



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2022/23

*PLATAFORMA TLP PARA HABILITACIÓN Y CARGA,
AUXILIAR A OTRA DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO
Y GAS EN AGUAS PROFUNDAS*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Manuel Martínez Suárez

TUTOR

Vicente Díaz Casás

FECHA

FEBRERO 2023

1 TÍTULO Y RESUMEN

1.1 O Proxecto

Nas seguintes páxinas desenvolverase o deseño dunha plataforma TLP que servirá de apoio a outra de extracción e produción en augas profundas, servindo para a acomodación do persoal técnico e para a estiba da carga na cuberta.

O proxecto comezará cunha análise do mercado do oil&gas para coñecer o estado do arte do sector offshore e así comezar a valorar unha posible xeometría inicial da unidade; cun estudo sobre o emprazamento, e recompilando unha base de datos de plataformas similares para o seu posterior estudo.

Unha vez analizada a base de datos, e atendendo aos requirimentos esixidos nos RPA, áchanse os elementos que conforman a xeometría da unidade, describindo os pesos e empuxes que producen.

Realizarase mediante simulación un estudo hidrodinámico sobre as forzas que actúan na plataforma para coñecer así as esixencias de cargas sobre o sistema de tendóns. Por último, describiranse os equipos e servizos da plataforma, o sistema de xeración e distribución de electricidade e a localización e volume dos tanques de consumibles e lastre.

1.2 El proyecto

En las siguientes páginas se desarrollará el diseño de una plataforma TLP que servirá de apoyo a otra de extracción y producción en aguas profundas, sirviendo para la acomodación del personal técnico y para la estiba de carga en cubierta.

El proyecto comenzará con un análisis del mercado del oil&gas para conocer el estado del arte del sector offshore y así comenzar a valorar una posible geometría inicial de la unidad; con un estudio sobre el emplazamiento, y recopilando una base de datos de plataformas similares para su posterior estudio.

Una vez analizada la base de datos, y atendiendo a los requerimientos exigidos en los RPA, se hallan los elementos que conforman la geometría de la unidad, describiendo las fuerzas que y empujes que producen.

Se realiza mediante simulación un estudio hidrodinámico sobre las fuerzas que actúan en la plataforma para conocer así las exigencias de carga sobre el sistema de tendones. Por último, se describirán los equipos y servicios de la plataforma, el sistema de generación y distribución de electricidad y la ubicación y volumen de los tanques de consumibles y lastre.

1.3 The project

In the following pages will be developed the design of a TLP platform that will support another extraction and production in deep waters, serving for the accommodation of technical personnel and for the stowage of cargo on deck.

The project will begin with an analysis of the oil&gas market to know the state of the art of the offshore sector and thus begin to assess a possible initial geometry of the unit; with a study on the site and collecting a database of similar platforms for further study.

Once the database has been analyzed, and according to the requirements demanded in the RPA, the distribution and size of the roof is found and, from that, the rest of the elements that make up the geometry of the unit, describing the forces that and the pushes that they produce.

A hydrodynamic study on the forces acting on the platform is carried out by means of simulation to determine the load requirements on the tendon system. Finally, the equipment and services of the platform, the electricity generation and distribution system and the location and volume of consumable and ballast tanks will be described.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2022/23

*PLATAFORMA TLP PARA HABILITACIÓN Y CARGA,
AUXILIAR A OTRA DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO
Y GAS EN AGUAS PROFUNDAS*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

CAPÍTULO 2

DIMENSIONAMIENTO DE LA UNIDAD

2 REQUISITOS PREVIOS DE ACTIVIDAD

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2022/23

- **TIPO DE UNIDAD**

Plataforma TLP (Tension Leg Plataform) para habilitación y carga, auxiliar a otra de extracción oil&gas en aguas profundas.

- **CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN**

Bureau Veritas, API, AISC, MODU y Convenio MARPOL.

- **CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA**

Espacio de 550 m2 de carga general en cubierta.

- **SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA/DESCARGA**

Grúas de cubierta para carga y descarga.

- **TRIPULACIÓN Y PASAJE**

40 tripulantes.

- **OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES**

Los habituales en este tipo de unidades.

ÍNDICE

1 TÍTULO Y RESUMEN	2
1.1 O Proxecto	2
1.2 El proyecto	2
1.3 The project	3
2 REQUISITOS PREVIOS DE ACTIVIDAD	5
3 BASE DE DATOS Y PLATAFORMAS DE REFERENCIA.....	8
3.1 Análisis de la base de datos	9
4 ESPACIO DE HABILITACIÓN.....	12
4.1 Elección de la solución habitacional	12
4.2 Dimensiones de la habilitación.....	14
4.3 Estimación de pesos de la habilitación	15
4.3.1 Peso de las cargas.....	15
4.3.2 Peso del acero	15
5 HELIPUERTO.....	17
5.1 Elección del helicóptero	17
5.2 Diseño del helipuerto	18
6 CUBIERTA	19
6.1 Dimensionamiento preliminar de la cubierta	19
6.2 Dimensionamiento de la zona de carga.....	20
6.3 Selección de los medios de carga y descarga	22
6.4 Dimensiones finales de la cubierta	22
7 PONTONA.....	24
7.1 Estructura de cubierta.....	24
7.2 Pilares de apoyo	25

8 SUBESTRUCTURA.....	26
8.1 Columna.....	26
8.2 Patas.....	28
8.3 Tendones.....	29
9 ESTIMACIÓN DE PESOS DE LOS EQUIPOS.....	32
9.1 Peso de la protección anticorrosiva	32
9.1.1 Peso de la pintura	32
9.1.2 Peso de la protección catódica.....	32
9.2 Peso de los equipos de seguridad.....	33
9.2.1 Peso de los equipos de salvamento	33
9.2.2 Peso de los equipos contraincendios	33
9.3 Peso del aire acondicionado.....	33
9.4 Peso de las tuberías y bombas.....	34
10 CENTRO DE MASAS DE LA ESTRUCTURA	35
10.1 Elección del sistema de coordenadas.....	35
10.2 Resumen de momentos, pesos y centros de masas	36
Bibliografía	38
ANEXO I: FICHA TÉCNICA HELICÓPTERO	39
ANEXO II: FICHA TÉCNICA DE LA GRÚA.....	40
ANEXO III: PERFIL VIGAS IPE 600.....	41
ANEXO IV: PESO DEL HELIPUERTO DESGLOSADO	42
ANEXO V: RESUMEN DE DIMENSIONES.....	43

3 BASE DE DATOS Y PLATAFORMAS DE REFERENCIA

El análisis de las unidades ya construidas es fundamental en el proyecto de una nueva plataforma, pues sirve tanto para repetir los procedimientos que se han realizado correctamente, como para prevenir o corregir erros cometidos.

La mayoría de las plataformas TLP que se pueden encontrar operando actualmente tienen como función la producción y/o extracción de crudo. Por este motivo, el análisis de la base de datos no se debería de realizar de forma literal, ya que estas plataformas cuentan con maquinaria especializada para estas labores que hacen variar de forma considerable el peso y la distribución de sus elementos.

Igualmente, es interesante estudiar la geometría de los diferentes tipos de estructuras y su función, ya que se pueden obtener muchas conclusiones, aunque la unidad de este proyecto no esté diseñada para cumplir con los mismos requisitos.

La siguiente base de datos se ha obtenido de la revista estadounidense *Offshore Magazine*, que, desde su primera publicación en 1954, es una de las principales fuentes de noticias e información sobre la industria de las energías renovables y el oil&gas en alta mar.

NOMBRE	EMPRESA	AÑO	UBICACIÓN	PRODUNDIDAD (m)	TIPO
HUTTON (f)	ConocoPhillips	1984	UK	147	Conventional TLP
OVENG	Hess	2007	Equatorial Guinea	271	New Generation TLWP
SNORRE A	Norsk Petroleum	1992	Norway	335	Conventional TLP
HEIDRUN	Norsk Petroleum	1995	Norway	345	Conventional TLP
PRINCE	Palm Energy Offshore	2001	US-GOM	454	New Generation
OKUME/EBANO	Hess	2007	Equatorial Guinea	503	New Generation TLWP
MORPETH	Eni	1998	US-GOM	518	New Generation TLP
JOLLIET	ConocoPhillips	1989	US-GOM	536	Conventional TLWP
TYPHOON (f)	Chevron	2001	US-GOM	639	New Generation TLP
MATTERHORN	Total	1994	US-GOM	859	New Generation TLP
WEST SENO A	Chevron	2003	Indonesia	1021	New Generation TLWP
KIZOMBA A	Exxon Mobil	2004	Angola	1178	New Generation ETLP
KIZOMBA B	Exxon Mobil	2005	Angola	1178	New Generation ETLP
PAPA TERRA P-61	Petrobras	2010	Brazil	1180	
ALLEGHENY	Atlantia SeaStar	1999	US-GOM	1009	New Generation TLP
NEPTUNE	Atlantia SeaStar	2008	US-GOM	1280	New Generation TLP

Tabla 1 Plataformas TLP y sus características principales

Se puede observar que este tipo de plataformas operan en aguas de todo el mundo, en condiciones climáticas muy diversas, desde Noruega hasta Guinea

Ecuatorial, una muestra más de su versatilidad. Las profundidades son también muy variadas, aunque es cierto que las plataformas más modernas tienden a ser construidas en aguas más profundas, desplazadas en aguas someras por las *jackets*.

NOMBRE	Topsides Weight (tm)	Hull Weight (tm)	PESO TOTAL (tm)	L (m)	B (m)	D (m)	CUBIERTA (m2)
HUTTON (f)	20792	25500	47300	78	74	12	5772
OVENG	2250	2650	4900	39,6	36,57		1448,172
SNORRE A	43700	30000	73700				
HEIDRUN	89000	166000	255000				
PRINCE	3628,7	3175	6803,7	35	40		1400
OKUME/EBANO	2250	2700	4950	39,6	36,57		1448,172
MORPETH	2816,8	2540	5356,8	34	34		1156
JOLLIET	1950,4	4170	11294	459	591		271269
TYPHOON (f)		2817		34	34		1156
MATTERHORN	5569,7	5352	10921,7	43	43		1849
WEST SENO A		9000		34	51,8		1761,2
KIZOMBA A	11600	13464	31187	75	61	14	4575
KIZOMBA B			30000	75	61	14	4575
PAPA TERRA P-61							
ALLEGHENY	2780,5	2359	5139,5	34	30,4		1033,6
NEPTUNE	55,14595	79,334213	134,48016	36,6	33,5		1226,1

Tabla 2 Plataformas TLP y sus dimensiones

Como se ha dicho anteriormente, ninguna de estas plataformas tiene la misma función que la que ocupa este proyecto. Sin embargo, se podría considerar, al presentar los RPA el requisito de carga en forma del espacio que ocupa en cubierta y no del peso, realizar un diseño de plataforma basado en las que aquí se analizan, con unas dimensiones similares, pero en este caso sustituyendo el peso de la maquinaria extractora/productora por la capacidad de carga.

Esta es sólo una suposición previa, pero servirá como pretexto para utilizar la base de datos como fuente de información para calcular las dimensiones de la cubierta.

3.1 Análisis de la base de datos

Hasta ahora, el único dato que podemos usar para analizar las unidades de la base de datos es la profundidad, puesto que ya es conocida la ubicación exacta de su instalación. Esto podría servir para estimar un peso aproximado inicial o una superficie de cubierta.

Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

De esta manera, se ha procedido a analizar la relación de varios parámetros de las plataformas: la relación entre sus dimensiones principales (peso y superficie de cubierta) y la profundidad a la que operan.

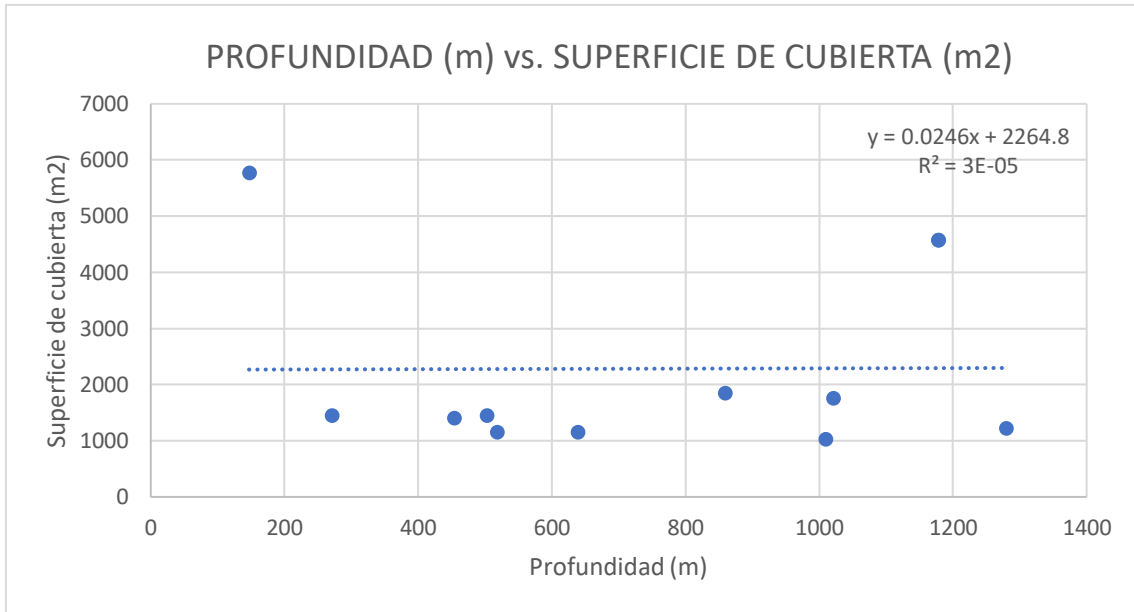


Figura 3.1 Relación entre profundidad y superficie de cubierta

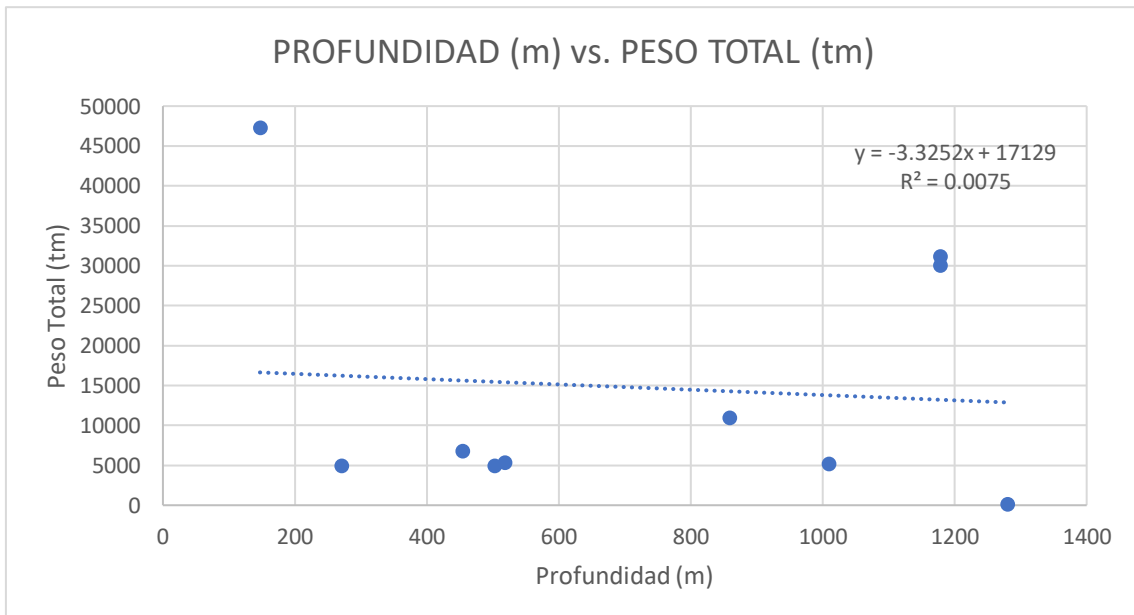


Figura 3.2 Relación entre profundidad y peso total

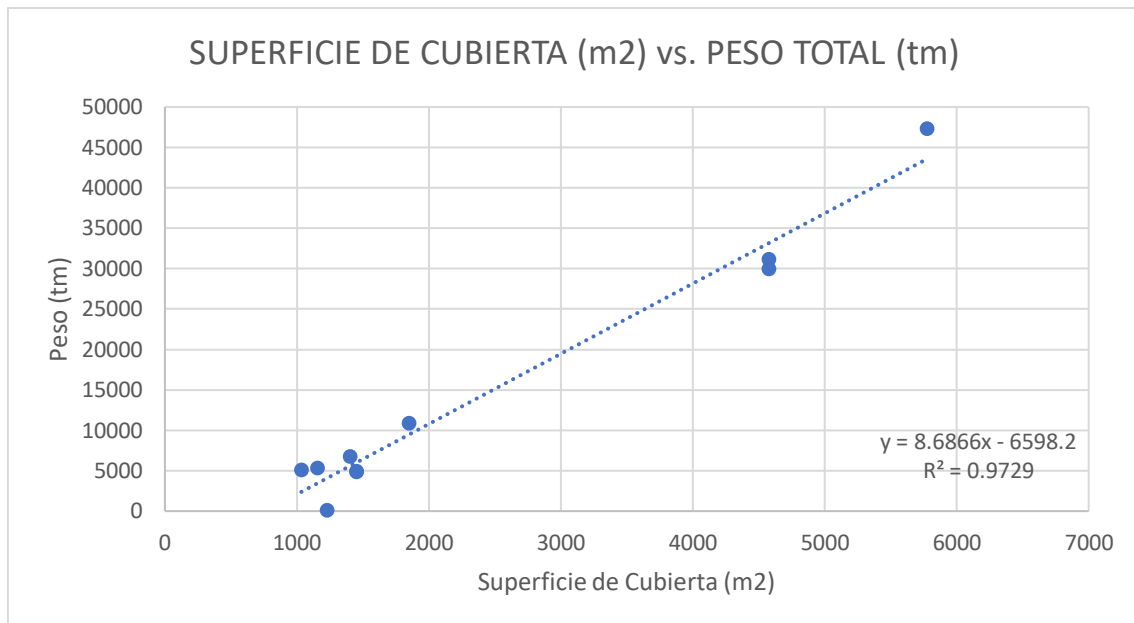


Figura 3.3 Relación entre superficie de cubierta y peso total

De este análisis se deduce que existe una relación, y directamente proporcional, entre la superficie de cubierta y el peso de la plataforma, algo que parece obvio, puesto que la superficie de cubierta es causa del volumen total de la unidad, y ésta, a su vez, del peso total.

Por otra parte, no existe a priori relación entre el tamaño de la plataforma offshore y la profundidad a la que opera, algo que a primera vista podría parecer extraño, pero que en este tipo de unidades es lógico. En la base de datos se recoge el “peso total” definido como la suma del peso del casco y de la superestructura, sin contar con los tendones, que es lo único que depende realmente de la profundidad.

Por este motivo, y al no depender las dimensiones estudiadas de la profundidad, se deberá plantear la obtención de las dimensiones principales de otra forma, que se verá más adelante.

4 ESPACIO DE HABILITACIÓN

En los Requisitos Previos de Actividad sólo encontramos dos exigencias: el espacio de carga y el número de tripulantes que se deben alojar. La superficie de carga en cubierta viene expresada sólo con el área, y no con sus dimensiones, teniendo en principio, infinitas soluciones para su distribución, y siendo por ahora imposible de calcular.

Sin embargo, sí podemos empezar a dimensionar el espacio de acomodación del personal, pues es totalmente independiente del tamaño de la plataforma. El dato de las dimensiones de este espacio será una gran ayuda para, más adelante, y ayudándonos en los márgenes de seguridad, calcular que forma tendrá el espacio de carga.

4.1 Elección de la solución habitacional

Diversas empresas ofrecen soluciones habitacionales para plataformas offshore, aunque la tónica habitual y por lo que últimamente están apostando las grandes empresas petroleras son las habilitaciones modulares.

Se han estudiado muchas propuestas, la mayoría de ellas viables para el proyecto que nos ocupa, y algunas de ellas realmente interesantes, como la de Tereleq PTE. Esta empresa, con sede en Singapur, ofrece acomodaciones que no necesitan mantenimiento en los primeros 50 años de instalación, construidas con material inerte no afectado por la corrosión, ligero y relativamente económico, diseñados también para ahorrar la mayor cantidad de espacio posible.

Otras empresas, como las emiratíes Specialist Services y Oceanwave Marine, también cuentan con todas las certificaciones de grandes sociedades de clasificación, como son DNV o Bureau Veritas. Otras, como la turca DORCE, incluyen en la instalación de la habilitación la planta eléctrica.

La holandesa HSM Offshore Energy posee también una gran reputación en el mundo offshore. Ha prestado sus servicios a proyectos de gran importancia en el Mar del Norte, trabajando mano a mano con empresas como ConocoPhillips y Amoco.

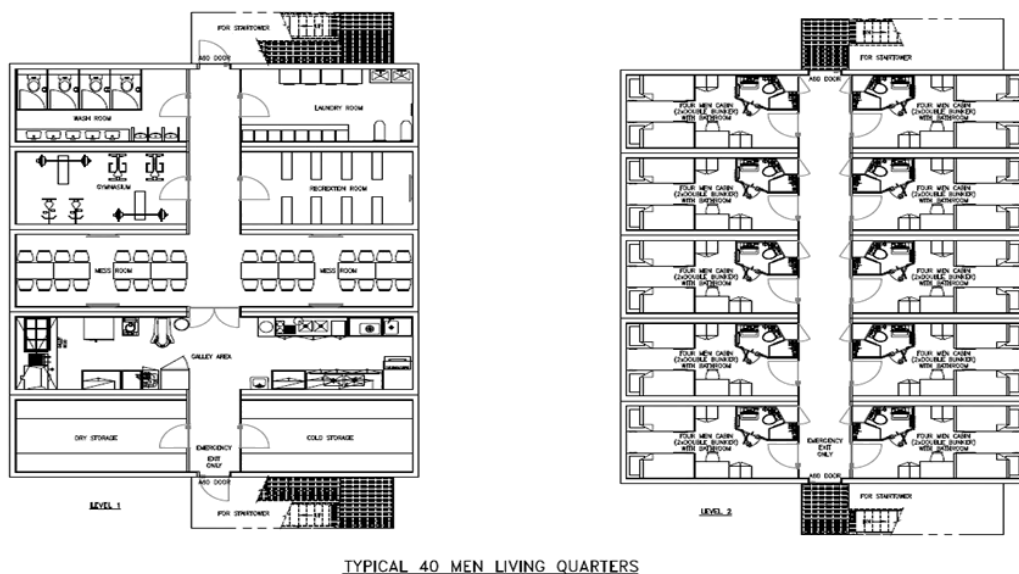
Plataforma offshore TLP para habilitación y carga



Ilustración 1 Habilitación para la empresa ConocoPhillips (Fuente: HMS Offshore Energy)

Sin embargo, y al no especificarse más datos que la tripulación que se debe acoger, sin prestarse a valorar calidad, presupuesto, acuerdos entre empresas y demás, se ha optado por la propuesta que más información nos da en cuanto al espacio para el personal, y no es otra que la empresa singapurense Worldoils.

Ofrece una disposición de habitación para 40 tripulantes, exactamente nuestra exigencia, cuyo plano se adjunta a continuación (Figura 4.1).



TYPICAL 40 MEN LIVING QUARTERS

Figura 4.1 Distribución de habitación para 40 personas (Fuente: Worldoils)

Esta distribución se divide en tres cubiertas, siendo la principal la dedicada a espacios comunes diversos, como comedor, gimnasio o almacenes, y las superiores donde se instalen los camarotes, dobles en este caso.

4.2 Dimensiones de la habilitación

El plano ofrecido por la empresa no presenta dimensiones, por lo que se usará como modelo para escalarlo a la medida adecuada. Es en este momento donde se acude a la reglamentación de la API (*American Petroleum Institute*), aplicada internacionalmente, y, puesto que la plataforma podría operar en diferentes ubicaciones a lo largo de su vida útil, que se adecúa a las diferentes reglamentaciones estatales.

En este caso, la API nos redirige a las normativas de la Guardia Costera de Estados Unidos; en el apartado de Código de Regulaciones Federales N°46 (CFRs) sobre Unidades Móviles Offshore de Perforación (MODU), *Subchapter I-A, Part 108.201 Size on sleeping spaces* se indican como los espacios mínimos por tripulante 30 ft² (2,8 m²) de superficie y 210 ft³ (6 m³) de volumen en el camarote, descontando el mobiliario.

De esta manera, y teniendo en cuenta los personas por camarote, se ha escalado el plano de la Figura 4.1 y, haciendo las extrapolaciones adecuadas, con el programa AUTOCAD© se han obtenido las dimensiones finales de la habilitación:

$$L_{acomodación} = 17,49 \text{ m}$$

$$B_{acomodación} = 13,62 \text{ m}$$

$$S_{acomodación} = 238,21 \text{ m}^2$$

Con el dato del volumen se ha calculado una altura de la habilitación de 2,2 m, a la que se le ha añadido el espacio estándar para el falso techo de 40 cm, obteniendo así la altura total de la habilitación:

$$H_{acomodación} = 7,8 \text{ m}$$

4.3 Estimación de pesos de la habilitación

4.3.1 Peso de las cargas

El peso total que la habilitación aportará a la estructura total de la plataforma se divide en dos partes. Por un lado, el peso propio del acero de la estructura, y por el otro, el peso de las cargas que cada espacio soportará.

Para aproximar el peso que soportarán los diferentes espacios, primero se divide el plano y se hayan las superficies de cada uno, para posteriormente multiplicarlas por sus respectivas densidades.

Para conocer la densidad de cada espacio se realiza una aproximación a partir de los elementos que están presentes en cada uno, como aislamiento acústico (28 kg/m²), moqueta (0,2 kg/m²) o mamparos (8 kg/m²).

El resultado del cálculo de las cargas se adjunta en la siguiente tabla.

ESPACIOS	DENSIDAD (kg/m ²)	ÁREA (m ²)	Nº ESPACIOS	PESO (t)
CAMAROTE OFICIALES	130	0,00	0	0,00
CAMAROTE TRIPULACIÓN	140	13,90	20	38,92
COMEDOR	100	32,25	1	3,23
SALÓN/VESTUARIO	100	14,90	2	2,98
PASILLOS	70	25,72	2	3,60
COCINA	175	32,25	1	5,64
G. FRESCO	50	5,35	1	0,27
G. CONGELADO	180	8,55	1	1,54
LAVANDERÍA	125	13,90	1	1,74
ENFERMERÍA	150	13,90	1	2,09
GIMNASIO	175	13,90	1	2,43
TOTAL				62,43

Figura 4.2 Resumen de las cargas de la habilitación

4.3.2 Peso del acero

Por otra parte, para el cálculo del peso del acero de la estructura, se tomará en cuenta tanto el peso de la envolvente del edificio como de las diferentes chapas que forman la estructura de las cubiertas, tomando espesores estándares de Bureau Veritas (NR 445) de 6 y 5 mm, respectivamente.

Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

ESTRUCTURA		B	H	SUPERFICIE (m ²)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m ³)	DENSIDAD (t/m ³)	PESO (t)
FORRO EXTERIOR		66,22	7,80	516,52	0,01	3,10	7,85	24,33
CUBIERTAS	Principal			216,12	0,01	1,08		8,48
	Piso 1			216,12	0,01	1,08		8,48
	Piso 2			216,12	0,01	1,08		8,48
	Techo			216,12	0,01	1,08		8,48
TOTAL ACERO								58,26

Figura 4.3 Resumen del peso del acero de la habilitación

El peso total que el edificio de la habilitación aportará a la estructura de la plataforma será la suma de los dos pesos calculados, de esta manera:

$$\text{Peso total de la acomodación} = \text{Peso (Carga)} + \text{Peso (Acero)}$$

$$\text{Peso total de la acomodación} = 120,79 \text{ t}$$

$$\text{Peso distribuido de la acomodación} = 0,51 \text{ t/m}^2$$

5 HELIPUERTO

La inmensa mayoría de las plataformas offshore poseen una plataforma para la operación de un helicóptero, pues este es el método más común para el transporte de los operarios, al tener estas unidades un difícil acceso por mar (además de ser el único posible en caso de problema sanitario de la tripulación).

El diseño en sí mismo del helipuerto podría llegar a ser de la misma magnitud que el proyecto que nos ocupa. Este tipo de plataformas de aterrizaje están en constante evolución, buscado mejorar las prestaciones reduciendo el peso, con el desarrollo de nuevas aleaciones de materiales y nuevos diseños estructurales.

Al ser esta una parte secundaria de este proyecto se llegará en el dimensionamiento hasta el cálculo del peso de manera aproximada, pues este tendrá un efecto importante sobre el edificio de la habilitación, y, por su posición escorada, también sobre el centro de gravedad de la plataforma.

5.1 Elección del helicóptero

El modelo elegido será el *Sikorsky S-92*, un helicóptero de tamaño mediano, bimotor y con rotor de cuatro palas, común en operaciones marítimas, tanto civiles como militares.

Con capacidad para 19 pasajeros y 3 tripulantes, es utilizado en operaciones a lo largo del mundo por operadores tan diversos como el Servicio de Guardacostas del Reino Unido o la empresa petrolera Brunei Shell Petroleum. Sus características principales se adjuntan en el ANEXO I.



Figura 5.1 Helicóptero S-92 del Servicio de Guardacostas de Irlanda (Fuente: Avia-Es)

5.2 Diseño del helipuerto

Como ya se ha indicado, diseñar desde cero la estructura de aterrizaje es algo complejo; por eso, se han estudiado las geometrías de diferentes helipuertos, tanto reales como diseñados en trabajos académicos.

Luego de revisar y analizar las estructuras de buques FPSO, como el *Argo* o el *Blue Eagle*; plataformas offshore, como la *BPN E*, y diversos proyectos que no se han desarrollado realmente, se ha creído lo más conveniente tomar como referencia el diseño propuesto en *Structural Design of Helicopter Landing Platform on Offshore Ship* (Wai Lin Tun, 2013) y adaptarlo a las medidas tanto del helicóptero escogido como de la propia estructura de habilitación.

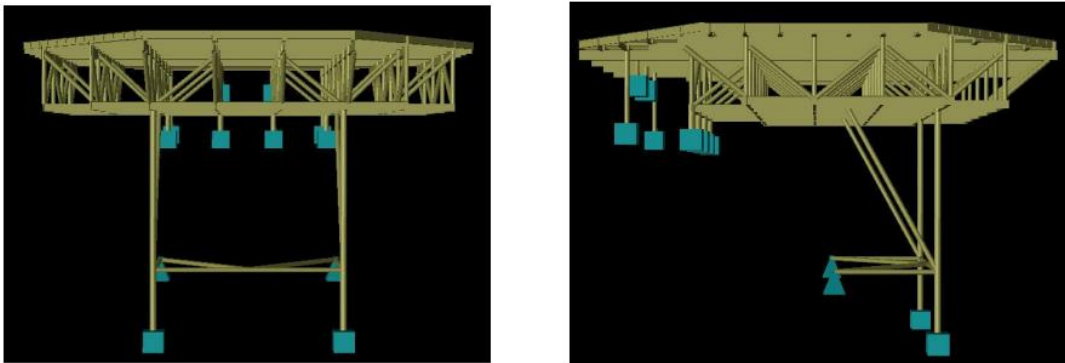


Figura 5.2 Diseño conceptual del helipuerto (*Structural Design of Helicopter Landing Platform on Offshore Ship*)

Los materiales utilizados son perfiles IPE 300 de acero S325 para las vigas de la subestructura principal y el aluminio 5083 para los refuerzos y la chapa de la plataforma.

El reglamento de Bureau Veritas nos indica, al igual que Código MODU, que la plataforma de aterrizaje del helicóptero debe cumplir el requisito de contener el círculo inscrito del diámetro del rotor principal. Sabiendo esto, y realizando los cálculos correspondientes, obtenemos el peso de todos los componentes del helipuerto, que se adjuntan en el ANEXO IV.

$$\text{Peso de la estructura helipuerto} = 47,00 \text{ t}$$

$$\text{Peso al despegue del helicóptero} = 58,02 \text{ t}$$

6 CUBIERTA

Para el cálculo de las dimensiones de la cubierta, nos apoyaremos, principalmente, en la base de datos, para luego analizar los elementos que en ella se instalarán y realizar un reajuste si fuese necesario.

6.1 Dimensionamiento preliminar de la cubierta

Con los datos que se disponen, se ha empezado por examinar las superficies de cubierta de las diferentes plataformas. Por un lado, se ha realizado la media aritmética del área de las unidades de las que se disponen datos, y, por otro, se han calculado sus relaciones Eslora-Manga, para saber cómo distribuir la superficie.

Cabe reseñar, que del promedio de superficies de cubierta se ha descartado a las plataformas *Hutton*, *Jolliet*, *Kizomba A* y *Kizomba B*, puesto que sus dimensiones distan mucho del resto: el resto de las unidades presentan áreas por debajo de los 2.000 m², y éstas llegan a triplicar ese valor. El valor promedio que se ha obtenido y, por tanto, el que tomaremos como preliminar es:

$$\overline{S_{CUBIERTA}} = 1386,47 \text{ m}^2$$

Sin embargo, sí se han incluido para saber todas las plataformas para saber la relación L/B, al ser éste un valor adimensional.

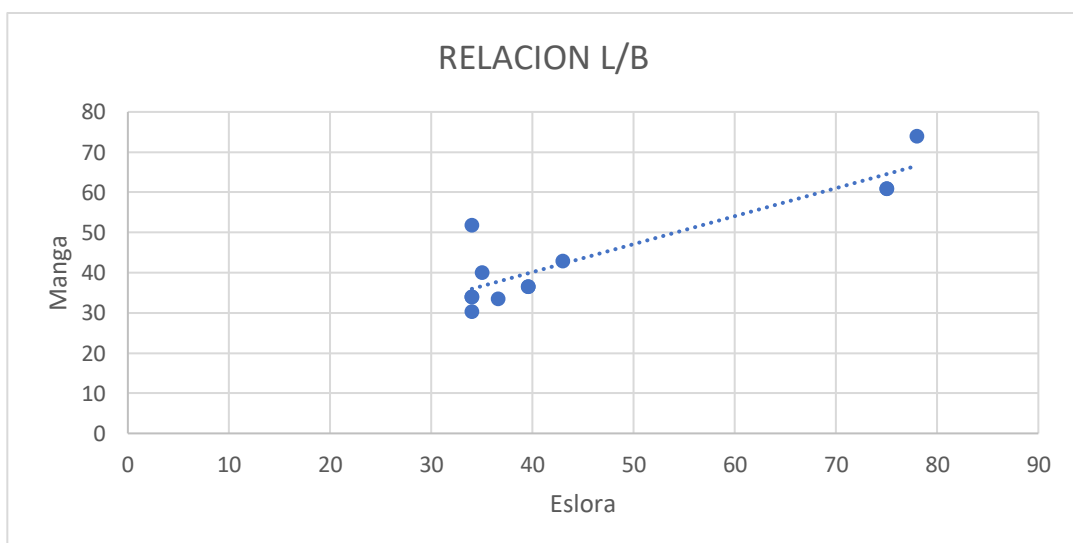


Figura 6.1 Relación entre las mangas y las esloras de las plataformas

La media de las relaciones L/B se ha calculado como 1,045, lo que nos indica que las plataformas son eminentemente cuadradas, habiendo mínimas diferencias entre la longitud de sus lados, aunque sí se deben considerar. Realizando los cálculos correspondientes, se han obtenido las siguientes dimensiones preliminares de cubierta:

$$L_{CUBIERTA_i} = 38,06 \text{ m}$$

$$B_{CUBIERTA_i} = 36,42 \text{ m}$$

6.2 Dimensionamiento de la zona de carga

El reglamento, tanto el Código MODU de la IMO como el de la API, no especifican el espacio que debe haber entre las zonas de carga y el espacio de acomodación de la tripulación, ni entre este y la amurada, sólo que “debe ser el suficiente para permitir la correcta operación de los procesos y garantizar la seguridad personal y material”.

Sabiendo esto, sería correcto revisar las plataformas existentes están distribuidas las zonas de carga en ellas y que márgenes de seguridad existen entre ellas y los demás espacios.

Lo primero que se ha hecho es instalar el edificio de la habilitación en la zona de la proa a estribor, y dividir el requerimiento de los 550 m² de espacio en dos zonas, una a babor del edificio y otra a popa, y que serán nombradas a partir de ahora como Zona de carga 1 y Zona de carga 2, respectivamente.

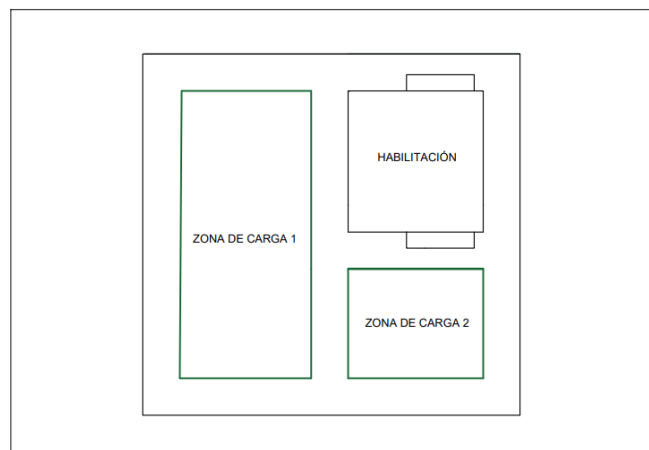


Figura 6.2 Modelo 1 de distribución de carga

Ya se ha comentado que existen infinitos modelos de distribución de las dimensiones de las zonas de carga para llegar al área exigida. Para el modelo de distribución 1, se ha tomado la decisión, y basándose en la distribución de equipos en las plataformas analizada, de instalar los equipos de salvamento a estribor de la habilitación, y el resto (generador de agua, calentador, generador eléctrico...), a babor.

La distribución del Modelo 1 no cumple con las dimensiones requeridas, sólo es una aproximación para saber cómo y dónde se instalarán los diferentes servicios; entre ellos, los medios de carga y descarga, los cuales se compondrán de dos grúas, una de ellas en la zona a proa del costado de babor (grúa 1), y otra entre las dos zonas de carga (grúa 2).

Después de realizar diferentes cálculos y barajar diferentes tipos de distribuciones, se ha llegado a la conclusión de que la mejor distribución posible será la siguiente: la Zona de carga 2 se ha dimensionado como un espacio disponible para 7 contenedores, con un margen de seguridad del 10%, obteniendo una superficie de 124 m²; y el resto, los 426 m², en forma de paralelogramo seccionado en una esquina para dejar espacio para una de las grúas. La distribución final de los espacios de carga se puede observar en el Modelo 2, expuesto a continuación. Ahora se debe redimensionar la cubierta, atendiendo a los medios de carga y descarga que se elegirán.

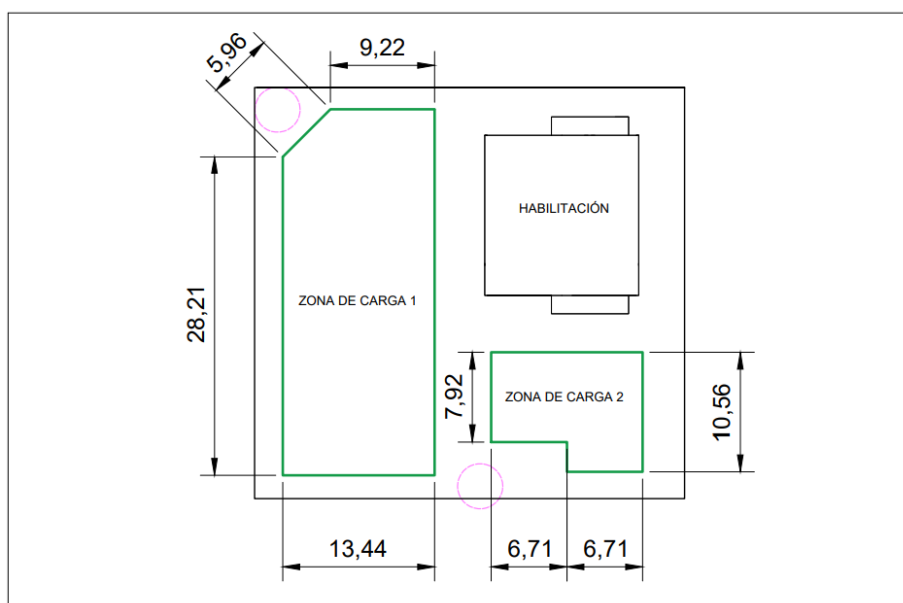


Figura 6.3 Modelo 2 (Modelo definitivo) de distribución de carga (cotas en m)

6.3 Selección de los medios de carga y descarga

Los elementos para los que la cubierta está diseñada soportar son básicamente cuatro: por un lado, está el edificio de la habilitación, el cual está ya correctamente dimensionado; luego, están los equipos de la plataforma, tales como el generador de agua dulce o los medios de salvamento, para los cuales se realizará una estimación de tamaño en modo de márgenes; la carga, y los medios para manejarla.

Se han comparado varios tipos de grúas, todas ellas diseñadas especialmente para trabajos en unidades offshore y que cumplen con todas las reglamentaciones exigidas. Destacan modelos como la Kenz DHL 40, con 40 t peso y capacidad de carga; la Palfinger DKW 1000, que puede soportar pesos de hasta 60 t, u otras más pequeñas como la Knuckle Boom Crane, de 12 t de capacidad.

Sin embargo, al no disponer datos sobre el peso requerido que deben manejar, se ha decidido realizar la elección basándonos en el radio de operación (mínimo y máximo) de las grúas en relación con las superficies de carga que disponemos, contemplando eso sí, y como único requerimiento sobre el peso, que soporte el peso máximo de un TEU (21.600 kg).

Se ha optado finalmente por el modelo Mitsubishi 3022, cuyos datos se adjuntan en el ANEXO II y que cumple con el reglamento especificado en el código *API 2A-WSD: Platform Cranes*, aunque destacaremos que su radio de trabajo se encuentra entre los 4 y los 22 m y su capacidad de carga es de 25 t.

6.4 Dimensiones finales de la cubierta

Una vez se conocen exactamente los medios de carga y descarga, sus tamaños y sus radios de trabajo, es necesario su correcto posicionamiento en la plataforma.

Se ha considerado situar las grúas en los lugares antes mencionados y, conociendo el tamaño que necesitan para operar, se ha ampliado el margen de la plataforma para dejar un espacio libre entre la base de éstas y la amurada.

Esta ampliación manteniendo la geometría produce un alargamiento del costado de babor, lo que modifica las dimensiones de la plataforma. La hasta ahora anchura de la plataforma ha cambiado; lo que produce, al querer mantener la relación eslora-manga tomado como válida al principio, que se deba modificar también la otra dimensión.

$$B' = 39,09 \text{ m}$$

A partir de aquí surgen dos posibilidades: que se tome este valor como la eslora de la plataforma (considerando eslora el lado de mayor longitud) o que se tome como la manga. Que se tome como la eslora implicaría que la manga pasaría a medir 37,4 m, algo totalmente insuficiente para instalar de los equipos necesarios de la unidad que se han mencionado antes manteniendo una distancia de seguridad coherente. Por tanto, se toma el valor hallado como manga, y las dimensiones finales de la cubierta resultan las siguientes:

$$L = 40,85 \text{ m}$$

$$B = 39,09 \text{ m}$$

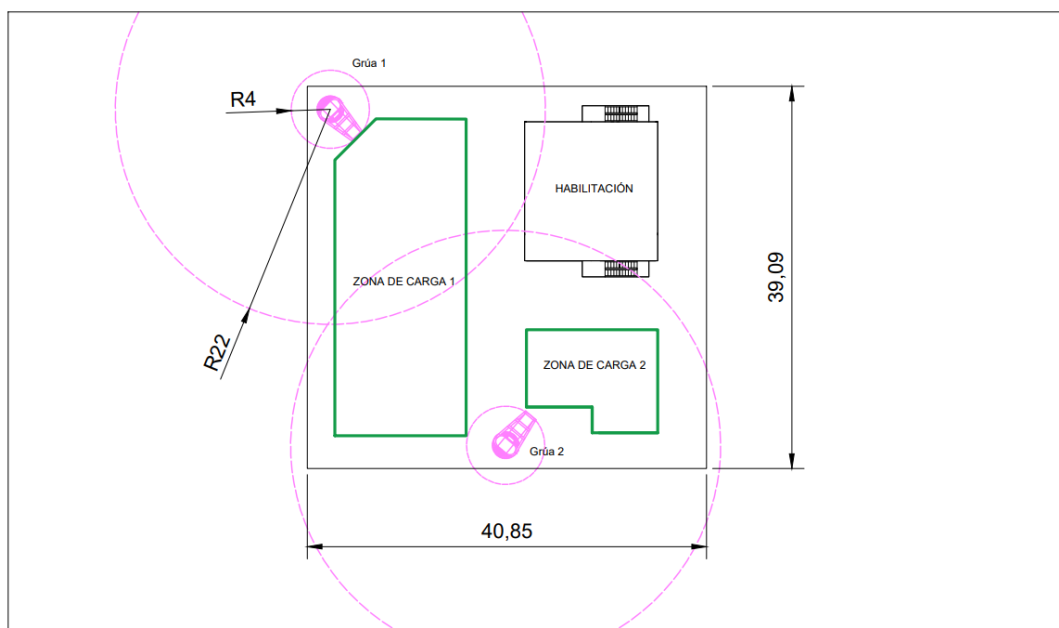


Figura 6.4 Dimensiones finales de la cubierta (cotas en m)

7 PONTONA

Una vez se conocen las dimensiones de la cubierta ya disponemos de un dato que podemos extrapolar con la base de datos, para obtener las demás dimensiones de la estructura.

En este caso, se ha optado de forma arbitraria por basarse en el modelo de diseño de la plataforma *Matterhorn*, pues es de ésta de la que más y más precisos datos se conocen sobre su geometría.

Así, procediendo a hacer las extrapolaciones adecuadas las dimensiones principales finales de la pontona serán las siguientes:

L PONTONA	40,85	m
B PONTONA	39,09	m
D PONTONA	9,23	m
S PONTONA	1596,97	m ²

Atendiendo a la geometría de la unidad antes mencionada, la estructura de la pontona se dividirá en dos partes. Por un lado, se encuentra la estructura de vigas longitudinales y transversales junto a las chapas que las unen para formar la cubierta, y, por otro, los pilares que conectan la estructura anterior al casco.

7.1 Estructura de cubierta

La estructura de la cubierta de la plataforma está formada por vigas transversales superpuestas sobre vigas longitudinales, soldadas a las chapas de cubierta y envolvente.

En el caso de la chapa del fondo se ha considerado no incluirla en la estructura ya que imposibilitaría la soldadura de la estructura.

Como es habitual en este tipo de unidades, y sabiendo que la plataforma de este proyecto sólo tendrá una cubierta que soporte todo el peso sobre ella, se ha optado para las vigas utilizar perfiles IPE 600, de dimensiones estándar, las cuáles se adjuntan en el ANEXO III.

El número total de vigas será de 24: 12 longitudinales y 12 transversales, con una separación entre ellas de 2,92 y 2,79 m, respectivamente.

Para el espesor de las chapas, se han escogido los valores estándares del reglamento de Bureau Veritas, 15 mm para la chapa horizontal y 7 para la chapa envolvente.

Una vez se conoce el diseño de la cubierta se debe calcular el peso. Para conocer el peso de las vigas se multiplica el área de su sección por la longitud de cada viga, obteniendo su volumen. De la misma manera, el volumen de las chapas se calcula al conocer su espesor.

Sabiendo que estos elementos están hechos de acero 235, cuya densidad es conocida, se obtiene el peso total. Para contemplar el peso de los refuerzos, se sobredimensiona el peso total obtenido con el margen de Bureau Veritas de un 50%. Las dimensiones totales desglosadas se adjuntan en el ANEXO V.

$$P_{CUBIERTA} = 574,32 t$$

7.2 Pilares de apoyo

La cubierta se apoya y une a la subestructura a través de cuatro pilares soldados en la columna. Las dimensiones se han calculado a través del modelo mencionado anteriormente, posicionándolos en la cubierta justo en su punto de unión a la columna.

El peso se ha calculado de la misma forma que la anterior, conociendo ya el volumen. Sin embargo, no se ha considerado correcto al sobredimensionar el resultado final para contabilizar los refuerzos, ya que los pilares y sus refuerzos propios se consideran macizos, y no presentan refuerzos secundarios en el exterior.

$$P_{PILARES} = 1617,95 t$$

Así, el peso total de la pontona será la suma del de los pilares y la cubierta.

$$P_{PONTONA} = 2192,27 t$$

8 SUBESTRUCTURA

El casco o superestructura se divide en tres partes principales: la columna, las patas o brazos y los tendones, cuyas funciones se han definido previamente. Por este motivo, se calculará el peso y, en este caso, el empuje de cada uno de los tres elementos.

La obtención de las dimensiones definitivas de los elementos que componen la subestructura se ha realizado de la misma forma que en el caso de la pontona, y son las siguientes:

d COLUMNA	25,73	m
D COLUMNA	44,70	m
R EFECTIVO	54,00	m
D BRAZO 1	15,06	m
D BRAZO 2	9,68	m
B BRAZO	8,45	m
d TENDONES	612,71	mm
t TENDONES	21,86	mm

8.1 Columna

La columna es, junto a las patas, la principal fuente de empuje que proporciona flotabilidad a la estructura. Por este motivo, es obvio pensar que no debe de ser maciza, sino hueca.

Para calcular el peso se necesita conocer el espesor de la chapa de la columna, el cual se tomará el valor estándar de 20 milímetros (*BV NR 445*). Con este valor se halla el área de la base de la columna, que se multiplica por su puntal para obtener el volumen. De esta manera:

$$V_{COLUMNA} = \pi \cdot (r_{COLUMNA}^2 - (r_{COLUMNA} - e_{COLUMNA})^2)$$

Conociendo que la columna se construirá con acero de densidad conocida, el peso final se obtiene a través de su volumen, sobredimensionado con el margen reglamentario de 1,5 para contemplar los refuerzos internos.

$$P_{COLUMNA} = 850,43 t$$

El empuje, sin embargo, y como especifica el Principio de Arquímedes, depende del volumen de fluido desalojado; o, dicho de otra forma, de su calado.

El calado de la columna viene determinado por dos factores: el puntal total de la columna y el *Air Gap*. El *Air Gap* (literalmente del inglés, “espacio de aire”) es el espacio que se encuentra entre el nivel del mar y la primera cubierta de la plataforma, que se toma para evitar que el oleaje dañe los elementos y equipos de la cubierta.

Para calcular el *Air Gap* se necesita conocer la altura significativa de ola (H_s), que, como se indicó en puntos anteriores, es de 1,15 m. A la mitad de este valor, el reglamento de Bureau Veritas (*BV NR 578, Sec. 3, 7.1.2*) obliga a añadirle un margen de seguridad de 1,5 m, resultado así:

$$Air\ Gap = \frac{H_s}{2} + 1,5 = \frac{1,15}{2} + 1,5 = 2,075 m$$

El calado, por tanto, será la diferencia entre el puntal y este valor. Resultando su producto por el área exterior de la columna, la densidad estándar del agua del mar y la gravedad, el empuje que produce la columna.

$$T_{COLUMNA} = D_{COLUMNA} - 1,5 = 42,63 m$$

$$Empuje\ columna = T \cdot S_{COL} \cdot \rho_{AGUA} = 22.747,33 t$$

8.2 Patas

Las patas o brazos, al igual que la columna deben ser huecas por dentro, para proporcionar empuje a la estructura y poder ser lastradas para la correcta estabilidad de la plataforma.

Para su lastrado, las patas incorporarán mamparos interiores distribuidos de con una separación uniforme de 2,5 m y de espesor estándar ($t_m = 15 \text{ mm}$). El espesor de las chapas en sus seis caras se considerará 20 mm.

Por otra parte, en cuanto a su geometría, al seguir el modelo de la plataforma Matterhorn, presentan forma trapezoidal, por lo que tendrán un puntal menor en su extremo que en su unión a la columna.

Sin embargo, en cuanto a la realización de los cálculos, se han considerado de forma paralelepípeda, con un puntal de valor medio de los puntales de sus extremos.

El peso de cada una de sus patas se hallará a través de su volumen con la siguiente relación:

$$P_{PATA} = \text{Volumen total}_{pata} \cdot \rho_{ACERO} \cdot g$$

Siendo el volumen total la suma del volumen externo y de los mamparos internos, y éste el producto de su área por su longitud. A su vez, la longitud viene dada por la diferencia entre el radio efectivo de la plataforma y el de la columna.

$$\text{Volumen exterior} = \text{Área}_{pata} \cdot L_{pata} = B_{pata} \cdot \overline{D}_{pata} \cdot (R_{efectivo} - R_{columna})$$

$$\text{Volumen mamparo} = \overline{D}_{pata} \cdot B_{pata} \cdot t_{mamparo}$$

Conociendo la separación entre mamparos y la distancia entre ellos, se ha calculado un total de 16 mamparos en cada pata. Sabiendo esto, el volumen total de las patas será, contabilizando el margen de los refuerzos interiores:

$$\text{Volumen total}_{patas} = 3 \cdot (\text{Volumen exterior} + \text{Volumen mamparo} \cdot 16) \cdot 1,5$$

Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

El peso en función de la densidad del acero será:

$$P_{PATAS} = Volumen\ total_{patas} \cdot \rho_{acer} \cdot g = 2094,01\ t$$

Y el empuje que producen:

$$Empuje\ patas = 3 \cdot \overline{D_{pata}} \cdot B_{pata} \cdot L_{pata} \cdot \rho_{agua} \cdot g = 13.234,50\ t$$

8.3 Tendones

Los tendones, sin embargo, no proporcionan empuje a la estructura, sino todo lo contrario, contrarrestan esta fuerza dando sujeción a la plataforma traccionándola hacia el fondo

En este caso se ha realizado un estudio de los tendones tubulares de acero comúnmente utilizados en las plataformas TLP, tanto macizos como huecos, basado en los datos de la bibliografía.

A continuación, se resumen las dimensiones de la sección de los tendones de diferentes plataformas TLP SeaStar.

PLATAFORMA TLP SEASTAR	DIÁMETRO X ESPESOR (mm)
MORPETH *	660,4
ALLEGHENY *	711,2
TYPHOON	711,2 x 22,4
MATTERHORN	812,8 x 29
NEPTUNE	914,4 x 34,5

Tabla 3 Dimensiones de los tendones de diferentes plataformas (Fuente: Offshore Magazine)

*(tendones macizos)

Es en este momento en el que se ha decidido analizar las prestaciones de los dos tipos de tendones, analizando el peso de cada uno. Es habitual en el análisis de este tipo de estructuras analizar el peso de los tendones en KN/m, es decir, en función de su longitud.

La longitud de los tendones es variable dependiente de la profundidad en la que se instale la plataforma. En este caso, será la diferencia entre la profundidad nombrada en el Estudio de emplazamiento y el calado calculado en el dimensionamiento de la columna.

$$L_{\text{tendón}} = \text{Profundidad} - T = 808,75 \text{ m}$$

Los tendones huecos están sometidos a grandes presiones en su interior, que aumentan según aumenta la profundidad de su instalación. Para contrarrestar esto, es habitual que estén llenos de agua en el espacio de su interior, lo que aumenta su peso, pero evita su colapso por la diferencia de presiones.

Ahora que ya se conocen los factores que intervienen en el peso de los tendones, se procede a estudiar los diferentes diámetros y espesores de los dos tipos anteriormente mencionados. Así, tomando como referencia la longitud de nuestro proyecto, veremos la variación de masa teniendo como única variable el espesor de su sección.

TIPO DE TENDÓN	TLP	DIÁMETRO (mm)	PESO TENDONES SUMERGIDOS (KN)	PESO/DIÁMETRO
ACERO MACIZO	MORPETH	660,4	2,13E+04	32,27
	ALLEGHENY	711,2	2,47E+04	34,75
ACERO HUECO	TYPHOON	711,2	3,02E+03	4,24
	MATTERHORN	812,8	4,45E+03	5,47
	NEPTUNE	914,4	5,94E+03	6,50

Figura 8.1 Relación de pesos de los diferentes tipos de tendones

Se observa claramente que los tendones huecos presentan un peso muy inferior con respecto a su diámetro, siendo incluso de órdenes diferentes, que no deja lugar a dudas a que fuesen pequeñas variaciones debidas a factores que desconocemos.

Por tanto, nos decantaremos por utilizar tendones huecos en este proyecto, siendo estos también los presentes en nuestra plataforma de referencia, lo que facilita los cálculos. Sabiendo que el material de los tendones es el acero 235 se procede a calcular su peso:

$$A_{\text{tendón hueco}} = \pi \cdot (R_{ext_t}^2 - (R_{ext_t} - e_t)^2)$$

$$Peso_{\text{tendones sumergidos}} (KN/m) = n^{\circ} \text{ tendones} \cdot A_{\text{tendón hueco}} \cdot g \cdot (\rho_{ac} - \rho_{ag})$$

$$Peso_{\text{tendones sumergidos}} (KN) = Peso_{\text{tendones sumergidos}} (KN/m) \cdot L_{\text{tendón}}$$

$$Peso \text{ tendones sumergidos} = 4,10 \text{ KN/m}$$

$$\mathbf{Peso \text{ tendones sumergidos} = 2029,10 \text{ t}}$$

9 ESTIMACIÓN DE PESOS DE LOS EQUIPOS

Los equipos de la unidad pueden suponer un peso muy considerable en la plataforma y, debido a que no suelen ser instalados de forma simétrica, modifican la estabilidad de ésta, y es necesario tenerlos en cuenta.

Las plataformas offshore siguen los mismos reglamentos y normas que los buques FPSO, por lo que podríamos realizar una aproximación de los elementos presentes en este proyecto con las fórmulas que se usan para los buques mercantes. Al fin y al cabo, las estimaciones que se hacen para buques de, por ejemplo, el peso de la pintura, no dejan de ser eso mismo, estimaciones, por lo que pueden ser útiles en este caso para tener una idea inicial del orden de pesos que tendrán.

En este caso, y para no ser redundantes debido a la brevedad de los siguientes apartados, se incluirán los cálculos de los centros de gravedad de los equipos, dados en coordenadas cilíndricas, como se explicará más adelante.

9.1 Peso de la protección anticorrosiva

9.1.1 *Peso de la pintura*

Para calcular el peso de la pintura se utilizará la relación para buques de menos de 12.000 t puesto que el peso del acero que hemos calculado hasta ahora ronda las 6.300 t.

$$Peso\ de\ la\ pintura = 0,008 \cdot Peso\ del\ acero = 61,02\ t$$

Y el centro de gravedad se establece en el propio centro de gravedad de la plataforma, que se calculará más adelante.

9.1.2 *Peso de la protección catódica*

La protección catódica mediante ánodos de sacrificio estima su peso en función de la superficie mojada y del número de años de su vida útil, la cual se desconoce, ergo se usa la siguiente expresión:

$$P_{cc} = 0,0008 \cdot S_m = 8,59\ t$$

Para este caso, el centro de masas de la protección catódica será concéntrico al de la obra viva de la plataforma, que de igual manera será calculado más adelante.

9.2 Peso de los equipos de seguridad

9.2.1 Peso de los equipos de salvamento

El peso de los equipos de salvamento se puede aproximar en función del número de tripulantes a bordo (n), con la adición de 3,5 t si los botes salvavidas son cerrados, como es nuestro caso.

$$PL = 9,5 + (n - 35) \cdot 0,1 + 3,5 = 13,5 t$$

Como se indicó en la distribución de elementos de la cubierta, los equipos de salvamento irán estibados en el costado de estribor de la habilitación, por lo que su centro de masas será:

$$(20'38, 30^\circ, 52'45)$$

9.2.2 Peso de los equipos contraincendios

Como la plataforma tiene el cometido de ser un espacio de estiba de carga, se calculará el peso de este servicio mediante la relación de los espacios de bodega para realizar una estimación.

$$PI = (4 \cdot L \cdot B + 1400) \cdot 0,001 = 7,79 t$$

Como los equipos contraincendios están estibados alrededor del espacio de habilitación se tomará el centro de gravedad de estos como el propio del edificio.

9.3 Peso del aire acondicionado

El peso de los equipos de AACC es dependiente de la superficie de habilitación:

$$P_{AA} = 0,020 \cdot S_{habilitación} = 9,59 t$$

De la misma manera que los equipos contraincendios, el centro de gravedad del aire acondicionado se tomará como el propio de la habilitación.

9.4 Peso de las tuberías y bombas

Mediante la eslora y la manga de la plataforma se puede hacer una aproximación del peso de las tuberías y bombas encargadas, por ejemplo, del lastrado. Ya que éstas están distribuidas por el casco, su centro de gravedad se considerará el de la propia subestructura.

$$P_{TBV} = 0,0047 \cdot L \cdot \sqrt{L \cdot B} = 7,67 t$$

10 CENTRO DE MASAS DE LA ESTRUCTURA

10.1 Elección del sistema de coordenadas

Los buques suelen expresar la posición de sus centros de gravedad con dos coordenadas: XG, que indica la posición en la eslora, y KG, de forma homóloga con el puntal. Esto se debe a que la inmensa mayoría de naves presentan simetría axial con respecto a la línea de crujía (LC), lo que produce que la coordenada transversal se pueda omitir en muchos casos, al presentarse frecuentemente sobre este eje.

Sin embargo, la unidad de este proyecto presenta un tipo de simetría diferente, la radial. La unidad, que expresa sus dimensiones principales con la altura y el radio efectivo, ya da una idea de que puede diseñarse inscrita en un cilindro.

De esta forma, no es muy difícil imaginarse que el sistema más adecuado será el Sistema de Coordenadas Cilíndricas, cuyo eje vertical, como se puede ver en la figura 10.1, se superpone con el eje de la columna, con origen en su base.

Este sistema, aparte de ser realmente intuitivo, facilita mucho los cálculos, pues todos los elementos que estén colocados de forma simétrica podrán expresar su centro de masas con sólo una coordenada, la del eje vertical.

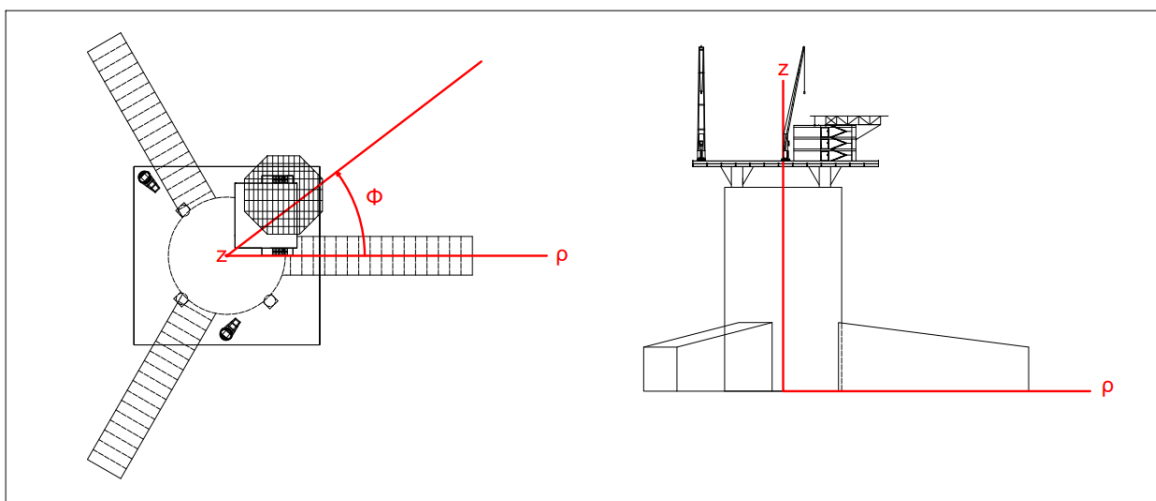


Figura 10.1 Sistema de referencia de las coordenadas cilíndricas elegidas para la plataforma

10.2 Resumen de momentos, pesos y centros de masas

Se adjunta en la siguiente tabla un resumen de los elementos que forman o están instalados en la plataforma, de sus pesos y del lugar donde se encuentran, así como el centro de gravedad de la plataforma, que en la Figura 10.2 se muestra de forma gráfica

ELEMENTO	MASA (t)	ρ (XG)	M LONGITUNIDAL	ϕ	M ANGULAR	Z (KG)	M VERTICAL
Habilitación	61,67	12,31	759,17	46,00	2836,86	54,37	3353,04
Helipuerto	59,02	18,23	1075,92	47,00	2773,89	58,71	3465,00
Pontona	2474,33	0,00	0,00	0,00	0,00	49,86	123370,34
Grúa 1	35,00	24,94	872,90	136,00	4760,00	57,49	2012,15
Grúa 2	35,00	17,19	601,65	270,00	9450,00	57,49	2012,15
Columna	8342,77	0,00	0,00	0,00	0,00	22,36	186544,25
Brazos	20542,24	0,00	0,00	0,00	0,00	6,28	129046,35
Pintura	87,50	0,58	50,75	3,04	266,09	15,07	1318,66
Protección catódica	600,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,36	13416,00
Eq. Salvamento	13,50	20,38	275,13	30,00	405,00	52,45	708,08
Eq. Contraincendios	7,79	12,31	95,87	46,00	358,24	54,37	423,43
AACC	9,59	12,31	118,05	46,00	441,14	54,37	521,41
Tuberías y Bombas	7,67	0,00	0,00	0,00	0,00	22,36	171,50
Tanques	583,12	0,00	0,00	0,00	0,00	46,79	27284,39
TOTAL ESTRUCTURA	MASA (t)	ρ (XG)		ϕ		Z (KG)	
	32859,21	0,12		0,65		15,02	

Figura 10.2 Resumen de pesos, momentos y centros de gravedad de la plataforma.

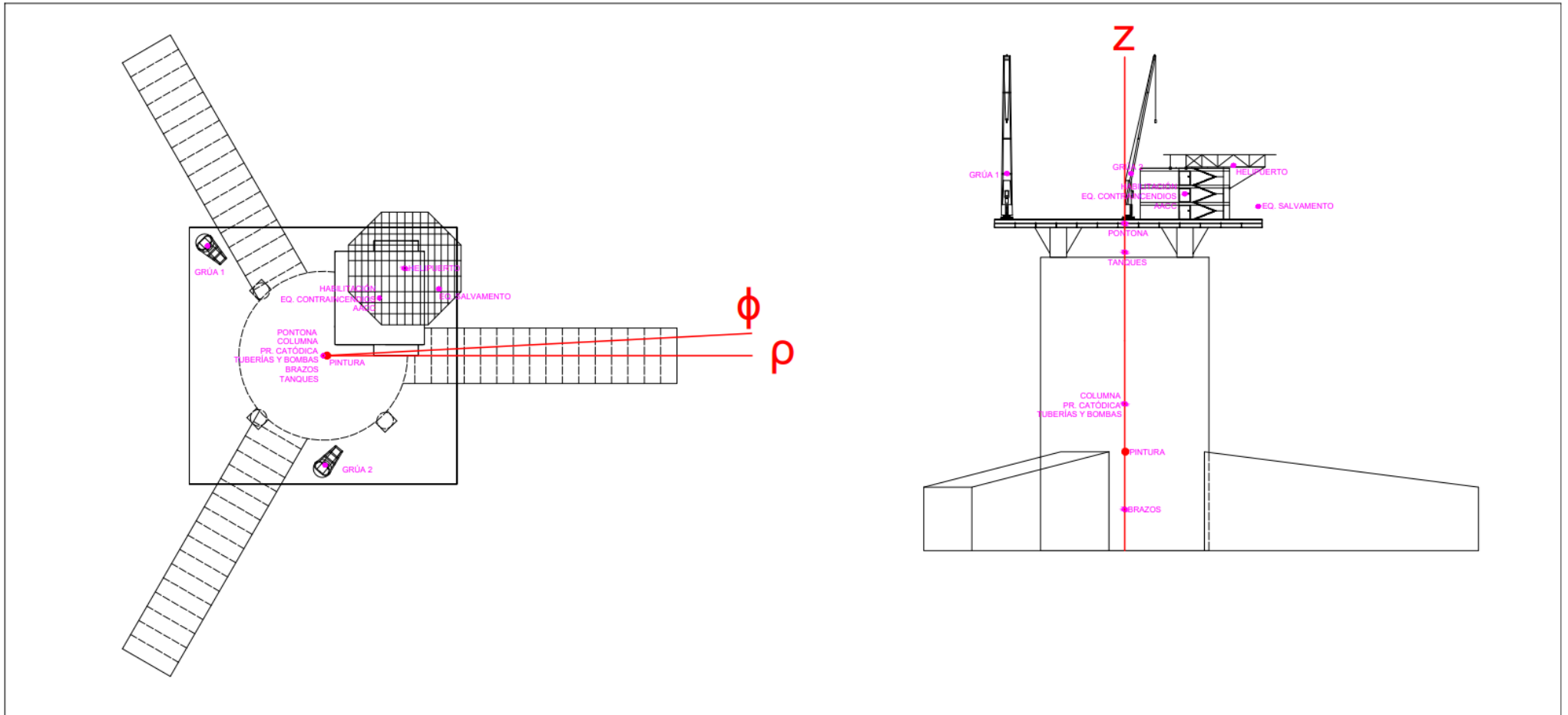


Figura 10.3 Posición del centro de masa en la plataforma

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DASCA IBANGA, Iban; MORERA PROS, Marc (2014). *Diseño y cálculo de una plataforma petrolífera en el Mar del Norte*, Proyecto final de carrera, Universidad Politécnica de Cataluña.
- [2] DE MAZARREDO MARTÍN, Patricia (2021). *Diseño y Análisis estructural de plataforma Offshore tipo TLP de uso principal para acomodación de personal técnico de plataforma Oil&Gas y capacidad de almacenamiento de carga en cubierta*, Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid.
- [3] GARCÍA ÁVILA, Javier (2022). *Buque Portacontenedores 16000 TEUs*, Trabajo Fin de Grado, Universidade da Coruña.
- [4] JUNCO OCAMPO, Fernando Antonio (s.f.). *Proyectos de buques y artefactos. Anteproyecto y dimensionamiento del buque*. Universidade da Coruña.
- [5] *API Rules* (s.f.). American Petroleum Institute.
- [6] *NR 445 Rules for Offshore Units* (s.f.). Bureau Veritas.
- [7] *Meet the FourStar TLP* (2010). Offshore Magazine.
- [8] *Standards for Offshore Helicopter Landing Areas* (2013). Civil Aviation Authority Of UK.

ANEXO I: FICHA TÉCNICA HELICÓPTERO

- ✈ Tripulación: 2
- ✈ El mayor número de pasajeros: 24
- ✈ Capacidad: 1860kg
- ✈ Longitud: 20,88m
- ✈ longitud del fuselaje: 18,47m
- ✈ El diámetro del rotor: 17,71m
- ✈ El diámetro del rotor de cola: 3,35m
- ✈ Ancho máximo del fuselaje: 3,89m
- ✈ Altura: 5,46m
- ✈ El área de barrido del rotor: 231,55kv.m
- ✈ El 6,2m chasis de base
- ✈ Pista 3,17m chasis
- ✈ Peso de carga sobre la suspensión: 4536kg
- ✈ Masa de combustible en tanques internos: 2327kg
- ✈ El volumen de los depósitos de combustible: 2877l
- ✈ Central eléctrica: 2 × turboshaft GeneralElectric CT78A
- ✈ Potencia del motor de despegue: 2 × 2520л.с. (2 × 1879kW)
- ✈ Longitud de la cabina de carga: 6,1
- ✈ Ancho de la cabina de carga: 2,01
- ✈ Altura de la cabina de carga: 1,83
- ✈ Volumen útil del compartimento de carga: 16,9kv.m
- ✈ Límite de velocidad: 305km / h
- ✈ Velocidad máxima: 283km / h
- ✈ La velocidad a la FL: 257km / h
- ✈ Radio de combate: 435km.
- ✈ Gama práctica: 1007km
- ✈ Techo: 4575m
- ✈ Carga de disco: 51,2 / 55,4 kg / sq. M (sin / con suspensión)
- ✈ Empuje: 262 / 243W / kg (sin / con suspensión para transmisión)

Figura 0.1 Características Sikorsky S-92 (Fuente: Avia-Pro)

ANEXO II: FICHA TÉCNICA DE LA GRÚA

type		3020	3022	3024	3026	3028	3030
Hoisting load (t)		30					
Working radius	Max. (m)	20	22	24	26	28	30
	Min. (m)	4	4	4.5	4.5	5	5
Winding height (m)		35					
Hoisting	Load (t)	30/12/5			*30/12/5		
	Speed (m/min.)	18.5/37/63			25/50/63		
Lowering	Load (t)	30/12/5			*30/12/5		
	Speed (m/min.)	63			63		
Luffing time (sec.)		41	41	48	49	50	52
Slewing speed (sec.)		0.75	0.75	0.7	0.6	0.55	0.5
Electric motor for pump unit (kW)	Cont.	105 *132					
	Intermittent	240/ED15%			*320/ED15%		
Total weight (t)		34	35	36	40	45	48

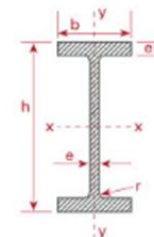
type		3620	3622	3624	3626	3628	3630
Hoisting load (t)		36					
Working radius	Max. (m)	20	22	24	26	28	30
	Min. (m)	4	4	4.5	4.5	5	5
Winding height (m)		35					
Hoisting	Load (t)	36/14/5			*36/14/5		
	Speed (m/min.)	16/32/55			22/44/55		
Lowering	Load (t)	36/14/5			*36/14/5		
	Speed (m/min.)	55			55		
Luffing time (sec.)		48	48	51	54	55	58
Slewing speed (sec.)		0.7	0.65	0.6	0.6	0.55	0.5
Electric motor for pump unit (kW)	Cont.	105 *132					
	Intermittent	240/ED15%			*320/ED15%		
Total weight (t)		40	41	43	45	47	50

Figura 0.1 Características técnicas de la serie de grúas 3000

ANEXO III: PERFIL VIGAS IPE 600



VIGAS IPE (PERFIL EUROPEO)



Hierros Tolón

PERFIL	Dimensiones					Sección A cm ² .	PESO p Kg./m.
	h mm.	b mm.	e mm.	e ₁ mm.	r mm.		
80	80	46	3'8	5'2	5	7'64	6'00
100	100	55	4'1	5'7	7	10'3	8'10
120	120	64	4'4	6'3	7	13'2	10'4
140	140	73	4'7	6'9	7	16'4	12'9
160	160	82	5'0	7'4	9	20'1	15'8
180	180	91	5'3	8'0	9	23'9	18'8
200	200	100	5'6	8'5	12	28'5	22'4
220	220	110	5'9	9'2	12	33'4	26'2
240	240	120	6'2	9'8	15	39'1	30'7
270	270	135	6'6	10'2	15	45'9	36'1
300	300	150	7'1	10'7	15	53'8	42'2
330	330	160	7'5	11'5	18	62'6	49'1
360	360	170	8'0	12'7	18	72'7	57'1
400	400	180	8'6	13'5	21	84'5	66'3
450	450	190	9'4	14'6	21	98'8	77'6
500	500	200	10'2	16'0	21	116'0	90'7
550	550	210	11'1	17'2	24	134'0	106'0
600	600	220	12'0	19'0	24	156'0	122'0

Referido al eje						IPE
X - X			Y - Y			
I _x cm ⁴ .	W _x cm ³ .	i _x cm.	I _y cm ⁴ .	W _y cm ³ .	i _y cm.	
80'1	20'0	3'24	8'49	3'69	1'05	80
171'0	34'2	4'07	15'9	5'79	1'24	100
318'0	53'0	4'90	27'7	8'65	1'45	120
541'0	77'3	5'74	44'9	12'3	1'65	140
869'0	109'0	6'58	68'3	16'7	1'84	160
1.320'0	146'0	7'42	101'0	22'2	2'05	180
1.940'0	194'0	8'26	142'0	28'5	2'24	200
2.770'0	252'0	9'11	205'0	37'3	2'48	220
3.890'0	324'0	9'97	284'0	47'3	2'69	240
5.790'0	429'0	11'2	420'0	62'2	3'02	270
8.360'0	557'0	12'5	604'0	80'5	3'35	300
11.770'0	713'0	13'7	788'0	98'5	3'55	330
16.270'0	904'0	15'0	1.040'0	123'0	3'79	360
23.130'0	1.160'0	16'5	1.320'0	146'0	3'95	400
33.740'0	1.500'0	18'5	1.680'0	176'0	4'12	450
48.200'0	1.930'0	20'4	2.140'0	214'0	4'31	500
67.120'0	2.440'0	22'3	2.670'0	254'0	4'45	550
92.080'0	3.070'0	24'3	3.390'0	308'0	4'66	600

ANEXO IV: PESO DEL HELIPUERTO DESGLOSADO

<u>HELICÓPTERO</u>	<u>DIÁMETRO DEL ROTOR (m)</u>	<u>MASA (t)</u>
S-92	17,17	12,02
HELIPUERTO		MASA (t)
Plataforma		10,29
Refuerzos Longitudinales		6,12
Vigas Transversales Superiores		4,71
Vigas Laterales		0,76
Vigas longitudinales Superiores		6,35
Pilares Cortos		2,61
Apoyos Principales		4,84
Vigas Longitudinales Inferiores		2,93
Vigas Transversales Inferiores		3,27
Pilares		5,14
TOTAL		47,00

ANEXO V: RESUMEN DE DIMENSIONES

L TOTAL (Eslora)	84,66	m
B TOTAL (Manga)	84,66	m
D TOTAL (Puntal)	60,34	m
L PONTONA	40,85	m
B PONTONA	39,09	m
H PONTONA	5,77	m
S PONTONA	1596,97	m ²
D COLUMNA	25,73	m
H COLUMNA	44,70	m
R EFECTIVO	54,00	m
H BRAZO 1	15,06	m
H BRAZO 2	9,68	m
B BRAZO	8,45	m
D TENDONES	702,01	mm
e TENDONES	25,05	mm
L ACOMODACIÓN	17,49	m
B ACOMODACIÓN	13,62	m
S ACOMODACIÓN	238,21	m ²
H ACOMODACIÓN	7,8	m