



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, áchase 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 1**

**INTRODUCCIÓN Y ESTUDIO DE EMPLAZAMIENTO**

## 2 REQUISITOS PREVIOS DE ACTIVIDAD

### GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

#### TRABAJO FIN DE GRADO

#### CURSO 2022/23

- **TIPO DE UNIDAD**

Plataforma TLP 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 m<sup>2</sup> 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 LA INDUSTRIA PETROLERA .....	8
3.1 El fin del petróleo .....	8
3.2 Estado del arte del mercado del Oil&Gas .....	10
3.3 El sector offshore.....	11
3.3.1 Clasificación de las plataformas offshore .....	13
4 ELECCIÓN DEL TIPO DE PLATAFORMA .....	19
4.1 Habitabilidad en plataformas offshore .....	19
4.2 Justificación plataforma TLP .....	19
4.3 Componentes de las plataformas TLP .....	20
4.3.1 Superestructura .....	21
4.3.2 Casco .....	21
4.3.3 Sistema de tendones .....	22
4.4 Elección de la geometría definitiva .....	23
5 ESTUDIO DE EMPLAZAMIENTO .....	25
5.1 Yacimiento Petrolífero Marlim Sur .....	25
5.2 Condiciones Físicas .....	26
5.2.1 Estudio de batimetría.....	26
5.2.2 Estudio Geológico .....	27
5.3 Condiciones Climáticas .....	28

Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

5.3.1 Viento .....	28
5.3.2 Corriente .....	29
5.3.3 Oleaje .....	31
Bibliografía .....	34

## 3 LA INDUSTRIA PETROLERA

### 3.1 El fin del petróleo

En el año 1865, cuando la Segunda Revolución Industrial aún no había ni empezado, el economista británico William S. Jevons previno en su *The Coal Question* que las reservas mundiales de carbón se acabarían bastante antes de 1920, año en el que se produjo el pico de producción en su país natal. Sesenta años más tarde, en 1982, la producción se había incrementado un 146%, alcanzando los 16 millones de toneladas.

Siempre han existido agoreros que han predestinado el agotamiento de los recursos energéticos, siendo el primer cuarto del pasado siglo una época bastante prolífica.

En el último cuarto del siglo XIX comenzó a surgir una floreciente industria: el petróleo. Pocos pudieran imaginar en aquella época que esa sustancia negra y viscosa, llamada incluso “Mal de Texas”, al presentarse en aquella región de manera tan superficial que llegaba a arruinar los campos de cultivo, daría tanto de sí en los años venideros, haciéndole la competencia al carbón.

El petróleo era muy abundante, fácil de transportar-más incluso que el carbón- y, una vez refinado, tenía multitud de usos que se fueron descubriendo uno tras otro. De la misma forma, ya hubo quién predijo su agotamiento; concretamente de los primeros pozos que se excavaron en Pensilvania, y que eso traería consigo el fin de la naciente industria petrolera. Para cuando estos yacimientos se agotaron ya se habían descubierto nuevos en otros lugares, como Texas o California, y, obviamente, no dañó a un mercado que no hacía más que crecer exponencialmente; aunque esto no frenó las predicciones catastrofistas.

Hacia 1919, el geólogo jefe del Servicio Geológico de los Estados Unidos, David White, vaticinaba que “el pico de producción se alcanzará en 1921 y hay pruebas impresionantes de que podría llegar incluso antes”. Fue en ese año, y al comprobarse que la predicción no había sido acertada, cuando surgió una

nueva fecha para el agotamiento del crudo; el geólogo Victor C. Anderson, de la Escuela de Minas de Colorado, predijo que “a mediados de siglo se viviría el agotamiento del suministro mundial”.

Para 1954, ya después de la Segunda Guerra Mundial, lejos de agotarse, el petróleo era más barato y abundante que nunca, y servía de sustento a la creciente industria automovilística. Se buscó entonces, desde el Departamento de Interior de EE. UU., la fecha de 1966, para cuando ya no quedaría ni una gota de oro negro en la Tierra, y la prensa repetía constantemente algo bastante actual: que la gente debería de decirle adiós a su automóvil porque ya no habría con qué alimentarlo.

Finales de la década de los 80, años 2000, 2005... Las predicciones se sucedieron una tras otra y todas acabaron por desmentirse. En 2019, justo antes de la crisis de COVID19, se batió el récord de extracción de crudo, con más de 94 millones de barriles al día.

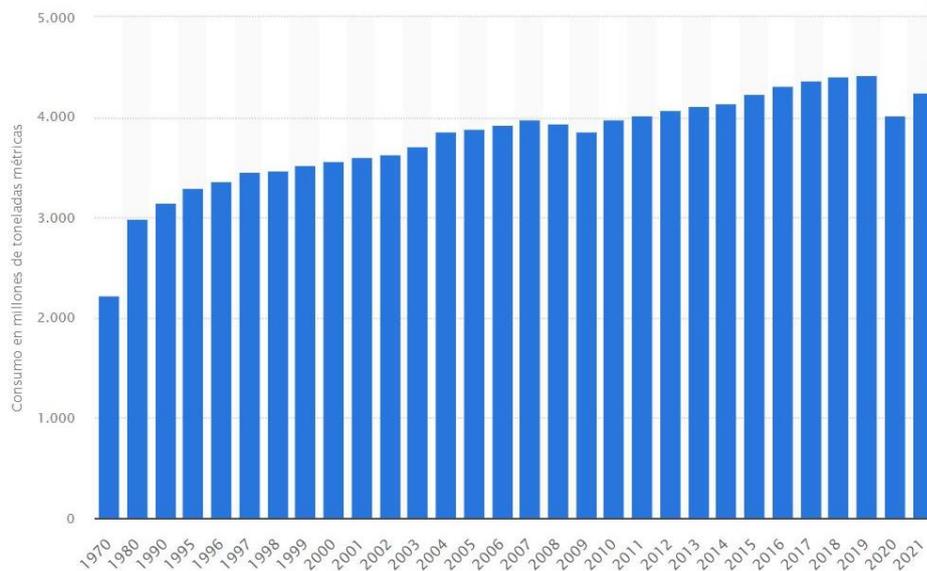


Figura 3.1. Producción de petróleo desde 1970 (Fuente: Banco Mundial)

Los agoreros, que no ven cumplidas sus predicciones, dicen ahora que, ya que los combustibles fósiles no se agotan, debemos dejar de consumirlos por nuestro bien. Ciertamente, el petróleo no parece que se vaya a acabar dentro de poco; y tanto la gasolina como el resto de sus derivados seguirán siendo fundamentales en nuestras vidas y en el desarrollo humano durante bastante tiempo.

### 3.2 Estado del arte del mercado del Oil&Gas

En el mundo contemporáneo, el petróleo es vital para el funcionamiento de la mayoría de industrias, y esencial para el sustento del mundo industrializado; además, es un bien energético muy importante, alimentando desde un 30% del consumo en Europa hasta más de la mitad en Oriente Medio.

Son muchas y muy elevadas las inversiones necesarias para echar a andar un proyecto relacionado con el mundo del petróleo, sobre todo si hablamos de extracción y producción. Así mismo, es imprescindible una planificación óptima, tanto de los campos de producción de hidrocarburos como de los costes de capital y de operación, para sacar el mayor rédito económico posible.

Un aspecto primordial en la industria del petróleo es conseguir maximizar la creación de valor técnico-económico, mediante el aprovechamiento de todos los recursos asignados. Para ello, la labor de la ingeniería es fundamental, para operar de la forma más eficiente y segura posible.

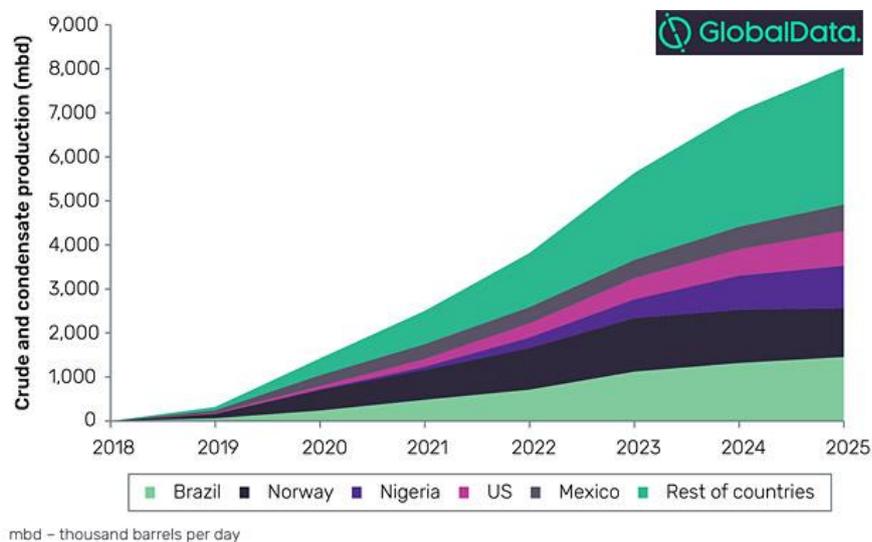


Figura 3.2 Previsiones de extracción de crudo (Fuente: GlobalData, Oil and Gas Intelligence Center)

En proyectos de tal magnitud, es imprescindible un detallado estudio de viabilidad económica, que incluya costes y beneficios previstos a futuro. Las empresas petroleras se encargan desde los primeros momentos del proyecto en calcular (o aproximar) los costes de proyecto, producción, instalación, mantenimiento, operación... y los beneficios que generará en los años que se previera estar en funcionamiento.

El estudio detallado del mercado del petróleo es clave en este sentido, de modo que si el producto tendrá un alto precio de venta los beneficios podrán ser realmente elevado. Así mismo, este sector, al igual que el naviero, es cíclico y muy volátil; siendo realmente probable que le precio del crudo varíe a lo largo de la vida útil de la plataforma.

Precio del petróleo OPEP 2022		
Fecha	Precio \$	Precio €
Septiembre 2022	98,75 \$	97,50 €
Agosto 2022	101,90 \$	100,61 €
Julio 2022	108,60 \$	106,69 €
Junio 2022	117,72 \$	111,41 €
Mayo 2022	113,94 \$	107,71 €
Abril 2022	105,52 \$	97,53 €
Marzo 2022	113,61 \$	103,10 €
Febrero 2022	94,21 \$	83,06 €
Enero 2022	85,40 \$	75,48 €
Diciembre 2021	74,37 \$	65,79 €
Noviembre 2021	80,34 \$	70,39 €
Octubre 2021	82,07 \$	70,74 €

Figura 3.3 Precio del barril de petróleo desde octubre del 21 (Fuente: OPEP, vía Diario Expansión)

En la *Figura 3.3* se puede ver la evolución del precio del petróleo de los países de la OPEP en el último año y la tendencia alcista que lleva desde el pasado marzo, síntoma de una reducción notable de la oferta como consecuencia del conflicto en Ucrania.

### 3.3 El sector offshore

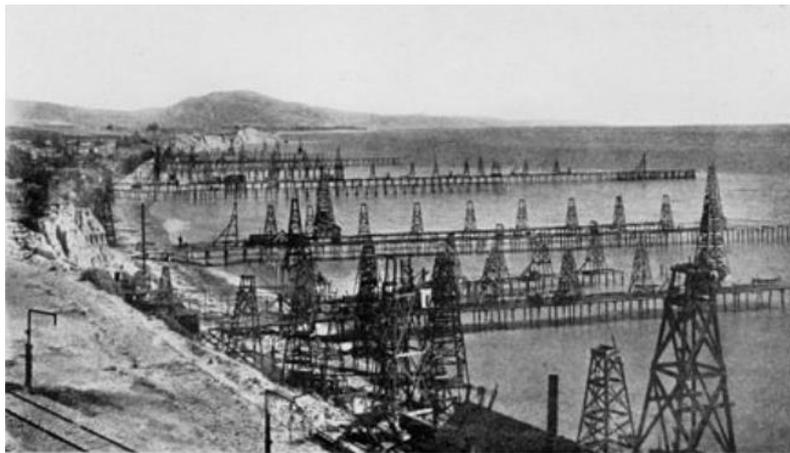
En la industria, se aplica el calificativo “offshore” (del inglés, literalmente ‘en el mar’, ‘lejos de la costa’) a los pozos de petróleo o los parques de energía eólica que no están ubicados en tierra firme.

De forma general, se puede definir una plataforma petrolífera offshore como una instalación industrial de grandes dimensiones cuyo objetivo principal es extraer petróleo y gas natural del fondo del mar, para luego transportarlos a tierra; aunque algunas puedan tener desempeños secundarios, como

almacenamiento de carga, hospedaje de trabajadores y torre de telecomunicaciones.

El primer pozo de petróleo lejos de la costa fue excavado en 1846 por el Imperio Ruso en aguas del Mar Caspio, cerca de Bakú (actual Azerbaiyán). Estas prospecciones se prolongaron hasta principios del siglo XX, cuando en 1915 se extrajo gas natural con éxito por primera vez.

Sin embargo, fue en EE. UU. donde estas exploraciones tuvieron un mayor éxito. Los primeros pozos se abrieron bajo las aguas poco profundas del Lago Erie, en Ohio, a finales del siglo XIX, y la extracción se realizaba mediante estructuras de madera muy rudimentarias. Poco después, se trasladaron las excavaciones por primera vez al mar, concretamente al Canal de Santa Bárbara (CA).



*Figura 3.4 Campos de petróleo de Summerland, 1905 (G.H. Eldridge)*

Se continuó explorando en las costas americanas durante los años siguientes, especialmente las de la Luisiana y el Golfo de México. Campos petroleros como el de *Goose Creek*, en Texas, alcanzaron su pico de producción en el primer cuarto del pasado siglo, y permaneció activa hasta 2006, habiendo producido más de 150 millones de barriles.

Si los años veinte fueron felices para las economías occidentales, lo fueron especialmente para la industria del petróleo. La británica Shell comenzó a explotar pozos del Lago Maracaibo, mediante las primeras plataformas de cemento. La empresa mexicana El Águila llegó a su pico de producción en los

campos de su costa este con cerca de 200 millones de barriles anuales. Al mismo tiempo, la empresa francesa CFP (actual Total) descubrió en 1927 los primeros pozos en las costas de Arabia Saudí.

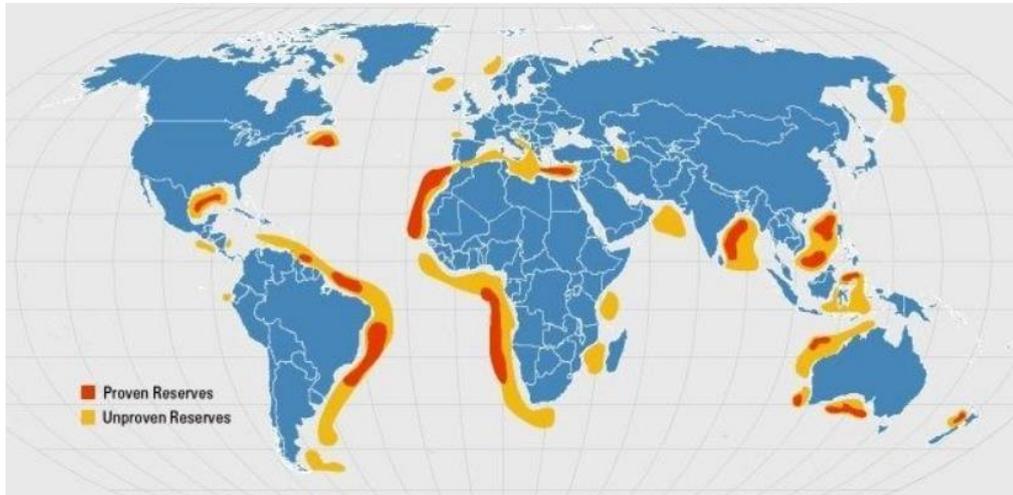


Figura 3.5 Reservas de petróleo y gas exploradas y sin explorar (Fuente: masqueingenieria.com)

Hoy en día, la industria offshore es más importante que nunca, con campos consolidados, continuas exploraciones y descubrimiento de nuevas técnicas de extracción, que permiten salvar con mayor facilidad las grandes profundidades y aprovechar más las reservas.

### 3.3.1 Clasificación de las plataformas offshore

En la actualidad, existen diferentes maneras para clasificar las plataformas offshore, ya sea por su funcionalidad, por la profundidad a la que se instalan o por el propio método de anclaje.

Según la función que cumplen en el campo, las plataformas se dividen en **unidades de producción**, que son aquellas que tienen por objetivo a la producción de petróleo y gas, mediante una planta instalada en su cubierta y que es específica para cada elemento; las **unidades de perforación y extracción**, que poseen una torre de perforación en cubierta y demás equipos necesarios para la extracción de crudo y gas natural, y las **unidades de habilitación**, que sirven principalmente como vivienda para el personal técnico que trabaja en las demás unidades.

## Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

Por otra parte, las reglamentaciones API 17-A e ISO 13628-1 proponen la siguiente división para la profundidad de las aguas: las plataformas estarán en **aguas someras** si la profundidad no supera los 600 m; en **aguas profundas** si se ubican entre los 600 y los 1800 m, o en **aguas ultra profundas**, más allá de los 1800 m.

Por otra parte, en cuanto a su forma de fijación, las primeras plataformas estaban ubicadas cerca de la costa, y era factible anclarlas directamente al lecho marino. Hoy en día, este método aún se utiliza, aunque sólo hasta 300 m ya que según aumenta la profundidad el coste de construcción aumenta de forma exponencial. Existen tres tipos: **Jacket**, **Gravity Base** y **MOPU** (*Mobile Offshore Production Units*).



Figura 3.6 Ejemplo de plataformas fijas (Fuente: DrillingFormulas)

Para mayores profundidades fue necesario buscar otros métodos de fijación para que las plataformas fuesen viables económicamente; de esta forma surgieron los *Floating Production Systems*.

Existen varios tipos de Sistemas Flotantes de Producción, pero todos ellos comparten los elementos principales:

- Casco de flotación. Es el encargado de soportar el peso de los equipos e instalaciones a bordo (*topsides*) y de la propia cubierta que soporta lo anterior. Puede estar compuesto, de forma individual o conjunta, de elementos tales como monocasco, pontona, columnas y/o brazos de sección cuadrangular o rectangular.
- Sistema de anclajes. Son las diferentes líneas de amarre con las que la plataforma se posiciona correctamente sobre los pozos. Si la plataforma es

## Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

la de extracción principal contará a mayores con conductos tubulares para conducir los hidrocarburos desde el fondo del mar hasta la superficie llamados *risers*.

Estos sistemas cuentan con el problema de que son muy susceptibles a la influencia de la meteorología, al presentar menor fijación al fondo; en ocasiones las labores de extracción y producción pueden verse paralizadas, e incluso existir riesgo físico para la tripulación. Además, en muchas ocasiones el espacio de almacenaje es menor que en las plataformas fijas. Sin embargo, pueden operar en varios pozos de extracción diferentes, al poderse desplazar, lo cual es una gran ventaja y permite alargar su vida útil.

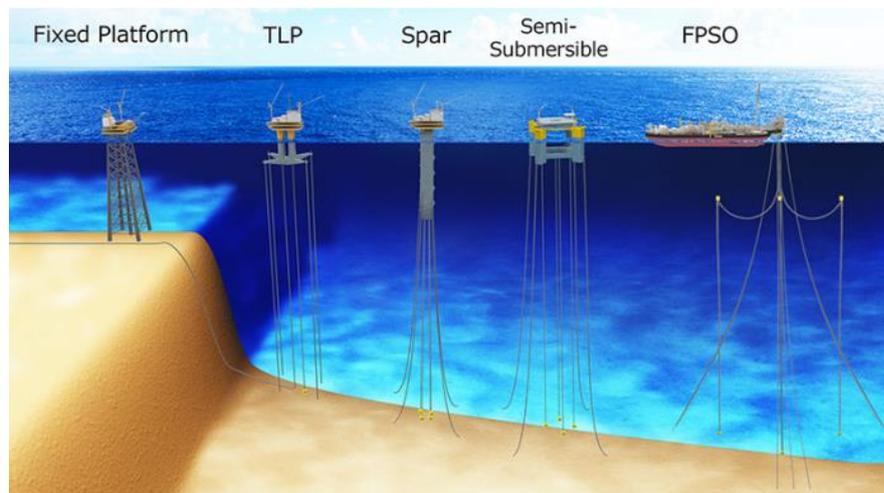


Figura 3.7 Sistemas flotantes de producción (Fuente: Petropedia)

#### - TLP (Tension Leg Platform)

Las plataformas TLP son unidades de producción híbridas (producción y perforación) que se unen al fondo marino mediante cables tensionados que eliminan las oscilaciones verticales. Son especialmente adecuadas para profundidades hasta 900m.

Usualmente, se componen de tres o cuatro columnas que se apoyan en una pontona; el casco presentará una flotabilidad positiva, lo que producirá que

## Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

los tirantes, normalmente fabricados de acero, tengan la particularidad de estar dimensionados para soportar cargas a tracción.



Figura 3.8 Representación de plataforma TLP (Fuente: masqueingenieria.com)

**- SPAR**

Al igual que las TLP, las plataformas tipo SPAR tienen como objetivo principal tanto la perforación como la extracción de los hidrocarburos en aguas profundas. Su principal característica es que están construidas con columna de gran diámetro cuyo objetivo es dotarla de estabilidad y flotabilidad, además de ayudar estructuralmente a soportar el propio peso de la plataforma y todos sus equipos.



Figura 9 Plataforma Mad Dog Spar  
(Fuente: refeeniring.com)

## Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

Unos tendones rígidos de acero forman el sistema de amarre, y se disponen enrollados a la columna, aportándole a la estructura soporte y direccionalidad.

Existen tres tipos fundamentales de plataformas SPAR: la tradicional; la *SPAR Truss*, que permite almacenar a bordo el fuel, y la *SPAR Cell*, que posee una estructura de tamaño reducido con respecto a la tradicional y consigue mejorar su comportamiento ante inclemencias meteorológicas.

### - Semisumergible

Este tipo de plataformas son especialmente adecuadas para labores de perforación y producción en algunas profundas o ultra profundas. Se componen de cuatro o seis columnas sobre una pontona o dos barcasas que las soportan, formando el casco y dotando al sistema de flotabilidad.



Figura 10 Plataforma semisumergible Serooskerke  
(Fuente: SectorMarítimo)

Las líneas de amarre (cables o cadenas) poseen anclas que se asientan en el fondo como catenarias de modo que sujetan a la plataforma. Es conveniente que posean un sistema de posicionamiento dinámico para proteger los *risers* ya que, aunque ellos mismos tengan sistemas de protección, las condiciones climáticas pueden provocar grandes movimientos en la estructura.

## - Buques FPSO

Los *Floating Production Storage & Offloading* son buques que tienen por objetivo producir, almacenar y transportar hidrocarburos. Trabajan en todo tipo de aguas, aunque es más frecuente verlos en aguas ultra profundas. Es común que estos buques descarguen el fuel a otros buques mercantes para que lo lleven a tierra, y así mantenerse como estaciones de producción y conseguir una mayor eficiencia.

Son embarcaciones de muy grandes dimensiones, con una cubierta amplia equipada con cientos de equipos para el procesado y el almacenaje del crudo. Los buques más grandes poseen una torre de perforación, aunque es más normal que de esta tarea se encarguen barcos propiamente diseñados para ello.

En cuanto a los sistemas de amarre y *risers*, su flexibilidad es especialmente alta debido a las profundidades a las que suele operar, y normalmente heterogéneos en cuando a los materiales.



Figura 11 Buque Terra Nova FPSO (Fuente propia)

## 4 ELECCIÓN DEL TIPO DE PLATAFORMA

### 4.1 Habitabilidad en plataformas offshore

La industria offshore, como cualquier otra en constante crecimiento, necesita cada día más trabajadores; muchos de ellos viajan cada día desde tierra hasta las plataformas para trabajar si estas no son muy distantes. Sin embargo, según avanzaban las exploraciones y las técnicas de construcción fue posible realizar extracciones en aguas más lejanas a la costa y que hace nada eficiente el traslado diario.

Al principio, barcos o barcazas fondeados eran los encargados de albergar de forma temporal a estos trabajadores, aunque no era la forma más barata ni la más cómoda para el personal. Las plataformas auxiliares para acomodación son más rentables (al tener única y exclusivamente esa función) y mucho más estables ante la influencia del clima y el oleaje.

### 4.2 Justificación plataforma TLP

Vistas las condiciones de vida en el mar, se distinguen como criterios más importantes para tener en cuenta a la hora de diseñar una plataforma de habilitación su resistencia las condiciones climatológicas a las que se enfrentará (oleaje, viento, lluvia y corrientes) y la capacidad para recuperar correctamente su posición una vez que se vea sometida a grandes estímulos, o, dicho de otra forma, su estabilidad.

Esta estabilidad, por otra parte, no debe de ser excesiva: que la plataforma recupere demasiado rápido su posición hace que sea menos probable su vuelco y hundimiento, pero provoca aceleraciones y desplazamientos que no son compatibles para el bienestar de la tripulación y la operabilidad de la estructura.

Así, la plataforma TLP será la que mejor se ajusta a estas características. La tracción que ejercen los tendones de la plataforma proporciona una sencilla

estabilidad en operación, con desplazamientos verticales casi nulos (llegando como máximo a 1,5 m) y desplazamientos horizontales muy reducidos (la rigidez que tienen los tendones y su ángulo limitado en las conexiones hacen que la desviación no supere generalmente el 5% de la profundidad de los amarres).

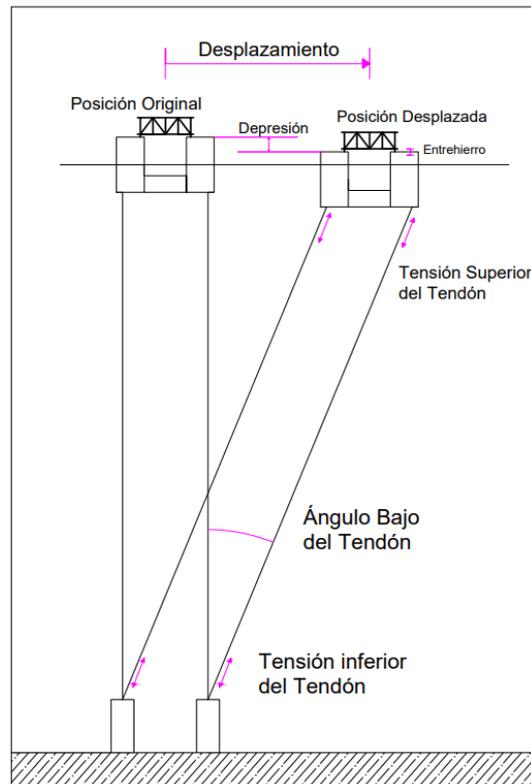


Figura 4.1 Esquema de plataforma TLP desplazada (Elaboración propia)

Por otra parte, la viabilidad económica es clave en este tipo de plataformas. Si bien el coste operacional es bastante reducido, la inversión inicial tanto de la plataforma como de los tendones sobre todo es considerable.

### 4.3 Componentes de las plataformas TLP

Las plataformas TLP, aunque puedan llegar a ser muy diferentes entre sí, comparten unos componentes comunes, que son la superestructura, comúnmente conocida como *topsides*; el casco, y el sistema de tendones que la sujetan al fondo.

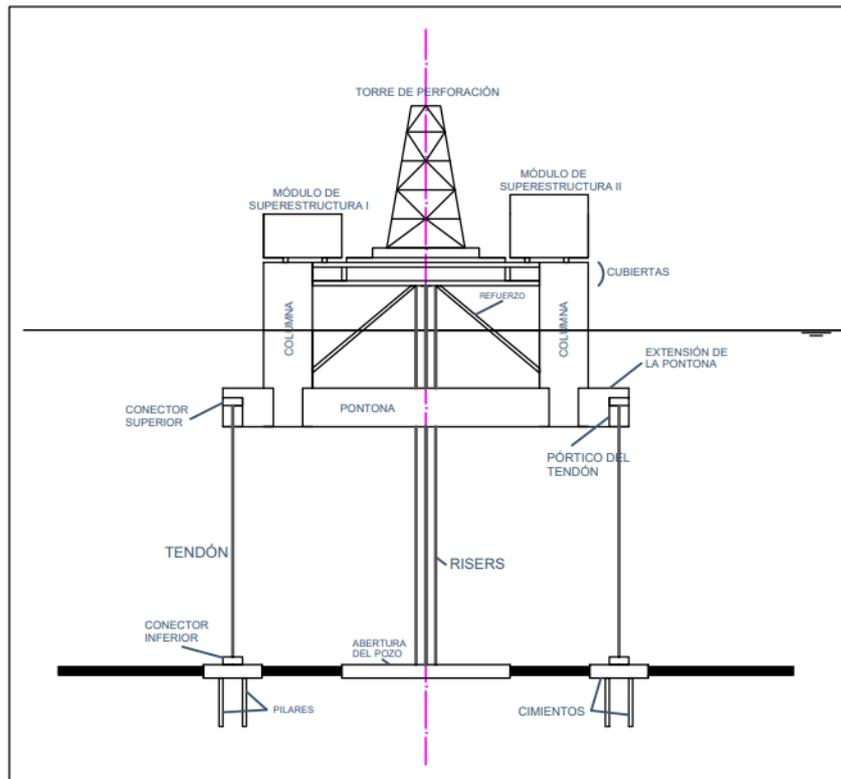


Figura 4.2 Componentes generales de una plataforma TLP (Elaboración propia)

### 4.3.1 Superestructura

Incluye todas instalaciones, equipos y máquinas que se encuentran sobre la cubierta y la propia cubierta. La carga que soportará viene determinada por su funcionalidad

### 4.3.2 Casco

La principal diferencia entre las plataformas TLP es la estructura de su casco, pues es donde más posibilidades de diseño existen, variando en función de los esfuerzos a los que se verá sometida (tanto propios de la operación como naturales). Se distinguen cuatro tipos principales:

- Conventional TLP. La configuración más utilizada y la primera en ser desarrollada. La estructura de la pontona se sustenta en cuatro columnas a las que normalmente se unen los tendones, que varían entre 2 y 4 por columna.
- Mini TLP/Seastar TLP. Consta de una columna a la que se unen tres brazos que pueden ser de sección variable.
- Moses TLP. Las columnas esta vez son alargadas y se disponen formando una cruz.
- Extended TLP. Variación de la plataforma convencional, a la que se añade una extensión de la pontona en la zona de las patas.

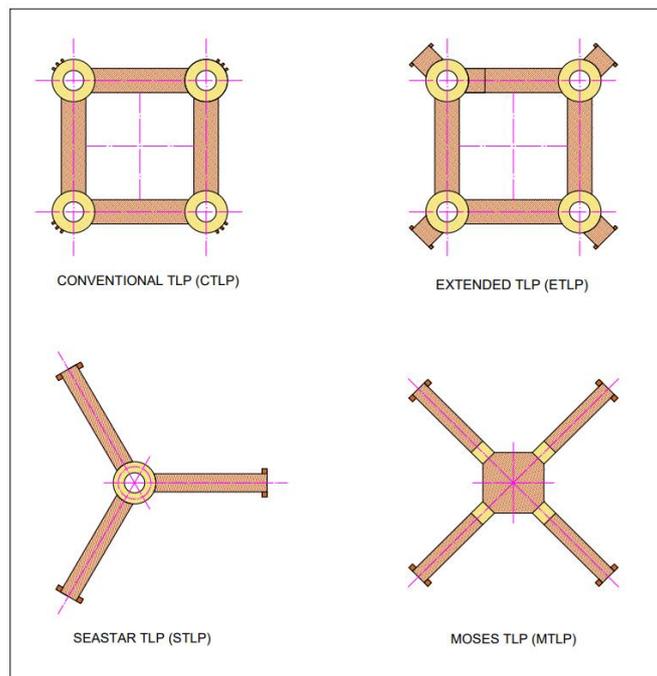


Figura 4.3 Tipos de estructuras TLP (Elaboración propia)

### 4.3.3 Sistema de tendones

El sistema de tendones incluye tanto a los propios tendones de acero como a los conectores, cimientos del fondo marino y sistemas de medición y demás equipos de monitorización para que la operación se desarrolle correctamente.

#### - Tendones

Es el elemento característico de este tipo de plataformas y el que las sujeta al fondo del mar. Poseen una flexibilidad y rigidez tal que impide posibles

desplazamientos verticales y horizontales, pero permitiendo un pequeño giro rotativo.

El número de tendones de una plataforma depende de la geometría del casco, como se puede observar en la Figura 4.3, distribuyendo la tensión que soportan entre todos ellos.

La forma de clasificar los tendones puede ser en función del material del que estén fabricados (nylon, fibras de poliéster, polipropileno, aramida, polietileno...) o por la forma de su sección [macizas, tubulares (vacías o parcial o completamente inundadas) o de materiales sintéticos].

#### - Conectores

Proporcionan a los tendones el correcto anclaje tanto a los cimientos del fondo marino (*bottom connectors*) como a la propia plataforma (*top connectors*). En ocasiones en las que la profundidad es muy grande, pueden estar instalados en los propios tendones para asegurar la soldadura.

#### - Cimientos

También conocidos como *foundations*, son los encargados de transferir las cargas ejercidas por los tendones al fondo marino. Debido a esto, el estudio geológico del lugar donde se anclarán es clave para evitar cualquier tipo de problema futuro y saber qué tipo de cimentación se deberá usar. Bureau Veritas clasifica los cimientos en tres tipos: *Long piles foundations*; *Shallow foundations* (como los *Gravity Base* o *Mudmats*), y *Suction piles and caissons*.

## 4.4 Elección de la geometría definitiva

Una vez estudiados los tipos de plataformas y analizada la base de datos se llega a la conclusión de que la geometría más adecuada para el problema que se aborda en este proyecto es la SeaStar TLP, principalmente por dos motivos:

1. El volumen de acero necesario es reducido comparado con el resto de geometrías, por lo que el precio será inferior. De la misma manera, el

número de tendones es normalmente de 6 (dos por brazo) por hasta 16 que puede tener la CTLP.

2. La resistencia será suficiente ya que la plataforma no soportará grandes pesos debido a su funcionalidad. Las plataformas que se dedican a la perforación y producción cuentan con grandes maquinarias muy pesadas, que no están presentes en las dedicadas a la habilitación, como es nuestro caso.

## 5 ESTUDIO DE EMPLAZAMIENTO

El estudio del emplazamiento es en un proyecto real lo primero en realizarse, antes de plantearse si quiera qué tipo de plataforma se construirá, pues de la producción estimada dependerá la viabilidad económica.

En este caso, la localización de la plataforma será también muy importante, pues definirá las cargas ambientales a las que está sometida la estructura de la plataforma.

### 5.1 Yacimiento Petrolífero Marlim Sur

El Campo de Marlim es un enorme yacimiento petrolífero ubicado en la zona noroeste de la Cuenca de Campos, a 110 km de las costas de Río de Janeiro (Brasil), con profundidades que oscilan entre los 650 y los 1050 m.

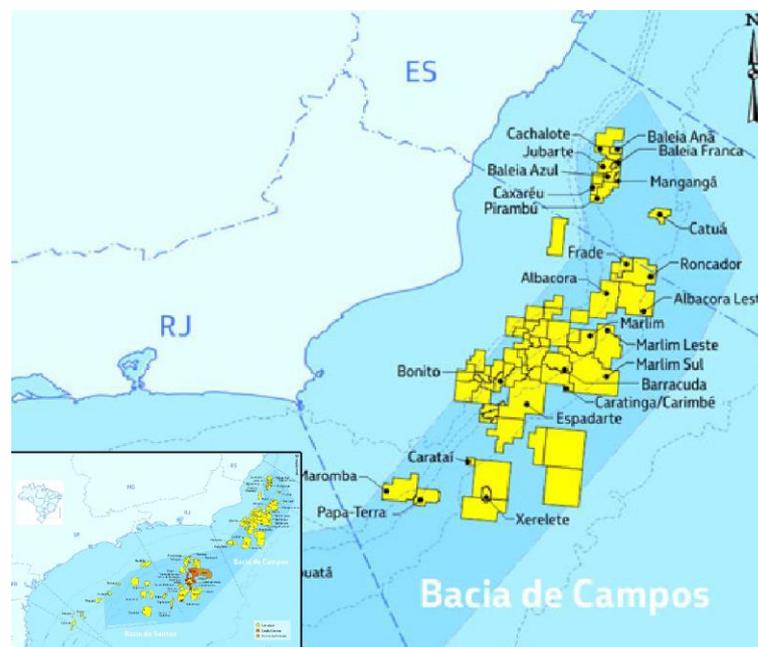


Figura 5.1 Mapa de la Cuenca de Campos (Fuente: bnamericas.com)

La ubicación exacta se encontrará en Marlim Sur [22° 37' 40.8" S, 40° 0' 18" W], en una profundidad de 850 m, pudiendo prestar servicios a plataformas que operan en el mismo yacimiento, como las semisumergibles Petrobras LVI y Petrobras XIX.

## Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

El campo fue descubierto a principios de 1985, siendo el primer pozo una columna de 75 m de longitud excavado en un fondo donde predominaba la arenisca de baja permeabilidad. El petróleo encontrado era de alta gravedad (entre 17 y 21 grados API), y en el momento inicial se estimaban unas reservas de 9.000 millones de barriles.

Actualmente, la brasileña Petrobras es la encargada de la explotación del yacimiento a través de sus numerosas plataformas semisumergibles y buques FPSO, como el *Cidade de Niterói* o el *Carioca*.

## 5.2 Condiciones Físicas

Como se ha indicado previamente, conocer las condiciones físicas del lugar donde se instalará la plataforma es fundamental a la hora de su diseño, tanto para prever los problemas que podrá sufrir en su funcionamiento futuro como para diseñar correctamente el reparto de esfuerzos de la estructura.

### 5.2.1 Estudio de batimetría

La batimetría es el estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazado de mapas isóbatas. En el ámbito de las plataformas offshore el estudio batimétrico cobra una gran importancia. Al contrario de lo que ocurre con los buques, las plataformas no operan en la superficie, sino en el fondo, y conocer la profundidad a la que se instalará servirá a la hora de elegir el tipo de plataforma y su geometría.

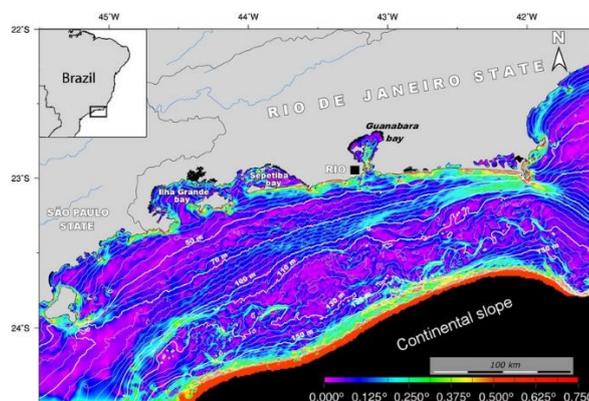


Figura 2 Figura 4.2 Batimetría de la plataforma continental de la costa de Río de Janeiro (Fuente: Serviço Geológico do Brasil)

## Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

En este caso, las plataformas TLP, debido a sus características con respecto al sistema de tendones, no son adecuadas para aguas con demasiada profundidad, ya que el sistema de amarres podría sufrir un colapso.

En la siguiente figura se puede observar un mapa de la batimetría de la zona en la que operará nuestro proyecto que, como se indicó anteriormente, ronda profundidades de 800 m.

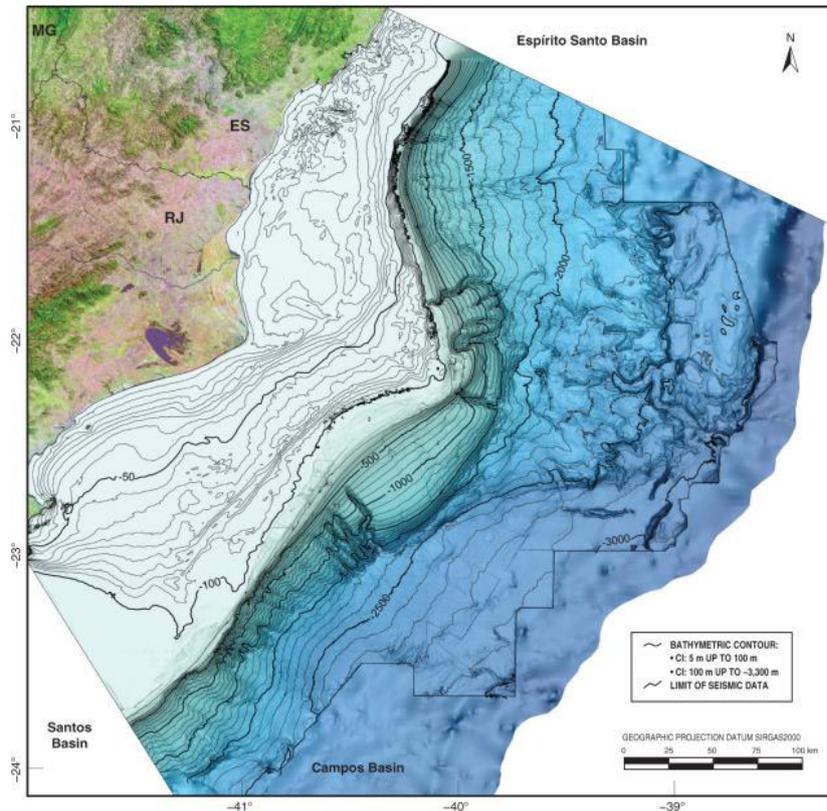


Figura 5.3 Batimetría de la Cuenca de Campos (Fuente: Sirgas2000)

### 5.2.2 Estudio Geológico

La Cuenca de Campos es, con 100.000 km<sup>2</sup>, la mayor en producción de todo Brasil, teniendo en operación actualmente 1.248 pozos explotados por 52 plataformas, lo que supone el 59,2 % de toda la producción del país.

En términos de reservas de petróleo, la Cuenca de Campos es privilegiada debido a su composición geológica. Su evolución tectonoestratigráfica se divide en Rift y Deriva, y se originó en el Cretácico, hace alrededor de 140 millones de años. Las rocas que almacenan el crudo son láminas orgánicas compuestas por areniscas turbidíticas, calizas y cocos de Barrem creadas en la ruptura de

Gondwana (la parte sur de Pangea) y el posterior desplazamiento del lecho marino (112Ma).

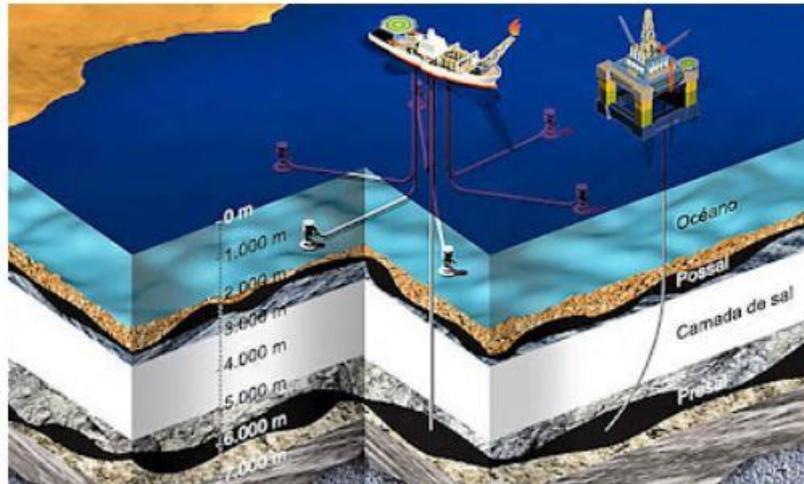


Figura 5.4 Esquema estratigráfico de un campo petrolífero (Petróleo Internacional, junio 2010)

La estratigrafía comienza con basaltos superpuestos por lutitas verdes ricas orgánicamente, seguido de calizas y areniscas continentales y conglomerados, en transición a sedimentos marinos con evaporitas y dolomitas. A continuación, están las calizas marinas poco profundas, turbiditas y finalmente encontramos el crudo.

### 5.3 Condiciones Climáticas

Como se indicó anteriormente, el clima caracteriza de gran manera la ubicación en la que se instalará la plataforma, y puede acarrear grandes consecuencias al producir desgaste en la estructura, peligros para la tripulación o, en caso de ser favorable, ahorrar costes en medidas de prevención.

#### 5.3.1 Viento

El viento puede provocar desperfectos en cubierta si con frecuencia se presenta racheado, o afectar a los tendones si la dirección es constante e intensa. En la figura siguiente se puede observar el viento del litoral carioca en un año.

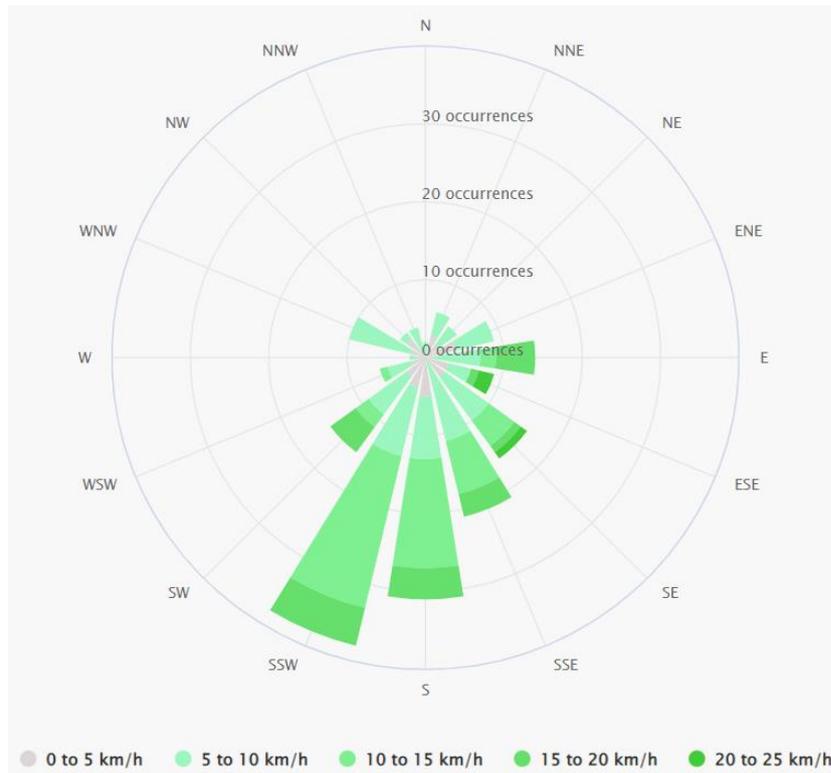


Figura 5.5 Rosa de los vientos del litoral de Río de Janeiro (Fuente: meteoblue.com)

Como se puede observar, el viento es mayormente de componente sur y sursuroeste, con velocidades que no suelen superar los 25 km/h. No supone en este caso un gran problema al tratarse de bajas intensidades, aunque debe ser tomado en cuenta que la dirección suele ser constante para ajustar de forma correcta los tendones, ya que soportarán más carga en ese sentido.

### 5.3.2 Corriente

Las corrientes oceánicas son movimientos de grandes masas de agua causadas principalmente por la rotación terrestre, aunque tienen gran influencia la translación del planeta, la forma de las costas y la ubicación relativa de las mismas. El viento, por el contrario de lo que se acostumbra a creer, tiene un efecto nulo en las corrientes marinas.

Al hablar de corrientes en el subcontinente sudamericano es imposible no referirse a la que en este caso nos atañe, ya que influye de lleno en la ubicación que se ha planteado, y es quizás una de las importantes del mundo: la Corriente de Brasil.

La Corriente de Brasil es una corriente límite occidental débil que transporta agua subtropical cálida de norte a sur, recorriendo la costa oriental de Sudamérica desde los 9°S hasta los 38°S y está generalmente limitada a los 600 m de columna de agua más superficiales.

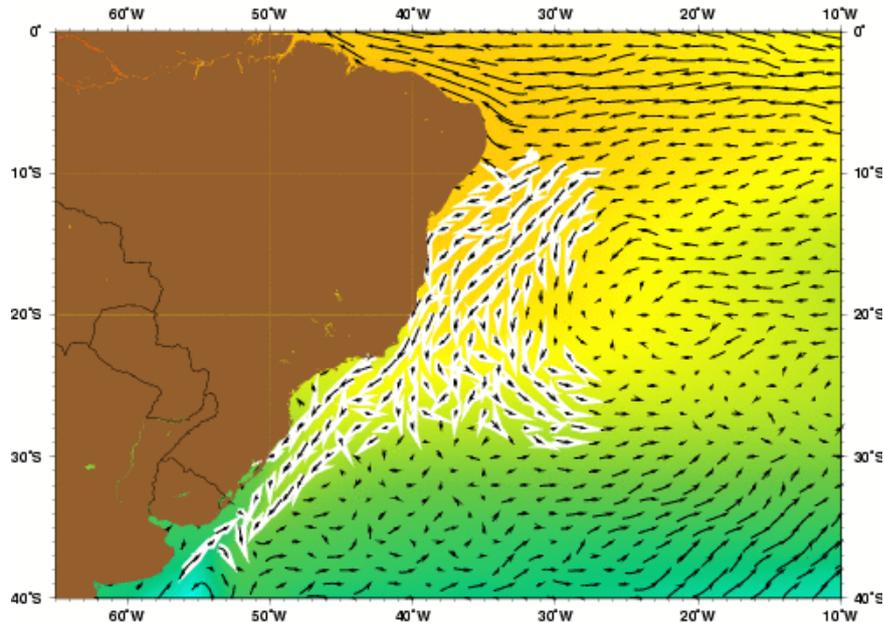


Figura 5.6 Velocidad y dirección de la corriente de Brasil (Fuente: [oceancurrents.com](http://oceancurrents.com))

El transporte de la Corriente de Brasil es bajo en comparación con su contraparte en el Atlántico Norte (la Corriente del Golfo). Sin embargo, los problemas que causa esta corriente es en su parte Norte, ya que afecta directamente al espacio continental, con velocidades de entre 50 y 60 cm/s. A 20°S se han encontrado valores de transporte de hasta 6,5 Sv en aguas superficiales; aquí, la corriente se encuentra con la dorsal Vitoria-Trindade, una cadena montañosa submarina que produce un giro ciclónico en la corriente.

A medida que la corriente fluye hacia el Sur, su flujo se va intensificando en un 5% cada 100 km, valores normales en corrientes atlánticas, llegando en los 33°S los 21 Sv, donde se encuentra con las Corriente de las Malvinas.

### 5.3.3 Oleaje

La importancia del oleaje en este proyecto radica principalmente en el hallar la altura de ola significativa ( $H_s$ ), pues será clave en los cálculos de la seguridad de la cubierta.

Según datos del *Laboratório de Oceanografia Física del Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM)*, las direcciones de olas más frecuentes son entre  $160$  y  $190^\circ$  (E-NE), estableciéndose el período pico con una distribución aproximadamente normal con el máximo alrededor de  $10$  s.

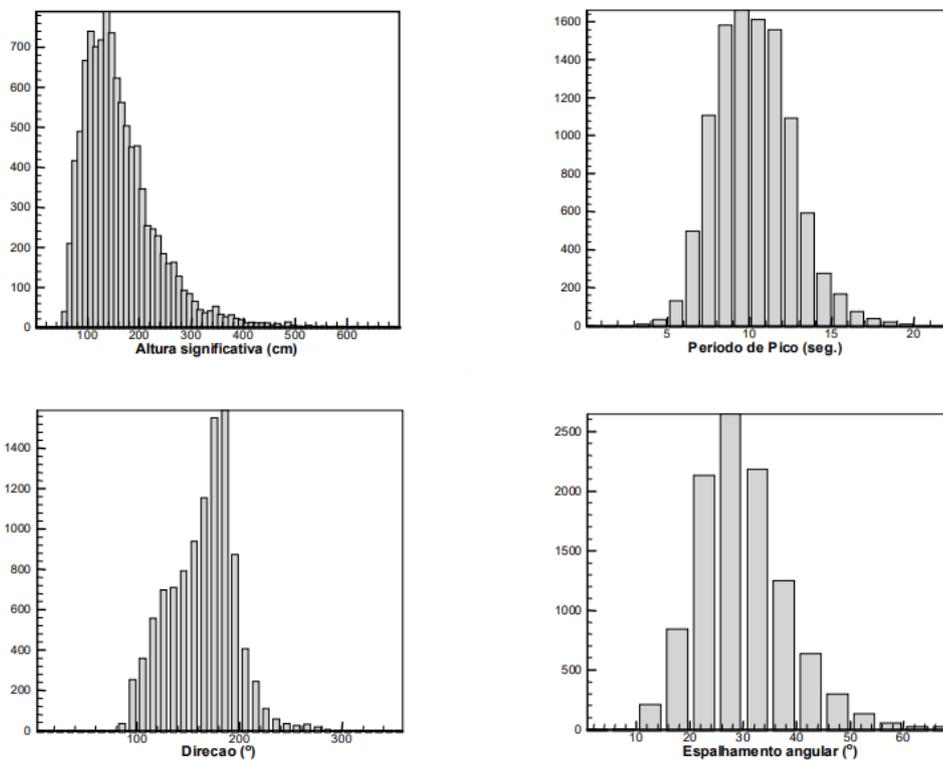


Figura 7 Histogramas de las principales características del oleaje (Fuente: IEAPM)

La altura de ola significativa se define como el promedio del tercio superior de olas registradas. La ola más alta registrada alcanzó los  $4,89$  m, y se obtuvo, estableciendo como duración del análisis aquel tiempo en el que la ola se mantuvo con una altura mínima de  $1$  m, una altura de ola significativa de  $1,15$  m.

Plataforma offshore TLP para habilitación y carga

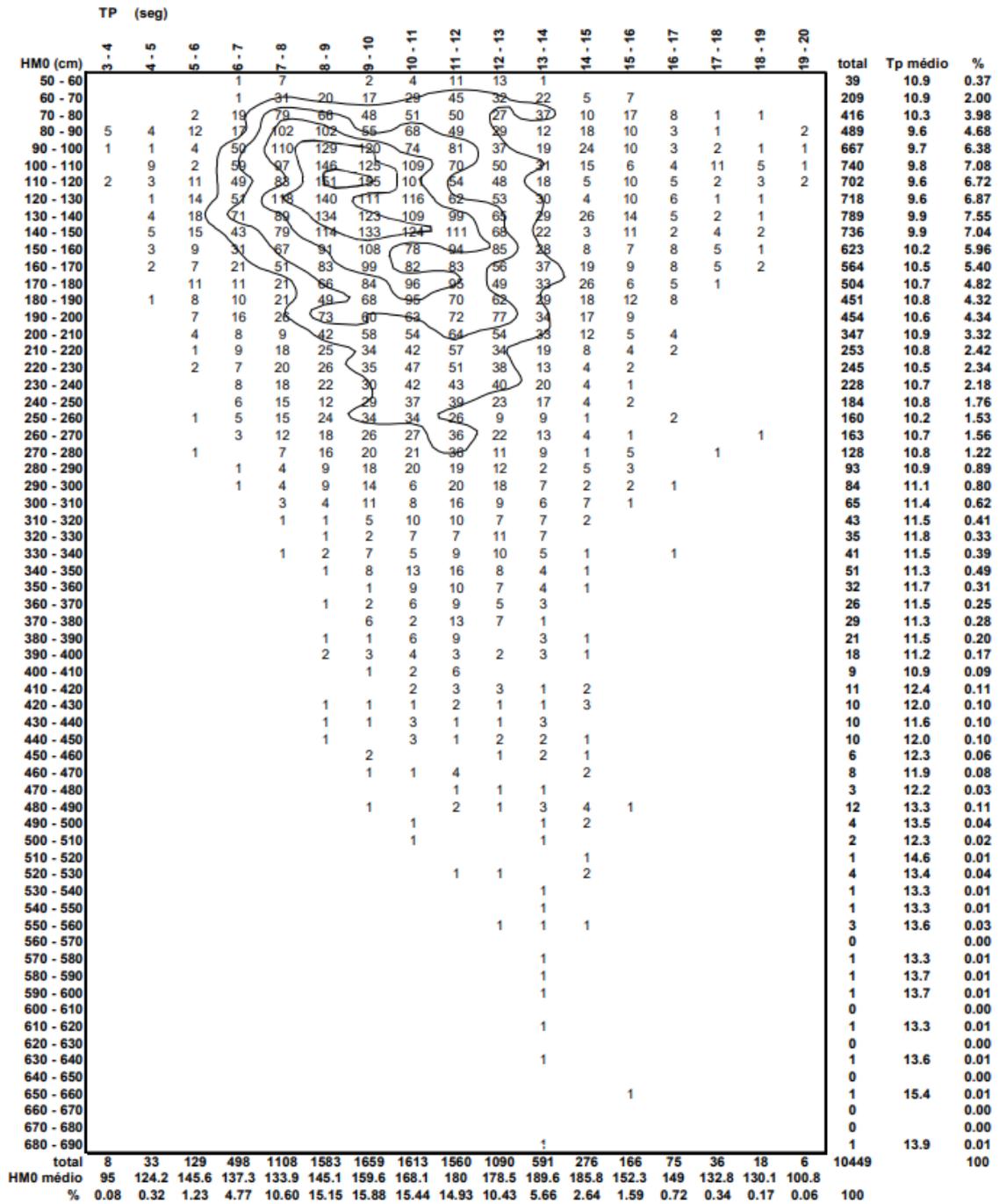
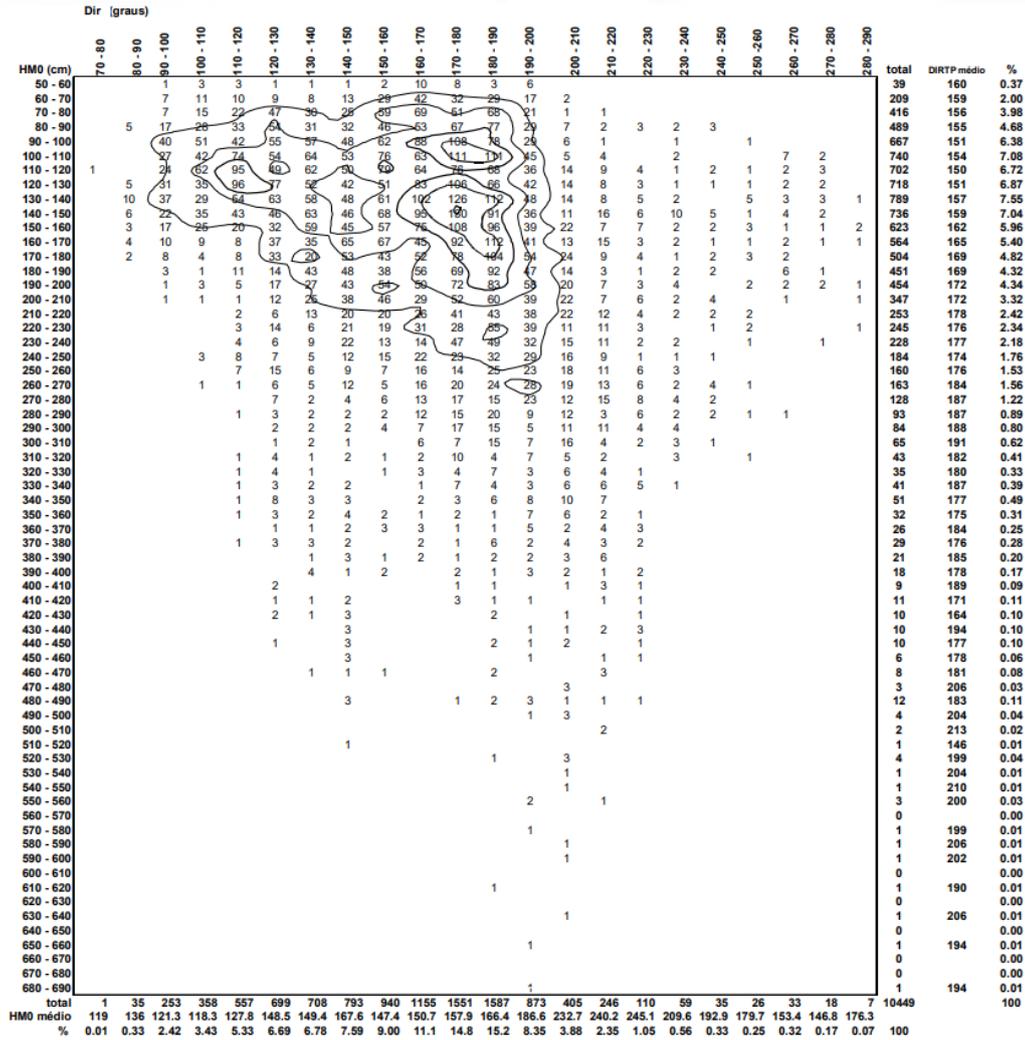


Figura 8 Diagrama de presencia conjunta de Altura significativa y período máximo (Fuente: IEAPM)

Plataforma offshore TLP para habilitación y carga



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CHELTON, Dudley B. (2005). *Global Microwave Satellite Observations of Sea Surface Temperature for Numerical Weather Prediction and Climate Research*, Bulletin of the American Meteorological Society.
- [2] CLEMENTE, Pilar (2013). *Petroleum geology of the Campos and Santos basins, Lower Cretaceous Brazilian sector of the South Atlantic margin*, Technical University of Denmark.
- [3] 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.
- [4] DÍAZ VILLANUEVA, Fernando (2021). *El año que se acabó el petróleo*, Fernando Díaz Villanueva.
- [5] FRANK, Alison Fleig (2005). *Oil Empire: Visions of Prosperity in Austrian Galicia*, Harvard Historical Studies.
- [6] SORKHABI, Rasoul (2011). *Standard Oil Company: The Rise and Fall of America's Most Famous Monopoly*, Charles River Editors.
- [7] STRAMMA, Lothar (1990). *Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S*, Deep-Sea Research.

