4,01	2,98

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S_{42}		R_1	R_2	R_3	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	$\varnothing_{BASE}$	c_{port}	F	$\varnothing_{conex}$	$e/\varnothing_{GBF}$	FS_1	FS_2
13,00	30,00	11,50	- 1.265,13	30,00	0,154	1,80	2,99
13,00	31,00	11,50	- 1.150,61	31,00	0,145	2,03	2,99
13,00	32,00	11,50	- 1.027,57	32,00	0,138	2,24	2,99
13,00	33,00	11,50	- 896,02	33,00	0,131	2,46	2,99
13,00	34,00	11,50	- 755,95	34,00	0,125	2,67	2,99
13,00	35,00	11,50	- 607,36	35,00	0,119	2,87	2,98
13,00	36,00	11,50	- 450,26	36,00	0,114	3,07	2,98
13,00	37,00	11,50	- 284,65	37,00	0,110	3,25	2,97
13,00	38,00	11,50	- 110,52	38,00	0,106	3,44	2,97
13,00	39,00	11,50	72,13	39,00	0,102	3,62	2,96
13,00	40,00	11,50	263,29	40,00	0,098	3,79	2,96
14,00	30,00	11,50	- 1.545,98	30,00	0,154	1,73	2,98
14,00	31,00	11,50	- 1.442,88	31,00	0,145	1,94	2,98
14,00	32,00	11,50	- 1.331,27	32,00	0,138	2,14	2,98
14,00	33,00	11,50	- 1.211,14	33,00	0,132	2,35	2,97
14,00	34,00	11,50	- 1.082,50	34,00	0,126	2,54	2,97
14,00	35,00	11,50	- 945,34	35,00	0,120	2,73	2,97
14,00	36,00	11,50	- 799,67	36,00	0,115	2,91	2,96
14,00	37,00	11,50	- 645,48	37,00	0,111	3,09	2,96
14,00	38,00	11,50	- 482,78	38,00	0,107	3,26	2,95
14,00	39,00	11,50	- 311,56	39,00	0,103	3,43	2,95
14,00	40,00	11,50	- 131,82	40,00	0,100	3,58	2,94
15,00	30,00	11,50	- 1.826,82	30,00	0,154	1,66	2,97
15,00	31,00	11,50	- 1.735,15	31,00	0,146	1,86	2,97
15,00	32,00	11,50	- 1.634,97	32,00	0,139	2,05	2,97
15,00	33,00	11,50	- 1.526,27	33,00	0,132	2,23	2,96
15,00	34,00	11,50	- 1.409,06	34,00	0,127	2,42	2,96
15,00	35,00	11,50	- 1.283,33	35,00	0,121	2,59	2,95
15,00	36,00	11,50	- 1.149,08	36,00	0,117	2,77	2,95
15,00	37,00	11,50	- 1.006,32	37,00	0,112	2,93	2,94
15,00	38,00	11,50	- 855,04	38,00	0,108	3,09	2,94
15,00	39,00	11,50	- 695,25	39,00	0,105	3,25	2,93
15,00	40,00	11,50	- 526,94	40,00	0,102	3,39	2,93

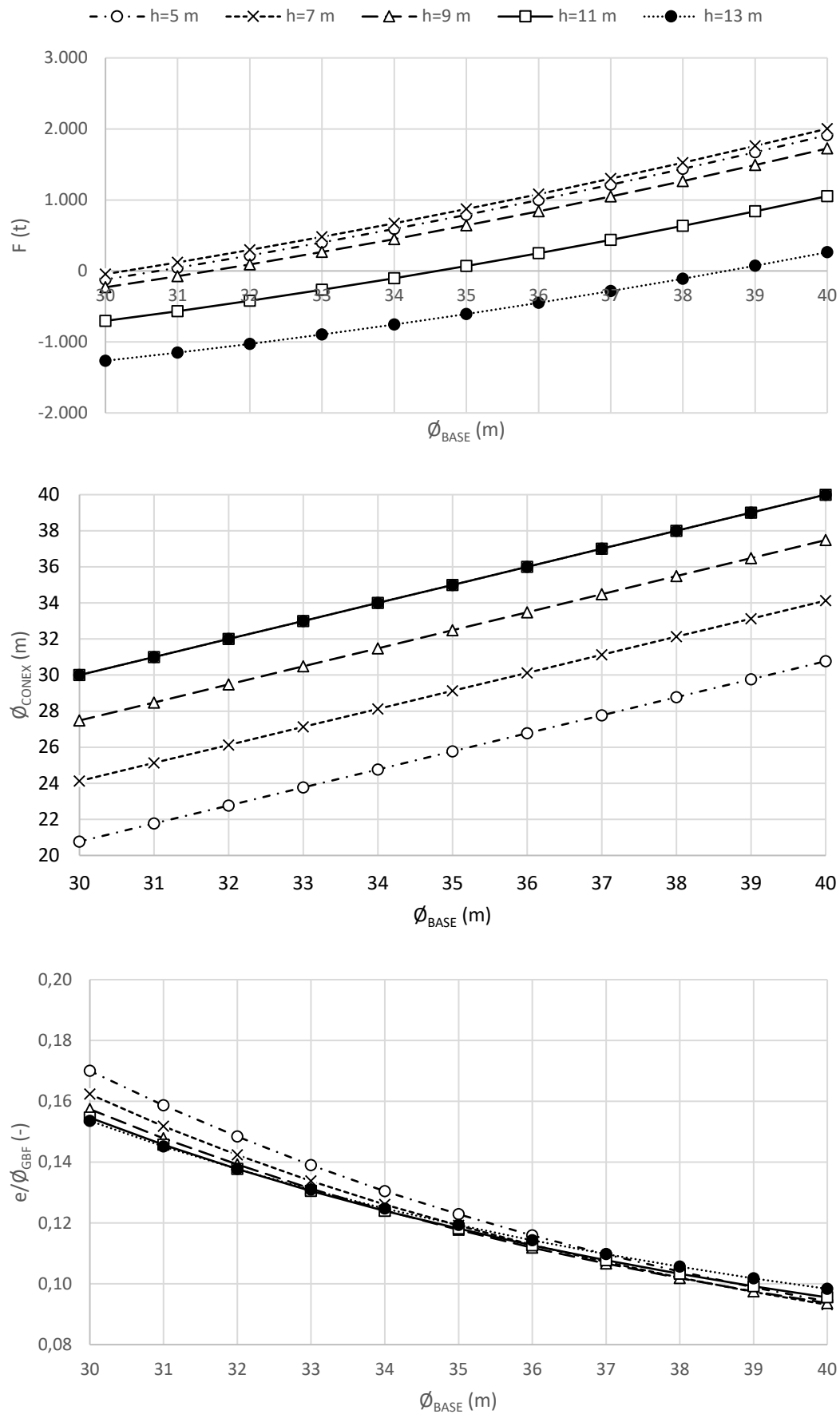


Figura 23: $S_{42} - C_{\text{PORT}}=11,5\text{ m}$

S₄₂ – F = -3.500 t

S ₄₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
5,00	30,00	5,33	- 3.500,00	30,00	0,170	2,19	3,06
5,00	31,00	5,45	- 3.500,00	31,00	0,159	2,57	3,06
5,00	32,00	5,57	- 3.500,00	32,00	0,149	2,95	3,07
5,00	33,00	5,67	- 3.500,00	33,00	0,140	3,33	3,07
5,00	34,00	5,76	- 3.500,00	34,00	0,131	3,72	3,08
5,00	35,00	5,84	- 3.500,00	35,00	0,124	4,08	3,08
5,00	36,00	5,91	- 3.500,00	36,00	0,117	4,45	3,08
5,00	37,00	5,97	- 3.500,00	37,00	0,111	4,80	3,08
5,00	38,00	6,03	- 3.500,00	37,94	0,105	5,14	3,08
5,00	39,00	6,09	- 3.500,00	38,85	0,100	5,47	3,08
5,00	40,00	6,14	- 3.500,00	39,77	0,096	5,78	3,07
6,00	30,00	5,71	- 3.500,00	30,00	0,166	2,17	3,05
6,00	31,00	5,83	- 3.500,00	31,00	0,155	2,53	3,06
6,00	32,00	5,93	- 3.500,00	32,00	0,145	2,88	3,06
6,00	33,00	6,02	- 3.500,00	33,00	0,137	3,24	3,06
6,00	34,00	6,11	- 3.500,00	34,00	0,129	3,59	3,07
6,00	35,00	6,18	- 3.500,00	35,00	0,122	3,93	3,06
6,00	36,00	6,24	- 3.500,00	36,00	0,115	4,27	3,07
6,00	37,00	6,30	- 3.500,00	37,00	0,109	4,59	3,06
6,00	38,00	6,35	- 3.500,00	38,00	0,104	4,90	3,06
6,00	39,00	6,40	- 3.500,00	39,00	0,099	5,21	3,06
6,00	40,00	6,44	- 3.500,00	40,00	0,095	5,49	3,06
7,00	30,00	6,10	- 3.500,00	30,00	0,162	2,14	3,04
7,00	31,00	6,21	- 3.500,00	31,00	0,152	2,48	3,05
7,00	32,00	6,30	- 3.500,00	32,00	0,143	2,81	3,05
7,00	33,00	6,38	- 3.500,00	33,00	0,134	3,14	3,05
7,00	34,00	6,46	- 3.500,00	34,00	0,127	3,46	3,05
7,00	35,00	6,52	- 3.500,00	35,00	0,120	3,78	3,05
7,00	36,00	6,58	- 3.500,00	36,00	0,114	4,09	3,05
7,00	37,00	6,63	- 3.500,00	37,00	0,108	4,38	3,05
7,00	38,00	6,67	- 3.500,00	38,00	0,103	4,67	3,05
7,00	39,00	6,71	- 3.500,00	39,00	0,099	4,95	3,05
7,00	40,00	6,75	- 3.500,00	40,00	0,095	5,21	3,05
8,00	30,00	6,49	- 3.500,00	30,00	0,160	2,10	3,04
8,00	31,00	6,58	- 3.500,00	31,00	0,150	2,42	3,04
8,00	32,00	6,67	- 3.500,00	32,00	0,141	2,72	3,04
8,00	33,00	6,74	- 3.500,00	33,00	0,133	3,03	3,04
8,00	34,00	6,81	- 3.500,00	34,00	0,126	3,33	3,04
8,00	35,00	6,86	- 3.500,00	35,00	0,119	3,62	3,04
8,00	36,00	6,91	- 3.500,00	36,00	0,113	3,91	3,04
8,00	37,00	6,95	- 3.500,00	37,00	0,108	4,18	3,04
8,00	38,00	6,99	- 3.500,00	38,00	0,103	4,44	3,04
8,00	39,00	7,02	- 3.500,00	39,00	0,098	4,70	3,04
8,00	40,00	7,05	- 3.500,00	40,00	0,094	4,94	3,03

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
9,00	30,00	6,87	- 3.500,00	30,00	0,157	2,05	3,03
9,00	31,00	6,96	- 3.500,00	31,00	0,148	2,35	3,03
9,00	32,00	7,04	- 3.500,00	32,00	0,139	2,63	3,03
9,00	33,00	7,10	- 3.500,00	33,00	0,132	2,92	3,03
9,00	34,00	7,16	- 3.500,00	34,00	0,125	3,20	3,03
9,00	35,00	7,20	- 3.500,00	35,00	0,118	3,47	3,03
9,00	36,00	7,25	- 3.500,00	36,00	0,113	3,73	3,03
9,00	37,00	7,28	- 3.500,00	37,00	0,108	3,98	3,03
9,00	38,00	7,31	- 3.500,00	38,00	0,103	4,23	3,02
9,00	39,00	7,34	- 3.500,00	39,00	0,099	4,46	3,02
9,00	40,00	7,36	- 3.500,00	40,00	0,095	4,69	3,02
10,00	30,00	7,26	- 3.500,00	30,00	0,156	2,00	3,02
10,00	31,00	7,34	- 3.500,00	31,00	0,147	2,27	3,02
10,00	32,00	7,40	- 3.500,00	32,00	0,138	2,54	3,02
10,00	33,00	7,46	- 3.500,00	33,00	0,131	2,80	3,02
10,00	34,00	7,51	- 3.500,00	34,00	0,124	3,06	3,02
10,00	35,00	7,55	- 3.500,00	35,00	0,118	3,31	3,02
10,00	36,00	7,58	- 3.500,00	36,00	0,113	3,56	3,02
10,00	37,00	7,61	- 3.500,00	37,00	0,108	3,79	3,01
10,00	38,00	7,63	- 3.500,00	38,00	0,103	4,02	3,01
10,00	39,00	7,65	- 3.500,00	39,00	0,099	4,24	3,01
10,00	40,00	7,67	- 3.500,00	40,00	0,095	4,44	3,00
11,00	30,00	7,65	- 3.500,00	30,00	0,155	1,94	3,01
11,00	31,00	7,71	- 3.500,00	31,00	0,146	2,19	3,01
11,00	32,00	7,77	- 3.500,00	32,00	0,138	2,44	3,01
11,00	33,00	7,82	- 3.500,00	33,00	0,131	2,69	3,01
11,00	34,00	7,86	- 3.500,00	34,00	0,124	2,93	3,01
11,00	35,00	7,89	- 3.500,00	35,00	0,118	3,16	3,01
11,00	36,00	7,91	- 3.500,00	36,00	0,113	3,39	3,00
11,00	37,00	7,93	- 3.500,00	37,00	0,108	3,60	3,00
11,00	38,00	7,95	- 3.500,00	38,00	0,104	3,82	3,00
11,00	39,00	7,96	- 3.500,00	39,00	0,100	4,02	2,99
11,00	40,00	7,97	- 3.500,00	40,00	0,096	4,21	2,99
12,00	30,00	8,03	- 3.500,00	30,00	0,154	1,87	3,00
12,00	31,00	8,09	- 3.500,00	31,00	0,145	2,11	3,00
12,00	32,00	8,14	- 3.500,00	32,00	0,138	2,34	3,00
12,00	33,00	8,18	- 3.500,00	33,00	0,131	2,57	3,00
12,00	34,00	8,21	- 3.500,00	34,00	0,124	2,80	3,00
12,00	35,00	8,23	- 3.500,00	35,00	0,119	3,01	2,99
12,00	36,00	8,25	- 3.500,00	36,00	0,113	3,23	2,99
12,00	37,00	8,26	- 3.500,00	37,00	0,109	3,43	2,99
12,00	38,00	8,27	- 3.500,00	38,00	0,105	3,62	2,98
12,00	39,00	8,28	- 3.500,00	39,00	0,101	3,82	2,98
12,00	40,00	8,28	- 3.500,00	40,00	0,097	3,99	2,97

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₂		R ₁	R ₂	R ₃	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
13,00	30,00	8,42	- 3.500,00	30,00	0,154	1,80	2,99
13,00	31,00	8,47	- 3.500,00	31,00	0,145	2,03	2,99
13,00	32,00	8,51	- 3.500,00	32,00	0,138	2,24	2,99
13,00	33,00	8,54	- 3.500,00	33,00	0,131	2,46	2,99
13,00	34,00	8,56	- 3.500,00	34,00	0,125	2,67	2,99
13,00	35,00	8,57	- 3.500,00	35,00	0,119	2,87	2,98
13,00	36,00	8,58	- 3.500,00	36,00	0,114	3,07	2,98
13,00	37,00	8,59	- 3.500,00	37,00	0,110	3,25	2,97
13,00	38,00	8,59	- 3.500,00	38,00	0,106	3,44	2,97
13,00	39,00	8,59	- 3.500,00	39,00	0,102	3,62	2,96
13,00	40,00	8,58	- 3.500,00	40,00	0,098	3,78	2,96
14,00	30,00	8,81	- 3.500,00	30,00	0,154	1,73	2,98
14,00	31,00	8,85	- 3.500,00	31,00	0,145	1,94	2,98
14,00	32,00	8,87	- 3.500,00	32,00	0,138	2,14	2,98
14,00	33,00	8,89	- 3.500,00	33,00	0,132	2,35	2,97
14,00	34,00	8,91	- 3.500,00	34,00	0,126	2,54	2,97
14,00	35,00	8,91	- 3.500,00	35,00	0,120	2,73	2,97
14,00	36,00	8,92	- 3.500,00	36,00	0,115	2,91	2,96
14,00	37,00	8,91	- 3.500,00	37,00	0,111	3,09	2,96
14,00	38,00	8,91	- 3.500,00	38,00	0,107	3,26	2,95
14,00	39,00	8,90	- 3.500,00	39,00	0,103	3,43	2,95
14,00	40,00	8,89	- 3.500,00	40,00	0,100	3,58	2,94
15,00	30,00	9,20	- 3.500,00	30,00	0,154	1,66	2,97
15,00	31,00	9,22	- 3.500,00	31,00	0,146	1,86	2,97
15,00	32,00	9,24	- 3.500,00	32,00	0,139	2,05	2,97
15,00	33,00	9,25	- 3.500,00	33,00	0,132	2,23	2,96
15,00	34,00	9,26	- 3.500,00	34,00	0,127	2,42	2,96
15,00	35,00	9,26	- 3.500,00	35,00	0,121	2,59	2,95
15,00	36,00	9,25	- 3.500,00	36,00	0,117	2,77	2,95
15,00	37,00	9,24	- 3.500,00	37,00	0,112	2,93	2,94
15,00	38,00	9,23	- 3.500,00	38,00	0,108	3,09	2,94
15,00	39,00	9,21	- 3.500,00	39,00	0,105	3,25	2,93
15,00	40,00	9,20	- 3.500,00	40,00	0,102	3,39	2,93

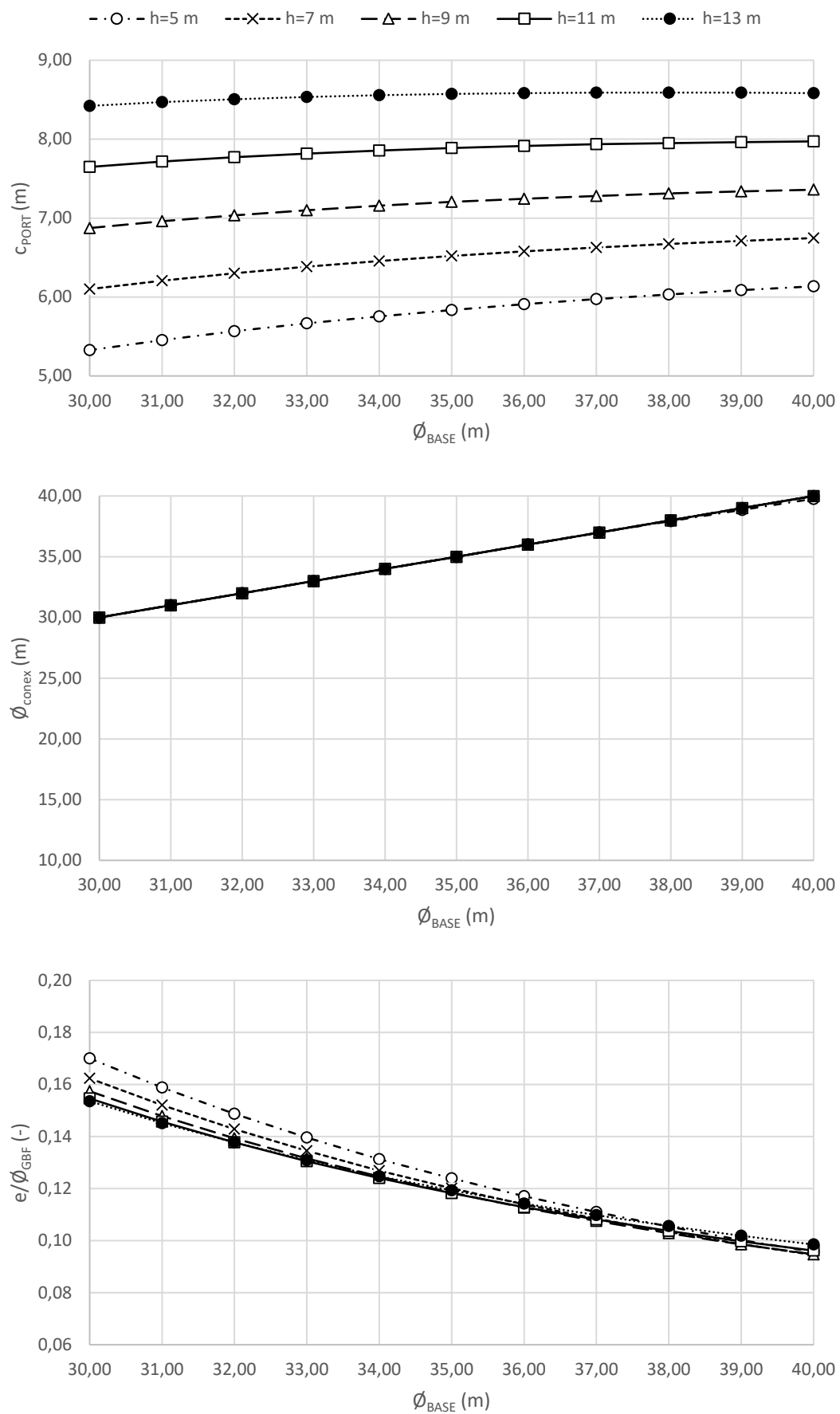


Figura 24: S_{42} - $F=3.500\text{ t}$

A3.15. S₄₃

Base cilíndrica + cónica

**Autoestable en transporte, fondeo
mediante embarcación auxiliar**

S₄₃ – c_{PORT} = 11,5 m (NO HAY SOLUCIÓN – R₃)

S ₄₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
5,00	30,00	11,50	- 120,81	20,77		0,170	2,19	3,06
5,00	31,00	11,50	44,18	21,77	- 6,77	0,159	2,57	3,07
5,00	32,00	11,50	217,69	22,77	- 6,26	0,148	2,96	3,08
5,00	33,00	11,50	399,71	23,77	- 5,78	0,139	3,35	3,09
5,00	34,00	11,50	590,25	24,77	- 5,33	0,130	3,74	3,10
5,00	35,00	11,50	789,30	25,77	- 4,91	0,123	4,12	3,10
5,00	36,00	11,50	996,87	26,77	- 4,51	0,116	4,49	3,11
5,00	37,00	11,50	1.212,95	27,77	- 4,12	0,110	4,85	3,11
5,00	38,00	11,50	1.437,55	28,77	- 3,75	0,104	5,20	3,12
5,00	39,00	11,50	1.670,67	29,77	- 3,39	0,099	5,53	3,12
5,00	40,00	11,50	1.912,30	30,77	- 3,04	0,094	5,85	3,12
6,00	30,00	11,50	- 52,54	22,45		0,166	2,17	3,05
6,00	31,00	11,50	114,56	23,45	- 6,10	0,155	2,54	3,06
6,00	32,00	11,50	290,17	24,45	- 5,59	0,145	2,90	3,07
6,00	33,00	11,50	474,31	25,45	- 5,12	0,136	3,26	3,08
6,00	34,00	11,50	666,95	26,45	- 4,67	0,128	3,62	3,09
6,00	35,00	11,50	868,11	27,45	- 4,24	0,121	3,97	3,09
6,00	36,00	11,50	1.077,79	28,45	- 3,82	0,114	4,31	3,10
6,00	37,00	11,50	1.295,98	29,45	- 3,43	0,108	4,64	3,10
6,00	38,00	11,50	1.522,69	30,45	- 3,04	0,103	4,95	3,10
6,00	39,00	11,50	1.757,92	31,45	- 2,67	0,098	5,26	3,11
6,00	40,00	11,50	2.001,66	32,45	- 2,30	0,093	5,55	3,11
7,00	30,00	11,50	- 45,05	24,13		0,162	2,14	3,04
7,00	31,00	11,50	121,45	25,13	- 5,50	0,152	2,48	3,05
7,00	32,00	11,50	296,47	26,13	- 4,98	0,142	2,82	3,06
7,00	33,00	11,50	480,00	27,13	- 4,49	0,134	3,16	3,07
7,00	34,00	11,50	672,05	28,13	- 4,03	0,126	3,49	3,08
7,00	35,00	11,50	872,62	29,13	- 3,58	0,119	3,81	3,08
7,00	36,00	11,50	1.081,70	30,13	- 3,16	0,113	4,13	3,08
7,00	37,00	11,50	1.299,29	31,13	- 2,74	0,107	4,42	3,09
7,00	38,00	11,50	1.525,40	32,13	- 2,34	0,102	4,72	3,09
7,00	39,00	11,50	1.760,03	33,13	- 1,94	0,097	5,00	3,09
7,00	40,00	11,50	2.003,17	34,13	- 1,55	0,093	5,26	3,09
8,00	30,00	11,50	- 102,87	25,80		0,160	2,10	3,04
8,00	31,00	11,50	60,32	26,80	- 4,93	0,150	2,42	3,04
8,00	32,00	11,50	232,04	27,80	- 4,40	0,140	2,73	3,05
8,00	33,00	11,50	412,26	28,80	- 3,89	0,132	3,05	3,06
8,00	34,00	11,50	601,01	29,80	- 3,41	0,125	3,35	3,06
8,00	35,00	11,50	798,27	30,80	- 2,94	0,118	3,65	3,06
8,00	36,00	11,50	1.004,04	31,80	- 2,49	0,112	3,94	3,07
8,00	37,00	11,50	1.218,33	32,80	- 2,05	0,107	4,22	3,07
8,00	38,00	11,50	1.441,14	33,80	- 1,63	0,102	4,49	3,07
8,00	39,00	11,50	1.672,46	34,80	- 1,20	0,097	4,75	3,07
8,00	40,00	11,50	1.912,29	35,80	- 0,79	0,093	4,99	3,07
9,00	30,00	11,50	- 230,56	27,48		0,157	2,05	3,03
9,00	31,00	11,50	- 73,37	28,48		0,148	2,35	3,03
9,00	32,00	11,50	92,32	29,48	- 3,84	0,139	2,64	3,03
9,00	33,00	11,50	266,54	30,48	- 3,31	0,131	2,93	3,04
9,00	34,00	11,50	449,27	31,48	- 2,79	0,124	3,21	3,05
9,00	35,00	11,50	640,52	32,48	- 2,30	0,118	3,49	3,05
9,00	36,00	11,50	840,28	33,48	- 1,82	0,112	3,75	3,05
9,00	37,00	11,50	1.048,56	34,48	- 1,35	0,107	4,01	3,05
9,00	38,00	11,50	1.265,35	35,48	- 0,89	0,102	4,26	3,05
9,00	39,00	11,50	1.490,66	36,48	- 0,44	0,098	4,50	3,05
9,00	40,00	11,50	1.724,49	37,48	- 0,00	0,094	4,73	3,05

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₃		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
10,00	30,00	11,50	- 432,65	29,16		0,156	2,00	3,02
10,00	31,00	11,50	- 284,18	30,16		0,147	2,27	3,02
10,00	32,00	11,50	- 127,20	31,16		0,138	2,54	3,02
10,00	33,00	11,50	38,29	32,16	- 2,73	0,131	2,80	3,02
10,00	34,00	11,50	212,30	33,16	- 2,18	0,124	3,07	3,03
10,00	35,00	11,50	394,83	34,16	- 1,65	0,118	3,32	3,03
10,00	36,00	11,50	585,87	35,16	- 1,13	0,112	3,57	3,03
10,00	37,00	11,50	785,43	36,16	- 0,63	0,107	3,81	3,03
10,00	38,00	11,50	993,51	37,16	- 0,13	0,102	4,04	3,03
10,00	39,00	11,50	1.210,09	38,16	0,35	0,098	4,27	3,03
10,00	40,00	11,50	1.435,20	39,16	0,84	0,094	4,48	3,03
11,00	30,00	11,50	- 703,44	30,00		0,155	1,94	3,01
11,00	31,00	11,50	- 566,06	31,00		0,146	2,19	3,01
11,00	32,00	11,50	- 420,17	32,00		0,138	2,44	3,01
11,00	33,00	11,50	- 265,76	33,00		0,131	2,69	3,01
11,00	34,00	11,50	- 102,84	34,00		0,124	2,93	3,01
11,00	35,00	11,50	68,60	35,00	- 1,62	0,118	3,16	3,01
11,00	36,00	11,50	248,55	36,00	- 1,08	0,113	3,40	3,01
11,00	37,00	11,50	437,02	37,00	- 0,55	0,108	3,62	3,01
11,00	38,00	11,50	634,01	38,00	- 0,03	0,103	3,83	3,01
11,00	39,00	11,50	839,51	39,00	0,48	0,099	4,04	3,01
11,00	40,00	11,50	1.053,53	40,00	0,99	0,096	4,23	3,01
12,00	30,00	11,50	- 984,28	30,00		0,154	1,87	3,00
12,00	31,00	11,50	- 858,33	31,00		0,145	2,11	3,00
12,00	32,00	11,50	- 723,87	32,00		0,138	2,34	3,00
12,00	33,00	11,50	- 580,89	33,00		0,131	2,57	3,00
12,00	34,00	11,50	- 429,39	34,00		0,124	2,80	3,00
12,00	35,00	11,50	- 269,38	35,00		0,119	3,01	2,99
12,00	36,00	11,50	- 100,85	36,00		0,113	3,23	2,99
12,00	37,00	11,50	76,19	37,00	- 1,16	0,109	3,43	2,99
12,00	38,00	11,50	261,75	38,00	- 0,63	0,104	3,63	2,99
12,00	39,00	11,50	455,82	39,00	- 0,11	0,100	3,82	2,99
12,00	40,00	11,50	658,41	40,00	0,40	0,097	4,01	2,98
13,00	30,00	11,50	- 1.265,13	30,00		0,154	1,80	2,99
13,00	31,00	11,50	- 1.150,61	31,00		0,145	2,03	2,99
13,00	32,00	11,50	- 1.027,57	32,00		0,138	2,24	2,99
13,00	33,00	11,50	- 896,02	33,00		0,131	2,46	2,99
13,00	34,00	11,50	- 755,95	34,00		0,125	2,67	2,99
13,00	35,00	11,50	- 607,36	35,00		0,119	2,87	2,98
13,00	36,00	11,50	- 450,26	36,00	- 1,85	0,114	3,07	2,98
13,00	37,00	11,50	- 284,65	37,00	- 1,50	0,110	3,25	2,97
13,00	38,00	11,50	- 110,52	38,00	- 1,16	0,106	3,44	2,97
13,00	39,00	11,50	72,13	39,00	- 0,74	0,102	3,62	2,96
13,00	40,00	11,50	263,29	40,00	- 0,22	0,098	3,79	2,96
14,00	30,00	11,50	- 1.545,98	30,00		0,154	1,73	2,98
14,00	31,00	11,50	- 1.442,88	31,00		0,145	1,94	2,98
14,00	32,00	11,50	- 1.331,27	32,00		0,138	2,14	2,98
14,00	33,00	11,50	- 1.211,14	33,00		0,132	2,35	2,97
14,00	34,00	11,50	- 1.082,50	34,00		0,126	2,54	2,97
14,00	35,00	11,50	- 945,34	35,00		0,120	2,73	2,97
14,00	36,00	11,50	- 799,67	36,00		0,115	2,91	2,96
14,00	37,00	11,50	- 645,48	37,00		0,111	3,09	2,96
14,00	38,00	11,50	- 482,78	38,00		0,107	3,26	2,95
14,00	39,00	11,50	- 311,56	39,00		0,103	3,43	2,95
14,00	40,00	11,50	- 131,82	40,00		0,100	3,58	2,94

A3.16. S₄₅

Base cilíndrica + cónica

**Mástil metálico, autoestable en
transporte, fondeo mediante
embarcación auxiliar**

S₄₅ – c_{PORT} = 11,5 m

S ₄₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
5,00	30,00	11,50	681,11	20,77	- 2,72	0,173	2,12	3,01
5,00	31,00	11,50	835,99	21,77	- 2,51	0,161	2,52	3,03
5,00	32,00	11,50	999,39	22,77	- 2,30	0,150	2,91	3,04
5,00	33,00	11,50	1.171,31	23,77	- 2,10	0,140	3,31	3,05
5,00	34,00	11,50	1.351,75	24,77	- 1,91	0,132	3,70	3,07
5,00	35,00	11,50	1.540,70	25,77	- 1,71	0,124	4,08	3,07
5,00	36,00	11,50	1.738,16	26,77	- 1,52	0,117	4,46	3,08
5,00	37,00	11,50	1.944,14	27,77	- 1,32	0,111	4,81	3,09
5,00	38,00	11,50	2.158,64	28,77	- 1,13	0,105	5,17	3,10
5,00	39,00	11,50	2.381,65	29,77	- 0,92	0,099	5,50	3,10
5,00	40,00	11,50	2.613,18	30,77	- 0,72	0,095	5,82	3,10
6,00	30,00	11,50	732,41	22,45	- 2,30	0,168	2,12	3,01
6,00	31,00	11,50	889,41	23,45	- 2,07	0,157	2,49	3,03
6,00	32,00	11,50	1.054,92	24,45	- 1,85	0,147	2,85	3,04
6,00	33,00	11,50	1.228,95	25,45	- 1,64	0,137	3,22	3,05
6,00	34,00	11,50	1.411,49	26,45	- 1,42	0,129	3,59	3,06
6,00	35,00	11,50	1.602,55	27,45	- 1,20	0,122	3,93	3,07
6,00	36,00	11,50	1.802,13	28,45	- 0,99	0,115	4,28	3,07
6,00	37,00	11,50	2.010,22	29,45	- 0,77	0,109	4,61	3,08
6,00	38,00	11,50	2.226,82	30,45	- 0,55	0,103	4,93	3,08
6,00	39,00	11,50	2.451,94	31,45	- 0,32	0,098	5,24	3,09
6,00	40,00	11,50	2.685,58	32,45	- 0,09	0,094	5,53	3,09
7,00	30,00	11,50	722,95	24,13	- 1,90	0,164	2,10	3,01
7,00	31,00	11,50	879,35	25,13	- 1,65	0,153	2,44	3,02
7,00	32,00	11,50	1.044,26	26,13	- 1,40	0,144	2,78	3,03
7,00	33,00	11,50	1.217,69	27,13	- 1,16	0,135	3,12	3,04
7,00	34,00	11,50	1.399,64	28,13	- 0,92	0,127	3,46	3,05
7,00	35,00	11,50	1.590,10	29,13	- 0,68	0,120	3,78	3,06
7,00	36,00	11,50	1.789,08	30,13	- 0,44	0,114	4,10	3,06
7,00	37,00	11,50	1.996,57	31,13	- 0,20	0,108	4,40	3,07
7,00	38,00	11,50	2.212,57	32,13	- 0,05	0,103	4,69	3,07
7,00	39,00	11,50	2.437,10	33,13	- 0,30	0,098	4,98	3,07
7,00	40,00	11,50	2.670,14	34,13	- 0,56	0,094	5,25	3,07
8,00	30,00	11,50	648,17	25,80	- 1,50	0,161	2,06	3,00
8,00	31,00	11,50	801,26	26,80	- 1,22	0,151	2,38	3,01
8,00	32,00	11,50	962,87	27,80	- 0,95	0,142	2,70	3,02
8,00	33,00	11,50	1.133,00	28,80	- 0,68	0,133	3,01	3,03
8,00	34,00	11,50	1.311,64	29,80	- 0,41	0,126	3,33	3,04
8,00	35,00	11,50	1.498,79	30,80	- 0,14	0,119	3,62	3,04
8,00	36,00	11,50	1.694,46	31,80	- 0,13	0,113	3,92	3,05
8,00	37,00	11,50	1.898,65	32,80	- 0,40	0,107	4,19	3,05
8,00	38,00	11,50	2.111,35	33,80	- 0,68	0,102	4,47	3,05
8,00	39,00	11,50	2.332,57	34,80	- 0,96	0,098	4,73	3,06
8,00	40,00	11,50	2.562,30	35,80	- 1,25	0,094	4,97	3,06
9,00	30,00	11,50	503,53	27,48	- 1,10	0,159	2,01	2,99
9,00	31,00	11,50	650,61	28,48	- 0,79	0,149	2,31	3,00
9,00	32,00	11,50	806,21	29,48	- 0,48	0,140	2,61	3,01
9,00	33,00	11,50	970,32	30,48	- 0,18	0,132	2,90	3,02
9,00	34,00	11,50	1.142,95	31,48	- 0,12	0,125	3,19	3,02
9,00	35,00	11,50	1.324,09	32,48	- 0,43	0,118	3,46	3,03
9,00	36,00	11,50	1.513,75	33,48	- 0,73	0,113	3,73	3,03
9,00	37,00	11,50	1.711,92	34,48	- 1,04	0,107	3,99	3,03
9,00	38,00	11,50	1.918,61	35,48	- 1,35	0,102	4,24	3,04
9,00	39,00	11,50	2.133,82	36,48	- 1,67	0,098	4,49	3,04
9,00	40,00	11,50	2.357,54	37,48	- 1,99	0,094	4,71	3,04

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
10,00	30,00	11,50	284,48	29,16	- 0,70	0,158	1,95	2,98
10,00	31,00	11,50	422,85	30,16	- 0,35	0,148	2,23	2,99
10,00	32,00	11,50	569,72	31,16	- 0,00	0,140	2,51	2,99
10,00	33,00	11,50	725,12	32,16	0,34	0,132	2,78	3,00
10,00	34,00	11,50	889,02	33,16	0,68	0,125	3,05	3,01
10,00	35,00	11,50	1.061,45	34,16	1,02	0,118	3,30	3,01
10,00	36,00	11,50	1.242,39	35,16	1,37	0,113	3,55	3,01
10,00	37,00	11,50	1.431,84	36,16	1,72	0,108	3,79	3,02
10,00	38,00	11,50	1.629,81	37,16	2,07	0,103	4,03	3,02
10,00	39,00	11,50	1.836,30	38,16	2,42	0,099	4,25	3,02
10,00	40,00	11,50	2.051,30	39,16	2,78	0,095	4,46	3,02
11,00	30,00	11,50	- 3,26	30,00		0,157	1,89	2,96
11,00	31,00	11,50	124,01	31,00	- 0,46	0,148	2,15	2,97
11,00	32,00	11,50	259,80	32,00	- 0,09	0,139	2,40	2,98
11,00	33,00	11,50	404,11	33,00	0,28	0,132	2,66	2,98
11,00	34,00	11,50	556,92	34,00	0,65	0,125	2,91	2,99
11,00	35,00	11,50	718,26	35,00	1,02	0,119	3,14	2,99
11,00	36,00	11,50	888,11	36,00	1,39	0,113	3,38	2,99
11,00	37,00	11,50	1.066,48	37,00	1,76	0,108	3,60	3,00
11,00	38,00	11,50	1.253,36	38,00	2,14	0,104	3,82	3,00
11,00	39,00	11,50	1.448,76	39,00	2,52	0,100	4,03	3,00
11,00	40,00	11,50	1.652,67	40,00	2,90	0,096	4,22	3,00
12,00	30,00	11,50	- 301,06	30,00		0,156	1,83	2,96
12,00	31,00	11,50	- 185,22	31,00		0,147	2,07	2,96
12,00	32,00	11,50	- 60,85	32,00		0,139	2,30	2,96
12,00	33,00	11,50	72,02	33,00	- 0,40	0,132	2,54	2,97
12,00	34,00	11,50	213,42	34,00	- 0,02	0,125	2,77	2,97
12,00	35,00	11,50	363,32	35,00	0,36	0,119	2,99	2,97
12,00	36,00	11,50	521,75	36,00	0,74	0,114	3,21	2,98
12,00	37,00	11,50	688,69	37,00	1,12	0,109	3,42	2,98
12,00	38,00	11,50	864,14	38,00	1,50	0,105	3,62	2,98
12,00	39,00	11,50	1.048,11	39,00	1,89	0,101	3,81	2,98
12,00	40,00	11,50	1.240,60	40,00	2,28	0,097	4,00	2,97
13,00	30,00	11,50	- 598,86	30,00		0,156	1,76	2,95
13,00	31,00	11,50	- 494,44	31,00		0,147	1,99	2,95
13,00	32,00	11,50	- 381,51	32,00		0,139	2,21	2,95
13,00	33,00	11,50	- 260,06	33,00		0,132	2,43	2,96
13,00	34,00	11,50	- 130,09	34,00		0,126	2,64	2,96
13,00	35,00	11,50	8,39	35,00	- 0,34	0,120	2,84	2,95
13,00	36,00	11,50	155,38	36,00	0,05	0,115	3,05	2,96
13,00	37,00	11,50	310,90	37,00	0,44	0,110	3,24	2,96
13,00	38,00	11,50	474,92	38,00	0,84	0,106	3,43	2,96
13,00	39,00	11,50	647,47	39,00	1,23	0,102	3,61	2,96
13,00	40,00	11,50	828,53	40,00	1,63	0,099	3,78	2,95
14,00	30,00	11,50	- 896,66	30,00		0,156	1,70	2,94
14,00	31,00	11,50	- 803,67	31,00		0,147	1,91	2,95
14,00	32,00	11,50	- 702,17	32,00		0,140	2,11	2,95
14,00	33,00	11,50	- 592,14	33,00		0,133	2,32	2,95
14,00	34,00	11,50	- 473,60	34,00		0,127	2,52	2,95
14,00	35,00	11,50	- 346,55	35,00		0,121	2,70	2,94
14,00	36,00	11,50	- 210,98	36,00		0,116	2,89	2,94
14,00	37,00	11,50	- 66,90	37,00		0,112	3,07	2,94
14,00	38,00	11,50	85,71	38,00	0,13	0,108	3,24	2,94
14,00	39,00	11,50	246,82	39,00	0,54	0,104	3,41	2,93
14,00	40,00	11,50	416,45	40,00	0,95	0,100	3,57	2,93

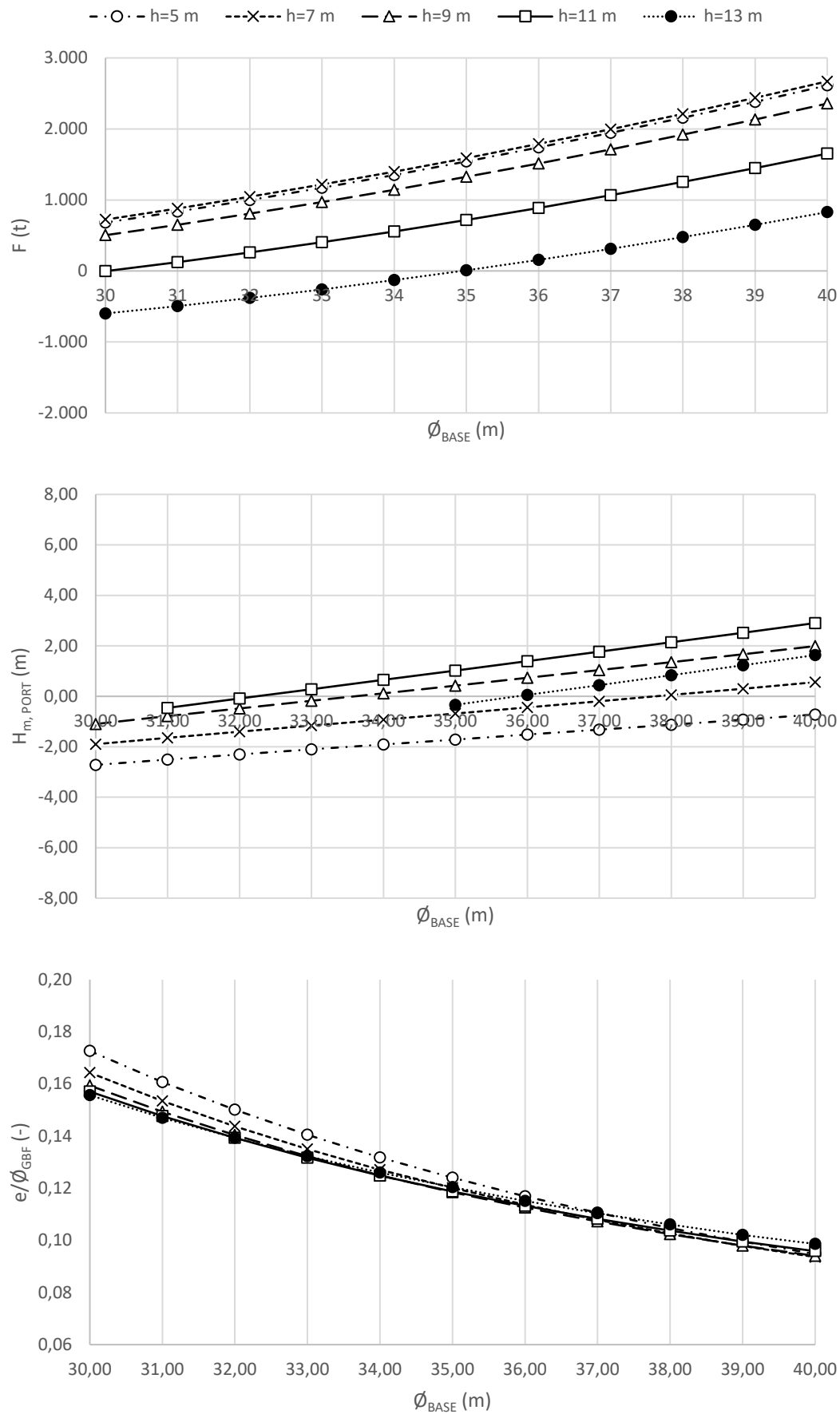


Figura 25: $S_{45} - C_{PORT} = 11,5$ m

$S_{45} - H_{m,PORT} \geq 1 \text{ m}$

S_{45}		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
h_{BASE}	ϕ_{BASE}	C_{port}	F	ϕ_{conex}	$H_{m,port}$	$H_{m,inst}$	e/ϕ_{GBF}	FS_1	FS_2
5,00	30,00	6,55	- 1.821,61	29,08			0,174	2,08	2,98
5,00	31,00	6,75	- 1.727,96	29,75			0,163	2,47	2,99
5,00	32,00	6,94	- 1.619,74	30,42			0,152	2,85	3,00
5,00	33,00	7,13	- 1.496,54	31,10			0,142	3,24	3,01
5,00	34,00	7,32	- 1.357,96	31,78			0,134	3,63	3,02
5,00	35,00	9,04	0,01	29,90	- 1,32	- 2,01	0,126	4,00	3,02
5,00	36,00	8,93	0,01	31,08	- 0,96	- 1,85	0,119	4,38	3,03
5,00	37,00	8,83	0,00	32,25	- 0,57	- 1,68	0,113	4,73	3,03
5,00	38,00	8,74	0,02	33,41	- 0,17	- 1,51	0,107	5,08	3,03
5,00	39,00	8,65	0,00	34,55	- 0,25	- 1,34	0,102	5,41	3,04
5,00	40,00	8,57	0,02	35,69	- 0,68	- 1,17	0,097	5,73	3,04
6,00	30,00	7,19	- 1.641,05	29,67			0,170	2,08	2,98
6,00	31,00	7,39	- 1.521,59	30,34			0,158	2,44	2,99
6,00	32,00	7,58	- 1.386,37	31,02			0,148	2,80	3,00
6,00	33,00	9,44	0,00	28,91	- 1,40	- 1,91	0,139	3,16	3,01
6,00	34,00	9,32	0,00	30,11	- 1,03	- 1,73	0,131	3,52	3,01
6,00	35,00	9,20	0,01	31,31	- 0,65	- 1,54	0,124	3,86	3,02
6,00	36,00	9,10	0,00	32,48	- 0,25	- 1,36	0,117	4,20	3,02
6,00	37,00	9,00	0,01	33,64	- 0,17	- 1,17	0,111	4,53	3,02
6,00	38,00	8,91	0,00	34,80	- 0,61	- 0,98	0,105	4,85	3,02
6,00	39,00	8,90	75,81	35,81	- 1,00	- 0,78	0,100	5,16	3,03
6,00	40,00	9,37	665,57	36,03	- 1,00	- 0,53	0,095	5,46	3,04
7,00	30,00	7,32	- 1.843,40	30,00			0,166	2,06	2,98
7,00	31,00	8,05	- 1.315,27	30,92			0,155	2,40	2,99
7,00	32,00	9,80	0,00	28,99	- 1,20	- 1,68	0,146	2,73	2,99
7,00	33,00	9,66	0,01	30,21	- 0,82	- 1,47	0,137	3,07	3,00
7,00	34,00	9,54	0,01	31,41	- 0,42	- 1,26	0,129	3,40	3,01
7,00	35,00	9,43	0,01	32,60	- 0,01	- 1,06	0,122	3,72	3,01
7,00	36,00	9,33	0,01	33,77	- 0,42	- 0,85	0,116	4,03	3,01
7,00	37,00	9,23	0,00	34,93	- 0,87	- 0,64	0,110	4,33	3,01
7,00	38,00	9,58	449,09	35,35	- 1,00	- 0,38	0,104	4,64	3,03
7,00	39,00	10,10	1.104,61	35,48	- 1,00	- 0,11	0,099	4,94	3,04
7,00	40,00	10,62	1.804,41	35,61	- 1,00	- 0,15	0,094	5,22	3,06
8,00	30,00	6,84	- 2.489,98	30,00			0,163	2,03	2,98
8,00	31,00	10,22	0,00	28,95	- 1,08	- 1,49	0,152	2,35	2,98
8,00	32,00	10,08	0,01	30,19	- 0,69	- 1,25	0,143	2,66	2,99
8,00	33,00	9,95	0,00	31,40	- 0,28	- 1,01	0,135	2,97	3,00
8,00	34,00	9,83	0,01	32,61	- 0,14	- 0,78	0,127	3,28	3,00
8,00	35,00	9,72	0,01	33,79	- 0,58	- 0,55	0,121	3,57	3,00
8,00	36,00	9,68	65,17	34,85	- 1,00	- 0,30	0,114	3,86	3,01
8,00	37,00	10,26	749,79	34,89	- 1,00	- 0,01	0,108	4,16	3,02
8,00	38,00	10,84	1.480,01	34,92	- 1,00	- 0,27	0,103	4,45	3,04
8,00	39,00	11,43	2.259,88	34,93	- 1,00	- 0,55	0,098	4,73	3,06
8,00	40,00	11,50	2.562,30	35,80	- 1,25	- 0,81	0,094	4,97	3,06
9,00	30,00	10,71	0,01	28,81	- 1,03	- 1,35	0,160	1,99	2,97
9,00	31,00	10,56	0,01	30,06	- 0,63	- 1,07	0,150	2,29	2,98
9,00	32,00	10,42	0,01	31,30	- 0,22	- 0,81	0,142	2,58	2,98
9,00	33,00	10,29	0,01	32,52	- 0,21	- 0,54	0,134	2,86	2,99
9,00	34,00	10,17	0,01	33,72	- 0,66	- 0,27	0,126	3,15	2,99
9,00	35,00	10,27	206,89	34,55	- 1,00	- 0,01	0,120	3,43	3,00
9,00	36,00	10,92	973,58	34,46	- 1,00	- 0,32	0,113	3,72	3,02
9,00	37,00	11,50	1.711,92	34,48	- 1,04	- 0,62	0,107	3,99	3,03
9,00	38,00	11,50	1.918,61	35,48	- 1,35	- 0,91	0,102	4,24	3,04
9,00	39,00	11,50	2.133,82	36,48	- 1,67	- 1,19	0,098	4,49	3,04
9,00	40,00	11,50	2.357,54	37,48	- 1,99	- 1,48	0,094	4,71	3,04

ANEXO III: Resultados del diseño básico

S ₄₅		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
h _{BASE}	Ø _{BASE}	c _{port}	F	Ø _{conex}	H _{m,port}	H _{m,inst}	e/Ø _{GBF}	FS ₁	FS ₂
10,00	30,00	11,09	0,01	29,84	- 0,64	- 0,96	0,158	1,94	2,97
10,00	31,00	11,00	45,67	31,00	- 0,24	- 0,65	0,149	2,22	2,98
10,00	32,00	11,00	167,48	32,00	0,14	- 0,33	0,140	2,49	2,98
10,00	33,00	11,00	296,99	33,00	0,52	- 0,02	0,132	2,77	2,99
10,00	34,00	11,00	434,22	34,00	0,90	0,29	0,125	3,03	3,00
10,00	35,00	11,50	1.061,45	34,16	1,02	0,61	0,118	3,30	3,01
10,00	36,00	10,30	0,00	36,00	1,13	0,86	0,114	3,52	2,98
10,00	37,00	10,19	0,00	37,00	1,46	1,17	0,109	3,76	2,98
10,00	38,00	10,09	0,01	38,00	1,81	1,48	0,104	3,99	2,98
10,00	39,00	9,99	0,01	39,00	2,18	1,79	0,100	4,21	2,98
10,00	40,00	9,90	0,00	40,00	2,56	2,11	0,096	4,42	2,98
11,00	30,00	11,50	- 3,26	30,00			0,157	1,89	2,96
11,00	31,00	11,50	124,01	31,00	- 0,46	- 0,21	0,148	2,15	2,97
11,00	32,00	11,50	259,80	32,00	- 0,09	0,14	0,139	2,40	2,98
11,00	33,00	7,41	- 3.186,30	33,00			0,132	2,65	2,97
11,00	34,00	8,06	- 2.649,02	34,00			0,125	2,89	2,98
11,00	35,00	11,47	691,61	35,00	1,00	1,20	0,119	3,14	2,99
11,00	36,00	10,99	357,59	36,00	1,00	1,53	0,114	3,37	2,98
11,00	37,00	10,53	0,01	37,00	1,04	1,86	0,109	3,57	2,97
11,00	38,00	10,42	0,00	38,00	1,37	2,21	0,105	3,79	2,97
11,00	39,00	10,32	0,01	39,00	1,71	2,56	0,100	4,00	2,97
11,00	40,00	10,22	0,01	40,00	2,08	2,92	0,097	4,19	2,97
12,00	30,00	11,50	- 301,06	30,00			0,156	1,83	2,96
12,00	31,00	11,50	- 185,22	31,00			0,147	2,07	2,96
12,00	32,00	11,50	- 60,85	32,00			0,139	2,30	2,96
12,00	33,00	11,50	72,02	33,00	- 0,40	- 0,15	0,132	2,54	2,97
12,00	34,00	7,54	- 3.479,68	34,00			0,126	2,76	2,97
12,00	35,00	8,16	- 2.941,32	35,00			0,120	2,98	2,96
12,00	36,00	8,83	- 2.264,23	36,00			0,114	3,20	2,96
12,00	37,00	11,35	519,73	37,00	1,00	1,29	0,109	3,41	2,97
12,00	38,00	10,85	103,80	38,00	1,00	1,63	0,105	3,60	2,96
12,00	39,00	10,65	0,00	39,00	1,26	1,99	0,101	3,79	2,96
12,00	40,00	10,54	0,01	40,00	1,61	2,36	0,098	3,97	2,95
13,00	30,00	11,50	- 598,86	30,00			0,156	1,76	2,95
13,00	31,00	11,50	- 494,44	31,00			0,147	1,99	2,95
13,00	32,00	11,50	- 381,51	32,00			0,139	2,21	2,95
13,00	33,00	11,50	- 260,06	33,00			0,132	2,43	2,96
13,00	34,00	11,50	- 130,09	34,00			0,126	2,64	2,96
13,00	35,00	11,50	8,39	35,00	- 0,34	- 0,09	0,120	2,84	2,95
13,00	36,00	8,23	- 3.259,34	36,00			0,115	3,04	2,95
13,00	37,00	8,87	- 2.592,34	37,00			0,111	3,23	2,95
13,00	38,00	9,58	- 1.766,39	38,00			0,106	3,42	2,95
13,00	39,00	11,21	286,52	39,00	1,00	1,39	0,102	3,60	2,95
13,00	40,00	10,86	0,01	40,00	1,14	1,76	0,099	3,76	2,94
14,00	30,00	11,50	- 896,66	30,00			0,156	1,70	2,94
14,00	31,00	11,50	- 803,67	31,00			0,147	1,91	2,95
14,00	32,00	11,50	- 702,17	32,00			0,140	2,11	2,95
14,00	33,00	11,50	- 592,14	33,00			0,133	2,32	2,95
14,00	34,00	11,50	- 473,60	34,00			0,127	2,52	2,95
14,00	35,00	11,50	- 346,55	35,00			0,121	2,70	2,94
14,00	36,00	11,50	- 210,98	36,00			0,116	2,89	2,94
14,00	37,00	11,50	- 66,90	37,00			0,112	3,07	2,94
14,00	38,00	8,90	- 2.939,74	38,00			0,108	3,24	2,93
14,00	39,00	9,56	- 2.136,92	39,00			0,104	3,41	2,93
14,00	40,00	10,28	- 1.155,24	40,00			0,101	3,57	2,93

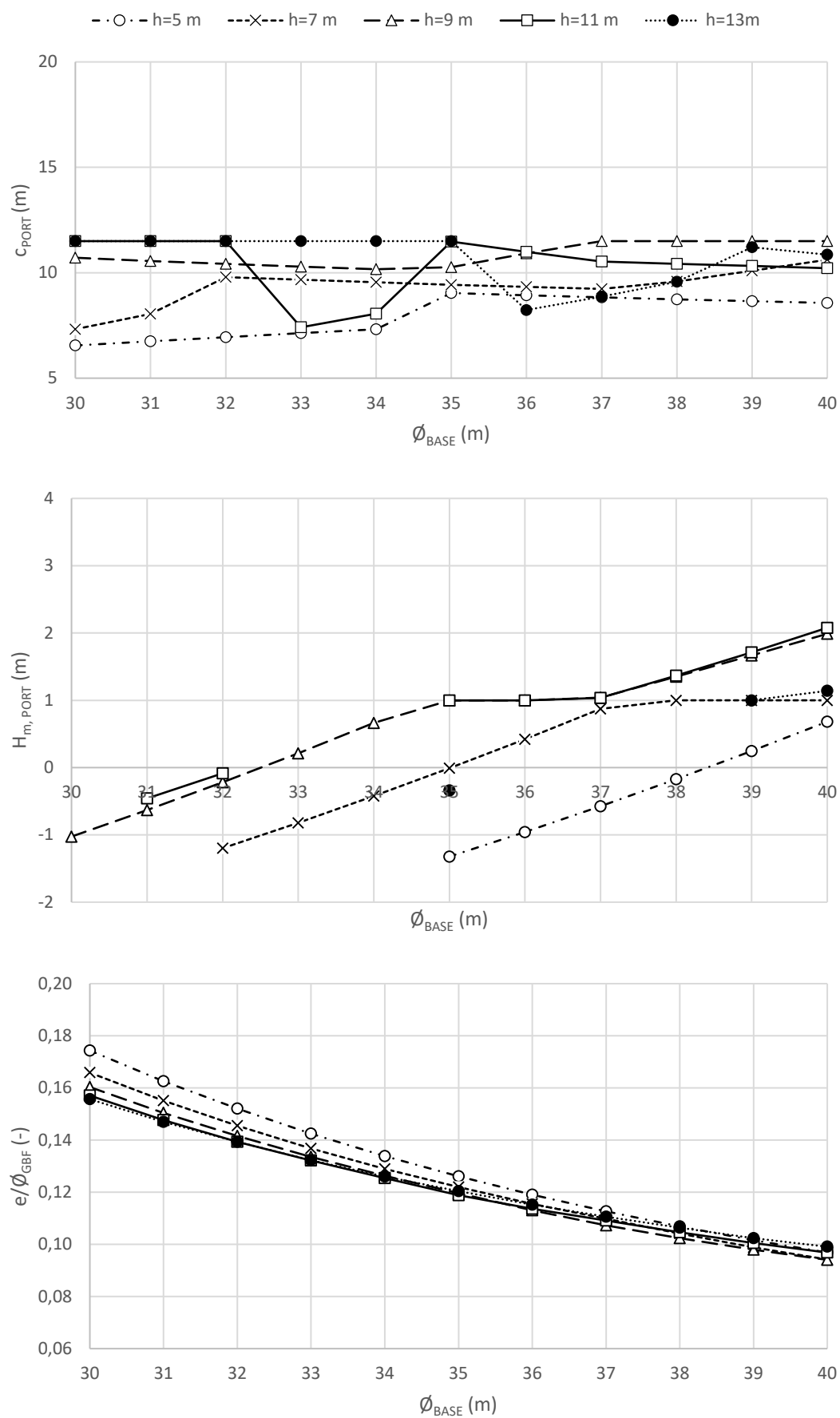
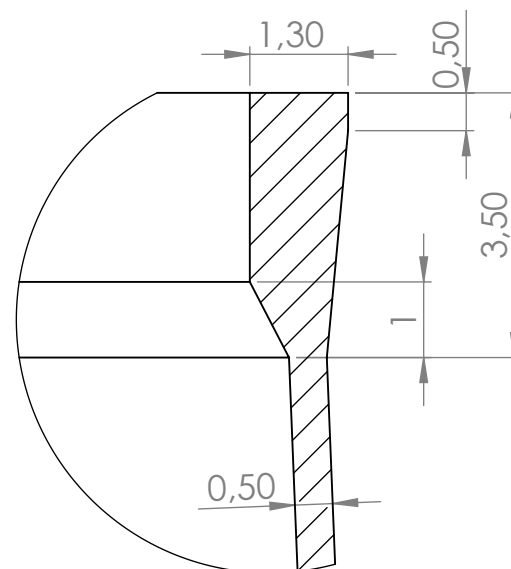


Figura 26: $S_{45} - H_{m,PORT} \geq 1\text{ m}$

ANEXO IV: Planos

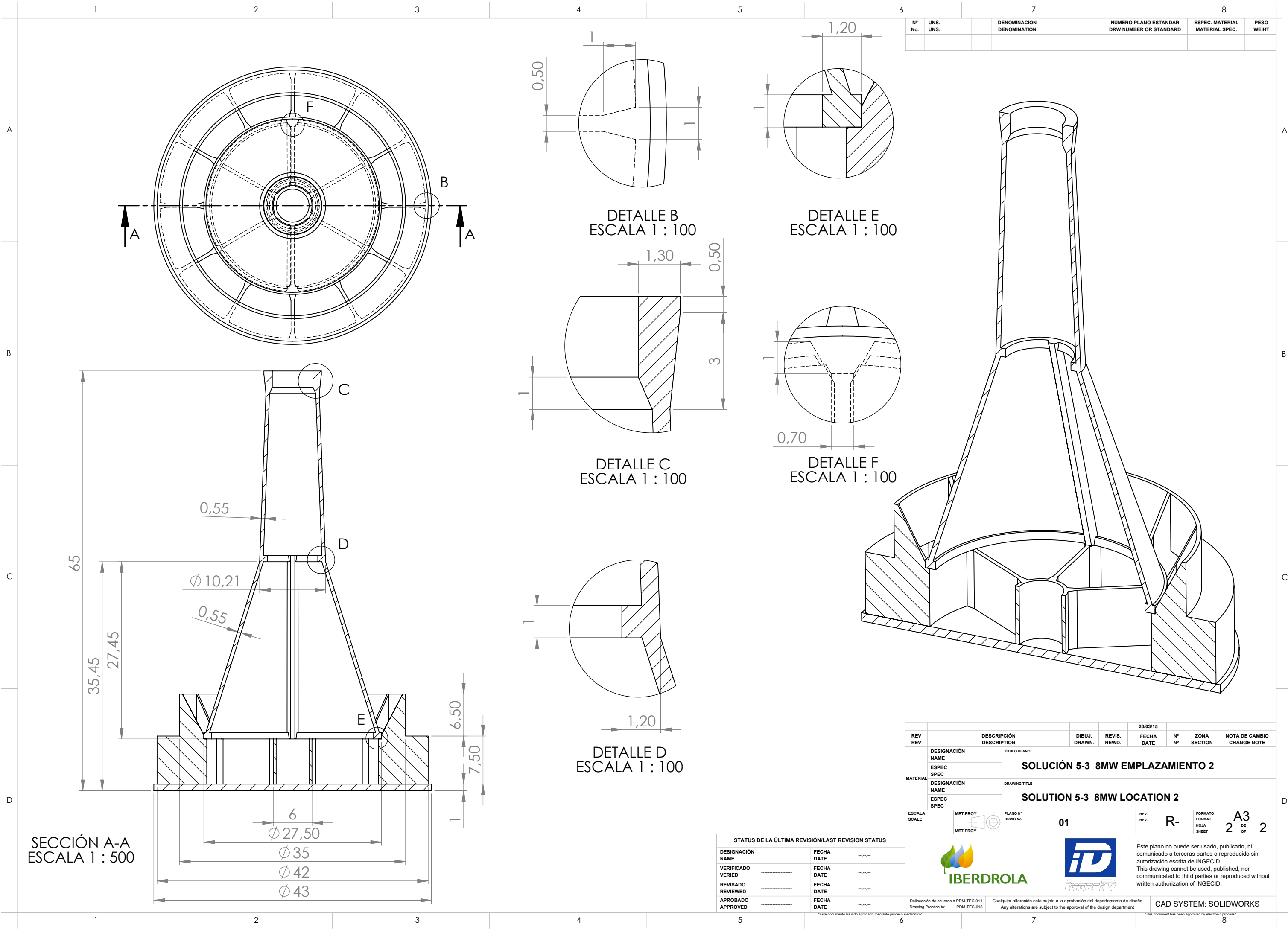


*Este documento ha sido aprobado mediante proceso electrónico

C

D

"This document has been approved by electronic process"



Nº No.	UNS. UNS.	DENOMINACIÓN DENOMINATION	NÚMERO PLANO ESTANDAR DRW NUMBER OR STANDARD	ESPEC. MATERIAL MATERIAL SPEC.	PESO WEIHT

REV	DESCRIPCIÓN DESCRIPTION	DIBUJ. DRAWN.	REVIS. REWD.	20/03/15 FECHA DATE	Nº N°	ZONA SECTION	NOTA DE CAMBIO CHANGE NOTE
DESIGNACIÓN NAME	SOLUCIÓN 5-3 8MW EMPLAZAMIENTO 2						
ESPEC SPEC	SOLUTION 5-3 8MW LOCATION 2						
DESIGNACIÓN NAME	SOLUTION 5-3 8MW LOCATION 2						
ESPEC SPEC	SOLUTION 5-3 8MW LOCATION 2						
ESCALA SCALE	MET.PROY MET.PROY	PLANO Nº DRWG No.	01	REV. REV.	R-	FORMATO HOJA SHEET	A3 2 OF 2

STATUS DE LA ÚLTIMA REVISIÓN/LAST REVISION STATUS	
DESIGNACIÓN NAME	FECHA DATE
VERIFICADO VERIED	FECHA DATE
REVISADO REVIEWED	FECHA DATE
APROBADO APPROVED	FECHA DATE



Este plano no puede ser usado, publicado, ni comunicado a terceras partes o reproducido sin autorización escrita de INGENCID.
This drawing cannot be used, published, nor communicated to third parties or reproduced without written authorization of INGENCID.

CAD SYSTEM: SOLIDWORKS

ANEXO V: Patente ES 259 32263B1

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 593 263**

21 Número de solicitud: 201530794

51 Int. Cl.:

E02D 27/42 (2006.01)

E02B 17/02 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

05.06.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.12.2016

Fecha de concesión:

05.09.2017

45 Fecha de publicación de la concesión:

12.09.2017

73 Titular/es:

IBERDROLA RENOVABLES ENERGÍA, S.A.
(100.0%)

Tomás Redondo, 1
28033 Madrid (Madrid) ES

72 Inventor/es:

BALLESTER MUÑOZ, Francisco;
RICO ARENAL, Jokin;
LLAMA VÉLEZ, Marina;
NAVARRO ARANDA, Antón;
HEREDERO BUENO, Cristina y
YANES BAONZA, César

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore y procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore**

57 Resumen:

Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore y procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore.

La presente invención se refiere a un sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore y a un procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore que permiten incrementar de forma notable la estabilidad del sistema durante el transporte y la colocación del lastre durante su fondeo debido la presencia de un anillo vertical dispuesto en el cajón inferior.

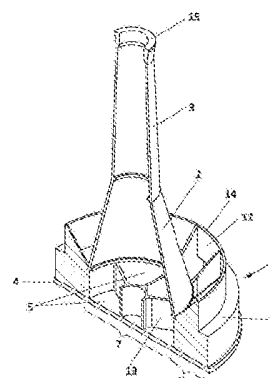


FIG. 1

ES 2 593 263 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP 11/1986.

**SISTEMA DE CIMENTACIÓN POR GRAVEDAD PARA LA INSTALACIÓN DE
AEROGENERADORES O INSTALACIONES OFFSHORE Y PROCEDIMIENTO
PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CIMENTACIÓN DE
AEROGENERADORES O INSTALACIONES OFFSHORE**

5

DESCRIPCIÓN

OBJETO DE LA INVENCION

10 La presente invención se refiere a un sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore y a un procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore.

15 El objeto de la presente invención es un sistema de cimentación por gravedad que permite incrementar de forma notable la estabilidad del sistema durante el transporte y la colocación del lastre durante su instalación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20 Las cimentaciones de gravedad para aerogeneradores o instalaciones offshore se han venido empleando como estructura de soporte en parques eólicos en emplazamientos de profundidad baja o intermedia, si bien la tendencia indica que son también adecuadas para su instalación en aguas de profundidad intermedia (30-60 m).

25 Se trata de estructuras de grandes dimensiones (aproximadamente 20-50 m de diámetro) y peso (en torno a 10.000 t), fabricadas normalmente con hormigón armado y en ocasiones pretensado. Las estructuras son fabricadas normalmente en tierra y colocadas en grandes barcos o descendidas al mar, para ser posteriormente transportadas e instaladas mediante costosos equipamientos.

30

Al contrario que las soluciones tipo monopilote o jacket, las soluciones de cimentación por gravedad (GBF siglas en inglés de Gravity Based Foundation) no se introducen en el terreno, sino que se apoyan sobre él y se valen de su peso propio, estructura más lastre añadido, para estabilizarse frente a las cargas impuestas, que provienen
35 principalmente del oleaje.

La patente española con número de publicación ES2327199 describe un sistema de cimentación por gravedad que comprende un soporte, su procedimiento de fabricación y el método de instalación. La cimentación consta de un cajón apoyado en el fondo
5 marino, con una losa superior que queda por encima del nivel del mar y de las olas.

El cajón se realiza en dique flotante mediante encofrado deslizante, y mediante el relleno parcial de las cavidades del cajón, éste flota de manera estable durante su remolque hasta la ubicación final. Adicionalmente, propone que durante el remolque se
10 puedan transportar sobre el cajón distintos componentes del aerogenerador.

En el sistema anterior la losa superior se sitúa por encima del nivel del mar. Esto posibilita que la cimentación no afronte un momento crítico desde el punto de vista de estabilidad durante el fondeo al reducirse la sección en el plano del agua
15 drásticamente. También implica que la losa superior no se ve sometida a importantes presiones en la fase de fondeo. No obstante, el gran tamaño de la cimentación en el nivel del agua producirá que los esfuerzos hidrodinámicos sean considerablemente superiores.

La disposición de los compartimentos interiores hace que el llenado de lastre sea
20 complejo, celda a celda y a través de orificios o ventanas en la losa superior.

Al igual que los cajones portuarios, la geometría de esta estructura tiene un comportamiento estructural másico, es decir, los esfuerzos que provienen del
25 aerogenerador y torre son transmitidos a la losa superior, que debe tener rigidez suficiente para transmitirlos al propio cajón.

Se conoce también la patente española con número de publicación ES2378960 relativa al procedimiento de instalación de una torre de aerogenerador offshore, donde
30 el cajón en seco (en tierra, diques secos, puertos costeros o flotantes, diques flotantes u otras instalaciones costeras o marítimas habilitadas y protegidas), es decir sin lastre, debe proporcionar un cajón provisional flotante y estable que posibilite el transporte por autoflotación con un tramo de base aplicado al mismo (formando así dicho cajón de cimentación y dicho tramo de base una unidad de partida).

35

El cajón es sustancialmente plano y horizontal y se construye empleando hormigón estructural, ya sea con técnicas de hormigonado in situ o mediante el ensamblaje de piezas o paneles prefabricados, o mediante combinación de ambas. El cajón se configura a modo de cajón multicelular, que comprende una losa inferior, una losa superior y una losa perimetral, así como una pluralidad de nervios interiores rígidos rectos. Los nervios se disponen formando cuadrículas que delimitan recintos interiores. Al menos una de las losas inferior, superior o perimetral tiene válvulas de lastrado, y al menos parte de dichos recintos interiores son estancos y/o tienen válvulas de distribución.

10

Este tipo de estructuras se basan en el empleo del peso propio como estabilización ante las cargas actuantes. Por ello, deben contar por un lado con grandes dimensiones para albergar el lastre necesario, y gran superficie de apoyo para distribuir las cargas al terreno. No obstante, cuanto mayor sean las dimensiones y más cerca se encuentren del área de influencia de la ola, mayores serán las cargas que deberán soportar. Por ello debe buscarse un equilibrio en el tamaño de la base.

15

Además, durante el transporte es importante asegurar la estabilidad de la estructura frente a grandes escoras. Cuanto mayor sea el francobordo, mayor será el ángulo de giro que soporte la estructura sin inundarse.

20

Por otra parte, las estructuras que cuentan con losa superior, registran una fase durante su instalación en la que el interior del cajón se encuentra a presión atmosférica, ya que alberga aire, mientras que el exterior se encuentra sometido a la presión de la columna de agua que se encuentra sobre la losa superior. Esta situación transitoria obliga a dimensionar dicha losa para soportar importantes diferencias de presión, lo que encarece la cimentación, además de que se dificulta la operación de colocación de lastre en el interior del cajón cuando existe losa superior, ya que deben disponerse válvulas o compuertas en dicha losa que permitan acceder a los compartimentos interiores.

25

30

La presente invención solventa todos los inconvenientes anteriores al proporcionar un sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore y un procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore que permite incrementar de

35

forma notable la estabilidad del sistema durante el transporte y la colocación del lastre durante su fondeo.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

5

La presente invención se refiere a un sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore que sirve de base para la colocación de elementos, tales como aerogeneradores o subestaciones, en emplazamientos marítimos de profundidades intermedias.

10

El sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore comprende un cajón inferior y un tramo de transición que conecta el cajón inferior con un mástil que apoya sobre dicho tramo de transición.

15

El cajón inferior comprende una losa inferior y una zona compartimentada dispuesta sobre dicha losa inferior, donde la zona compartimentada comprende unos compartimentos que albergan el lastre de la estructura durante el transporte y/o en su posición definitiva tras la instalación por gravedad, presentando el cajón inferior preferentemente sección circular.

20

La zona compartimentada del cajón inferior comprende al menos una zona exterior y una zona interior delimitadas por una pared vertical, donde los compartimentos de la zona exterior son accesibles desde la parte superior del cajón inferior y donde los compartimentos de la zona interior son accesibles desde el interior del mástil a través del tramo de transición.

25

La zona compartimentada del cajón inferior comprende opcionalmente unas nervaduras de refuerzo que rigidizan el cajón inferior.

30

El cajón inferior comprende una losa superior que cubre parcialmente la zona exterior de la zona compartimentada del cajón inferior, dejando libre una parte de dicha zona exterior para el acceso a los compartimentos para la entrada de lastre. Además, la losa superior comprende un contorno interior y un contorno exterior, donde del contorno interior parte un anillo vertical dispuesto hacia fuera del cajón inferior, donde

las nervaduras de refuerzo se extienden opcionalmente desde la losa inferior hasta un extremo superior del anillo vertical.

5 El tramo de transición conecta el cajón inferior con el mástil, cuya sección inferior coincide con la sección de la zona interior de la zona compartimentada, y cuya sección superior coincide con la sección inferior del mástil, preferentemente con forma troncocónica hueca.

10 Al coincidir la sección de la zona interior de la zona compartimentada con la sección inferior del tramo de transición, las cargas que soporta el mástil se transmiten y distribuyen de manera muy eficiente a la losa inferior del cajón inferior, a través de la pared vertical que delimita la zona exterior y la zona interior de la zona compartimentada del cajón inferior, lo que hace que los diferentes elementos tengan que soportan cargas menores y por ello sus cuantías de armadura y espesores sean
15 menores, lo que se traduce en una solución también económicamente ventajosa.

Las nervaduras de refuerzo de la zona compartimentada del cajón inferior, además de favorecer la distribución de las cargas del mástil, realizan una función de arriostramiento de la losa inferior, fundamental para soportar los esfuerzos a los que
20 se ve sometida, evitando así mismo que ésta deba ser dimensionada con elevadas cuantías de armadura y espesores mayores.

El mástil comprende una pieza superior de conexión para llevar a cabo el acoplamiento de una torre, donde el mástil presenta una altura que permite situar una
25 plataforma de trabajo del aerogenerador o instalación por encima de la altura máxima de ola extrema.

La presencia del anillo vertical aporta una serie de efectos técnicos:

- 30
- durante el transporte proporciona un francobordo más elevado, aumentando así la estabilidad del sistema de cimentación por gravedad;
 - durante el fondeo, la reducción de inercia en el plano del agua se ve atenuada, bajando de esta manera el centro de gravedad del sistema de cimentación por gravedad de manera más controlada;

- una vez instalado el sistema de cimentación por gravedad, proporciona un volumen adicional para albergar el lastre definitivo, al tiempo que se reduce el diámetro en la parte superior del cajón inferior, siendo por ello menores las cargas debidas al oleaje.

5

Las soluciones sin losa superior no serían válidas ya que no sería posible transportar ni instalar sistemas sin dicha losa superior, ya que no se cumplirían los requisitos de estabilidad en el transporte por un lado, ya que se tendría un francobordo deficiente, y el sistema se hundiría al superar el nivel del agua las paredes exteriores e inundarse los compartimentos. Además, en caso de ser viable requerirían de costosos equipamientos auxiliares, como grúas de gran tamaño, que realizaran la operación de instalación.

La presente invención solventa la problemática anterior gracias al anillo vertical del cajón inferior, que aporta francobordo en la operación de transporte, y por otro lado con la distribución interna del cajón inferior, ya que la zona interna y el tramo de transición actúan como un flotador, contrarrestando el aumento de peso debido a la inundación de los compartimentos de la zona exterior.

El procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore comprende la siguiente etapa:

- una etapa de fondeo del sistema de cimentación mediante la introducción de lastre en al menos la zona exterior de la zona compartimentada del cajón inferior hasta que el extremo superior del anillo vertical quede dispuesto por debajo del nivel del agua de mar.

Opcionalmente, el procedimiento comprende una etapa de transporte del sistema de cimentación donde la losa superior del cajón inferior se mantiene por encima del nivel del agua de mar, manteniendo de esta manera la estabilidad del sistema durante dicha etapa de transporte;

Opcionalmente también, el procedimiento comprende una etapa de transporte del sistema de cimentación donde la losa superior del cajón inferior se mantiene por debajo del nivel del agua de mar, donde la estabilidad del sistema durante dicha etapa de transporte se mantiene mediante una embarcación auxiliar.

De esta manera, durante la etapa de fondeo, la zona interna de la zona compartimentada del cajón inferior, el tramo de conexión y el mástil del sistema permanecen parcial o totalmente llenos de aire, con lo que aportan flotabilidad a la estructura, característica esencial que permite que dicha etapa se lleve a cabo en condiciones de seguridad debido a que el lastrado del cajón inferior se lleva a cabo de manera controlada ya que el aire que se encuentra siempre presente en la zona interna de la zona compartimentada del cajón inferior, el tramo de conexión y el mástil del sistema permite llevar a cabo una flotabilidad controlada del sistema mientras se está llevando a cabo el lastrado, ya que proporciona un empuje que va contrarrestando el peso del sistema.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las Figura 1 muestra una vista en perspectiva del sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore de la presente invención.

La Figura 2 muestra una vista en planta del sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore de la presente invención.

La Figura 3 muestra una vista en sección AA de la Figura 2.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

A continuación se procederá a describir de manera detallada el sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore que comprende un cajón inferior (1), un tramo de transición (2) y un mástil (3) que apoya sobre dicho tramo de transición (2), donde el mástil (3) comprende una pieza superior de conexión (15) para llevar a cabo el acoplamiento de una torre (no mostrada).

El cajón inferior (1) comprende una losa inferior (4) y una zona compartimentada dispuesta sobre dicha losa inferior (4), donde la zona compartimentada comprende unos compartimentos (5) que albergan el lastre de la estructura durante el transporte

y/o en su posición definitiva, presentando el cajón inferior (1) sección circular en este ejemplo de realización preferente.

5 La zona compartimentada del cajón inferior (1) comprende una zona exterior (6) y una zona interior (7) delimitadas por una pared vertical (8), donde los compartimentos (5) de la zona exterior (6) son accesibles desde la parte superior del cajón inferior (1) y donde los compartimentos (5) de la zona interior (7) son accesibles desde el interior del mástil (3) a través del tramo de transición (2).

10 El cajón inferior comprende una losa superior (9) que cubre parcialmente la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1), dejando libre una parte de dicha zona exterior (6) para el acceso a los compartimentos (5) para la entrada de lastre. Además, la losa superior (9) comprende un contorno interior (10) y un contorno exterior (11), donde del contorno interior (10) parte un anillo vertical (12) dispuesto
15 hacia fuera del cajón inferior (1).

El cajón inferior (1) comprende unas nervaduras de refuerzo (13) que se extienden desde la losa inferior (4) hasta un extremo superior (14) del anillo vertical (12).

20 El tramo de transición (2) conecta el cajón inferior (1) con el mástil (3) y tiene forma troncocónica hueca, cuyo diámetro inferior coincide con el diámetro de la zona interior (7) de la zona compartimentada, y cuyo diámetro superior coincide con el diámetro inferior del mástil (3) que presentan también forma troncocónica hueca, donde la conicidad del tramo de transición (2) es mayor que la conicidad del mástil (3).

25

El procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore comprende la siguiente etapa:

- una etapa de fondeo del sistema de cimentación mediante la introducción de lastre en al menos la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que el extremo superior (14) del anillo vertical (12) quede
30 dispuesto por debajo del nivel del agua de mar.

En un primer ejemplo de realización preferente, el procedimiento comprende una etapa de transporte del sistema de cimentación donde la losa superior (9) del cajón inferior (1) se mantiene por encima del nivel del agua de mar.
35

En este primer ejemplo de realización preferente, la etapa de fondeo del sistema de cimentación comprende varias subetapas:

- 5 • una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que la losa superior (9) del cajón inferior (1) se encuentre por debajo del nivel del agua de mar, de manera que la reducción de inercia en el plano del agua se ve atenuada debido a la presencia del anillo vertical (12), bajando de esta manera el centro de gravedad del sistema de cimentación por gravedad de manera más controlada;
- 10 • una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que el extremo superior (14) del anillo vertical (12) quede dispuesto por debajo del nivel del agua de mar, de manera que la zona interior (7) del cajón inferior (1) y el tramo de transición (2) aportan el empuje necesario;
- 15 • una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona interior (7) de la zona compartimentada del cajón inferior (1), de manera que la reducción de inercia en el plano del agua se ve atenuada debido a la presencia del tramo de transición (2), bajando de esta manera el centro de gravedad del sistema de cimentación por gravedad de manera más controlada.
- 20

25 En un segundo ejemplo de realización preferente, el procedimiento comprende una etapa de transporte del sistema de cimentación donde la losa superior (9) del cajón inferior (1) se mantiene por debajo del nivel del agua de mar, que comprende una etapa de introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que la losa superior (9) del cajón inferior (1) se encuentre por debajo del nivel del agua de mar.

30

En este segundo ejemplo de realización preferente, la etapa de fondeo del sistema de cimentación comprende varias subetapas:

- 35 • una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que el extremo superior (14) del anillo vertical (12) quede dispuesto por

debajo del nivel del agua de mar, de manera que la zona interior (7) del cajón inferior (1) y el tramo de transición (2) aportan el empuje necesario;

- una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona interior (7) de la zona compartimentada del cajón inferior (1), de manera que la reducción de inercia en el plano del agua se ve atenuada debido a la presencia del tramo de transición (2), bajando de esta manera el centro de gravedad del sistema de cimentación por gravedad de manera más controlada.

10

Además, previamente al procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore se puede llevar a cabo la construcción del cajón inferior (1). Esta construcción del cajón inferior (1) puede llevarse a cabo en tierra o en cajonero flotante, empleando encofrado trepante, autotrepante o deslizante.

15

Posteriormente a la construcción del cajón inferior (1), se puede llevar a cabo la flotación del cajón inferior (1) seguida de la construcción sobre el cajón inferior (1) del tramo de transición (2) y el mástil (3). Opcionalmente, el procedimiento comprende una etapa de montaje de una torre y/o aerogenerador después de la construcción y flotación y antes de la etapa de transporte del sistema de cimentación.

20

La etapa de transporte del sistema de cimentación puede llevarse a cabo mediante unos remolcadores, con un francobordo tal que el nivel del agua de mar se mantenga por debajo de la losa superior (9), donde para controlar la flotación y estabilidad del cajón inferior (1) durante esta etapa y las posteriores dicha etapa de transporte comprende una subetapa de introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1).

25

La etapa de fondeo del sistema de cimentación se lleva a cabo con la asistencia de una embarcación auxiliar o de embarcaciones convencionales que permitan controlar en todo momento la estabilidad del sistema.

30

REIVINDICACIONES

- 1.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore que comprende un cajón inferior (1), un tramo de transición (2) y un mástil (3) que apoya sobre dicho tramo de transición (2), donde el mástil (3) comprende una pieza superior de conexión (15) para llevar a cabo el acoplamiento de una torre, donde el cajón inferior (1) comprende una losa inferior (4) y una zona compartimentada dispuesta sobre dicha losa inferior (4), donde la zona compartimentada comprende unos compartimentos (5) que albergan el lastre de la estructura durante el transporte y/o en su posición definitiva tras la instalación por gravedad, y donde la zona compartimentada del cajón inferior (1) comprende una zona exterior (6) y una zona interior (7) delimitadas por una pared vertical (8), caracterizado por que el cajón inferior comprende una losa superior (9) que cubre parcialmente la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1), dejando libre una parte de dicha zona exterior (6) para el acceso a los compartimentos (5) para la entrada de lastre, donde la losa superior (9) comprende un contorno interior (10) y un contorno exterior (11), y donde del contorno interior (10) parte un anillo vertical (12) dispuesto hacia fuera del cajón inferior (1) que comprende un extremo superior (14).
- 2.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según reivindicación 1 caracterizado por que los compartimentos (5) de la zona exterior (6) son accesibles desde la parte superior del cajón inferior (1) y los compartimentos (5) de la zona interior (7) son accesibles desde el interior del mástil (3) a través del tramo de transición (2).
- 3.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la zona compartimentada del cajón inferior (1) comprende unas nervaduras de refuerzo (13).
- 4.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según reivindicación 1 caracterizado por que las nervaduras de refuerzo (13) se extienden desde la losa inferior (4) hasta el extremo superior (14) del anillo vertical (12).

- 5.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el tramo de transición (2) comprende una sección inferior que coincide con la sección de la zona interior (7) de la zona compartimentada.
- 5
- 6.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según reivindicación 5 caracterizado por que el tramo de transición (2) comprende una sección superior que coincide con una sección inferior del mástil (3).
- 10
- 7 - Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el cajón inferior (1) presenta sección circular.
- 15
- 8.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el tramo de transición (2) y el mástil (3) presentan forma troncocónica hueca.
- 20
- 9.- Sistema de cimentación por gravedad para la instalación de aerogeneradores o instalaciones offshore según reivindicación 8 caracterizado por que la conicidad del tramo de transición (2) es mayor que la conicidad del mástil (3).
- 10.- Procedimiento para la instalación del sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore de cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que comprende la siguiente etapa:
- 25
- una etapa de fondeo del sistema de cimentación mediante la introducción de lastre en al menos la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que el extremo superior (14) del anillo vertical (12) quede
- 30
- dispuesto por debajo del nivel del agua de mar.
- 11.- Procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore según reivindicación 10 caracterizado por que comprende una etapa de transporte del sistema de cimentación donde la losa superior (9) del cajón inferior (1) se mantiene por encima del nivel del agua de mar.
- 35

12.- Procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore según reivindicación 10 caracterizado por que comprende una etapa de transporte del sistema de cimentación donde la losa superior (9) del cajón inferior (1) se mantiene por debajo del nivel del agua de mar.

13.- Procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore según reivindicación 12 caracterizado por que la etapa de transporte comprende una etapa de introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que la losa superior (9) del cajón inferior (1) se encuentre por debajo del nivel del agua de mar.

14.- Procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore según cualquiera de las reivindicaciones 10 ó 11 caracterizado por que la etapa de fondeo del sistema de cimentación comprende las siguientes subetapas:

- una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que la losa superior (9) del cajón inferior (1) se encuentre por debajo del nivel del agua de mar;
- una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que el extremo superior (14) del anillo vertical (12) quede dispuesto por debajo del nivel del agua de mar;
- una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona interior (7) de la zona compartimentada del cajón inferior (1).

15.- Procedimiento para la instalación de un sistema de cimentación de aerogeneradores o instalaciones offshore según cualquiera de las reivindicaciones 12 ó 13 caracterizado por que la etapa de fondeo del sistema de cimentación comprende las siguientes subetapas:

- una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona exterior (6) de la zona compartimentada del cajón inferior (1) hasta que el extremo superior (14) del anillo vertical (12) quede dispuesto por debajo del nivel del agua de mar;

- una subetapa de fondeo mediante la introducción de lastre en la zona interior (7) de la zona compartimentada del cajón inferior (1).

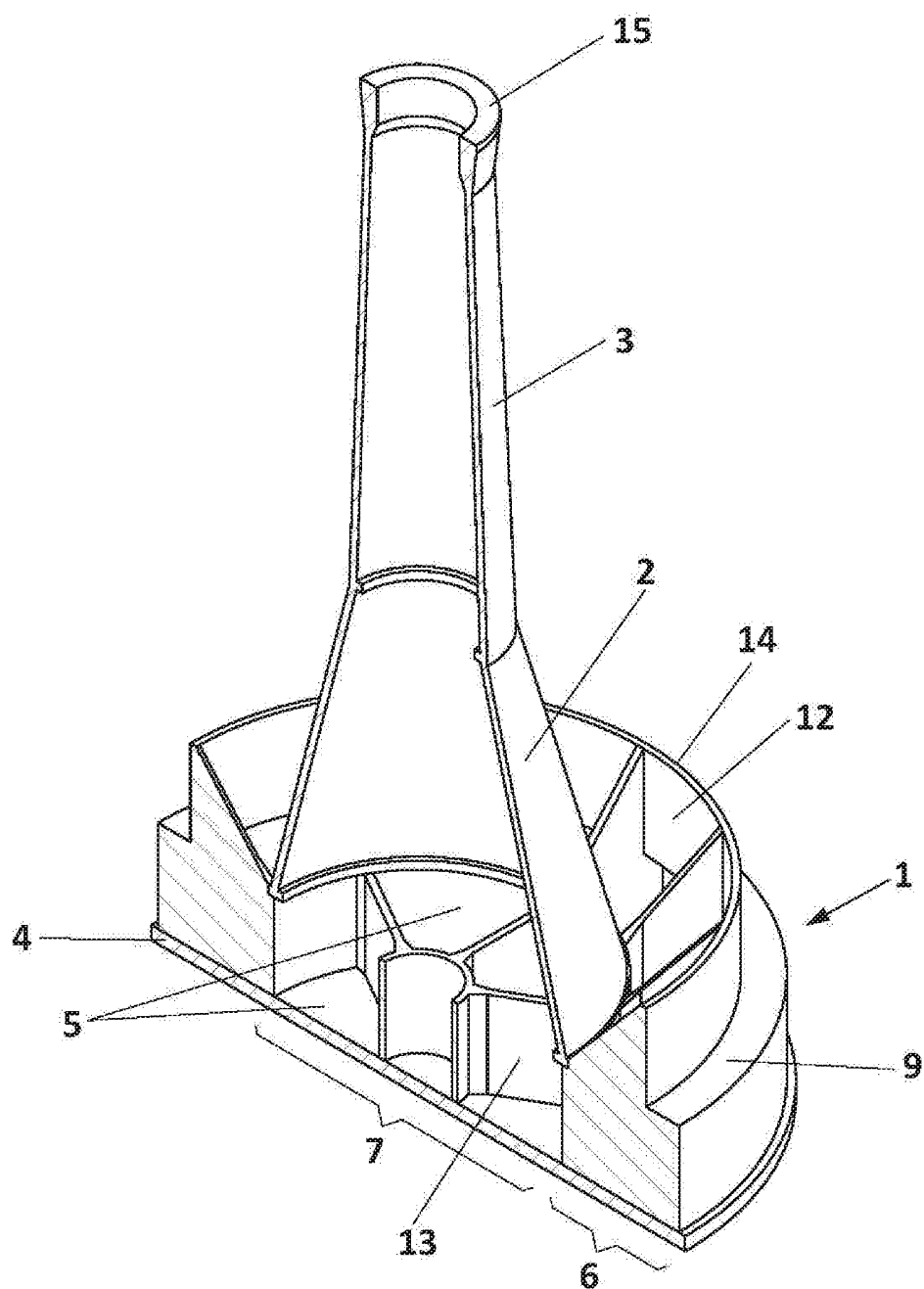


FIG. 1

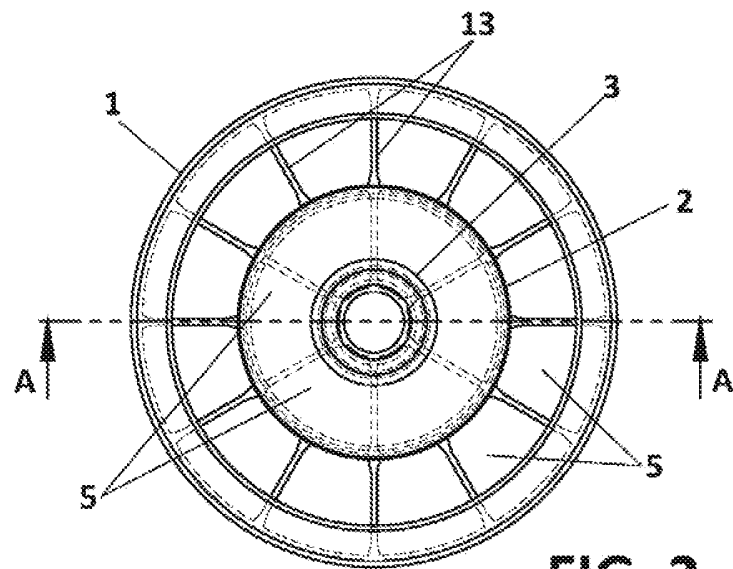


FIG. 2

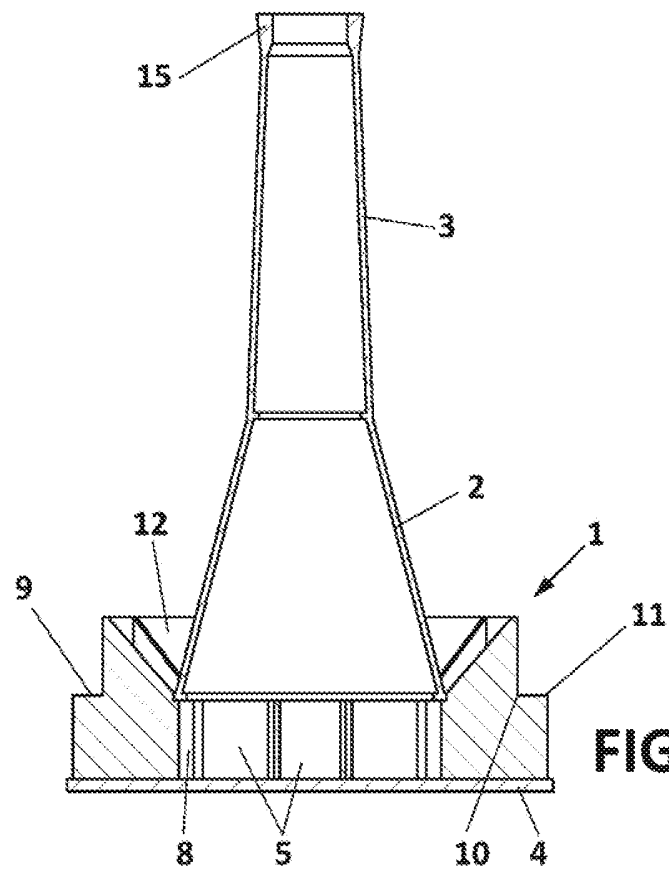


FIG. 3



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- 21 N.º solicitud: 201530794
22 Fecha de presentación de la solicitud: 05.06.2015
32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

5 Int. Cl. : **E02D27/42** (2006.01)
E02B17/02 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2011158750 A1 (REICHEL DIETER et al.) 30.06.2011, páginas 1-5; figuras.	1-15
A	WO 2010019050 A1 (OLAV OLSEN AS DR TECHN et al.) 18.02.2010, páginas 1-5; figuras.	1-15
A	US 3738113 A (MADARY J et al.) 12.06.1973, columna 1, línea 1 – columna 5, línea 60; figuras.	1-15
A	EP 2420441 A2 (IMPAC OFFSHORE ENGINEERING GMBH) 22.02.2012, figuras & Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE; AN 2012-C2236.	1-15
A	CN 103758148 A (ADVANCED TECHNOLOGY INST CO LTD OF TIANJIN UNIVERSITY) 30.04.2014, figuras & Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE; AN 2014-L81834.	1-15

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
03.03.2016

Examinador
M. B. Castañón Chicharro

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E02D, E02B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 03.03.2016

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-15
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones 1-15
Reivindicaciones

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2011158750 A1 (REICHEL DIETER et al.)	30.06.2011
D02	WO 2010019050 A1 (OLAV OLSEN AS DR TECHN et al.)	18.02.2010
D03	US 3738113 A (MADARY J et al.)	12.06.1973
D04	EP 2420441 A2 (IMPAC OFFSHORE ENGINEERING GMBH)	22.02.2012

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El objeto técnico de la invención es un Sistema de Cimentación por gravedad de aerogeneradores en instalaciones offshore y su Procedimiento de instalación.

El inventor pretende ofrecer una solución que aumente la estabilidad de la cimentación durante el transporte y fondeo de la misma.

Para ello, propone una cimentación por gravedad que comprende un cajón inferior sobre losa, con zona interior dentro de tramo de transición a mástil y zona exterior, ambas compartimentadas y susceptibles de lastrado; estando la exterior parcialmente cubierta, a efectos de posibilidad de lastrado exterior, dotada de anillo vertical, ofreciendo francobordo más elevado durante el transporte, y operación de fondeo más controlada.

La solicitud contiene 15 reivindicaciones, siendo la 1 y 10 independientes y el resto dependientes.

La reivindicación 1, contiene las características técnicas esenciales de la cimentación.

La reivindicación 2, se refiere al acceso a los compartimentos exteriores e interiores.

Las reivindicaciones 3 y 4, se refieren a las nervaduras de refuerzo.

La reivindicación 5, se refiere a la unión del tramo de transición al mástil con la sección interior del cajón inferior.

La reivindicación 6, se refiere a sección de unión zona de transición con mástil.

Las reivindicaciones 7-9, constituyen opciones de diseño.

La reivindicación 10 recoge la etapa primera del procedimiento de fondeo.

Las reivindicaciones 11-13, recogen distintas variantes de transporte de la cimentación, sin o con lastrado exterior y distintos francobordos.

Las reivindicaciones 14 y 15, recogen el resto de etapas de fondeo, según dos alternativas: sin o con lastrado exterior previo durante el transporte.

De los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, cabe mencionar el documento US2011158750 (D01).

D01 divulga una cimentación por gravedad de aerogenerador dotada de cajón inferior (5) sobre losa (3), zona de transición y mástil (6), estableciéndose una zona interior del cajón inferior delimitada por pared (Ver figs.), estando ambas zonas interior y exterior compartimentadas, siendo susceptibles de lastrado durante el transporte y/o fondeo, y estando cubierta la zona exterior del cajón por una losa superior.

Las principales diferencias entre D01 y la 1ª reivindicación son:

- D01 no divulga la cobertura parcial de la parte exterior del cajón por la losa superior.
- D01 no divulga la presencia de un anillo vertical que parta de la losa superior.

Los documentos US3738113 (D03) y EP2420441 (D04), divulgan cimentaciones por gravedad susceptibles de emplearse en aerogeneradores offshore, dotadas de cámara interior y de anillo perimetral exterior a efectos de lastrado. Sin embargo el anillo perimetral no se encuentra sobre losa superior que cubra parcialmente zona exterior de lastrado.

Ningún documento citado en el Informe del Estado de la Técnica, cuestiona ya sea de forma aislada o combinada la novedad y actividad inventiva de la 1ª reivindicación, ni por lo tanto, de las dependientes. Así mismo, tampoco de la reivindicación independiente 10 correspondiente al Procedimiento de instalación de la cimentación definida en la 1ª, ni de las dependientes de la 10.

Conclusión:

- Las reivindicaciones 1-15, son nuevas y poseen actividad inventiva. (Art. 6 y 8 de la Ley de Patentes 11/1986)