Trabajo Fin de Grado

Implantación de una Instalación para la producción de flotadores para turbinas eólicas marinas en El Puerto Exterior de A Coruña

Implementation of a Facility for the production of floats for offshore wind turbines in the Outer Port of A Coruña

Autor/es

Jara Gracia Román

Director/es

Lucas Sanso Navarro

Ingeniería Mecánica

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2023/24

RESUMEN

Las energías renovables se encuentran en un momento de crecimiento sin precedentes. Entre ellas, la eólica marina está cobrando gran importancia a nivel mundial, produce energía bajo las condiciones más favorables del viento y genera más energía y beneficios que aquellas situadas en tierra firme. En la eólica marina destaca el desarrollo de las tecnologías flotantes, un campo en estudio que permitiría aprovechar la energía del viento en emplazamientos más alejados de la costa y/o con mayor profundidad de lecho marino.

Los nuevos objetivos para reducir las emisiones de carbono a nivel mundial y frenar el cambio climático en un corto medio-plazo llevan a la necesidad de aumentar la capacidad de la eólica offshore drásticamente. Siendo esta una de las principales motivaciones para la redacción de este trabajo.

Este documento tiene como objetivo principal diseñar e implementar el concepto de una planta de producción para flotadores de turbinas eólicas offshore en el Puerto Exterior de A Coruña. Primero, se elegirá el tipo de cimentación a fabricar teniendo en cuenta las características del emplazamiento, el centro de producción y el nivel tecnológico de las distintas tipologías. Siguiendo con un análisis detallado de las diferentes fases de diseño y construcción para la ordenación de la parcela y definición de los espacios necesarios, finalizando con un estudio económico de la misma que garantice la viabilidad del proyecto.

ABSTRACT

Renewable energies are experiencing an unprecedented growth. Among them, offshore wind is gaining importance worldwide, producing energy under the most favourable wind conditions and generating more energy and profit than onshore wind turbines. In offshore wind, the development of floating technologies stands out, a field under study that enables to harness wind energy at sites further away from the coast and/or with greater seabed depth.

The new targets to reduce global carbon footprint and stop climate change in the short-medium term lead to the need to increase the capacity of offshore wind drastically. This is one of the main motivations for the writing of this thesis.

The main objective of this paper is to design and implement the concept of a production plant for wind turbine substructures in the Puerto Exterior de A Coruña. First, the type of foundation to be manufactured will be chosen taking into account the characteristics of the site, the production centre and the technological level of the different typologies. This will be followed by a detailed analysis of the different phases of the design and construction for the development of the factory and definition of the necessary spaces, ending with an economic study to guarantee the viability of the project.

Tabla de contenido

1. Introducción **1**
2. Cimentación a fabricar **3**
2.1. Tipos de cimentación 3
2.2. Tipos de amarre y anclaje para las cimentaciones 3
2.3. Criterios de selección 5
2.4. Selección de cimentación/flotador 6
2.5. Selección del material de fabricación 7
3. Selección geográfica del centro productivo **8**
4. Estudio de las necesidades de la Implantación **9**
5. Diseño del centro productivo **13**
5.1. Central de hormigón 13
5.2. Parcela de producción 15
5.3. Instalación de la turbina 19
5.4. Espacios Auxiliares 24
6. Cronograma **27**
6.1. Urbanización de los terrenos 27
6.2. Construcción Parcela Principal 28
6.3. Construcción Parcela de Instalación 29
7. Modelo Financiero **31**
7.1. Costos iniciales de inversión 31
7.2. Costos operativos 34
7.3. Rentabilidad del Proyecto 35
8. Conclusiones **36**
Bibliografía **37**
ANEXOS **42**
Anexo A: Espacios Auxiliares 42
Anexo B: Cronograma Fabricación Plataforma 43
Anexo C: Cálculos Estudio Financiero 45
Anexo D: Listado de Planos 47

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Tipologías de flotadores más habituales. 1
Ilustración 2: Puertos marinos de Europa. 2
Ilustración 3: Tipos de amarre. 4
Ilustración 4: Tipos de anclaje. 5
Ilustración 5: Infraestructuras Puerto Exterior. 8
Ilustración 6: Planta móvil de Hormigón 9
Ilustración 7: Croquis de las dimensiones de la plataforma 10
Ilustración 8: área de la Plataforma 10
Ilustración 9: Fases 1 Y 2 de la Producción 11
Ilustración 10: Lanzamiento de la Cimentación 11
Ilustración 11: Croquis Zona de Instalación de la Turbina 12
Ilustración 12: Croquis Instalaciones del Puerto 13
Ilustración 13: Planta de Hormigón 14
Ilustración 14: Distribución Planta Hormigón 15
Ilustración 15: Pontona por partes 16
Ilustración 16: Base Unida 16
Ilustración 17: Finalización de la Plataforma 17
Ilustración 18: Configuración Grúa 1300.1 SX 17
Ilustración 19: Plataforma Syncrolift 18
Ilustración 20: Planta Producción 18
Ilustración 21: configuración grúa LR 11350 20
Ilustración 22: Almacenaje Palas de Turbina 21
Ilustración 23: Almacenamiento Secciones de la Torre 21
Ilustración 24: Configuración Grúa 11000 22
Ilustración 25: Parcela de Instalación de la Turbina 23
Ilustración 26: Configuración Grúa 1800 24
Ilustración 27: Módulos de Oficina Prefabricados 25
Ilustración 28: Nave Industrial 26
Ilustración 29: Cronograma Urbanización del Terreno 28
Ilustración 30: Cronograma Construcción de la Parcela 30
Ilustración 31: Cronograma Conjunto 30

Índice de Tablas

Tabla 1: Características de los modelos de plataforma flotante....6
Tabla 2: Análisis multicriterio de los modelos de plataforma flotante con respecto a la planta de producción 7
Tabla 3: Características de los materiales para cimentaciones....7
Tabla 4: Espacios de la Planta por Zonas 18
Tabla 5: Precios Maquinaria Utilizada 31
Tabla 6: Costes edificación 32
Tabla 7: Resumen Costes Totales CAPEX 33
Tabla 8: Costes de Fabricaión de la Plataforma 34
Tabla 9: Tarifas de Alquiler....34
Tabla 10: Resumen Costes OPEX....35
Tabla 11: Indicadores Financieros....35
Tabla 12: Tiempos de Producción de la Parcela....44
Tabla 13: Flujos de Caja 47

1. Introducción

A lo largo de los últimos años, ha aparecido una nueva forma de producir energía eólica en el mar. Esta es a través de turbinas eólicas flotantes. Estas turbinas se sitúan en mar abierto, sostenidas por una gran estructura flotante que les da estabilidad, sujeta por cables al lecho marino para impedir el vuelco y limitar el movimiento de la misma. Una de sus principales ventajas es la fuerza y constancia que posee el viento, debido a la ausencia de agentes geográficos en alta mar. Por el contrario, están sometidas a un sistema de carga más complejo, así como de desgate, lo que supone, desde un inicio, una inversión económica considerable. Hasta el momento, los 5 tipos de flotadores más comunes que se manejan dentro de la industria del *Floating Offshore Wind* (o FOW) son:

1. Plataforma de patas tensionadas o *Tension Leg Platform* (TLP);
2. Semi-sumergible o *semi-submersible;*
3. Barcaza o *Barge;*
4. Boya tipo Spar, cuenta la variante de Contrapeso suspendido.

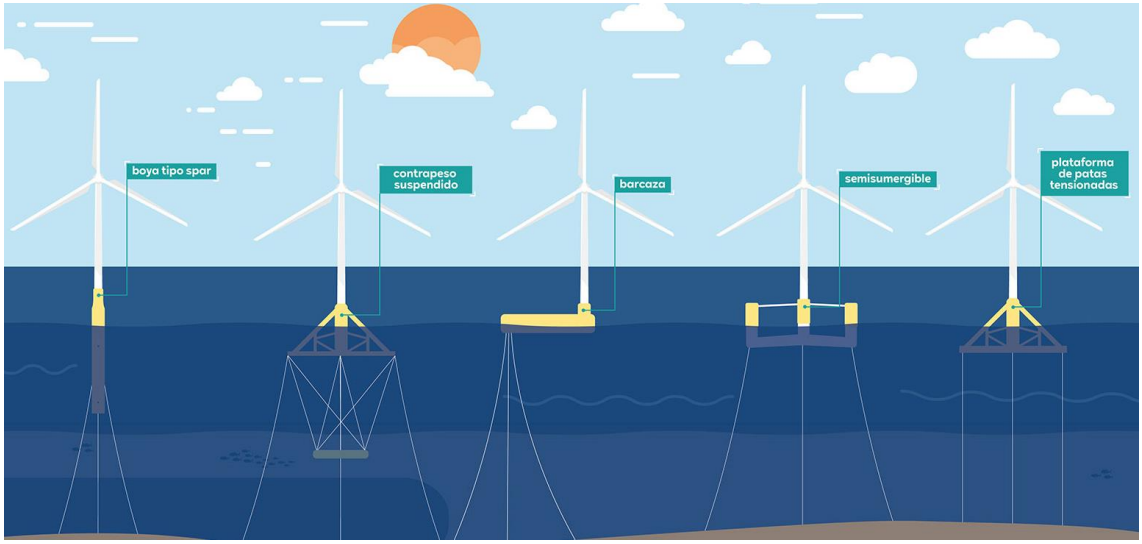


ILUSTRACIÓN 1: TIPOLOGÍAS DE FLOTADORES MÁS HABITUALES. (FUENTE: [3])

Los primeros parques eólicos flotantes se fundaron en Escocia, Hywind Scotland, puesto en marcha en octubre de 2017; Portugal, que cuenta con un parque con 3 turbinas, desde 2019, llamado WindFloat Atlantic; y a finales del 2021, se inauguró el parque eólico de Kincardine, también en Escocia.

Actualmente, el proyecto más grande se encuentra en las costas de Noruega, llamado Hywind Tamper, con una capacidad de 88 MW, se encarga de suministrar energía a las instalaciones de petróleo y gas en alta mar Equinor, una compañía energética. Se quiere utilizar para continuar desarrollando la tecnología de la eólica flotante y reducir el coste de fabricación de futuros parques.

Geográficamente, Europa tiene la mayor participación en este mercado, además de grandes proyectos para continuar aumentando su capacidad. Asia y América también están apostando por

este tipo de energías. China planea construir el parque eólico más grande del mundo para finales de 2027, y ya cuenta con el 60-70% del mercado eólico del mundo [1]. En cuanto a América, tiene el objetivo de instalar 15 GW para finales de 2035 [1].

Se espera un aumento significativo de la capacidad global de energía eólica, pasando de 950 GW en 2022 a 6,400 GW para 2050. De esta capacidad, se estima que un 5% será energía eólica offshore. Así, se puede decir que esta última alcanzará hasta 320 GW de capacidad, que dividido entre la potencia comúnmente asociada a las turbinas eólicas flotantes, que es de 15 MW, se deduce que serán al menos necesarias 21,334 turbinas para poder cubrir la demanda global hasta ese periodo.

Para concluir, el 3% del consumo de energía eléctrica en Europa está cubierto por eólica marina, con 30.3 GW de capacidad y 126 parques distribuidos en 13 países. Para mantener, transportar y construir las infraestructuras necesarias los puertos juegan un papel fundamental. Actualmente, estos están repartidos a lo largo de toda la costa europea, identificando que, hasta 35 puertos, colaboran o muestran interés en el desarrollo de estas fuentes de energía. El gobierno europeo se ha comprometido a llegar hasta los 150 GW de potencia para finales de la década, esto supone una gran expansión a corto y medio plazo, por tanto, los puertos deben adaptarse, incrementando su capacidad, instalaciones, tecnología y promover la cooperación entre ellos, para ayudar a cumplir estos objetivos.

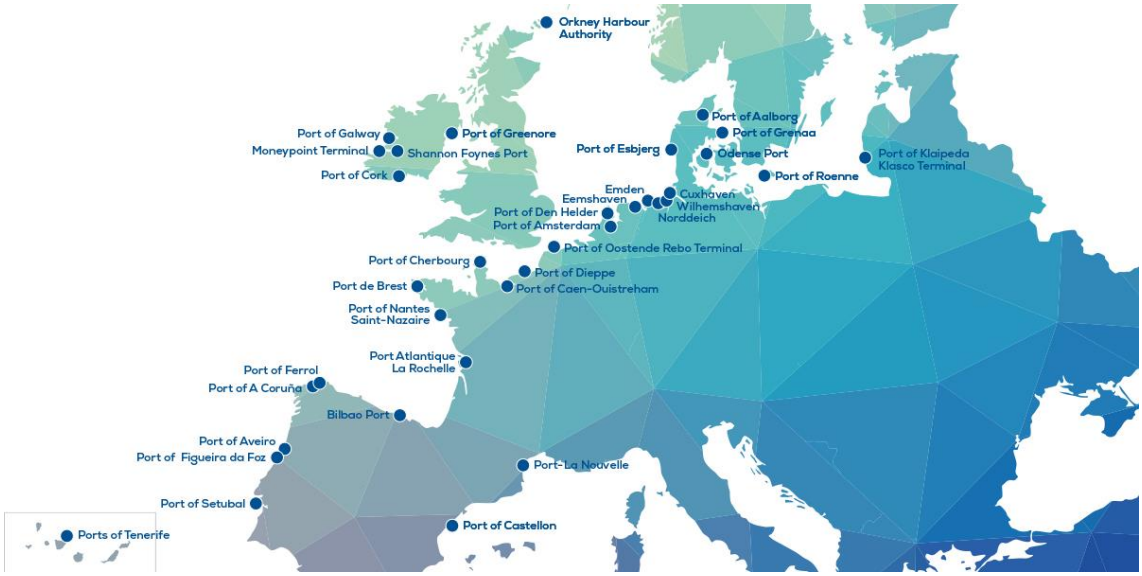


ILUSTRACIÓN 2: PUERTOS MARINOS DE EUROPA. (FUENTE: [5])

2. Cimentación a fabricar

2.1. Tipos de cimentación

A continuación, se realizará una descripción breve de las características de cada tipo de flotador:

- **SPAR:** Este modelo cuenta con una forma cilíndrica y por ello tiende a flotar horizontalmente, para evitar este problema, es decir, para que flote según su longitud mayor, se coloca peso en la parte opuesta a donde se coloca la turbina, en el punto más bajo posible. Generalmente, tienen longitudes entre 70 y 90 m, lo que hace que sea difícil de transportar e instalar, requiere grandes calados. Para su transporte es necesaria una importante dotación de navíos para cargas pesadas, lo que supone un aumento de los costes y exigencias con respecto a la disponibilidad de flota.
- **Plataforma de patas tensionas (TLP):** Hasta el momento es el concepto más novedoso, posee una geometría de estrella de 3, 4 o 5 brazos que permite disminuir el peso y volumen de la plataforma. La plataforma flota sin carga antes de instalar el aerogenerador, esto crea la necesidad de acoplar flotadores para transportar la plataforma y evitar que se dé la vuelta. Una vez se ha llevado al lugar deseado para la instalación, se ancla al fondo marino mediante cables tensionados de acero o tendones, lo que posibilita que sea menos susceptible a condiciones extremas como fuertes vientos y olas. Permite el montaje en el puerto para luego ser remolcada a alta mar.
- **Barcaza:** El concepto de asemeja a un barco, el largo y ancho son sensiblemente mayores a la altura. La gran superficie que tiene en contacto con el agua es lo que precisamente le da estabilidad. Está ideada para moverse y evitar sobreesfuerzos y tensiones en la estructura, aunque suelen ser menos resistentes a condiciones extremas en comparación con el resto de diseños. El montaje se realiza en tierra y se remolca a alta mar. Las barcazas tienen poco calado, por lo que también son adecuadas para su ensamblaje en puertos de aguas poco profundas (o poco calado).
- **Semi-sumergible:** Este diseño busca minimizar la superficie en contacto con el agua, para ello maximiza el volumen, que es lo que aportará flotabilidad. Su bajo centro de gravedad hace que sea menos vulnerable a condiciones de mar agitado. Normalmente, está formada por un conjunto de columnas unidas por vigas y tirantes, de hormigón o de acero, unidas al lecho marino por catenarias o cables tensionados. Se monta en puerto y luego se traslada al emplazamiento (maniobra de *tow-out*). Pese a que tiene un peso elevado, tiene unas necesidades de calado relativamente bajas.

2.2. Tipos de amarre y anclaje para las cimentaciones

Los amarres de una turbina eólica proporcionan estabilidad y restringen los movimientos de la subestructura. Suelen estar constituidos por cadenas, cables de acero o cables de materiales sintéticos. La elección depende de la profundidad, el tipo de plataforma flotante y las condiciones metoceánicas de la zona, generalmente se clasifican en 3 tipos:

- **En catenaria:** el cable no está tensionado y el principal factor que le da forma es su propio peso, es la configuración más frecuente. Podemos modificar la forma de la catenaria añadiendo flotadores y pesos.
- **Fondeos tensionados (*Taut mooring*):** Este diseño utiliza catenarias tensionadas mecánicamente, con el objetivo de reducir la superficie de fondo marino afectada,

aumentar las restricciones de movimiento y disminuir la longitud del cable o cadena. Dentro de este tipo están los semi-tenso, que es un híbrido entre las catenarias y los fondeos, con una parte de la línea de amarre tendida en el lecho marino.

- **Tendones tensionados:** este tipo solo utilizado en TLP, se trata de tendones verticales anclados al lecho marino con pilotes hinchados o perforados, indicados para grandes profundidades por el ahorro de material que suponen.

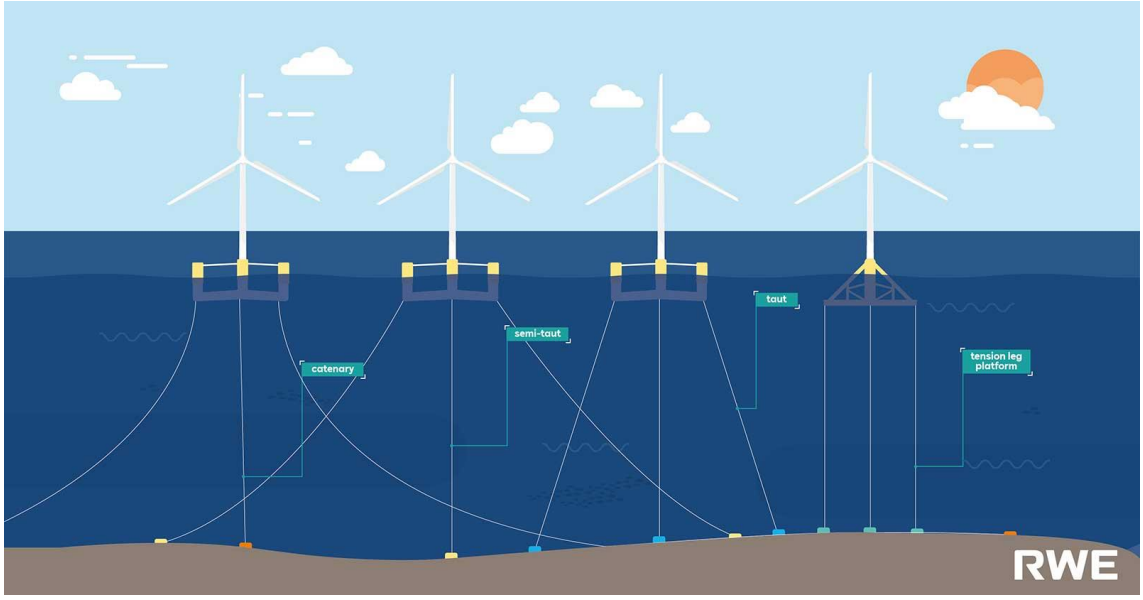


ILUSTRACIÓN 3: TIPOS DE AMARRE. (FUENTE: [3])

Los sistemas de amarre se conectan al lecho marino mediante diferentes tipos de anclas que dependen de las características del lecho marino y las cargas que deben soportar, se dividen en:

- **Anclas de arrastre:** son los anclajes más habituales, similares a los utilizados por los barcos.
- **Anclas de succión:** suelen estar compuestas por estructuras cilíndricas abiertas en su extremo inferior que se apoyan en el lecho marino (como cubos dispuestos al revés). A continuación, se ejerce una succión para crear un vacío y provocar el anclaje. Son adecuadas para fondos de texturas equilibradas, no funcionan correctamente para fondos rocosos o de granulometría gruesa.
- **Pilotes hinchados o perforados:** cilindros huecos de metal de grandes dimensiones que se hincan en el fondo marino. Solo se utilizan en condiciones donde no es posible el uso de otras alternativas. Son difíciles de instalar y generan el movimiento de sedimentos y ruido.
- **Anclas de gravedad:** estructuras masivas de hormigón apoyadas en el lecho marino. Dejan una huella muy grande en el fondo marino. Sólo se utilizan en situaciones muy concretas.

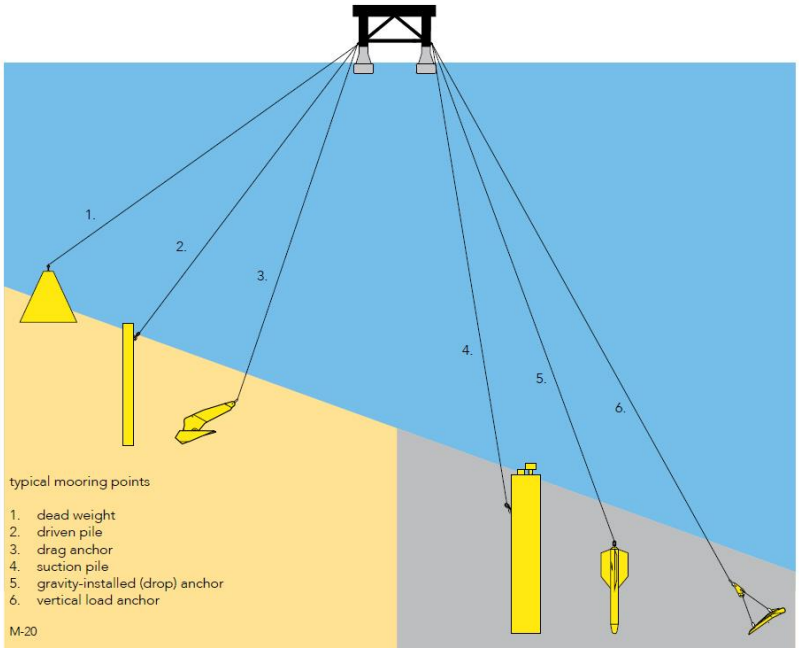


ILUSTRACIÓN 4: TIPOS DE ANCLAJE. (FUENTE: [12])

2.3. Criterios de selección

El presente trabajo se va a centrar en un determinado tipo de flotador.

Para seleccionar cuál es la plataforma más económica y beneficiosa para nuestra planta de producción, se atiende a una serie de criterios definidos. Estos se desarrollan en una tabla de comparación entre los distintos tipos de plataforma, entre ellos:

- Estructura, forma y complejidad de la plataforma.
- Estabilidad, grado de estabilidad en comparación con el resto de diseños.
- Montaje, lugar y grado de dificultad con la que se monta la turbina eólica encima de la plataforma.
- Transporte e instalación, costes de trasladar la estructura a alta mar y realizar la fijación al lecho marino.
- Profundidad necesaria, profundidad mínima del lecho marino requerida.
- Mantenimiento, grado de complejidad en el mantenimiento una vez puesto en funcionamiento la instalación.
- Sistema de amarre y anclaje, tipologías de amarre y anclaje de las plataformas al lecho marino.
- Condiciones ambientales, grado de condiciones extremas soportables sin que afecte en el correcto funcionamiento del aerogenerador.
- Calado del muelle, profundidad necesaria del muelle donde se va a realizar la producción.
- Longitud del muelle, longitud mínima que se necesita para realizar las operaciones de montaje y transporte adecuadamente.
- Anchura del canal, anchura necesaria para transportar los componentes.

	Spar	Semi-sumergible	TLP	Barge
Estructura	Forma cilíndrica, gran altura, simple	Estructura de gran tamaño y compleja	Estructura en estrella, relativamente simple	Forma cuadrada, poco compleja
Estabilidad	Alta estabilidad	Media estabilidad	Posee la mayor estabilidad	Poca estabilidad
Montaje	La turbina se instala en alta mar	Turbina y estructura montadas en el puerto	Turbina montada en puerto, con condiciones especiales, coste moderado	Turbina y subestructura montadas en el puerto
Transporte e instalación	Difícil instalación y transporte	Sencillo, se transporta la estructura completa al lugar deseado	La instalación es complicada, necesidad de flotadores. Coste medio	Instalación sencilla en el puerto. Bajo coste
Profundidad necesaria (en el emplazamiento)	>100 m	> 40 m	> 40 m	> 30 m
Mantenimiento	Coste elevado debido a su gran calado	Moderado, puede ser devuelto al puerto para grandes correctivos	Costes moderados a elevados, por las líneas de tensión	Costes moderados. Puede ser devuelvo al puerto para grandes correctivos
Sistema de amarre (habitual)	Amarre con catenarias y anclas de arrastre	Amarre por catenarias	Cables tensionados, no se puede instalar en fondos blandos	Catenarias, sin tensionar
Condiciones ambientales	Adecuado para áreas con oleaje severo	Adecuado para fuerte oleaje. Olas de hasta 17 m [10]	Adecuado para fuerte oleaje	Adecuado solo para áreas con poco oleaje
Calado del muelle [11]	80-90 m	12-14 m	10-12 m	10-12 m
Longitud muelle [15]	80 m	120 m	80 m	60 m
Anchura de canal [11]	90 m	140 m	120 m	110 m

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS DE PLATAFORMA FLOTANTE. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

El autor quiere hacer hincapié en que no se ha valorado el TRL[1] (*Technology Readiness Level*) de las distintas tecnologías de flotador porque quiere que la elección de una plataforma esté condicionada por condiciones de emplazamiento para la fabricación e instalación.

2.4. Selección de cimentación/flotador

Para hacer una elección adecuada del diseño más beneficioso y económico para una planta de producción situada en el Puerto Exterior de A Coruña se va a realizar un análisis multicriterio. En él se comparará cada tipo de subestructura con los criterios previamente definidos, y se puntuará cada característica del 1 al 5, de manera que el 1 representa la situación menos favorable y el 5 la situación óptima. A su vez, a cada característica se le asigna un peso, que representa la importancia que tiene el criterio para esta situación y los factores más decisivos para el puerto. Para el peso se ha escogido una escala del 1 al 3, siendo el 3 los factores que más afectan al coste de fabricación y las limitaciones de espacios del puerto.

[1] Los indicadores TRL o Nivel de Madurez Tecnológica miden el grado de madurez de una tecnología, atendiendo a 9 niveles diferentes.

Las condiciones ambientales y la profundidad de la instalación tienen un peso de 1, la menor importancia, ya que la localización puede ser elegida en base a la cimentación. Con un peso de 2 tenemos los sistemas de amarre y anclaje, aunque son factores que afectan a los costes, no son cruciales para el correcto funcionamiento de la producción. Estas tendrán mayor impacto en las acciones de instalación.

El resto de factores como la estructura, la estabilidad, las características que debe cumplir el puerto y las acciones que más impacto tendrán en los costes tienen un peso 3.

	Spar	Semi-sumergible	TLP	Barcaza	PESO
Estructura	2	3	2	4	3
Estabilidad	4	4	5	2	3
Montaje	1	4	2	4	3
Transporte e instalación	1	4	2	4	3
Profundidad de localización	4	5	5	5	1
Mantenimiento	2	3	2	4	3
Sistema de amarre y anclaje	3	4	2	4	2
Condiciones ambientales	5	5	5	2	1
Calado del muelle	1	5	5	5	3
Anchura de canal	5	5	5	5	3
Longitud muelle	5	5	5	5	3
MEDIA PONDERADA	7.1	10.6	8.9	10.3	

TABLA 2: ANÁLISIS MULTICRITERIO DE LOS MODELOS DE PLATAFORMA FLOTANTE CON RESPECTO A LA PLANTA DE PRODUCCIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

En conclusión, la cimentación más favorable en base al lugar donde va a estar situada la planta industrial será la semi-sumergible. A pesar de tener unos costes moderados a elevados de transporte e instalación, nos proporciona una estructura relativamente sencilla y estable con un mantenimiento de bajo a moderado coste.

2.5. Selección del material de fabricación.

Los flotadores para turbinas offshore están compuestos generalmente de acero u hormigón. El material de fabricación es un factor muy importante a tener en cuenta. Los aspectos de mayor importancia son la disponibilidad de materia prima próxima y los costes de fabricación y transporte. En la siguiente tabla se enumeran las características más relevantes en la eólica marina de cada material:

ACERO	HORMIGÓN
Alto conocimiento previo del material y cadenas de producción	Fabricación sin requerimientos especiales en cualquier lugar.
Menor peso, minimiza los requerimientos de profundidad.	Mayor resistencia y vida útil
Mayores costes de transporte e instalación	Menor coste de materia prima
Europa no tiene capacidad para cubrir grandes demandas de acero [19]	Mayor peso

TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA CIMENTACIONES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Sabiendo que la planta de producción estará en Galicia, España, el transporte de acero hasta las instalaciones supondría una gran inversión económica. Una de las principales desventajas del hormigón es que debido a su peso requiere de mayores profundidades en el muelle, pero esto no supondrá una limitación ya que el Puerto posee grandes calados. Por lo tanto, se puede concluir que el hormigón será la opción más óptima y económica. Así mismo, hay mayor posibilidad de conseguir materia prima en las proximidades. Por último, la Autora considera que la mayor resistencia y vida útil de las estructuras offshore en hormigón también es beneficiosa por la menor necesidad de mantenimiento.

3. Selección geográfica del centro productivo

El centro productivo a fabricar estará situado en el Puerto Exterior de A Coruña, en el municipio de Arteixo, Galicia. La Autoridad portuaria ha propuesto el proyecto "A Coruña Green Port" una iniciativa para la descarbonización industrial del Puerto, abarca proyectos como una cadena de valor del hidrógeno verde, digitalización y modernización de las empresas, desarrollo de energías renovables eólicas marinas o transformación industrial y producción de biocombustibles.

Las óptimas condiciones que presenta en cuanto a calados, superficie terrestre disponible o situación geográfica para la eólica offshore ha llevado a La Autoridad Portuaria de A Coruña a impulsar el desarrollo de un hub de construcción de eólica marina [17]. Ofrece un área de hasta 97.3 ha [27], destinada para plantas de fabricación y ensamblaje de estructuras de grandes dimensiones.

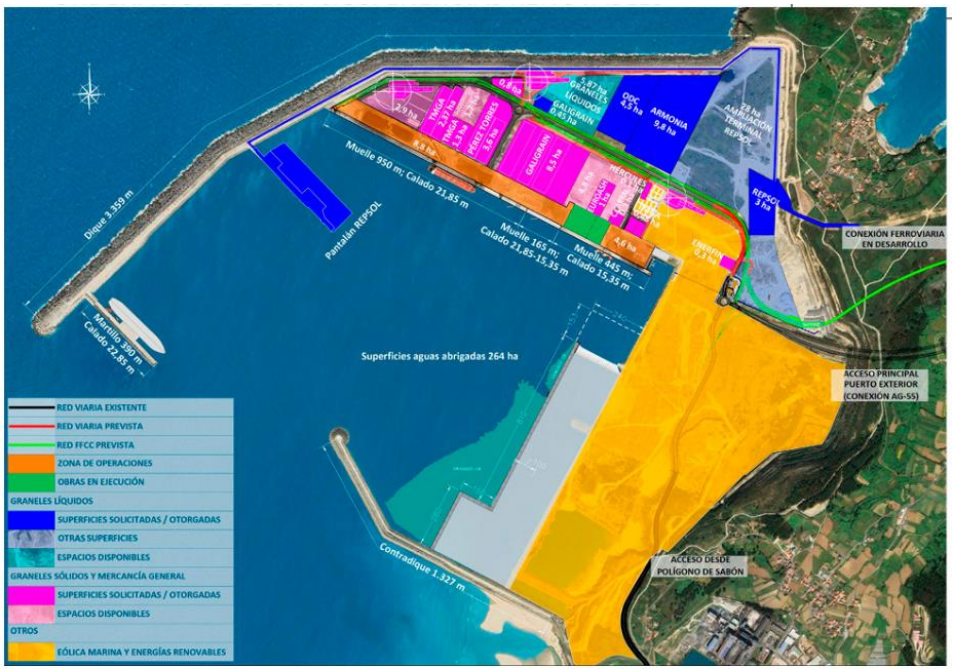


ILUSTRACIÓN 5: INFRAESTRUCTURAS PUERTO EXTERIOR. (FUENTE: PUERTOCORUNA [27])

El recinto de Punta Langosteira podría conseguir una gran influencia a nivel nacional e internacional en esta nueva industria a corto-medio plazo. Está al servicio del tráfico marítimo internacional y ofrece grandes extensiones terrestres, desde donde se podrían transportar los componentes fabricados a la localización deseada a nivel mundial.

Actualmente es accesible por carretera y las redes ferroviarias están en desarrollo. Está abrigado por un dique de 3.3 kilómetros y cuenta con un muelle que dispone de calados profundos de más de 26 m en el canal de acceso y de hasta 22 m en el interior del muelle [13], la anchura del canal a la entrada es de 400 m [16].

Estas dimensiones lo hacen un lugar óptimo para la fabricación de la subestructura semi-sumergible elegida anteriormente, que llega a calados de 20 m [21] una vez se ha instalado la turbina, y anchuras de hasta 75 metros [21]. Las grandes extensiones de aguas abrigadas permitirán la realización de operaciones in-shore con facilidad, como la instalación de la turbina y sus diferentes partes, el lanzamiento de la plataforma fabricada al agua o incluso el almacenamiento húmedo de las mismas.

4. Estudio de las necesidades de la Implantación

En este apartado se va a realizar una estimación del espacio que se necesitaría para una planta de construcción para la cimentación seleccionada dentro de las 97.3 ha [27] disponibles para la eólica marina.

El material previamente elegido para el producto es el hormigón, una de sus principales ventajas es la posibilidad de fabricación en cualquier lugar sin necesidad de requerimientos especiales. Debido a las particularidades que necesita el hormigón de las plataformas flotantes se ha decido incluir una planta de producción del mismo en el Puerto. Para esta operación podemos utilizar una planta móvil o estacionaria, son fáciles y rápidas de instalar, transportadas con vehículos normales como camiones, y pueden ser reajustadas o mejoradas. Necesitará alrededor de 2 ha, contando con el acopio de áridos y almacenamiento de otros materiales necesarios.

ILUSTRACIÓN 6: PLANTA MÓVIL DE HORMIGÓN (FUENTE: SPANOS GROUP)

Uno de los factores más influyentes será el tamaño de la plataforma, actualmente existen turbinas de una capacidad de hasta 15 MW, el diseño tenido en cuenta en este trabajo está ideado para una potencia de 11MW. La cimentación llegará a alturas de 33 m [60] en las columnas laterales, con una separación de 37 m [60] entre columnas y diámetros de hasta 22.8 m [60].

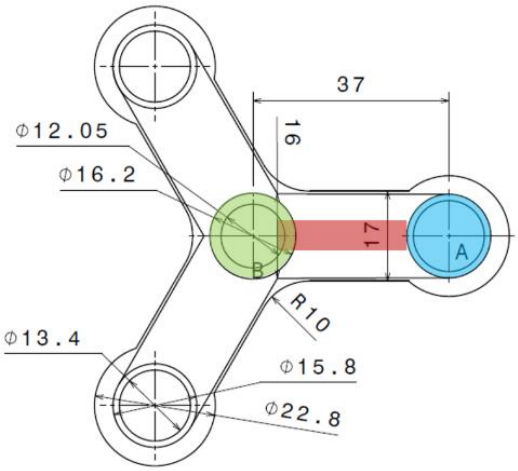


ILUSTRACIÓN 7: CROQUIS DE LAS DIMENSIONES DE LA PLATAFORMA (FUENTE: IOPSCIENE [60])

Para calcular el área que ocupa se ha divido en 3 triángulos iguales, con una base de aproximadamente 85 m y una altura de 24.5 m, siendo el área:

$$A = \frac{85 * 24.5}{2} * 3 = 3{,}087\ m^2$$

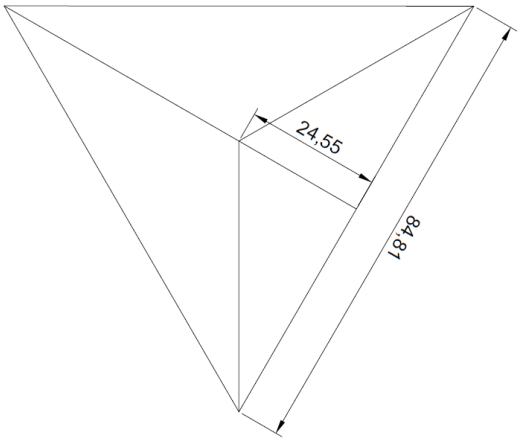


ILUSTRACIÓN 8: ÁREA DE LA PLATAFORMA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

La construcción se llevará a cabo en dos líneas trabajando simultáneamente obteniendo dos sub-estructuras al finalizar el proceso. La producción se puede dividir en dos fases, una primera fase en la que se construirán las diferentes partes del flotador, como la losa inferior y los muros interiores y exteriores. En la fase 2 se termina la plataforma, primero se unen los pontones construidos en la fase 1, y seguidamente se construyen y conectan las columnas laterales y central. La planta de producción de las distintas fases ocupará alrededor de 10 ha [23], se utilizará una única línea para la primera fase donde la construcción de los pontones se realizará en paralelo con otras actividades; la segunda, contará con dos líneas de construcción, las piezas serán trasladadas de la 1 a la 2 mediante SPMTs (transportadores modulares autopropulsados).

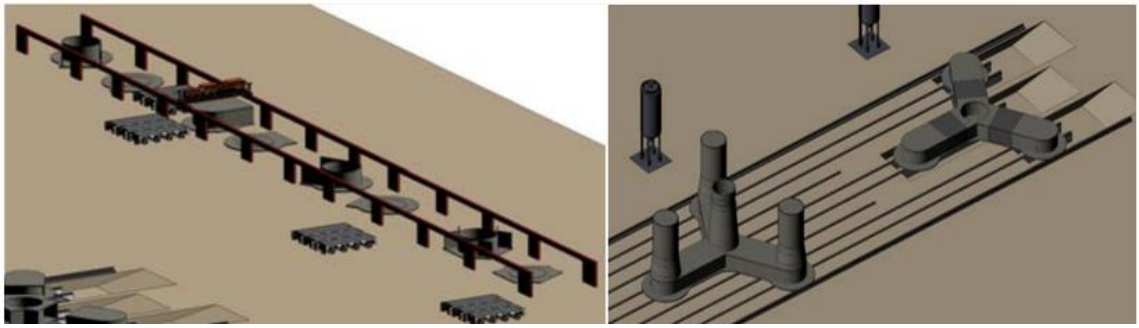


ILUSTRACIÓN 9: FASES 1 Y 2 DE LA PRODUCCIÓN (FUENTE: OLAV OLSEN [25])

Una vez la estructura semi-sumergible está completada, se lanzará al mar y se sumergirá hasta su flotación, para posteriormente realizar el montaje de la turbina. Para esta operación se pueden utilizar plataformas *syncronlift*, las cuales se sumergen hasta que la estructura comienza a flotar. Según el área calculada anteriormente cada plataforma requerirá una anchura de unos 100 m y lo mismo para la largura. Por tanto, 1 ha por línea.

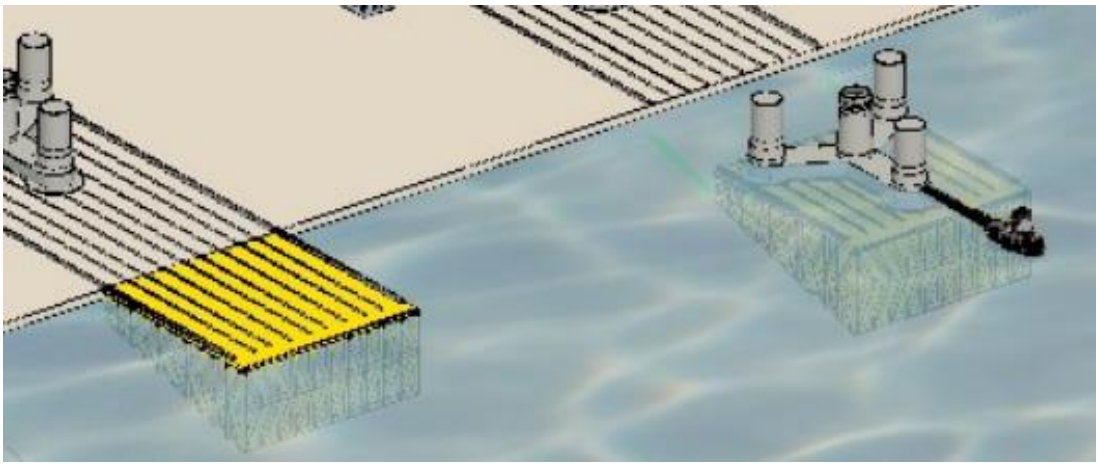


ILUSTRACIÓN 10: LANZAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN (FUENTE: OLAV OLSEN[25])

Es necesario disponer de una zona de almacenamiento en seco y de talleres que suma unas 15 ha [24], así se dispone de suficiente espacio tanto como para almacenar y montar los componentes del aerogenerador, palas, torres, amarres, catenarias, turbinas, etc; como para guardar materiales necesarios en la manufactura.

Para la instalación de la turbina necesitaremos grúas capaces de levantar pesos muy elevados, se pueden utilizar grúas de anillos o de carga pesada, existen con capacidades de hasta 5,000 toneladas.

Teniendo en cuenta potencias de hasta 15 MW se necesitarán grúas con capacidades para levantar entre 500 y 600 toneladas [24] y alcanzar alturas de hasta 130 m, contando con una torre de 120 m [24] y una góndola de 10-12 m [24] de alto, para poder montar el "motor de la turbina" en la torre. Una opción de grúa podría ser una grúa de oruga, con capacidad de 1,350 t [30] y una altura máxima alcanzable de 220 m [30], una LR 11350, Liebherr. Sabiendo que tiene un largo de 30 m [30] y un ancho de 13 m [30], podemos calcular que el espacio en el Puerto que ocupará será de:

$$20.5 * 13.5 \approx 277\ m^2$$

Las maniobras de instalación tendrán lugar de manera independiente al resto de la planta (en una parcela distinta). Se destinará un área específica, con una zona adosada a ella para el almacenamiento de los aerogeneradores. Esto permitirá que otras compañías, con parcela para la producción de flotadores, puedan usar igualmente esta sección aparte para el montaje de la turbina, dejando libre la zona de muelle junto a las áreas de fabricación y no obstaculizando la producción. El espacio que requiere esta actividad será de aproximadamente 4 ha, incluyendo tanto el lugar de instalación para un flotador como las áreas de stock, maniobras de carga, descarga, desplazamientos y talleres de reparación. De las hectáreas disponibles para nuevos desarrollos se podría escoger un espacio apartado de la producción, las 4 ha contendrán espacio suficiente para guardar los componentes de hasta 2 turbinas, debido al desconocimiento de cuántas parcelas de energía offshore acogerá el Puerto y cuántas estarán interesadas en su uso se hace una estimación a la baja del almacenaje requerido. Se muestra a continuación una representación general de cómo se organizará esta área, la grúa se representa en naranja, en posteriores capítulos se definirá con mayor detalle.

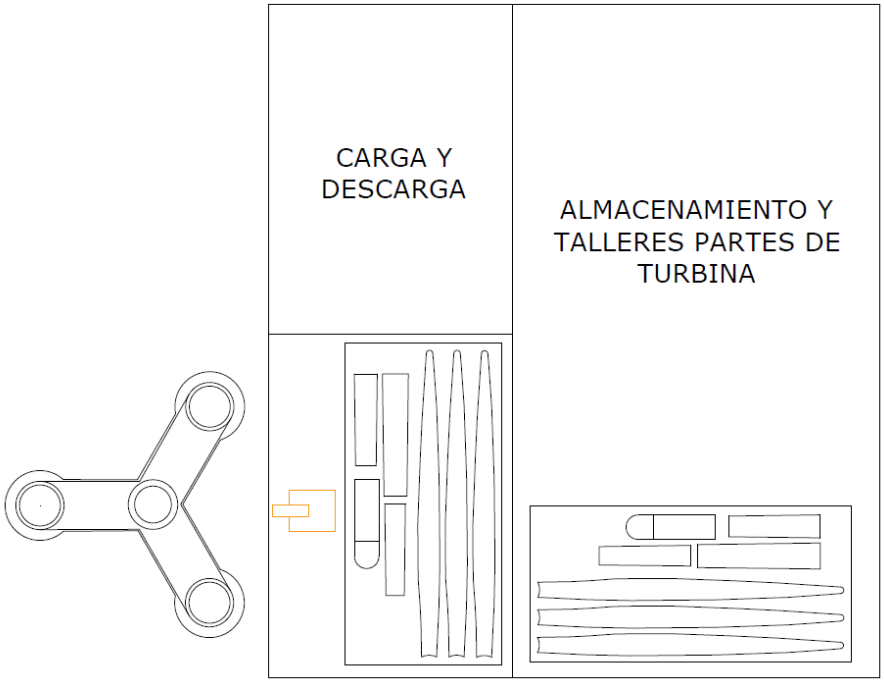


ILUSTRACIÓN 11: CROQUIS ZONA DE INSTALACIÓN DE LA TURBINA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

En conclusión, sumando todos los espacios mencionados se necesitarán alrededor 30 ha de las 97.3 ha disponibles para establecer un centro de construcción, contando con dos líneas de producción. La figura 12 representa una aproximación gráfica de los espacios en los que van a estar situadas las distintas parcelas, la colocación de la turbina estará posicionada en el espacio delimitado en rojo, al principio del muelle; el terreno que ocupa la parcela de producción está delimitado en azul y la plataforma Syncrolift se señala en amarillo a una distancia determinada de la nave para el correcto movimiento de las estructuras, se ha elegido esta distribución para que todas las cimentaciones fabricadas en el Puerto que lo deseen puedan realizar la instalación del aerogenerador sin molestar a otras actividades de la dársena.

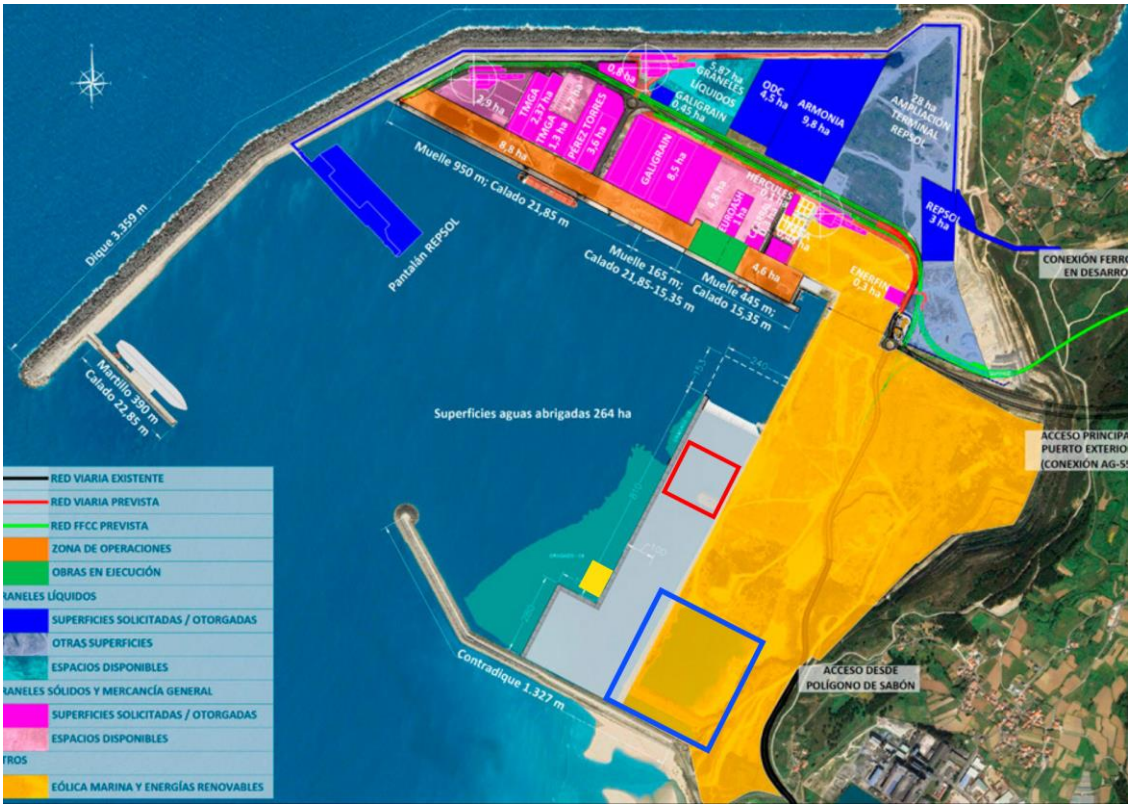


ILUSTRACIÓN 12: CROQUIS INSTALACIONES DEL PUERTO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

5. Diseño del centro productivo

En el capítulo 5 se llevará a cabo un análisis de las necesidades específicas de fabricación de la plataforma y un diseño detallado de la parcela.

El espacio estará divido en dos partes diferenciadas: Una parte de gran tamaño destinada a la construcción y botadura de la subestructura; y otra parte correspondiente al almacenaje de las distintas partes de la turbina eólica y su posterior instalación sobre la plataforma.

La zona de manufactura contará con dos centrales de hormigón capaces de abastecer todo el proyecto, un taller de manipulación del refuerzo de acero y un apartado de oficinas desde el que se realizará un seguimiento y organización de todas las acciones.

5.1. Central de hormigón

Considerando una plataforma semi-sumergible con necesidad de un volumen total de hormigón de 5,562 m^3 [28], la planta debería tener una alta capacidad de producción.

Se ha considerado razonable una capacidad de al menos 100 $\frac{m^3}{h}$, como se construyen dos plataformas en paralelo dos plantas de hormigón serían necesarias para mantener ambas líneas en funcionamiento, el hormigón será trasladado a las líneas de producción en camiones hormigonera capaces de albergar al menos 10 m^3 cada uno.

Se ha seleccionado una planta modelo Constmach Stationary 100, con las siguientes medidas:

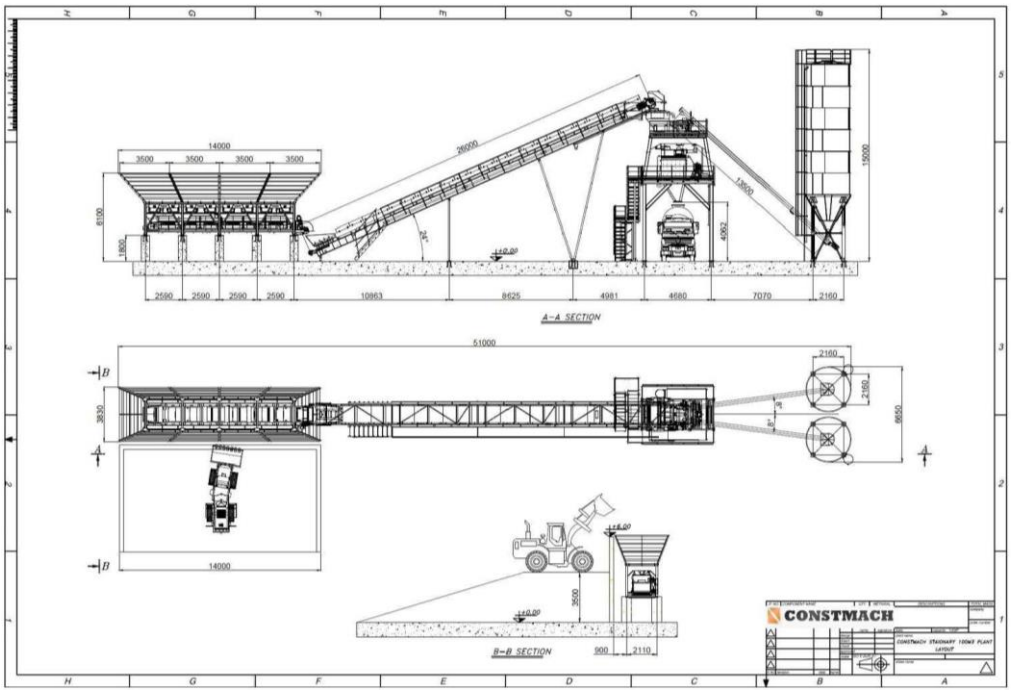


ILUSTRACIÓN 13: PLANTA DE HORMIGÓN (FUENTE: CONSTMACH [31])

El hormigón armado está formado por agua, arena y cemento, y posteriormente reforzado con una armadura de barras de acero. La central cuenta con dos silos de gran capacidad para el almacenamiento de cemento, tanques de agua y 4 tolvas de 25 m^3 [31] para arenas y los aditivos correspondientes, además de una zona contigua para el previo almacenaje de áridos tras la llegada por transporte. Los áridos y aditivos se irán traspasando de los tanques de almacenaje a la planta y una vez en las tolvas serán transportados a la mezcladora mediante cintas transportadoras en sus cantidades correspondientes, teniendo el hormigón formado se llevará a cabo su vertido en camiones hormigonera. Dos áreas de almacenaje contiguas serán habilitadas para asegurar un funcionamiento fluido que contendrán una cantidad equivalente al de otra plataforma, dispondrá de dos silos de almacenaje para cemento, y un apartado de acopio de áridos con una extensión de 1,200 m^2 por planta, los áridos se trasladarán en palas de carga a las tolvas.

En la ilustración 14 se representa la distribución de las centrales y las zonas de almacenaje, que ocuparán 1.5 ha en total, se ha dejado un espacio de 20 m entre la producción y el acopio de áridos para dar margen a las operaciones de llenado de las tolvas, detalles y leyendas incluidos en el plano 1 del Anexo D.

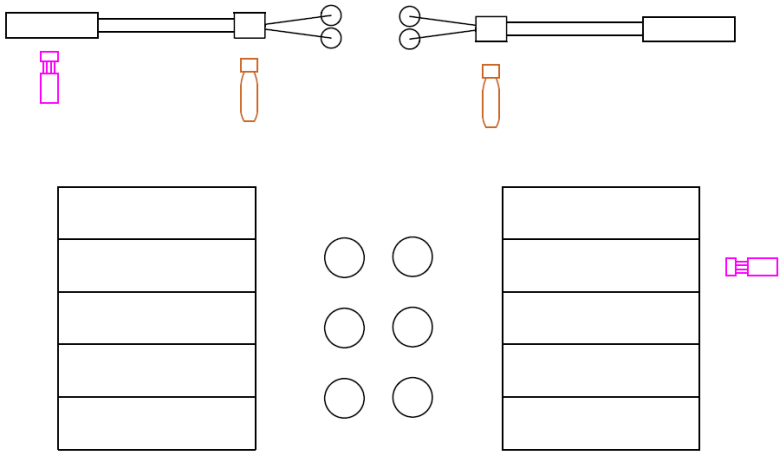


ILUSTRACIÓN 14: DISTRIBUCIÓN PLANTA HORMIGÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Para el manejo de las barras de acero se dispondrá de un taller contiguo para almacenaje y operaciones de unión, corte y formado de armaduras, que ocupa 2 ha [32], una vez montadas las armaduras esperarán a ser recogidas en el mismo taller. Para su traslado a la fabricación de la estructura se pondrán en disposición palas cargadoras equipadas con horquillas de carga, se ha dejado un límite de maniobra de 30 m, la disposición de este taller con respecto al resto de la parcela está representada en el plano 1, Anexo D.

5.2. Parcela de producción

A continuación, se indicarán las zonas necesarias para la manufactura de la plataforma semi-sumergible, teniendo en cuenta espacios de maniobra y medios auxiliares necesarios para el desarrollo de la construcción.

El proceso se lleva a cabo en 3 etapas, y una vez acabado pasará a una cuarta zona para la operación de botadura, desde donde se trasladará a la parte de instalación, explicado en apartados posteriores. Las cuatro etapas se definen a continuación:

- Zona 1: Fabricación de los pontones
  Se fabricarán 4 piezas independientes, mediante la técnica de encofrado deslizante, el encofrado es un método especialmente útil cuando la estructura presenta grandes alturas y consiste en un conjunto de moldes temporales que sostienen el hormigón fresco, conforme se va endureciendo el sistema se desplaza hacia arriba, permitiendo nuevos tramos de estructura.
  Primero se colocarán las barras de acero para el tensionado posterior, después se introduce el encofrado y se vierte el hormigón. Una vez están completas, las piezas son trasladadas mediante transportadores modulares a las líneas de deslizamiento.

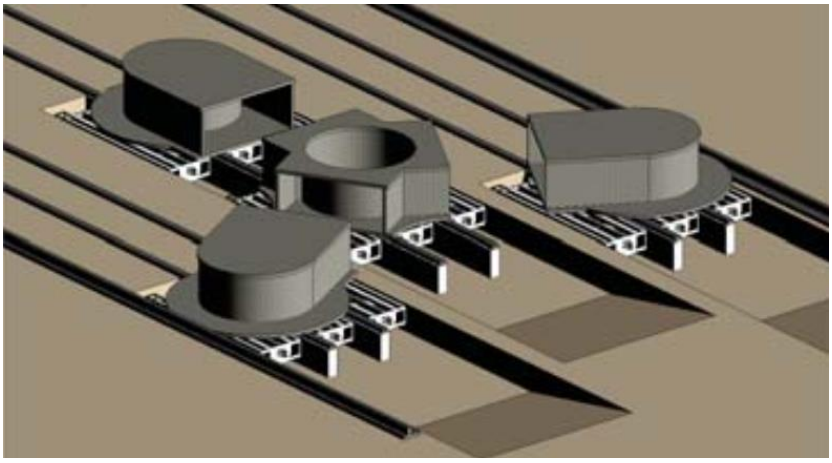


ILUSTRACIÓN 15: PONTONA POR PARTES (FUENTE: OLAV OLEN [35])

- Zona 2: Unión y terminación de la pontona
  En esta zona se realiza la unión de la base de la plataforma, las partes fabricadas en la fase 1 se colocan cuidadosamente en las líneas a una distancia determinada para realizar la unión. Primero se empalmarán las nuevas barras de acero de refuerzo a las barras salientes de la anterior operación. Además, los conductos de postensado deben ser conectados y preparados correctamente para su posterior realización y, por último, los extremos de las piezas son limpiados y preparados adecuadamente para la adherencia del hormigón fresco que se verterá para rellenar los huecos.
  Finalmente, una vez se ha añadido el material para la unión, la base se somete al tensado de los cables de acero, alrededor de 1 o 2 semanas después del vertido.

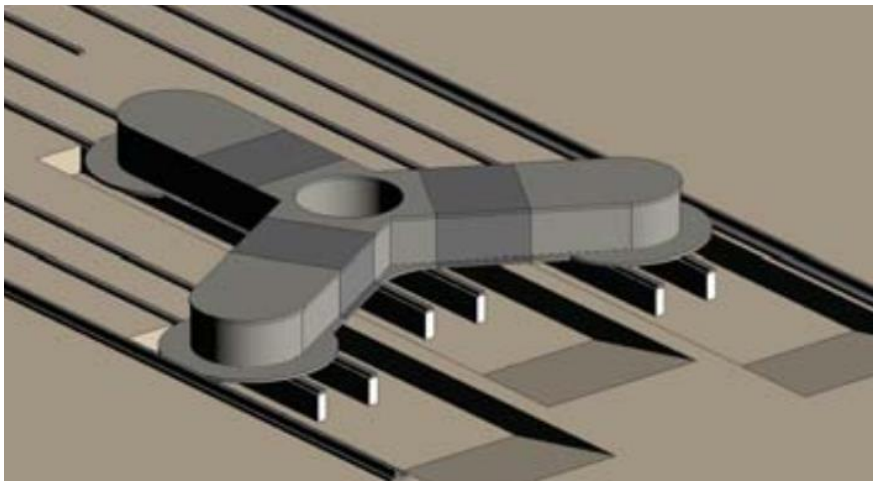


ILUSTRACIÓN 16: BASE UNIDA (FUENTE: OLAV OLSEN [35])

- Zona 3: Fabricación de las columnas
  En la última fase de la producción se realiza la construcción de las columnas laterales y el pilar central. Primero se colocará el refuerzo de barras de acero del hormigón en la base de los pilares, después la estructura para el encofrado deslizante que levantará las columnas teniendo en cuenta posibles cambios en la sección, las operaciones se llevan a cabo paralelamente. Antes de verter el hormigón se colocará una armadura de acero en las columnas exteriores y se realizará el tensado de la parte baja de las columnas y pilar central.

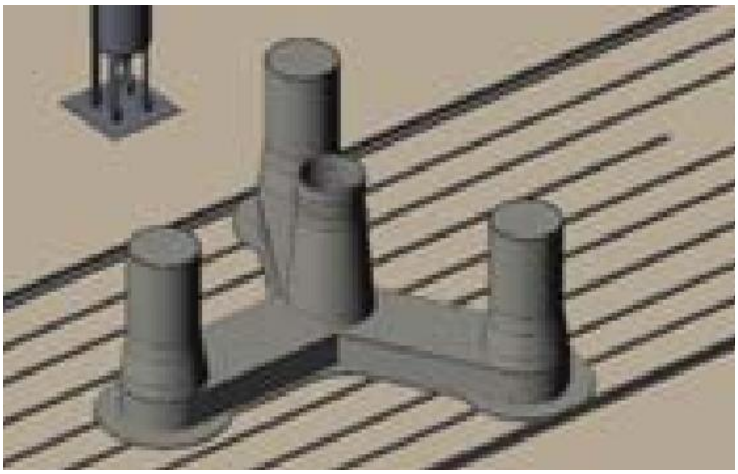


ILUSTRACIÓN 17: FINALIZACIÓN DE LA PLATAFORMA (FUENTE: OLAV OLSEN [35])

La cubierta de acero se posicionará con ayuda de una grúa sobre orugas, cada cubierta tiene un peso de 60 t, y el alcance que necesita la grúa será de mínimo 15 m. La plataforma alcanza valores de altura de hasta 33 m, la grúa Liebherr LR1300.1 SX de capacidad máxima 300 t cumple estos requisitos, es capaz de levantar 64.8t a una altura de 68 m y un alcance de 20 m, dejando cierta holgura.

Tabla de cargas con contrapeso trasero 104 t y contrapeso central 57 t

	Longitud de pluma (m)												
Radio	20	23	26	32	38	44	50	56	62	68	74	80	83
[m]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
4.3	300.5												
5	300.5	296.3	299.6										
6	262.9	260.0	256.1	245.5	236.5	213.4							
7	225.5	225.3	222.0	215.8	206.9	198.3	189.3	169.3					
8	195.9	195.7	195.2	191.1	184.6	178.4	168.6	161.3	151.1	135.3			
9	172.9	172.8	172.2	171.8	166.0	160.2	152.7	145.0	137.8	131.1	118.7	103.1	95.6
12	126.8	126.7	126.2	125.8	122.6	117.3	112.1	107.4	102.8	98.5	94.4	90.5	87.5
14	107.0	106.9	106.5	106.1	102.8	98.7	94.7	91.0	87.3	83.9	80.5	77.4	75.8
16	89.2	89.3	89.2	89.1	88.1	84.8	81.5	78.5	75.5	72.6	69.8	67.1	65.8
20	65.2	65.5	65.4	65.3	64.8	64.5	63.1	60.8	58.5	56.4	54.2	52.2	51.1
24		50.8	50.8	50.8	50.3	49.9	49.3	48.8	47.1	45.3	43.5	41.8	40.9

ILUSTRACIÓN 18: CONFIGURACIÓN GRÚA 1300.1 SX (FUENTE: LIEBHERR [61])

- Zona 4: Operación de botadura

  Una vez el flotador está finalizado, una opción para su lanzamiento al mar es mediante una plataforma Syncrolift. La plataforma se eleva y desciende mediante un gran número de cabrestantes dispuestos a cada lado del muelle y cuando la subestructura está en posición, la plataforma se sumergirá hasta que esta comience a flotar, se utilizarán transportadores modulares en el desplazamiento. Las líneas no comienzan a trabajar simultáneamente, la línea 2 empezará dos semanas más tarde (Anexo B), por lo que disponer de un solo mecanismo de lanzamiento no supone un retraso en el tiempo de producción. El Syncrolift estará posicionado a cierta distancia de la zona 3, unos 150 m como mínimo, para poder transportar y montar la cimentación para la botadura con facilidad, esta franja de separación se supondrá de dominio público, transitable por otras empresas del puerto, la disposición se ve representada en el plano 2, Anexo D.

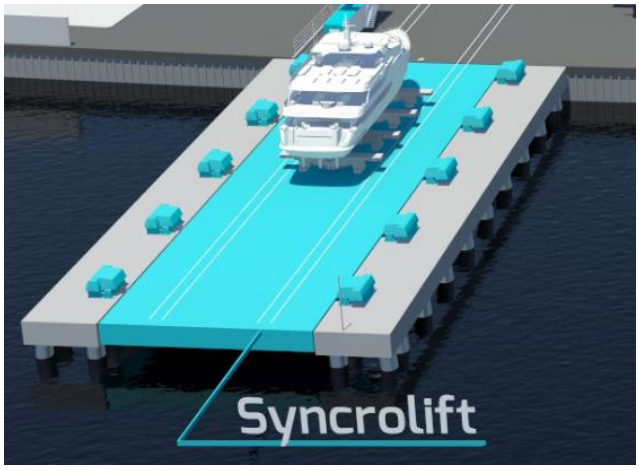


ILUSTRACIÓN 19: PLATAFORMA SYNCROLIFT (FUENTE: NEKKAR [38])

Buques remolcadores serán puestos a disposición para trasladar la subestructura de la zona 4 a la zona de instalación de la turbina.

Teniendo en cuenta todos los espacios y procesos descritos podemos concluir que la producción con dos líneas en paralelo, incluyendo 4 zonas distintas, requerirá un espacio de 12.65 ha, sin tener en cuenta las superficies de operaciones y maniobras. Los espacios divididos se ven reflejados en la tabla 4 y representados en la ilustración 20:

	Superficie
Zona 1	3 ha
Zona 2-3	8.1 ha
Zona 4	1.55 ha

TABLA 4: ESPACIOS DE LA PLANTA POR ZONAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

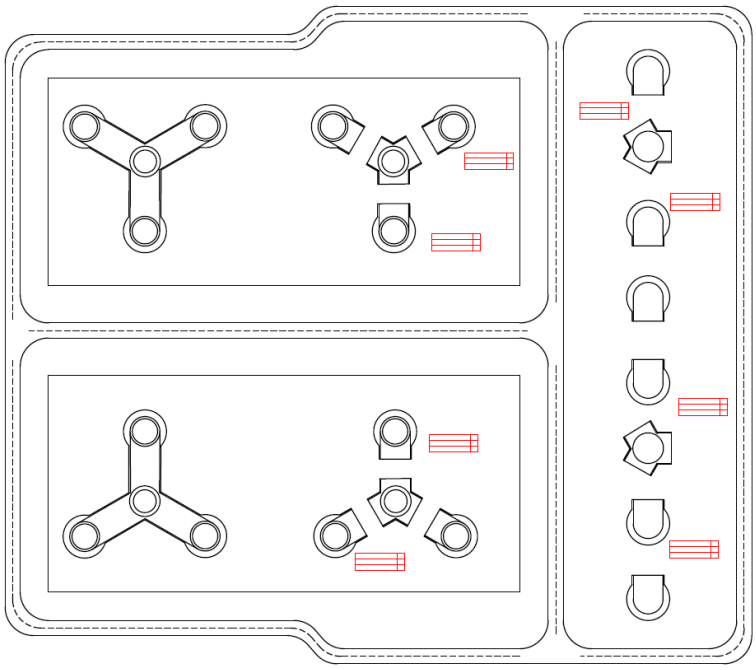


ILUSTRACIÓN 20: PLANTA PRODUCCIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

A la hora de escoger los espacios entre líneas se ha tenido en cuenta la largura máxima de las barras de acero de 12 m y el tamaño de 9 m de largo de los camiones cisterna que transportan el hormigón hasta cada área de trabajo. Así entre las zonas 2 y 3 hay unos 35 m de separación dando margen de sobra para las maniobras. En cuanto a la zona 1 hay unos márgenes de casi 30 m para el correcto manejo de los transportadores modulares autopropulsados, representados en rojo en la ilustración 20. Constan de 6 ejes iniciales con una longitud de 9.1 m [40], para conseguir el tamaño adecuado al proyecto se le pueden añadir los ejes necesarios, en este caso convendría llegar a un número de 16 para alcanzar una largura de 23.1 m y agruparlos en grupos de 3 dando una anchura de 7 metros. Colocados 3 grupos de transportadores por pieza, sabiendo que cada transportador permite levantar una carga máxima de 640 t, en total será posible levantar 5.760 t, suficiente para las primeras piezas del proceso.

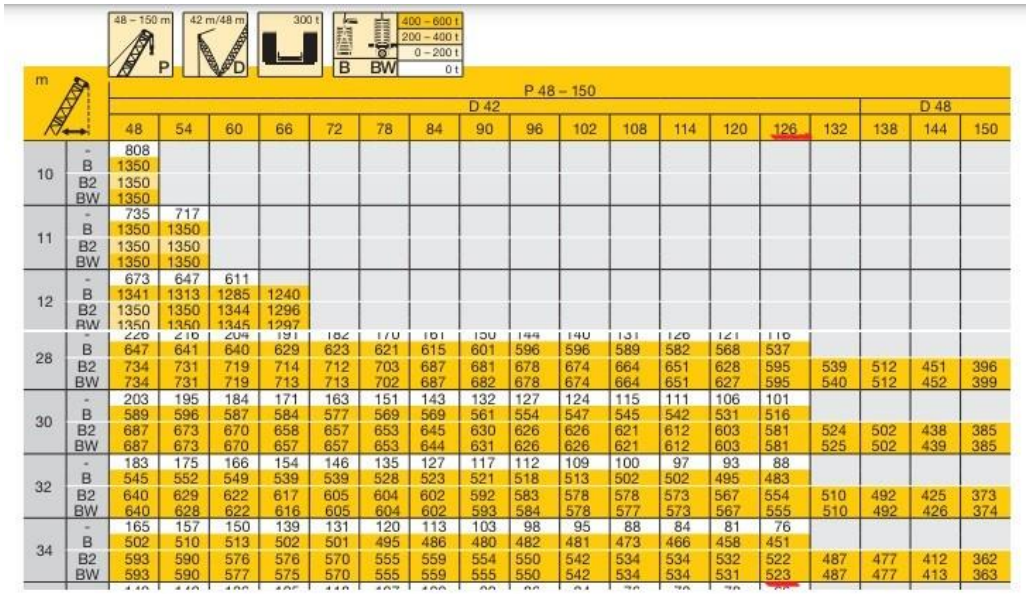
Además, la parcela cuenta con una carretera con 4 metros de ancho por carril para el paso de los diferentes vehículos entre las zonas y alrededor de las mismas, que transportan los materiales necesarios para la producción.

5.3. Instalación de la turbina

La instalación de la turbina tendrá una zona próxima con todos los componentes necesarios del aerogenerador, entre ellos la torre [33], la góndola [33], el conjunto rotor-buje [33] y una pieza de transición entre la subestructura y el aerogenerador. Se puede suponer que las diferentes partes llegarán por barco debido a sus grandes dimensiones y la alta probabilidad de que sean fabricados fuera del país.

La turbina eólica a instalar se considera de 11 MW, con un peso del conjunto góndola-buje-rotor de 625 t, con una largura de las palas de unos 100 m y un peso de 40 t por pala, por lo tanto, el conjunto góndola-buje pesará 505 t. La torre de acero se divide en 3 partes para ser montada en la plataforma que en conjunto suman 559 t [28], se hará la suposición de que la parte baja y la intermedia pesarán 200 t cada una y la superior tendrá un peso de 159 t, debido al estrechamiento de la sección conforme aumenta la altura. Además, para instalar la torre primero se necesita colocar una pieza de transición que pesará 333 t [28].

Un factor importante es el espacio que ocupa la grúa y las zonas de operación necesarias. La grúa elegida se trata de una Liebherr LR11350, utiliza un sistema de lastre derrick y presenta unas dimensiones de 30 m [30] de largo y 13 m de ancho [30], se trata de una grúa capaz de levantar hasta 1,350 t [30]. El factor más limitante será la elevación del conjunto góndola-buje, que alcanza de pesos de 500 t, a una altura de 120 m. El conjunto se acoplará a la torre situada en el centro de la estructura, a unos 30 m de la orilla, por ello se ha elegido la siguiente configuración dentro del catálogo, considerando una altura máxima de 126 m y un alcance de 34 m, permite una capacidad de 523 t.



m		P 48 – 150																	
		D 42															D 48		
		48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150
10	-	808																	
	B	1350																	
	B2	1350																	
	BW	1350																	
11	-	735	717																
	B	1350	1350																
	B2	1350	1350																
	BW	1350	1350																
12	-	673	647	611															
	B	1341	1313	1285	1240														
	B2	1350	1350	1344	1296														
	BW	1350	1350	1345	1297														
28	-	226	216	204	191	182	170	161	150	144	140	131	126	121	116				
	B	647	641	640	629	623	621	615	601	596	596	589	582	568	537				
	B2	734	731	719	714	712	703	687	681	678	674	664	651	628	595	539	512	451	396
	BW	734	731	719	713	713	702	687	682	678	674	664	651	627	595	540	512	452	399
30	-	203	195	184	171	163	151	143	132	127	124	115	111	106	101				
	B	589	596	587	584	577	569	569	561	554	547	545	542	531	516				
	B2	687	673	670	658	657	653	645	630	626	626	621	612	603	581	524	502	438	385
	BW	687	673	670	657	657	653	644	631	626	626	621	612	603	581	525	502	439	385
32	-	183	175	166	154	146	135	127	117	112	109	100	97	93	88				
	B	545	552	549	539	539	528	523	521	518	513	502	502	495	483				
	B2	640	629	622	617	605	604	602	592	583	578	578	573	567	554	510	492	425	373
	BW	640	628	622	616	605	604	602	593	584	578	577	573	567	555	510	492	426	374
34	-	165	157	150	139	131	120	113	103	98	95	88	84	81	76				
	B	502	510	513	502	501	495	486	480	482	481	473	466	458	451				
	B2	593	590	576	576	570	555	559	554	550	542	534	534	532	522	487	477	412	362
	BW	593	590	577	575	570	555	559	555	550	542	534	534	531	523	487	477	413	363

ILUSTRACIÓN 21: CONFIGURACIÓN GRÚA LR 11350 (FUENTE: LIEBHERR [40])

La torre conlleva menos limitaciones, estará divida en 3 secciones, suponiéndolas con las siguientes medidas, una primera parte de 40 m y dos secciones de 30 m, la configuración de grúa anterior proporciona un gran sobredimensionamiento para su elevación. Las palas presentan más dificultades, debido a su largura y a la posición más alejada en la zona de almacenamiento, la distancia será de 50 m y posteriormente se elevará la pala a alturas de unos 130 m para la instalación, siendo su peso de 40 t la grúa tiene capacidad suficiente para estos requerimientos. Por último, la primera pieza a colocar llega a las 333 t, como la altura a la que debe ser elevada es baja, la configuración también es válida en este caso.

Se requerirá una extensión de almacenaje próximo al espacio de instalación, conteniendo exclusivamente las partes para un aerogenerador. A la hora de diseñar la superficie influyen los siguientes factores:

- La longitud de las palas: 100 m
- La torre: Divida en 3 secciones, y con un diámetro en la parte baja de 9 m [28] y una largura total de 100 m [28]
- Conjunto góndola-buje: Con un ancho de 9 m y largura de góndola de 15 m.
- La pieza de transición: Se supondrá un diámetro de 12.05 m [60] y una altura de 11 m [60].

En consecuencia, la zona contigua a la operación para guardar estas partes demanda 5,250 m^2, es decir 0.525 ha. Incluyendo el espacio de la grúa el área total necesaria será de 1 ha.

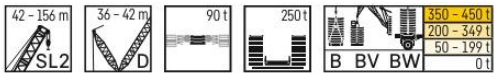
Cerca de la parcela de instalación se acondicionará una zona de almacenamiento capaz de acoger una cantidad de componentes equivalente a 2 aerogeneradores, toda la mercancía llegará por barco. Las piezas de transición se almacenarán en vertical y las palas y secciones de la torre se pueden reservar en pilas utilizando bastidores para optimizar el espacio, agrupándolas de tres en tres y de dos en dos respectivamente.

ILUSTRACIÓN 22: ALMACENAJE PALAS DE TURBINA (FUENTE: EN:FORMER [47])

ILUSTRACIÓN 23: ALMACENAMIENTO SECCIONES DE LA TORRE (FUENTE: LIFTRA [48])

Con el fin de facilitar los movimientos se dejarán 100 m de margen entre el almacén y otra zona de taller, asegurando un espacio suficiente para el manejo de las palas. El almacén precisará de 2.15 ha, en él se situará una grúa Liebherr LR 11000, con capacidad máxima de 1,000 t, utilizada para mover los componentes entre zonas.

La góndola, las partes de la torre y la pieza de transición estarán dispuestas de forma que el alcance máximo será de unos 20 m, con estas características la grúa tiene una capacidad de hasta 609 t y una altura máxima de 60 m. Las palas necesitan un alcance de 50 m, y con la misma altura permite levantar hasta 200 t, proporcionando un sobredimensionamiento que facilita la elevación de estos pesos.



		SL2 42 – 156 m																			
		42 m	48 m	54 m	60 m	66 m	72 m	78 m	84 m	90 m	96 m	102 m	108 m	114 m	120 m	126 m	132 m	138 m	144 m	150 m	156 m
m		D 36 m				D 42 m															
9	B	628	621																		
	BV																				
	BW	628	621																		
10	B	632	626	622	600																
	BV																				
	BW	632	624	622	601																
11	B	635	627	623	603	582															
	BV																				
	BW	636	629	624	604	585															
12	B	638	631	625	605	585	562	538													
	BV																				
	BW	640	631	625	606	588	566	540													
14	B	647	640	635	607	589	567	544	516	483	443										
	BV																				
	BW	647	640	635	615	595	571	548	520	485	444										
16	B	650	649	634	600	585	567	545	516	483	443	399	359	320							
	BV					602	579	554	525	486	444	401									
	BW	650	649	643	623	599	577	554	526	486	444	401	363	322							
18	B	610	621	616	598	585	563	541	517	483	441	397	359	319	279	243	226				
	BV					608	586	561	531	486	444	401	364	322	280						
	BW	650	650	648	631	606	585	560	531	486	444	401	364	323	280	233	225				
20	B	544	571	574	568	575	563	536	512	478	438	397	357	318	277	242	226	198	174	153	134
	BV					609	593	567	537	486	444	401	364	323	280	233	224	188			
	BW	650	650	633	630	609	592	566	536	486	444	401	364	323	280	233	224	188	167	149	
22	B	476	507	519	516	541	531	522	504	476	434	391	355	318	275	241	226	197	172	152	133
	BV					603	601	574	542	486	444	401	364	324	281	233	223	187	167	149	123
	BW	608	622	614	617	601	600	564	539	486	444	401	365	324	280	233	223	187	167	149	123
24	B	422	451	468	473	495	492	483	477	466	432	388	352	312	272	241	224	196	171	151	132
	BV					577	580	567	542	486	444	401	358	324	281	234	223	186	166	148	122
	BW	542	578	578	573	587	577	561	538	486	444	401	365	323	280	233	223	186	167	148	122
26	B	378	402	420	432	458	452	448	441	434	416	380	350	307	267	238	222	194	170	149	131
	BV					548	533	531	520	486	441	401	354	323	280	234	222	185	165	147	121
	BW	487	522	532	528	561	547	539	530	485	441	401	365	321	278	233	222	185	166	148	122
28	B	342	365	384	392	424	420	414	411	405	395	366	342	301	264	235	220	192	169	148	129
	BV					521	507	492	489	477	432	401	352	319	277	235	221	184	165	147	120
	BW	438	473	492	488	533	522	507	501	475	441	401	363	319	276	233	221	184	165	147	121
40	B		217	232	240	277	284	281	279	276	274	271	267	254	223	207	198	177	156	136	121
	BV					376	373	369	365	361	353	344	323	284	244	221	212	180	162	139	119
	BW		274	302	318	374	372	368	364	361	358	350	335	283	245	221	211	180	161	139	120
44	B			197	206	243	247	251	249	247	245	242	240	235	210	193	191	170	150	132	117
	BV					334	336	333	329	327	324	318	303	274	234	210	205	179	156	134	119
	BW			260	275	329	334	331	328	326	323	319	313	272	233	210	204	179	156	134	119
48	B			173	182	212	221	224	223	223	221	218	216	214	200	182	179	163	143	126	112
	BV					296	303	302	299	296	294	291	283	264	224	201	199	176	149	127	116
	BW			221	238	291	298	300	297	295	293	290	285	262	224	201	198	176	150	128	116
52	B				156	189	196	198	201	202	200	198	195	194	191	173	170	156	136	119	109
	BV					260	270	274	272	270	268	265	262	252	215	193	193	172	144	121	111
	BW				210	257	265	270	270	268	266	264	260	250	215	193	193	171	144	122	112
56	B					166	172	175	182	181	180	180	177	177	175	166	160	149	130	112	104
	BV					231	242	249	248	247	245	243	240	237	206	186	187	167	139	117	107
	BW					229	238	245	245	245	243	241	237	234	205	185	187	167	139	117	108

ILUSTRACIÓN 24: CONFIGURACIÓN GRÚA 11000 (FUENTE: LIEBHERR [44])

Además, se habilitará un taller de reparación para posibles daños causados en la maquinaria y herramientas durante las operaciones, para posibles averías en diferentes utillajes y maquinas como grúas, con una largura de 100 m y una anchura de 30 m el taller ocupará una superficie total de 3,000 m^2. En la ilustración 25 se representa en conjunto todas las partes mencionadas, añadiendo un pequeño terreno de aparcamiento para los medios pesados, más detalles en el plano 2, Anexo D.

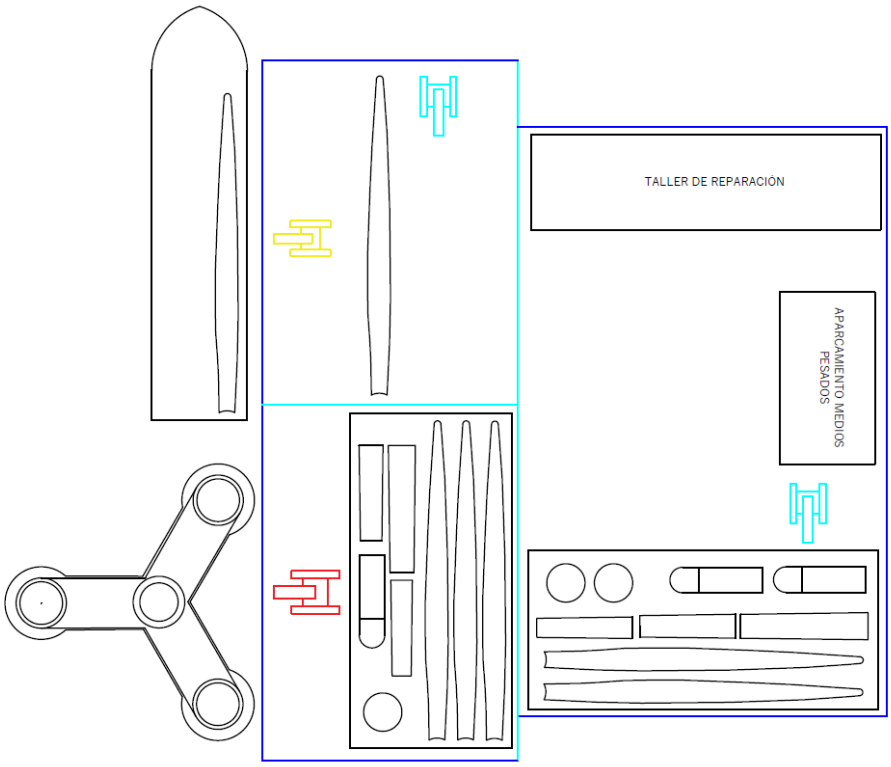


ILUSTRACIÓN 25: PARCELA DE INSTALACIÓN DE LA TURBINA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Como se puede observar hay un apartado reservado a la carga y descarga del buque de transporte en la parte izquierda superior, desde donde los elementos son llevados al almacén con ayuda de la grúa sobre orugas LR11000, el área total es de 3.9 ha.

Para la descarga se colocará una grúa específica, no se necesitan grandes alturas ni alcances, una grúa LR1800 ha sido elegida. Un posible barco de transporte puede ser un modelo Happy Sky de Biglift, que cuenta con 155 m de eslora [45] y 29.1 m de manga [45], por ello el máximo alcance será de unos 25 m. Las palas se transportan en bastidores, se supondrá que alcanzan una altura de unos 30 m para dar un cierto sobredimensionamiento, así se pueden levantar hasta 287 t; la góndola exige menor alcance, a 20 m de distancia llega a 537 t.

m		H2 33 - 69 m						
		33 m	39 m	45 m	51 m	57 m	63 m	69 m
7	B	800						
	BV	800						
	BW	800						
8	B	800	800	800				
	BV	800	800	800				
	BW	800	800	800				
9	B	800	800	800	800	782		
	BV	800	800	800	800	800		
	BW	800	800	800	800	800		
10	B	800	800	800	792	748	725	
	BV	800	800	800	800	796		
	BW	800	800	800	800	797	745	
11	B	781	778	772	751	713	698	650
	BV	790	795	800	798	768	715	
	BW	780	798	800	800	771	719	671
12	B	725	719	713	702	679	671	634
	BV	756	775	785	779	738	690	651
	BW	765	785	791	782	740	694	654
14	B	626	620	615	608	600	618	591
	BV	715	728	735	712	679	640	611
	BW	726	745	738	714	681	643	614
16	B	547	544	540	534	527	569	549
	BV	685	678	670	651	624	592	571
	BW	691	679	671	653	626	595	573
18	B	486	482	480	475	469	521	510
	BV	614	616	610	596	575	549	533
	BW	614	617	611	597	576	551	535
20	B	436	433	430	427	422	471	465
	BV	537	558	555	545	529	509	496
	BW	537	559	556	547	530	510	498
22	B	395	392	389	386	383	428	424
	BV	473	507	503	499	489	471	463
	BW	473	508	505	501	490	472	465
24	B	361	358	355	351	349	392	388
	BV	417	460	460	456	452	438	431
	BW	417	460	462	457	454	439	432
26	B	331	329	326	323	320	360	357
	BV	369	415	424	421	416	408	403
	BW	370	415	424	421	417	409	404
28	B	306	303	301	298	295	332	331
	BV	327	373	392	389	385	379	376
	BW	327	373	392	389	386	380	377
30	B	279	281	280	276	273	308	306
	BV	287	336	361	361	358	353	351
	BW	287	336	361	362	359	354	351

ILUSTRACIÓN 26: CONFIGURACIÓN GRÚA 1800 (FUENTE: LIEBHERR [46])

5.4. Espacios Auxiliares

La parcela contará con distintos espacios tales como un apartado de oficinas para llevar un control de los procesos y reuniones; diferentes zonas de parking, para el aparcamiento de vehículos de los trabajadores; y espacios para vehículos utilizados en los propios procesos, medios pesados. En el Anexo A se explican los detalles de las soluciones seleccionadas y superficies elegidas.

5.4.1. Módulos de oficinas

El módulo de oficinas consistirá en un edificio modular prefabricado, que proporciona una gran flexibilidad según las necesidades y son personalizables a cada empresa. La duración del proyecto superará los 3 años de duración, por lo que se necesita una solución de carácter permanente.

Teniendo en cuenta que se estima un tiempo de fabricación de 5 meses para producir dos subestructuras se estima que se necesitarán unos 200 trabajadores para realizar todas las tareas, cada trabajador requiere un área de oficina de unos 10 m^2 [41] para disponer de un espacio de trabajo cómodo, por esto la suma total será de alrededor 2,000 m^2. Una buena opción sería una edificación modular con opción de compra, como la mostrada en la ilustración 27. Disponer 2,000 m^2 da flexibilidad para los distintos trabajos de control de la parcela y organización, así como espacio para diversos despachos, salas de reuniones y posibles visitas.

ILUSTRACIÓN 27: MÓDULOS DE OFICINA PREFABRICADOS (FUENTE: ALGECO [42])

Se asume que los trabajadores serán llevados a sus respectivas zonas de trabajo mediante lanzaderas y que el propio Puerto cuenta con una zona de aparcamiento a la entrada. Se habilita un pequeño apartado contiguo a las oficinas para permitir a estos vehículos dejar y recoger a los trabajadores.
Además, los empleados deberán disponer de una zona de vestuarios debido a las diferentes actividades que se realizan en el Puerto, teniendo algunas de ellas altos riesgos laborales y de carácter "sucio", con necesidad de vestuario específico. Se diseñará para tener un aforo de 50 personas, unos 150 m^2, y estarán colocados al lado de las oficinas, facilitando la entrada de los trabajadores tras ser traídos por las lanzaderas.

5.4.2. Aparcamientos de medios pesados

La superficie de aparcamiento de medios pesados está diseñada con el fin de estacionar vehículos de diferentes características cuando no sea necesaria su utilización en los procesos de construcción. Se acondicionará uno para la construcción y la fabricación del hormigón, albergará distintos transportes, como camiones hormigonera y de transporte de áridos o camiones de barras de acero, tendrá un largo de 70 m y un ancho de 30 m, ocupando 2,100 m^2.

Otro segmento de estas características será requerido en la parcela de instalación de la turbina, este segmento es más reducido, su principal función será acoger camiones y vehículos utilizados por los operarios para llegar a sus puestos de trabajo, ocupará alrededor de 1,000 m^2.

5.4.3. Talleres de reparación y almacenes

En caso de avería de alguna de la maquinaria o utillajes disponibles se habilitarán pequeños talleres de reparación tanto en la parcela de construcción como en la de instalación, abarcarán lo suficiente como para acoger cualquiera de los vehículos y utensilios empleados en las operaciones. Ambos talleres estarán cubiertos con una nave prefabricada, como la representada en la ilustración 28, para evitar el posible deterioro de las herramientas y facilitar las maniobras. En la zona de manufactura el taller poseerá una superficie de 2,100 m^2 y en la de instalación 3,000 m^2 (este último descrito en apartados anteriores).

ILUSTRACIÓN 28: NAVE INDUSTRIAL (FUENTE: VALL [58])

La parcela principal también acogerá un almacén para las distintas partes necesarias en la fabricación, entre ellas las armaduras de acero necesarias en los pontones de la plataforma, que se instalan para dar mayor resistencia a las columnas. Contará con 2,450 m^2 capaz de acoger varias armaduras de acero que precisan las columnas laterales y otros componentes necesarios en el proceso. Esta extensión también poseerá de un techo para la correcta conservación de los componentes, una nave industrial de igual composición al taller de reparación será utilizada, siendo una solución económica y rápida de montar.

6. Cronograma

Se va a realizar una explicación de los tiempos estimados para la urbanización del suelo y la construcción de la parcela de producción, talleres y medios necesarios para la fabricación del flotador. Se dividirá en dos procedimientos independientes, por un lado, la zona principal de producción y por otro la zona de instalación de la turbina.

La parcela principal contará con una primera línea de construcción de las primeras partes de la estructura, dos líneas independientes para finalizar las columnas y la instalación del Syncrolift para la botadura. Además de zonas para oficinas o talleres que requerirán la acomodación del suelo o la colocación de cubiertas.

En la instalación de la turbina, la mayoría de los componentes se almacenan en vertical, sobre los suelos ya urbanizados por la autoridad portuaria.

6.1. Urbanización de los terrenos

El Puerto se encarga de urbanizar y acomodar los terrenos para las concesionarias interesadas en establecer sus servicios. Con el fin de evitar errores o posibles reformas en el suelo ya urbanizado, la Autoridad Portuaria hará la obra en conjunto con la empresa interesada, asegurándose de cumplir las necesidades de la parcela, operaciones como la ampliación de terrenos, construcción del dique y relleno del trasdós se asumirá que ya han sido realizadas, estas no dependen del tipo de fábrica o actividad que se vaya a llevar a cabo. La obra incluye la preparación del terreno, nivelación del suelo y limpieza; el establecimiento de las redes de agua y electricidad; y la construcción de carreteras, pavimentos, aceras y sistemas de iluminación.

Estas operaciones son complejas y conllevan periodos largos de tiempo, considerando el terreno como urbano, no se incluirá el tiempo de obtención de permisos en el cronograma. Utilizando como referencia otro proyecto de urbanización de una parcela industrial, se va a hacer una estimación del tiempo que precisa esta operación, la referencia tiene un terreno de 50,000 m^2 [72], mientras que la fabricación del flotador ocupa 252,703 m^2. En actividades como la limpieza del terreno y movimiento de tierras, redes eléctricas y pavimentaciones se añadirá un mes al tiempo de referencia, dando margen para cubrir todo el terreno e incluir posibles contratiempos. La limpieza y nivelación se realizarán lo primero, simultáneamente con el emplazamiento de las redes de saneamiento para las aguas residuales, lo que llevará un total de 4 meses.

Redes de agua y electricidad serán necesarias, se considerarán 5 meses para el montaje del sistema debido a las grandes dimensiones de la parcela. La red de abastecimiento de agua solo será necesaria en la parcela principal, mientras que la de electricidad se utiliza tanto en la instalación del aerogenerador como en la producción, el montaje de las redes se realiza al mismo tiempo. Por último, se pavimentarán los terrenos y harán las carreteras planteadas, esta actividad comenzará 3 semanas después de comenzar con el establecimiento de las redes de agua y eléctrica, la pavimentación llevará otros 4 meses.

En conclusión, la urbanización de los suelos se llevará a cabo en un tiempo total de 11 meses, los tiempos se ven reflejados en la ilustración 29.

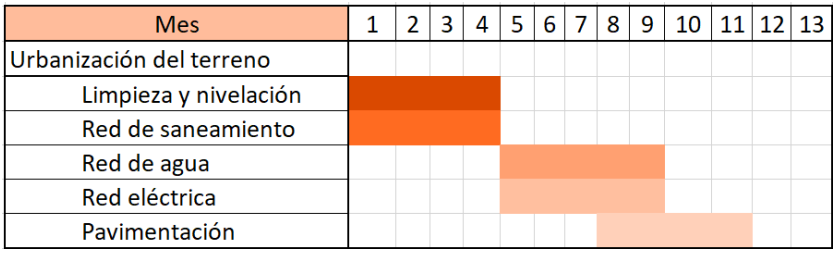


ILUSTRACIÓN 29: CRONOGRAMA URBANIZACIÓN DEL TERRENO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

6.2. Construcción Parcela Principal

6.2.1. Plantas de hormigón

La planta de hormigón cuenta con numerosos medios de almacenaje como tolvas y silos, una mezcladora de eje horizontal, dos cintas transportadoras y necesita una cabina desde la cual el operario controlará la planta. El transporte e instalación de la planta se lleva a cabo en un plazo de 15 días [Constmach], incluyendo los sistemas eléctricos y mecánicos.

Una vez están montadas, se va a dar un plazo de 1 semana para su puesta en funcionamiento, dando margen a la llegada de materias primas y su traslado a las plantas. Teniendo en cuenta que necesitamos 2 instalaciones, sumaremos un tiempo de 30 días, 4 semanas, más una semana hasta su puesta en marcha, es decir, a las 5 semanas estarán en funcionamiento.

6.2.2. Espacios de oficinas y vestuarios

La construcción de las oficinas modulares comienza con la preparación de la cimentación sobre la cual se debe instalar la edificación, el principal condicionante en este proceso es el fraguado del hormigón. Después de instalar la estructura de refuerzo de barras de acero se vierte el hormigón fresco en el encofrado y se deja secar durante al menos 2 semanas para que este alcance el 70% de su resistencia máxima [74]. Programaremos el comienzo de la obra una vez las plantas de hormigón estén en funcionamiento, para la construcción de los cimientos.

Una vez la cimentación esta lista, se puede comenzar con la construcción del edificio prefabricado, al ser confeccionado y montado por el fabricante los tiempos de instalación en el Puerto son de alrededor de 3 semanas [64]. Así el tiempo necesario será de 5 semanas para la completar las oficinas.

Los vestuarios poseen una superficie menor, por lo que se considerará un tiempo de instalación de 2 semanas desde que el hormigón ha adquirido la dureza necesaria, 4 semanas en total, su edificación empieza con una semana de diferencia a la de las oficinas.

6.2.3. Talleres

Los talleres destinados a la reparación de maquinaria y algunos almacenes están cubiertos por una carpa industrial. El techo estará compuesto por una lona opaca y las paredes por paneles sándwich. El tiempo de montaje de las carpas dependen de su tamaño y características, queremos soluciones

permanentes, duraderas, por lo que los tiempos son algo mayores comparado con las cubiertas de alquiler temporales.

La zona principal de producción cuenta con un almacén para los componentes requeridos en las líneas y un taller de reparación que prácticamente tienen las mismas dimensiones, alrededor de 2,500 m^2. El grupo Vall monta una carpa de 1,800 m^2 en 21 días [65], por lo tanto, para las instalaciones mencionadas se supondrá un plazo de 4 semanas por carpa considerando posibles contratiempos. También presenta un taller de barras de acero de 20,000 m^2, significativamente más grande, por lo que se considera un tiempo de 6 semanas. Las naves industriales cuentan con zapatas de hormigón como cimentación, su edificación se programará una semana después del comienzo de la construcción de los vestuarios, asegurando la disponibilidad de la maquinaria necesaria y materia prima, comenzando con la nave de mayor tamaño.

6.2.4. Líneas de construcción

En cuanto a la parcela de fabricación, una vez el suelo este urbanizado, hay que instalar la maquinaria necesaria para el proceso. Lo que más tiempo requerirá serán las líneas de deslizamiento para las zonas 2 y 3, esto es encargado a una empresa externa, lo que reduce notablemente el tiempo de instalación. Se va a considerar un tiempo de unas 3 semanas, teniendo en cuenta posibles retrasos o inconvenientes durante la operación, siendo la construcción de ambas líneas en paralelo.

6.2.5. Plataforma Syncrolift

La plataforma Syncrolift será la operación que más tiempo requiera, es una estructura de gran complejidad y dimensiones. Su instalación comenzará con la colocación de los cimientos y estructuras para soportar el sistema de elevación, se asumirá que esto lo realiza el Puerto con la urbanización del terreno, una vez que el dique y las obras de relleno del trasdós para la ampliación del Puerto han acabado. A continuación, se procederá a la instalación de la estructura y equipos principales, entre ellos los rieles, gatos hidráulicos que se encargan de elevar el sistema y redes eléctricas y de control. Otras plataformas como la instalada en la Ciotat, Barcelona, requirió varios años para poner en marcha el sistema, en este proyecto se excluye el tiempo de diseño y se incluye exclusivamente el tiempo de construcción y montaje, por lo tanto, asumiremos un tiempo de un año. Restándole alrededor de 3 meses, lo que costaría pavimentar y acomodar el terreno, supondremos 9 meses desde que se comienza el montaje.

6.3. Construcción Parcela de Instalación

Para la zona de instalación solo hace falta incluir una estructura, la carpa de la zona de taller de reparación, que abarca 3,000 m^2, el tamaño es parecido al de las instaladas en la parcela principal. En consecuencia, se asumirá un tiempo de 4 semanas para el emplazamiento.

El resto de zonas de la parcela serán urbanizadas por el puerto y solo será necesario el traslado de las máquinas para realizar las operaciones de movimiento de componentes.

Juntando todos los tiempos mencionados llegamos a las siguientes conclusiones:

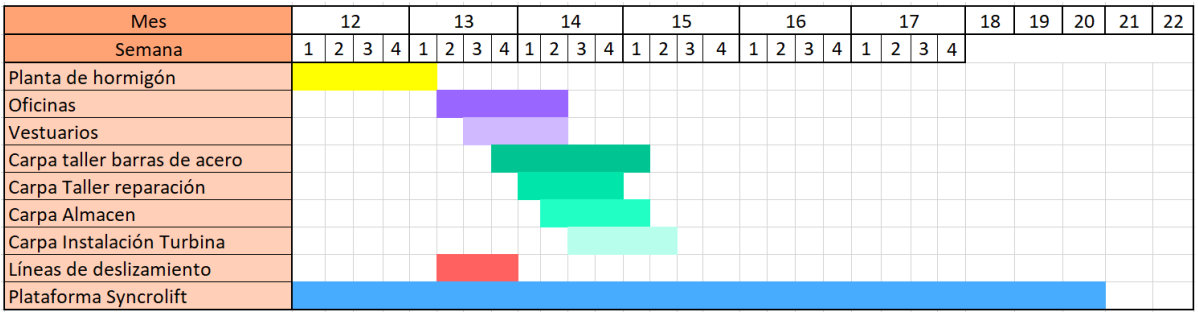


ILUSTRACIÓN 30: CRONOGRAMA CONSTRUCCIÓN DE LA PARCELA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Para finalizar, en la ilustración 31 se muestran todos los tiempos en conjunto, llegando a las siguientes conclusiones:

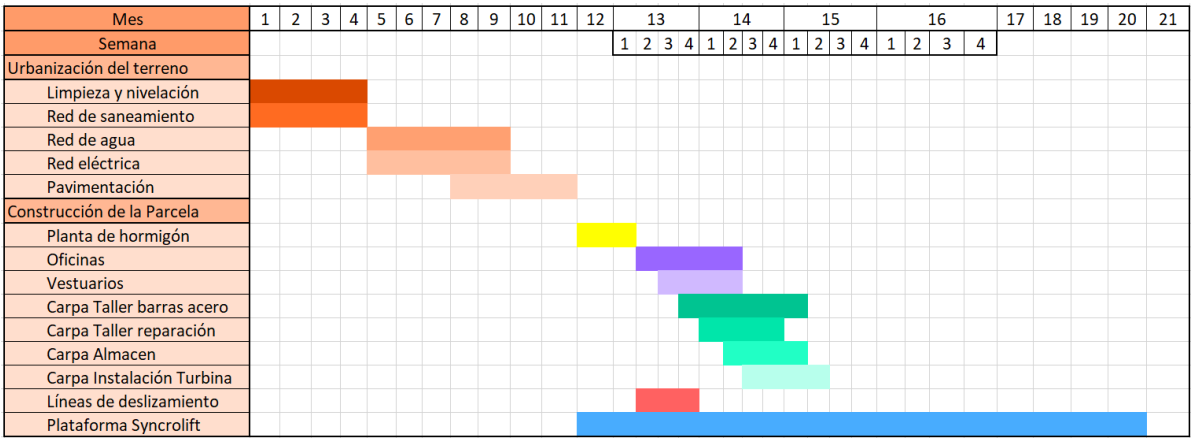


ILUSTRACIÓN 31: CRONOGRAMA CONJUNTO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

- La obra de la parcela llevará un total de 20 meses, a los 11 meses comenzará la edificación de fábricas y talleres y los suelos estarán completamente urbanizados.
- La parcela será construida y puesta en funcionamiento en 14 semanas, exceptuando el sistema de botadura que requerirá de 9 meses completos para su puesta en marcha.
- El comienzo de la producción se programará en el mes 17, antes de finalizar el Syncrolift, La primera estructura se completa en 4 meses y 2 semanas, así en el mes 21, momento en el que la plataforma de botadura estará en pleno funcionamiento, el primer flotador estará listo para su puesta a flotación.
- Otra opción sería comenzar con la fabricación de estructuras en el mes 15, con la finalización del montaje de las principales infraestructuras, y recurrir al uso temporal de un buque semi-sumergible para el lanzamiento de las primeras estructuras al mar, hasta que se termine de construir el Syncrolift.

7. Modelo Financiero

En este apartado se realiza un estudio de los costes e ingresos que conlleva la planta de producción. El Puerto de a Coruña asume los costes de ampliación, la urbanización y el acondicionamiento de los terrenos, la construcción de la instalación queda en manos de la empresa interesada. Tras definir todos los elementos principales que constituyen la parcela se clasifican en grupos para facilitar su identificación, se dividirán en los costos iniciales de inversión, los costos operativos y los ingresos esperados.

Un factor clave a tener en cuenta es el número de flotadores que se van a fabricar por año, el diseño se ha ideado para producir 28 flotadores en 2 años, Anexo B, que soportarán turbinas de 11 MW dando lugar a un parque de 308 MW de capacidad. En el análisis se incluirán los gastos principales relacionados con la planta de producción.

7.1. Costos iniciales de inversión

Los costos iniciales son aquellos gastos que solo hay que asumir una vez al inicio del proyecto, entre ellos destacan:

- La construcción de las instalaciones
- Equipos y maquinaria
- Costos de Ingeniería y Diseño de la planta

Los precios de la maquinaria y de cada aparato se recogen en la tabla 5, debido a que los fabricantes no proporcionan precios abiertamente se hace una suposición generalizada de los costes de la maquinaria, considerando compras de segunda mano o nuevas. La planta está planteada para funcionar un gran número de años, interesarían equipos poco usados si se evalúan precios de segunda mano.

Equipo	Nº de unidades	Precio	Total
Grúa sobre orugas 1350 t	1	1,500,000 € [52]	1,500,000 €
Grúa sobre orugas 300 t	2	2,300,000 € [52]	4,600,000 €
Grúa sobre orugas 1000 t	2	2,675,000 € [52]	5,350,000 €
Grúa sobre orugas 700 t	1	4,450,000 € [52]	4,450,000 €
Camión hormigonera	8	100,000 € [57]	800,000 €
Pala cargadora	8	80,000 €	640,000 €
Transportadores modulares 16 ejes	50	12,020 € [70]	601,000 €
Plataformas elevadoras	10	26,500 € [71]	265,000 €
Encofrado deslizante	1	552,604 €	556,200 €
Planta de hormigón	2	310,000 €	620,000 €

TABLA 5: PRECIOS MAQUINARIA UTILIZADA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

El encofrado deslizante se calcula por m^2 de área de contacto con el hormigón, teniendo un precio de entre 15 y 25 €/m^2 [82] en España, vamos a considerar 20 €/m^2. Un ratio de 6.62 m^2 [83] de encofrado por m^3 de hormigón sería adecuado para una pequeños espesores, para este caso se va a considerar un ratio de 5 m^2/m^3, ya que se asume que la plataforma tendrá espesores medios a grandes. Con un volumen de 5,565 m^3 de hormigón el costo total del encofrado es:

$$20\frac{€}{m^2} * 5\frac{m^2}{m^3} * 5{,}562\ m^3 = 556{,}200\ €$$

El precio de edificación de las carpas vendrá determinado por el valor del metro cuadrado, asumiremos un precio que ronda los 200 €/m^2 [55], es un precio elevado debido a las grandes dimensiones requeridas y a la necesidad de soluciones duraderas. Se hace la suposición de que la mayor parte del suelo será acondicionado por la autoridad portuaria y solo se incluirán las áreas correspondientes a talleres cubiertos, almacenes, etc. El coste de edificación será:

Parámetro	Coste
Talleres de reparación (5,100 m^2)	1,020,000 €
Taller barras de acero (20,000 m^2)	4,000,000 €
Almacenamiento zona de construcción (2,450 m^2)	490,000 €
Total	5,510,000 €

TABLA 6: COSTES EDIFICACIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

El precio de oficinas y vestuarios dependerá de la empresa de contratación, para las oficinas se han elegido edificaciones de Algeco que establece un precio 1,600 €/m^2 [Algeco], incluyendo la mano de obra necesaria y el montaje. El área total será de 990 m^2 por planta, 1,980 m^2 en total, elevando la inversión a 3,168,000 €. En cuanto a los vestuarios el precio se rebaja a 1,200 €/m^2 debido a la necesidad de una sola planta y menor equipamiento interior, sumando 180,000 € para unos vestuarios de 150 m^2.

Por último, una inversión importante será la plataforma Syncrolift que se utiliza en la botadura. Su precio puede variar significativamente en función de factores como el peso y tamaño de la estructura a elevar, en este caso el flotador semi-sumergible tiene un peso de 16,000 t y una anchura y largura de 85 m. Debido a las capacidades requeridas la plataforma se elevará a grandes precios. Se va a hacer una estimación teniendo en cuenta otros sistemas existentes, el sistema utilizado en La Ciotat, Barcelona, tiene 100 m de largo y 20 m de ancho, con una capacidad de 4,300 t supuso una inversión de 70 M€ [66], el incremento de capacidad necesario aumentará el precio notablemente en el sistema de este proyecto. Por otro lado, en Jacksonvilles, Florida, se inició un plan de 180 M€ [67] para instalar una plataforma capaz de elevar 25,000 t, estos pesos se acercan a las demandas del Puerto. En consecuencia, se asumirá una inversión de alrededor de 150 M€, considerando la necesidad de una plataforma de mayores dimensiones, pero con menores exigencias de peso.

El sistema de elevación será utilizado por varias concesionarias, por lo que se puede suponer que su coste estará repartido entre las empresas interesadas. Se va a asumir que 4 empresas se repartirán la inversión de la plataforma ante la gran superficie disponible para la eólica marina en el Puerto, dejando la inversión en 37,500,000 € por interesado.

Todos los costes mencionados se recogen en la tabla 7, mostrando la inversión total de los costes iniciales, el CAPEX[2] del proyecto.

[2] CAPEX Gastos de capital, bienes comprados por la empresa.

Parámetro	Coste (€)
Equipos	
Grúas Orugas 1350 t	1,500,000
Grúas Orugas 300 t	4,600,000
Grúas Orugas 1000 t	5,350,000
Grúas Orugas 700 t	4,450,000
Camión Hormigonera	600,000
Pala Cargadora	480,000
TPSM	601,000
Plataformas elevadoras	265,000
Encofrado Deslizante	5526,200
Plantas Hormigón	620,000
Instalaciones	
Talleres Reparación	1,020,000
Taller Barras Acero	4,000,000
Almacén Construcción y Botadura	490,000
Oficinas	3,168,000
Vestuarios	180,000
Syncrolift	37,500,000
TOTAL	65,380,200

TABLA 7: RESUMEN COSTES TOTALES CAPEX(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

En cuanto a los costos de Ingeniería de Diseño, también denominados como DEVEX[3], hacen referencia a la planificación y estudio de la viabilidad del proyecto, en este estudio los costes de diseño solo incluirán aquellos relacionados con la parcela de producción, los relativos al flotador corren a cargo del contratista. Los costes dependen en gran medida de la complejidad del proyecto, la ubicación geográfica y el tamaño de la planta, la planta diseñada ocupa alrededor de 25 ha y la ubicación en un puerto industrial supone mayores retos debido a las fuertes condiciones ambientales. Se va a hacer una estimación aplicando un porcentaje sobre el CAPEX calculado anteriormente, debido a la gran complejidad de la planta el DEVEX supondrá un 15% [73] del CAPEX total, es decir:

$$DEVEX = 65{,}380{,}200 * 0.15 = 9{,}807{,}030\ €$$

La inversión inicial total será la suma del CAPEX y el DEVEX, haciendo 75,187,230 €

[3] DEVEX Costes asociados al desarrollo y gestión del proyecto.

7.2. Costos operativos

Los costos operativos incluyen los costos de las materias primas, mano de obra y mantenimiento de equipos e instalaciones. Las tasas de coste utilizadas están determinadas sobre la base de los últimos datos del mercado y experiencia interna de DNV[4] (Det Norske Veritas), las ratios incluyen los precios de fabricación y de mano de obra. Las acciones que influyen en mayor medida en el precio total de producción del flotador serán la obtención del hormigón y el refuerzo de barras de acero, todos los gastos se desglosan a continuación en la tabla 8, con valores representados en función de los MW que posee la turbina.

	Unidad	Coste
Hormigón	[€/MW]	170,494 [51]
Refuerzo	[€/MW]	211,500 [51]
Post tensionado de la estructura	[€/MW]	66,670 [51]
Otros	[€/MW]	44,900 [51]
Total	[€/MW]	493,500 [51]

TABLA 8: COSTES DE FABRICACIÓN DE LA PLATAFORMA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Así el precio para un flotador se eleva a un valor de 493,500 €/MW [51], contando con la potencia del aerogenerador de 11 MW el precio total por flotador será de:

$$493{,}500\,\frac{€}{\mathrm{MW}} * 11\ \mathrm{MW} = 5{,}428{,}500\ € \approx 5.43\ \mathrm{M€}$$

Otros costes a tener en cuenta será el alquiler de la superficie del Puerto que se quiere utilizar, la Autoridad Portuaria establece distintas tasas dependiendo de la utilización del terreno, los principales gastos de alquiler serán:

Actividad	Tiempo de uso	Coste	Total por año
Transporte Flotador	4 horas	12,600 €	214,200 €
Parcela Producción	Permanente	1,309,530 €/año	1,309,530 €
Syncrolift	Permanente	33,560 €/año	33,560 €
			1,557,290 €

TABLA 9: TARIFAS DE ALQUILER (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

La tabla 9 refleja la inversión necesaria para el primer año de funcionamiento de la parcela de producción, cuenta con la fabricación de 17 estructuras y la instalación de la turbina en todas ellas, para más detalle ver Anexo C.1.

Por último, se añaden los costes indirectos que supone fabricar el producto, es una estimación difícil debido a la falta de datos específicos de la planta. Se hace una estimación aproximada del consumo de energía que conlleva y los salarios de los trabajadores que trabajan en las parcelas, sumando 3,999,000 € al año entre electricidad y salarios (detalles de los cálculos en Anexo C.2.)

Todos los costes de reflejan en la tabla 10 a continuación:

[4] DNV es una sociedad de clasificación de ámbito mundial Noruega.

Parámetro	Coste (€)
Tarifas Alquiler	
Parcela Producción	1,309,530
Syncrolift	33,560
Transporte flotador	214,200
Costes Indirectos	3,999,000
Fabricación	
Hormigón	1,875,434
Refuerzo Acero	2,326,500
Post tensionado	733,370
Otros	493,900
Total Fabricación	5,429,204
Total para 11 Flotadores	59,721,244
Total para 17 Flotadores	92,296,468
TOTAL (11)	65,277,534
TOTAL (17)	97,852,758

TABLA 10: RESUMEN COSTES OPEX (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

7.3. Rentabilidad del Proyecto

Para finalizar el estudio financiero se va a estudiar la rentabilidad de la fábrica y el tiempo en que se tardará en recuperar la inversión. Para ello se van a calcular el VAN (Valor Actual Neto), que valora y determina la viabilidad y rentabilidad del proyecto; el TIR (Tasa Interna de Retorno), representa el porcentaje de beneficio o pérdida; y el Payback, tiempo que se tarda en recuperar la inversión. Los cálculos se realizan considerando una vida útil o concesión de 25 años para la planta de producción. En la tabla 11 se observa un desglose de los diferentes indicadores financieros, todos los cálculos se reflejan en el Anexo C.3.

Parámetro	Coste
CAPEX	65,380,200 €
OPEX (17 flotadores)	97,852,758 €
DEVEX	9,807,030 €
Tasa de descuento	7.84 %
Precio de Venta	6,516,000 €
Beneficio anual (17 flotadores)	110,772,000 €
VAN	58,581,993.08
TIR	15.55 %
Payback	8.9 años

TABLA 11: INDICADORES FINANCIEROS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Para finalizar, se puede afirmar que la parcela diseñada resultará ser rentable:

- El VAN positivo indica un proyecto viable y el TIR mayor a la tasa de descuento utilizada indica un proyecto rentable, del que se obtendrán beneficios.
- El Payback muestra que en aproximadamente 9 años la empresa promotora habrá recuperado el dinero invertido, un tiempo adecuado para este tipo de grandes proyectos.

8. Conclusiones

El proyecto de implementación de una planta de producción de flotadores para turbinas eólicas se presenta como una oportunidad estratégica para contribuir al crecimiento del sector en Europa, además de aumentar la influencia de los puertos españoles en la eólica marina flotante. Concretamente, el proyecto en el que se enmarca el presente estudio, posicionaría a A Coruña como un hub clave en la cadena de valor. El posicionamiento de la planta en este puerto responde tanto a las ventajas geográficas y logísticas de la región como al fuerte compromiso de Galicia y España en la descarbonización y desarrollo de las energías renovables.

El tipo de cimentación a fabricar es crucial para la viabilidad del proyecto, siendo la plataforma semi-sumergible la elegida debido a su gran estabilidad y fácil mantenimiento, además de adecuarse a las dimensiones del Puerto Exterior. Es la opción más económica y proporciona la mayor flexibilidad en cuanto a su emplazamiento en alta mar, esto lo hace una opción atractiva para las diversas empresas del sector que deseen habilitar un parque eólico flotante. Así mismo, se trata de la tipología que tiene un *Technology Readiness Level* más avanzado.

La planta de producción propuesta ha sido diseñada para maximizar la eficiencia, produciendo dos flotadores simultáneamente, asegurando un flujo constante y eficiente en la cadena de suministro. Esto se consigue gracias a la disponibilidad de plantas de hormigón en el propio Puerto, que además de abaratar los costos logísticos, asegura la disponibilidad continua de materia prima. Se puede afirmar que la planta cumplirá con la creciente demanda de energía limpia proporcionando productos de calidad.

Desde el punto de vista financiero, tras realizar una estimación detallada de los costos de construcción de la parcela y de los tiempos que requerirá esta acción, se concluye que, en tan solo dos años, la planta estará en pleno funcionamiento. Así mismo, se recuperaría la inversión inicial en un tiempo razonable, asegurando la viabilidad y rentabilidad del centro de producción.

Bibliografía

[1]	Scassola, A. Buckland, I. lee, B. Zhao, F & Lathigara, A. (2023). Global Wind Workforce Outlook. gwec.net. https://gwec.net/wp-content/uploads/2023/10/Global-Wind-Workforce-Outlook-2023_Final.pdf (Scassola, 2023)
[2]	Deloitte. (2022). Libro Blanco de la Industria Eólica Marina en España. a.f. diseño y comunicación
[3]	RWE. (2023). Sumergirse en el Mundo de la Eólica Flotante. rwe.com. https://es.rwe.com/desarollo-energia-eolica-marina/eolica-marina-flotante/eolica-marina-flotante-aula-virtual/ (RWE)
[4]	Sundarrajan, A. Hoon Lee, Yong. Allision, J. Zalkind, D & Herber, D. (2023). OPEN-LOOP CONTROL CO-DESIGN OF SEMISUBMERSIBLE FLOATING OFFSHORE WIND TURBINES USING LINEAR PARAMETER-VARYING MODELS. arxiv.org. https://arxiv.org/pdf/2310.13647.pdf
[5]	Wind Europe. (2023). Offshore Wind Ports Platform. windeurope.org. https://windeurope.org/policy/topics/offshore-wind-ports/
[6]	DNV. (2023). ENERGY TRANSITION OUTLOOK 2023. dnv.com. file:///C:/Users/jarag/OneDrive/Escritorio/TFG/DNV_ETO_Main_Report_2023_compressed.pdf
[7]	Iberdrola. *La energía eólica marina flotante: un hito para impulsar las renovables gracias a la innovación.* Iberdrola.com. https://www.iberdrola.com/innovacion/eolica-marina-flotante
[8]	Rodríguez Fernández, L. R. (2011). *Parque Nacional de Timanfaya, Guía Geológica*. Instituto Geológico y Minero de España. https://www.igme.es/LibrosE/GuiasGeo/islas_atlanticas_sp/68/
[9]	(WindFloat, 2016) WindFloat. (2 Junio 2022). *Principle Power's WindFloat Prototype Celebrates its 5-year Anniversary and the Final Stage of Technology Demonstration.* PrinciplePower.com. https://www.principlepower.com/news/principle-powers-windfloat-prototype-celebrates-its-5-year-anniversary-and-the-final-stage-of-technology-demonstration
[10]	Crowle A, Thies P. *Floating offshore wind turbines port requirements for construction.* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment. 2022. https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/14750902221078425
[11]	L. Efthimiou, A. Mehta, WFO. (26 Mayo 2023). *CRASH COURSE – Floating Offshore Wind, a blog series (PART 3).* Wfo-global.org. https://wfo-global.org/crash-course-floating-offshore-wind-a-blog-series-part-3/
[12]	Autoridad Portuaria de A Coruña. *Eólica Marina/ Carga de Proyectos.* Puertocoruna.com http://www.puertocoruna.com/es/puerto-servicios/sectores-actividad/eolica.html
[13]	Autoridad Portuariaria de A Coruña. *PUERTO EXTERIOR DE A CORUÑA OFFSHORE Y PROJECT CARGO.* Puertocoruna.com http://www.puertocoruna.com/galeria-descargas/FolletoProjectCargoOffshore.pdf
[14]	A.P. Crowle, PR. Thies. *Construction Port Requirements for Floanting Offshore Wind Turbines.* Core.ac.uk https://core.ac.uk/download/pdf/489426821.pdf
[15]	Autoridad Portuaria de A Coruña. *Características técnicas del Puerto.* Puertos.es https://www.puertos.es/memorias_anuales/2013/pdf/A_Coruna/02_CaracteristicasTecnicasPuerto.pdf
[16]	IRENA. (Diciembre 2016). *Floating foundations: a game changer for offshore wind power.* Irena.org https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Offshore_Wind_Floating_Foundations_2016.pdf
[17]	Infopuertos. (Junio 2023) *El Puerto Exterior de A Coruña liderará a nivel nacional la nueva industria vinculada al desarrollo de la eólica marina en Europa.* Infopuertos.com.

	https://infopuertos.com/el-puerto-exterior-de-a-coruna-liderara-a-nivel-nacional-la-nueva-industria-vinculada-al-desarrollo-de-la-eolica-marina-en-europa/
[18]	Empire Engineering. *The Empire Engineering Guide to Offshore Wind Foundations, Second edition.* Empireengineering.co.uk https://www.empireengineering.co.uk/wp-content/uploads/2023/07/Empire-Engineering-Guide-to-Offshore-Wind-Updated-compressed.pdf
[19]	DNV. (2022, February 04) https://windworks-jelsa.no/app/uploads/2022/01/Comparative-study-of-concrete-and-steel-substructure-for-FOWT_final-for-distribusjon.pdf
[20]	Norsk Industri. (2021). *Leveransemodeller for Havvind, Delivery Methods for Offshore Wind*. Norskindustri.no https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-brosjyrer/leveransemodeller-havvind/leveransemodeller-havvind_juni_havner-verft-og-byggesteder.pdf
[21]	M. Masciola, A. Robertson, J. Jonkman, H. Song (Septiembre 2014). *Definition of the Semisubmersible Floating System for Phase II of OC4.* nrel.gov https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60601.pdf
[22]	Real Decreto 6082/2023 , de 21 de marzo, Anuncio de la Autoridad Portuaria de A Coruña de resolución de inicio del "Proyecto de ordenación de la zona sur del Puerto Exterior de A Coruña para el desarrollo de un hub para la industria eólica offshore". *Boletín Oficial del Estado, 51,* de 22 de febrero de 2023. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2023-6082
[23]	LIFE50+ (2019). *Qualification of innovative floating substructures for 10MW wind turbines and water depths greater than 50m.* life50plus.eu https://lifes50plus.eu/wp-content/uploads/2019/05/GA_640741_LIFES50_D5.5.pdf
[24]	Catapult, Offshore Renewable Energy. (2023) *Guide to a Floating Offshore Wind Farm.* guidetofloatingoffshorewind.com https://guidetofloatingoffshorewind.com/guide/i-installation-and-commissioning/i-8-construction-port/
[25]	T.Lanbø (January 2018). *OO-STAR WIND FLOATER THE FUTURE OF OFFSHORE WIND?.* Sintef.no https://www.sintef.no/globalassets/project/eera-deepwind-2018/presentations/closing_landbo.pdf
[26]	A. Crowle, Prof. Philipp R. Thies. (Octubre 2021). *Port and shipyard requirements for the installation of floating wind turbines.* Ore.exeter.ac.uk https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/127588/Port%20and%20shipyard%20requirements%20for%20the%20installation%20of%20floating%20wind%20turbines.pdf?sequence=https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/127588/Port%20and%20shipyard%20requirements%20for%20the%20installation%20of%20floating%20wind%20turbines.pdf?sequence=22
[27]	Pardo, C. D. (2023, October 14). *Eólica marina y renovables copan Langosteira y atraen toda una cadena de valor*. Economía Digital. https://www.economiadigital.es/galicia/empresas/eolica-marina-renovables-langosteira.html
[28]	FLAGSHIP (Agosto 2021) *D1.2. Concept Description Report.* flagshipproject.eu. https://www.flagshiproject.eu/wp-content/uploads/2021/09/D1.2-Concept-Description-Report-Final.pdf
[29]	https://wes.copernicus.org/preprints/wes-2021-11/wes-2021-11.pdf
[30]	Grua sobre orugas LR 11350. (n.d.). Liebherr. https://www.liebherr.com/es/esp/productos/gr%C3%BAas-automotrices-y-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas-lr/lr-11350.html
[31]	Stationary 100 - Constmach. https://www.constmach.com/products/concrete-batching-plants/stationary-concrete-plants/stationary-100
[32]	BW Ideol. (2023, May 10). *Serial production of Damping Pool concrete floaters at Port of Ardersier* [Video]. YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=ibAr3OHorDs

[33]	Enel Green Power. *Aerogenerador*. (n.d.). enelgreenpower.com https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador
[34]	NYGAARD, Tor Anders. *Design, Analysis and Wave Tank Testing of a Semi-Submersible Braceless Concrete Offshore Wind Turbine Platform*. En SINTEF. https://www.sintef.no/globalassets/project/eera-deepwind2015/presentations/e/e1_nygaard_ife.pdf
[35]	S. K. Rasmussen, H. Andersen, T. LandbØ. *Fabrication and Installation of OO-Star Wind Floater* - Sintef.no. https://www.sintef.no/globalassets/project/eera-deepwind-2018/posters/e_landbo_web.pdf
[36]	Alsina. (2023, June 30). *Descubre los sistemas de encofrado trepante: Tipologías, aplicaciones y la mejor opción según la obra* - Alsina.com. https://www.alsina.com/es-es/descubre-los-sistemas-de-encofrado-trepante-tipologias-aplicaciones-y-la-mejor-opcion-segun-la-obra/
[37]	Stgo. (2020, November 10). [NAVANTIA WINDFLOAT] *AUDIOVISUAL DOCUMENTAL & LÁSER ESCÁNER escaneado digital* – Stgo.es. https://stgo.es/2020/07/navantia-windfloat-audiovisual-documental-laser-escaner/
[38]	Syncrolift. (n.d.). *Shipyard solutions.* Nekkar.com. https://nekkar.com/assets/pdfs/Syncrolift-Shipyard-Solutions.pdf
[39]	C. Allen, A. Viselli, H. Dagher, A. Goupee, E. Gaertner, N. Abbas, M. Hall, G. Barter. (2020, July). *Definition of the UMaine VolturnUS-S Reference Platform Developed for the IEA Wind 15-Megewatt Offshore Reference Wind Turbine.* Nrel.gov. https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/76773.pdf
[40]	Mammoet. (n.d.). *SPMT Scheuerle Dimensions and Specifications*. Mammoet.com https://www.mammoet.com/siteassets/06-equipment/transport/self-propelled-modular-transporter/datasheet-SPMT-Scheuerle/
[41]	Lansink, J. (2022, June 8). *Cantidad de metros cuadrados por persona que necesitas para la oficina.* SKEPP. https://skepp.com/es/blog/consejos/cantidad-de-metros-cuadrados-por-persona-que-necesitas-para-la-oficina
[42]	ALGECO. (n.d.). *¿Qué diferencia hay entre los módulos prefabricados Progress I y Progress II de Algeco?* | https://www.algeco.es/que-diferencia-hay-entre-los-modulos-prefabricados-progress-i-y-progress-ii-de-algeco
[43]	Torices, G. (2024, February 22). *Guía Medidas de Estacionamiento 2024 ¡Sigue las Normas!* Grupo Torices. https://grupotorices.com/blog/normas-medidas-de-estacionamiento/
[44]	Grua sobre orugas LR 11000. (n.d.). Liebherr. https://www.liebherr.com/es/esp/productos/gr%C3%BAas-automotrices-y-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas-lr/lr-11000.html
[45]	Biglift. (2018, Septiembre 27) *Datos técnicos buque de transporte Happy Sky.* https://www.bigliftshipping.com/assets/data/documents/brochures/leaflet-happy-sky.pdf
[46]	Grua sobre orugas LR 1800. (n.d.). Liebherr. https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/1a05a752-89d4-4b4b-b8d7-bd300aaa2715-6/liebherr-272-lr-1800-1.0-td-272-01-defisr05-2021.pdf
[47]	en:former (2020, Abril 28). *Scrapped: how does one dispose of 42,000 rotor blades?* | en-former.com https://www.en-former.com/en/scrapped-how-does-one-dispose-of-42000-rotor-blades/
[48]	Liftra (n.d.) *LT532-2 & LT532-3 Tower Stacking System.* Liftra.com https://liftra.com/products/lt532-tower-stacking-frames
[49]	Algeco. (n.d.) *Gama Progress II| Edificaciones permanentes y transferibles.* Algeco.es. https://www.algeco.es/sites/default/files/media/progress_ii_algeco_compressed.pdf
[50]	Díaz, H., & Soares, C. G. (2023). *Cost and financial evaluation model for the design of floating offshore wind farms*. Ocean Engineering, 287, 115841. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115841

[51]	DNV AS Energy Systems (2022, Febrero 04). *Comparative Study of Concrete and Steel Substructures for FOWT.* Windworks-jelsa.no. https://windworks-jelsa.no/app/uploads/2022/01/Comparative-study-of-concrete-and-steel-substructure-for-FOWT_final-for-distribusjon.pdf
[52]	Machineryline España. (2020, October 12). *Liebherr LTM 1350 grúa móvil de segunda mano, compra-venta de Liebherr LTM 1350 grúas móviles, precio* https://machineryline.es/-/gruas-moviles/Liebherr/LTM-1350--c120tm2657m7180
[53]	Liebherr LR grúa sobre orugas de segunda mano, compra-venta de Liebherr LR grúas sobre orugas, precio | Machineryline España. (n.d.). https://machineryline.es/-/gruas-sobre-orugas/Liebherr/LR--c123tm2657m1579
[54]	Cosas de Barcos. (n.d.). Remolcadores en venta https://www.cosasdebarcos.com/barcos/categoria-barcos-motor/clase-remolcadores/
[55]	C. Arroyo. (2024, February 9). *Descubre cuánto cuesta hacer una nave prefabricada*. Cronoshare.com https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/construir-nave-prefabricada
[56]	Bcn Equipamientos. (2023, August 2). *¿Cómo deben ser los vestuarios en las empresas?* Bcnequipamientos.com. https://bcnequipamientos.com/como-deben-ser-los-vestuarios-en-las-empresas/
[57]	Machineryline.. (n.d.). *IVECO Trakker 360 10m2 camión hormigonera* Machineryline.com. https://machineryline.es/-/venta/camiones-hormigoneras/IVECO/Trakker-360-10m2--22042807165008115000
[58]	Vall. (n.d.). *ECOSPACE Carpas Industriales* – grupvall.com. https://grupvall.com/carpas-industriales/
[59]	T. Stehly, P. Duffy, D. M. Hernando. National Renewable Energy Laboratory. (2023, December) nrel.gov. https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/88335.pdf
[60]	A.Pegalajar-Jurado (2018) *State-of-the-art model for the LIFES50+ OO-Star Wind Floater Semi 10 MW floating wind turbine.* Iopscience.iop.org. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1104/1/012024/pdf
[61]	LR 1300.1 SX. (n.d.). https://www.liebherr.com/es/esp/productos/gr%C3%BAas-automotrices-y-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas-lr/details/lr1300.html#!/content=table_module_downloads_1
[62]	Egc. (2023, October 9). *Losas de Cimentación: Fundamentos y Construcción*. EGC Consulting. https://egcconsulting.net/losas-de-cimentacion-fundamentos-y-construccion/
[63]	Blenkey, N. (2019, February 4). *TTS books its largest ever Syncrolift order*. Marine Log. https://www.marinelog.com/news/tts-books-its-largest-ever-syncrolift-order/
[64]	Sharma, A., & Sharma, A. (2023, September 26). *Unlocking the time and cost benefits of prefabricated site offices*. EPACK Prefab. https://www.epack.in/unlocking-the-time-and-cost-benefits-of-prefabricated-site-offices
[65]	Vall. (2022, August 22). *¿Cuánto se tarda en montar una nave industrial desmontable?* Vall. https://grupvall.com/nave-industrial-desmontable-montaje/
[66]	SuperYacht Times Editorial Team. (2023, May 11). *How to build a shiplift with MB92 La Ciotat*. Superyacttimes https://www.superyachttimes.com/yacht-news/shiplift-construction-at-mb92-la-ciotat
[67]	*Pearlson Shiplift Corporation & BAE Systems Ship Repair announce 25,000T Shiplift Facility* – Pearlson Shiplift Corporation. (2022, December 1). https://shiplift.com/news/pearlson-shiplift-corporation-bae-systems-ship-repair-announce-25000t-shiplift-facility/
[68]	Puerto de A Coruña. (n.d.). *Información general sobre servicios, tasas y tarifas* http://www.puertocoruna.com/es/puerto-servicios/servicios-tasas-tarifas/servicios-apac/serviciosapac.html
[69]	Autoridad Portuaria de A Coruña (2017, Febrero 9). *La autoridad portuaria mantiene precios competitivos del suelo en Langosteira para favorecer el traslado de empresas desde el puerto interior y propiciar la implantación de nuevos operadores.* *http://www.puertocoruna.com/galeria-descargas/autoridad-portuaria-noticias/Nota_Valoracixn_de_terrenos_y_lxmina_de_agua.pdf*

[70]	Alibaba (n.d.). *SPMT Heavy Hydraulic Multi Axles Low Bed Self Propelled Modular Transporter Truck Trailer* . Alibaba.com https://www.alibaba.com/product-detail/SPMT-Heavy-Hydraulic-Multi-Axles-Low_1600407492453.html?spm=a2700.details.0.0.133d5e62AyegAq
[71]	Europea Elevación. (n.d.). *Plataforma articulada diésel - Venta y Alquiler > Con Precio Si > Con imágenes Si - Europea de Carretillas* https://www.europeadecarretillas.com/plataforma-articulada-diesel-10840#/con_precio-si/con_imagenes-si/page-1
[72]	Ayuntamiento de Écija (n.d.) *Proyecto de urbanización industrial sector SU-NC-18 "Dehesa de las caleras"* https://ecija.es/transparencia/54/PROYECTO_COMPLETODehesadelasCaleras.pdf
[73]	Byrne, J. P. (1999*). Project management: how much is enough?* PM Network, 13(2), 49–52. https://www.pmi.org/learning/library/project-management-much-enough-appropriate-5072
[74]	Galistar. (n.d.). *¿Cuáles son los tiempos de curado del hormigón?* https://www.galistar.es/tiempos-curado-hormigon/
[75]	Yirepa. (n.d.). *La inflación en el cálculo del VAN.* Yirepa.es https://yirepa.es/efecto%25252520inflaci%252525C3%252525B3n.html
[76]	C. Arroyo. (2024, February 9). *Descubre cuánto cuesta hacer una nave prefabricada.* Cronoshare.com https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/construir-nave-prefabricada
[77]	European Central Bank. (2022, November 29). *Monetary policy*. https://www.ecb.europa.eu/ecb/orga/tasks/monpol/html/index.en.html
[78]	Ministerio de Industria y Turismo. (2024, mayo 20). *Precio neto de la electricidad para uso doméstico y uso industrial. https://www.mintur.gob.es/es-es/IndicadoresyEstadisticas/BoletinEstadistico/Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/4_12.pdf*
[79]	Economía & energía. (2019, diciembre). *Competitividad y costo de la energía. https://www.f2i2.net/documentos/lsiF2I2/rbt/guias/guia_bt_10_sep03R1.pdf*
[80]	Talent (2024). *Salario medio para Operario en España, 2024. https://es.talent.com/salary?job=operario#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1nto%20gana%20un%20Operario%20en%20Espa%C3%B1a%3F&text=El%20salario%20operario%20promedio%20en,hasta%20%E2%82%AC%2024.648%20al%20a%C3%B1o.*
[81]	Solunion. (2024, August 6). *Cómo calcular el plazo de recuperación de la inversión o payback.* Solunion Seguros. https://www.solunion.es/blog/calcular-plazo-recuperacion-inversion/
[82]	habitissimo (2024, April 29). *Precio por m² de encofrado forjado de hormigón* https://www.habitissimo.es/presupuestos/encofrado-hormigon
[83]	Ahmed K Al Kulabi, Ali A Al Zahid (2020). *Cost and time reduction of concrete slabs construction by selecting the most economical structural design.* Iopsciene.iop.org. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/888/1/012016

ANEXOS

Anexo A: Espacios Auxiliares

A.1. Definición del Espacio de Oficinas, Vestuarios y Parking

El módulo de oficinas consistirá en un edificio modular prefabricado, como se ha explicado anteriormente la suma total será de alrededor 2,000 $m^{2,}$ y para optimizar el terreno necesario se va a idear un módulo prefabricado de 2 plantas con 1,000 m^2 cada una.

Una opción sería la gama Progress II de Algeco, que ofrece soluciones duraderas y de alto comfront, dispone de una gran durabilidad y resistencia, con una capacidad de hasta 3 alturas. Ofrece 3 tipos de diáfanos, siendo la anchura 2.93 m [49] y la largura de hasta 10.4 m [49], se necesitarán 30 módulos para alcanzar 990 m^2 por planta, incluyendo un módulo de escaleras interiores y dos aseos por altura. La estructura está formada por un suelo de perfiles de acero galvanizado con tubos de acero a modo de correas, el techo presenta la misma composición; y una fachada exterior compuesta de paneles sándwich machihembrado[5].

El edificio presentará una cimentación de losa de hormigón armado de unos 60 cm de espesor, que contará con una armadura superior para contrarrestar la presión del suelo y una inferior para evitar deformaciones; debajo del hormigón armado se coloca una capa de 10 cm de hormigón de limpieza.

En cuanto al parking las lanzaderas pueden ser buses con capacidad de unas 40 personas, los buses de capacidad media suelen llegar a longitudes de hasta 10 m, el espacio habilitado tendrá capacidad para estacionar al menos dos lanzaderas simultáneamente, se ha planeado una zona de 30 m de largo y 6 m de ancho, dando margen para el descenso de los pasajeros, 180 m^2 en total.

Los vestuarios estarán divididos en dos partes, creando así una sección para el vestuario femenino y otra para el masculino. Se idean para un aforo máximo de unas 50 personas, la superficie que se necesita por trabajador aproximadamente es de 3 m^2 [56] incluyendo el espacio de bancos, taquillas y circulación, así necesitaremos al menos 150 m^2 para acoger en su interior hasta 50 operarios. La gama origin 2.5 de Algeco cubre las necesidades descritas, ensamblando 10 módulos de 15 m^2 cada uno, sumando los 150 m^2. La cimentación de estos módulos se formará de la misma manera que la de las oficinas

Los planos 3 y 4 muestran los cortes transversales de las casetas de obra utilizadas en oficinas y vestuarios respectivamente, y un detalle constructivo de la cimentación empleada.

A.2. Talleres de reparación y almacenes

En la parcela de construcción el taller de reparación estará situado junto al aparcamiento de las oficinas, abarcará lo suficiente como para acoger cualquiera de los vehículos empleados en las

[5] Panel sándwich metálico de dos chapas de acero, entre las cuales se interpone una capa aislante en lana de roca.

operaciones. La carpa industrial que lo cubre estará formada por una estructura metálica de aluminio, el techo está recubierto con lona textil opaca y las paredes se cierran con panales sándwich de doble capa, que aíslan la nave de posibles vientos y lluvias. La cubierta se ha diseñado con 30 m de ancho, 70 m de largo y 7 m de altura, sumando una superficie 2,100 m^2. Su cimentación se hará a partir de zapatas aisladas, con un canto de 80 cm de profundidad sobre el cual se anclarán placas de acero que soportarán los pilares de la nave.

Esta parcela también acogerá un almacén para las distintas partes necesarias en la fabricación, con unas dimensiones de 70 m de largo y 35 m de ancho, la nave industrial que lo cubre será de igual composición al taller de reparación.

Análogamente, el taller de la zona de instalación será protegido por una carpa de iguales características, con una largura de 100 m y anchura de 30 m.

En el plano 5 se muestra un ejemplo de la cimentación utilizada para las naves, se asumirá que el resto de planos de la estructura serán proporcionados por la empresa externa contratada.

Anexo B: Cronograma Fabricación Plataforma

A continuación, se realizará una explicación de los tiempos requeridos en cada una de las etapas de la construcción de la plataforma y de la instalación de la turbina en la misma, haciendo una aproximación de los flotadores que se pueden producir en el espacio de un año.

Las líneas se planifican para que no comiencen a la vez, la segunda comenzará a trabajar dos semanas más tarde que la primera, a mitad del proceso de construcción de la primera fase, dando margen suficiente para la llegada de los materiales y componentes y evitando el embotellamiento del sistema de botadura elegido, asegurando así una producción fluida.

De acuerdo con los estudios realizados por Dr. Techn. Olav Olsen, cada etapa requiere un tiempo de un mes [25], dado que la planta diseñada en este proyecto posee variaciones comparado con las del flotador OO-Star se van a asumir variaciones en estos tiempos, en función de la zona.

B.1. Proceso de construcción

Los tiempos establecidos por Olav Olsen suponen un gran rendimiento de la planta, es posible que la parcela descrita necesite tiempos más extensos para realizar estas actividades. Teniendo en cuenta que el tiempo de fraguado del hormigón requiere de alrededor de 2 semanas [74] para alcanzar al menos un 70% de su resistencia máxima, y que este es un proceso dependiente de las condiciones ambientales donde una alta humedad puede ralentizar el proceso de curado, así como ocurrir posibles demoras en el transporte de componentes o contratiempos, asumiremos 2 semanas más que Olav Olsen por fase, es decir, 6 semanas por etapa. En conclusión, el flotador estará listo para su lanzamiento al mar a las 18 semanas de comenzar la producción.

B.2. Operación de botadura

Esta operación dependerá de la disponibilidad de la plataforma Syncrolift y del tiempo necesario para transportar la estructura a la misma. De la zona 3 al sistema para la botadura hay una distancia

de alrededor de 150 m, los cuales son de dominio público y podrían estar siendo utilizados por otra compañía. La operación de transporte y puesta a flotación se puede realizar en un solo día, por ello se da un tiempo de 7 días, dando margen para posibles retrasos en el transporte de la estructura.

B.3. Operación de instalación

En la instalación de la turbina los procesos que más tiempo y precisión requieren será el montaje de los sistemas mecánicos y eléctricos interiores necesarios y su posterior verificación para asegurar el correcto funcionamiento. La operación de montaje del aerogenerador se puede realizar en unos días, además en los tiempos se incluirán las comprobaciones necesarias y los movimientos de las diferentes partes, que debido a las grandes dimensiones pueden ser actividades lentas y complejas. Así, se considera necesario un tiempo de 2 semanas para la instalación y para dar margen a las diferentes conexiones y verificaciones necesarias.

Juntando todos los tiempos mencionados, llegamos a las siguientes conclusiones:

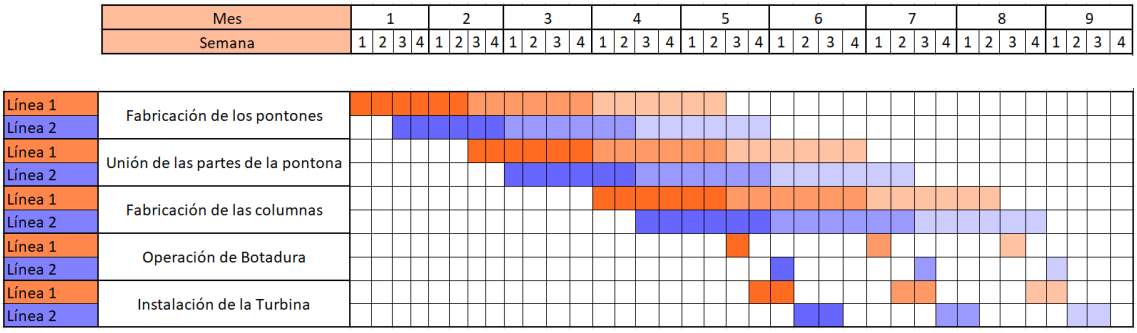


TABLA 12: TIEMPOS DE PRODUCCIÓN DE LA PARCELA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

- La primera plataforma será completada a las 21 semanas de comenzar el proceso de producción, y la segunda a las 23 semanas, dos semanas más tarde. Una vez se han fabricados las primeras dos estructuras, se completarán otras dos cada 6 semanas.
- La operación de botadura se realiza con una semana de diferencia entre líneas.
- La instalación de la turbina de la línea 2 se lleva a cabo inmediatamente después de finalizar el montaje en la primera plataforma.
- Teniendo en cuenta que un año tiene 52 semanas, el primer año producirá 11 plataformas y, una vez puesta en funcionamiento la parcela, los siguientes años ascenderá a 17.

Esta estimación no incluye posibles contratiempos en la disponibilidad de materias primas y recursos o la posible avería de la maquinaría en uso. También se han obviado las posibles condiciones metoceánicas de las que depende fuertemente la instalación de la turbina, como fuertes vientos o alto oleaje en el interior del puerto que condiciona el funcionamiento seguro de la grúa y las maniobras marítimas.

Anexo C: Cálculos Estudio Financiero

C.1. Tasas de Alquiler

La Autoridad Portuaria de A Coruña busca obtener una serie de beneficios a través del Puerto exterior, establece una serie de tarifas de alquiler de los terrenos dependiendo de la actividad que se desee realizar y del tipo de superficie. Para esta parcela las tarifas se calculan a continuación:

- Transporte de la plataforma: El transporte de la plataforma hasta la zona de botadura hace uso de una zona de tránsito, la tarifa se calcula como:

  Cuota diaria = Superficie*Cociente*0.105 [68]

  El cociente aumenta según el tiempo de uso del terreno, en este caso se considera un tiempo entre 2 y 4 horas desde que se comienza a mover el flotador, para dar margen a posibles contratiempos en el transporte, lo cual da un cociente de 10 [68]. La superficie necesaria será de 12,000 m^2, la estructura tiene 80 m de ancho y debe ser trasladada 150 m desde la parcela al muelle. Así el precio del alquiler será de:

  $$Cuota = 12{,}000 * 10 * 0.105 = 12{,}600\ €$$

  Sabiendo que en un año se producen 17 plataformas, anexo A, el importe será de 12,600*17 = 214,200 € al año.
- Zonas ocupadas por parcelas: El valor del suelo por m^2 varía según la zona del puerto, en la explanada del muelle es de 111.26 €/m^2 por año [69], al ser propiedad del puerto su ocupación supone al contratista un 5.5% [68] de su valor total por año natural. La parcela de producción ocupa 214,000 m^2 y supondrá a la empresa por año una suma de:

  $$Cuota\ anual = 111.26 * 214{,}000 * 0.055 = 1{,}309{,}530\ €$$
- Ocupación de la línea de muelle: El sistema de botadura ocupará 135 m de la línea de muelle y 15,525 m^2 de lámina de agua, por su cercanía al muelle se asume la tarifa más elevada de 39.3 €/m^2 [69], el alquiler se elevará a los 33,560 € al año.

  $$Cuota\ anual = 39.3 * 15{,}525 * 0.055 = 33{,}560\ €$$

El alquiler de las áreas referentes a la instalación de la turbina o carga y descarga quedan en manos de la empresa que contrate los servicios.

C.2. Costos Indirectos

La fabricación de un producto lleva asociada unos costos directos que incluyen el costo de las materias primas, la mano de obra o la electricidad utilizada que influye directamente en la obtención del mismo (Reflejado en el apartado 7.2.). Pero también lleva asociada unos costos indirectos del resto de actividades que se llevan a cabo en la planta de producción y que no están directamente vinculadas al proceso productivo, en este caso se van a incluir los salarios de los trabajadores y la electricidad utilizada en estas actividades indirectas:

- Electricidad: El consumo energético de la industria se ha calculado suponiendo que una gran industria demanda 1,243 MWh/mes [79], considerando 12 meses en un año:

  $$Consumo = (1{,}243 * 10^3 * 12) = 14{,}916{,}000\ kWh/año$$

  El precio neto de la electricidad de uso industrial en España es de 0.134 €/Kwh [78], así el gasto energético en un año será de 1,999,000 €.

- Salarios: Debido a las dimensiones de la planta vamos a suponer la necesidad de un promedio de 200 empleados, en las estimaciones del coste de producción del flotador la mano de obra ya está incluida, suponiendo que en la fabricación directa de la estructura trabajan unas 100 personas, en este cálculo se incluirán otros 100 trabajadores. Con un salario de aproximadamente 20,000 € al año [80], el gasto total que supondrá será de 2,000,000 €.

C.3. Cálculos VAN y TIR

Los principales indicadores de rentabilidad de un proyecto en sus primeras fases son el VAN (Valor Actual Neto), que valora y determina la viabilidad y rentabilidad de un proyecto de inversión; y el TIR (Tasa Interna de Retorno), representa el porcentaje de beneficio o pérdida que se puede obtener de una inversión. Se calculan de la siguiente manera:

- $VAN = \Sigma \frac{FC}{(1+r)^t} - Inversión\ incial$, para que el proyecto sea rentable su valor deberá ser mayor que cero.
- $0 = \Sigma \frac{Flujo\ de\ caja}{(1+TIR)^n}$, El valor del TIR debe ser mayor a la tasa de descuento considerada.

Un factor muy relevante serán los beneficios que se puedan obtener de la producción de flotadores, el precio al que podrían ser vendidos. El mercado de la energía eólica flotante está en pleno crecimiento y hay una gran competencia, por ello se debe considerar un margen de beneficio competente, en este caso se podría establecer un margen del 20%, debido a la complejidad que conllevan las tecnologías offshore. El precio de venta por unidad se calcula como:

$$Precio\ Venta = (Coste\ de\ producción) * (1 + Margen)$$

$$Precio\ de\ Venta = (5{,}430{,}000) * 1.2\ \approx 6{,}516{,}000\ €$$

El precio de venta será de 6,516,000 € por flotador, lo que significa que en un año se obtendrá como beneficio de producir 17 flotadores 110,772,000 €.

Una vez esto es conocido, se procede a evaluar el VAN del proyecto, para lo cual se necesitan los flujos de caja netos anuales, que son los ingresos esperados menos los costos operaciones, evaluados en el año actual con la tasa de descuento (r) esperada. La tasa de descuento para una planta de producción depende de factores como el riesgo del proyecto, el costo del capital y las condiciones del país o región, se ha utilizado como referencia el estudio financiero de un parque eólico situado en Ribadeo, Galicia, donde se utiliza una tasa de descuento del 10% [50]. Además, hay que incluir una inflación en los cálculos, que se considerará del 2% a medio plazo [77]. La tasa de descuento real se calculará de la siguiente manera:

$$(1 + r_{nominal}) = (1\ + r_{real}) * (1 + inflación)\ [75]$$

$$r_{real} = \frac{1 + 0.1}{1 + 0.02} - 1 = 0.0784 = 7.84\%$$

Los flujos de caja anuales (FC) se muestran a continuación, son constantes a lo largo de los años, exceptuando el primer año de funcionamiento, en el cual se producirán 11 flotadores en vez de 17.

$$FC_{11} = 71{,}676{,}000 - 65{,}277{,}534 = 6{,}398{,}466\ €$$

$$FC_{17} = 110{,}772{,}000\ -\ 97{,}852{,}758 = 12{,}919{,}242\ €$$

El VAN se calcula para los años de vida útil o concesión que se prevén para la fábrica, normalmente de 20 a 25 años. Dando un valor de 58,581,993.08 para 25 años, este valor es claramente mayor que cero, por lo que la planta es viable y generará beneficios.

Seguidamente se halla el valor del TIR, con los flujos de cajas nombrados anteriormente y el mismo periodo de tiempo, su valor es del 15.55%, para que el proyecto sea viable el TIR debe ser mayor a la tasa de descuento utilizada en la fórmula del VAN, 15.55 > 7.84, es viable.

Por último, es interesante calcular el tiempo que le costaría a la empresa recuperar la inversión realizada, el año de recuperación de la inversión. La siguiente tabla refleja los flujos de caja actualizados con la tasa de interés al año actual, y con estos haremos el cálculo del Payback.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujos de Caja	-75187230	6398466	12919242	12919242	12919242	12919242	12919242	12919242	12919242	12919242	12919242
Saldo Actualizado 7.84%	-75187230	5933295,623	11109059,04	10301427,15	9552510,344	8858040,007	8214057,87	7616893,426	7063143,014	6549650,421	6073488,9
Saldo Acumulado	-75187230	-69253934,38	-58144875,3	-47843448,18	-38290937,83	-29432897,83	-21218839,96	-13601946,53	-6538803,517	10846,90393	6084335,8

TABLA 13: FLUJOS DE CAJA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

El año cero representa la inversión inicial, que se ha considerado como la suma del CAPEX y el DEVEX, el Payback se ha calculado con Excel, observando que el desembolso inicial se recuperará a lo largo del octavo año de funcionamiento. Para hallar el tiempo exacto se va a utilizar la siguiente fórmula:

$$PR = a + \frac{Inversión\ incial - b}{Ft} \quad [81]$$

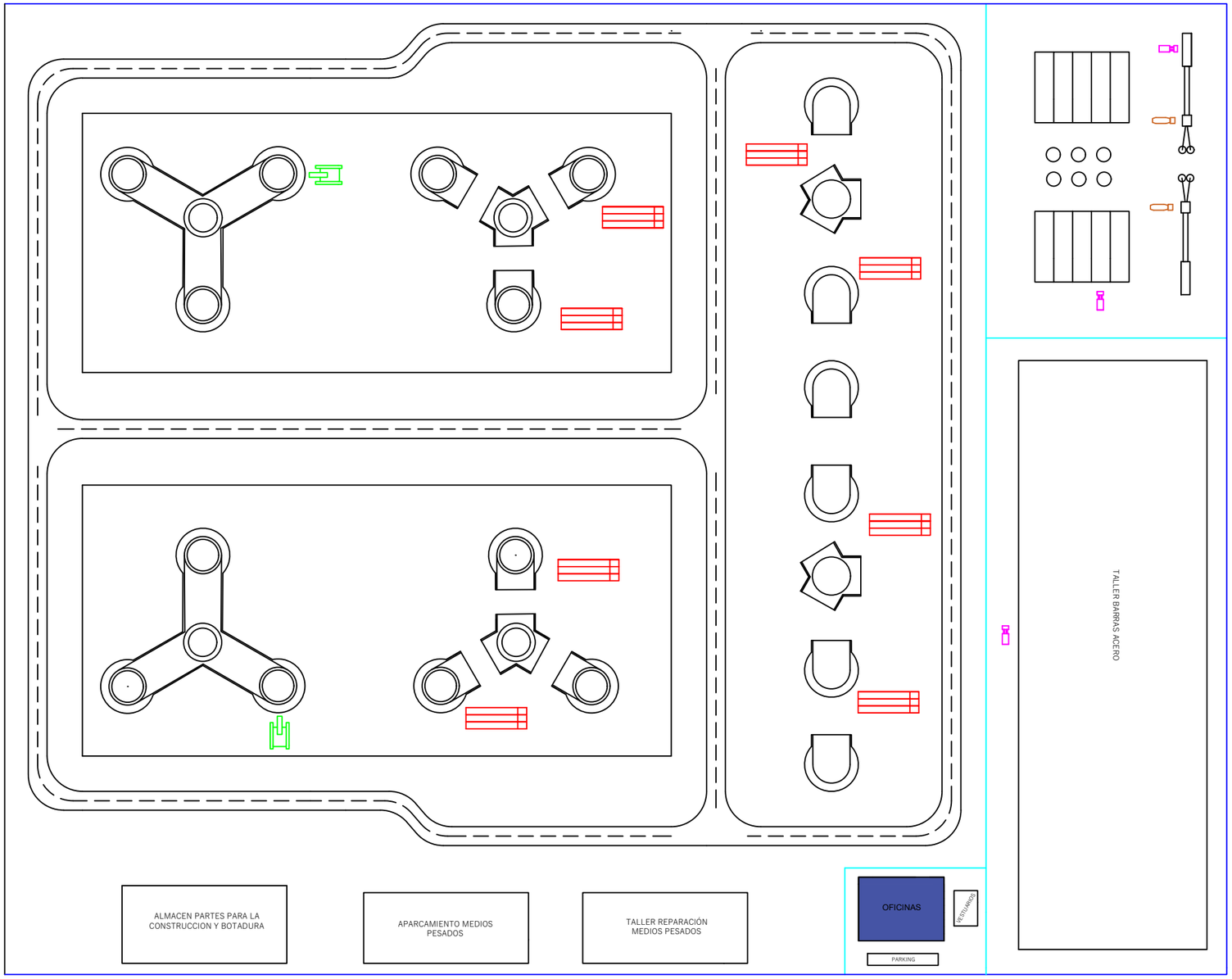
Donde "a" se refiere el año anterior de recuperar la inversión, "b" a la suma de flujos de caja hasta llegar al año a y "Ft" al valor del flujo de caja en el año que se recupera la inversión.

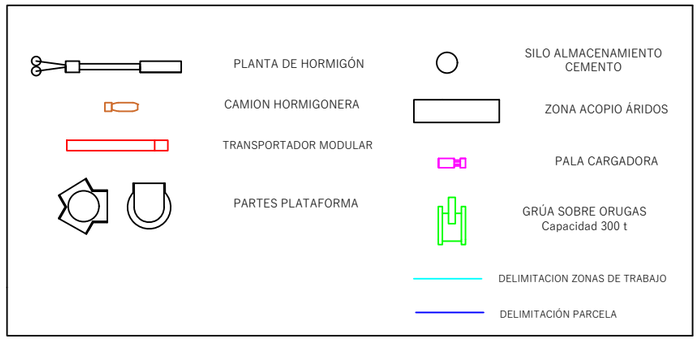
$$PR = 7 + \frac{75{,}187{,}230 - 61{,}585{,}283.47}{7{,}063{,}143.014} \approx 8.9\ años$$

El tiempo exacto en el que recuperaremos el desembolso inicial será de 8.9 años.

Anexo D: Listado de Planos

PLANO 1. PLANO GENERAL DE LA PARCELA DE PRODUCCIÓN
PLANO 2. PLANO ZONA DE INSTALACIÓN DE LA TURBINA
PLANO 3. VISTAS TRANSVERSALES DEL MÓDULO DE OFICINAS
PLANO 4. VISTAS TRANSVERSALES DEL MÓDULO DE VESTUARIOS
PLANO 5. DETALLE CONSTRUCTIVO DE LA NAVE PREFABRICADA

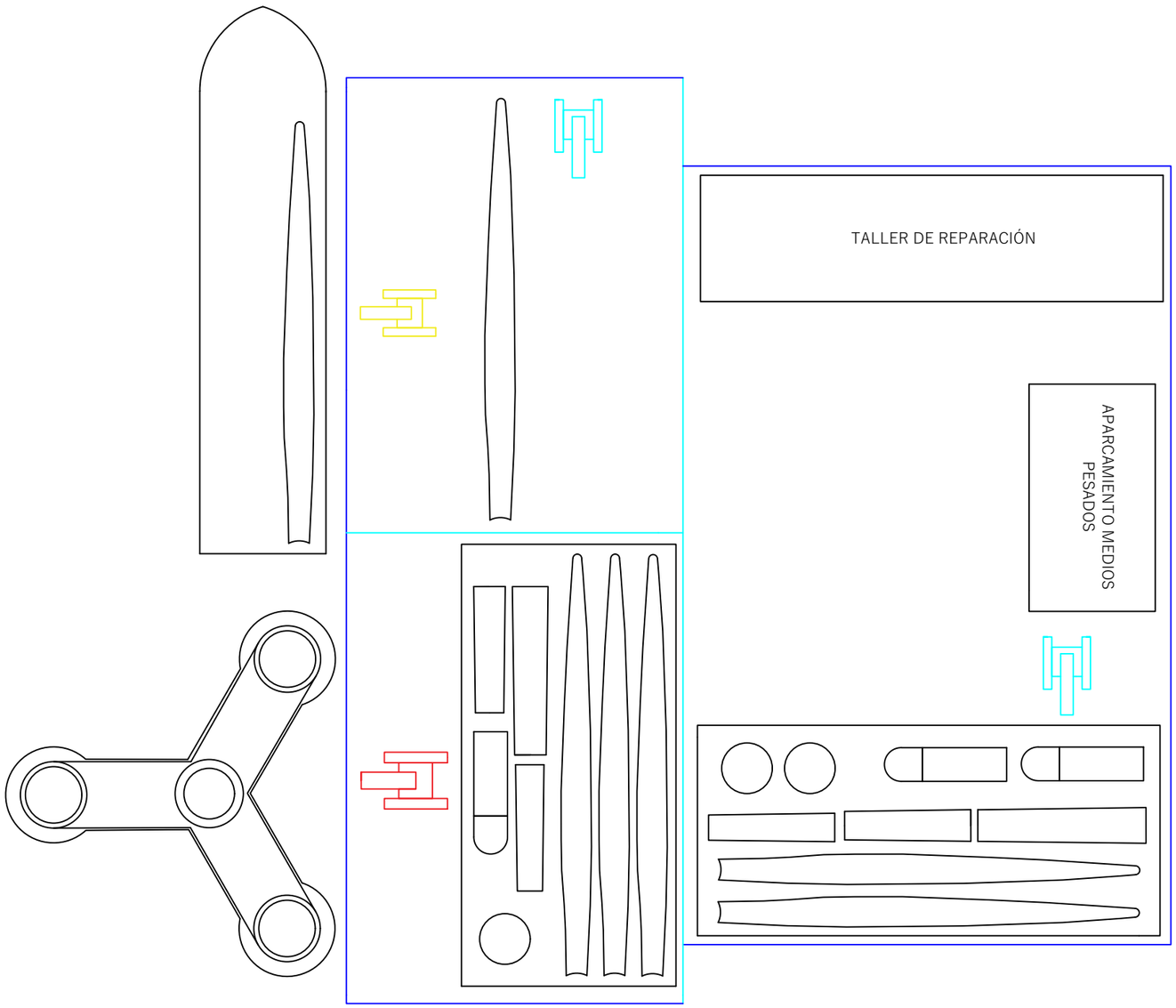


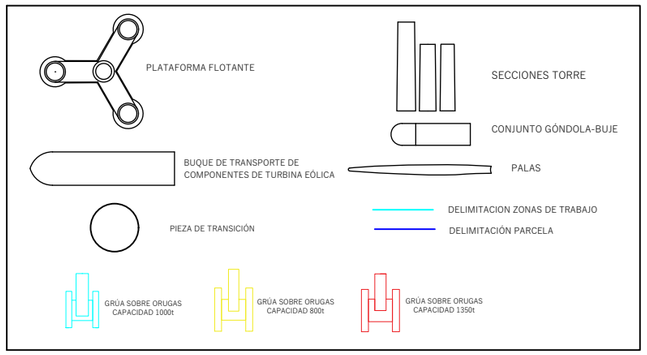


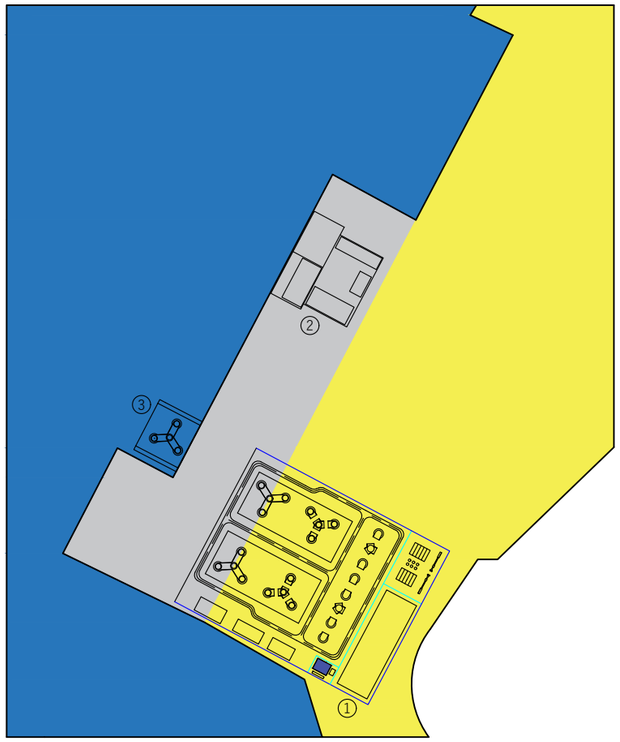
Edificio	Superficie
Taller barras de acero	20,000 m^2
Planta de hormigón	12,325 m^2
Aparcamiento medios pesados	2,100 m^2
Almacenamiento partes de construcción y botadura	2,450 m^2
Taller reparación medios pesados	2,100 m^2
Oficinas	990 m^2 (Dos plantas)
Vestuarios	150 m^2

	Superficie
Zona 1	3 ha
Zona 2-3	8.1 ha
Total 1-2-3	15.29 ha
Total Parcela	21.38 ha

Fecha	AUTOR	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
04/09/2024	JARA GRACIA ROMÁN	
Título: PLANO GENERAL DE LA PARCELA DE PRODUCCIÓN		Nº de plano: 1
		Escala: 1:2000







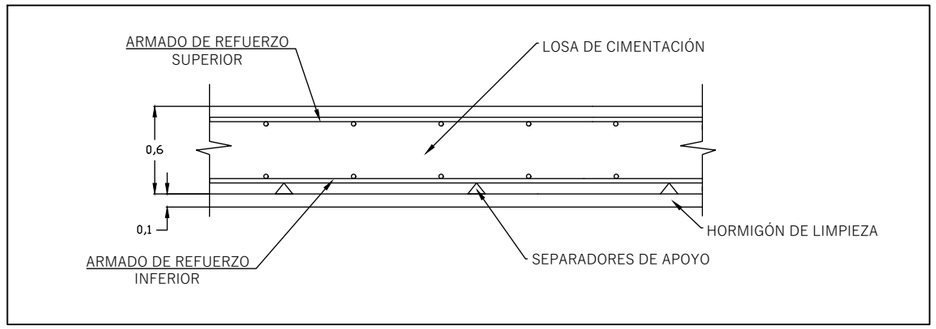
DETALLE DISPOSICIÓN DE LAS PARCELAS EN EL PUERTO

1. Parcela Principal de fabricación del flotador
2. Parcela de Instalación de la Turbina
3. Plataforma Syncrolift para la Operación de Botadura

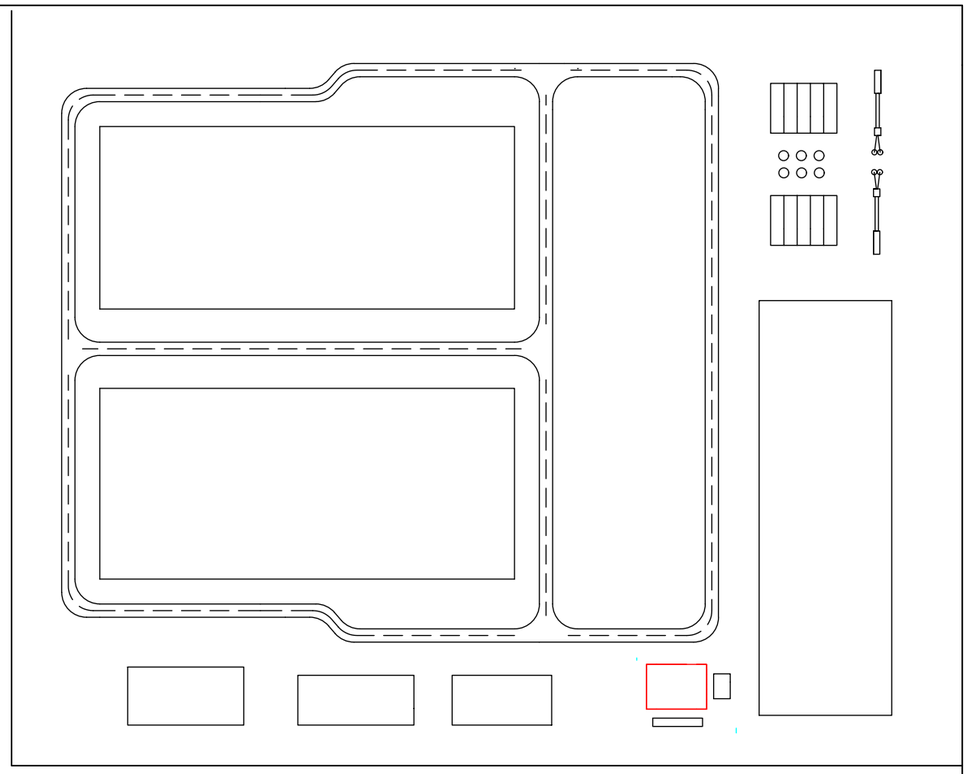
Notas:
- Zona amarilla: representa las zonas de nuevos desarrollos
- Zona gris: Nueva áreas de muelle
- Escala 1:14000

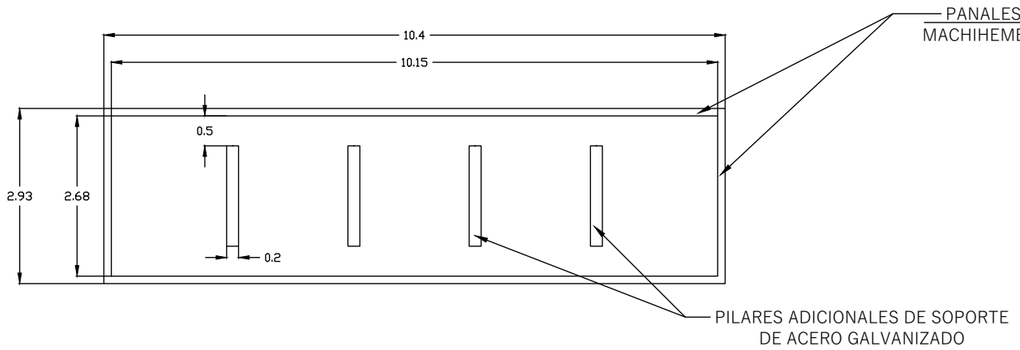
Edificio	Superficie en planta
Taller de reparación	3,000 m^2
Aparcamiento para medios pesados	1,000 m^2
Zona contigua de almacenamiento	21,280 m^2
Total de la Parcela	39,060 m^2

Fecha 04/09/2024	AUTOR JARA GRACIA ROMÁN	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Título PLANO ZONA DE INSTALACIÓN DE LA TURBINA		Nº de plano: 2 Escala: 1:1250

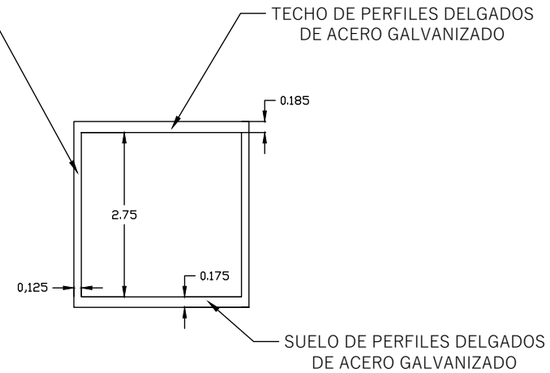


DETALLE CIMENTACIÓN (ESCALA 1:40)



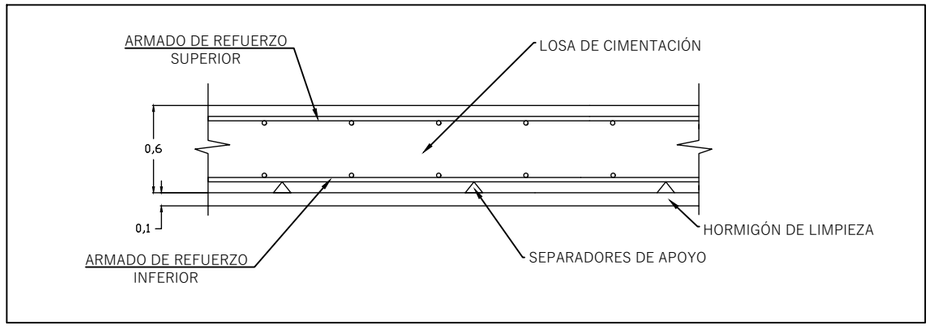


SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA

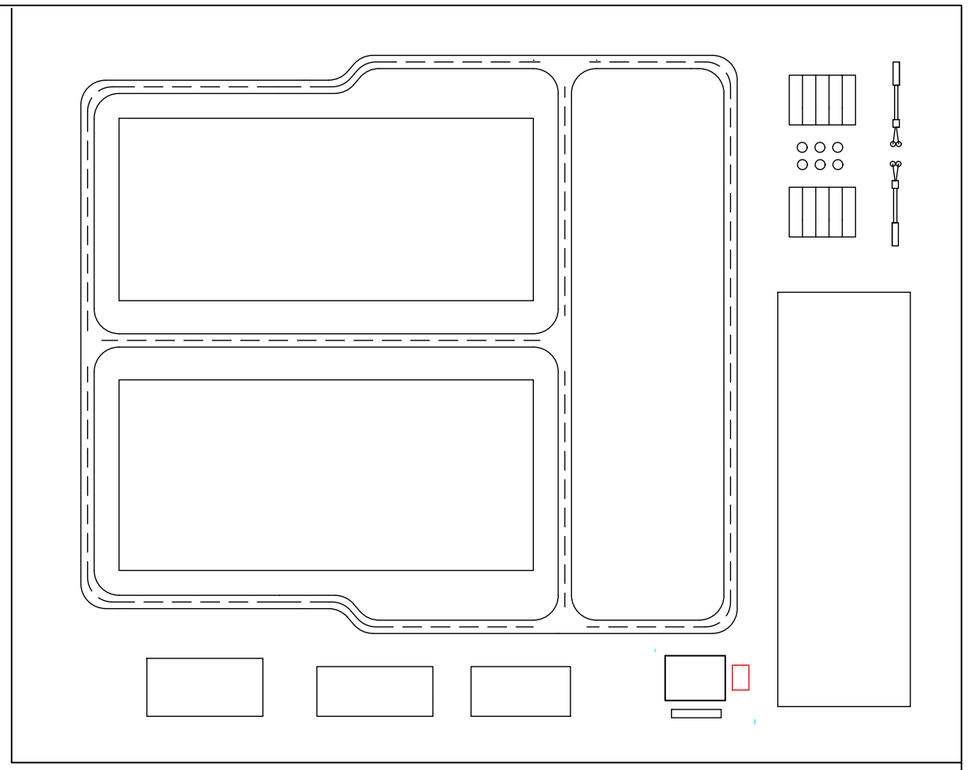


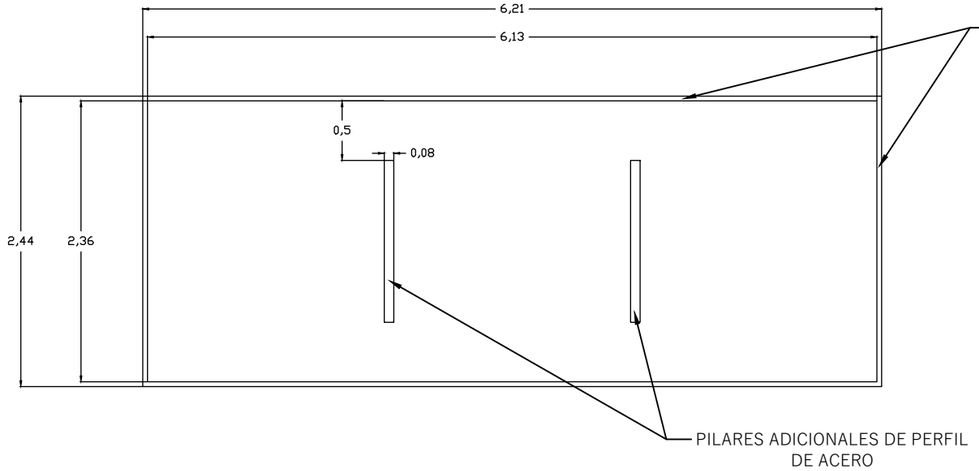
SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PERFIL DE LA ESTRUCTURA

Fecha 05/08/2024	AUTOR JARA GRACIA ROMÁN	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Título	VISTAS TRANSVERSALES DEL MÓDULO DE OFICINAS	Nº de plano: 3 Escala: 1:100

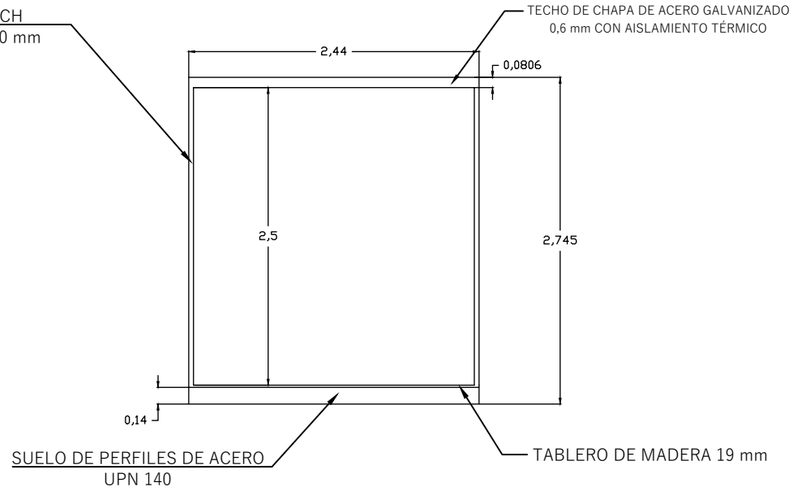


DETALLE CIMENTACIÓN (ESCALA 1:40)



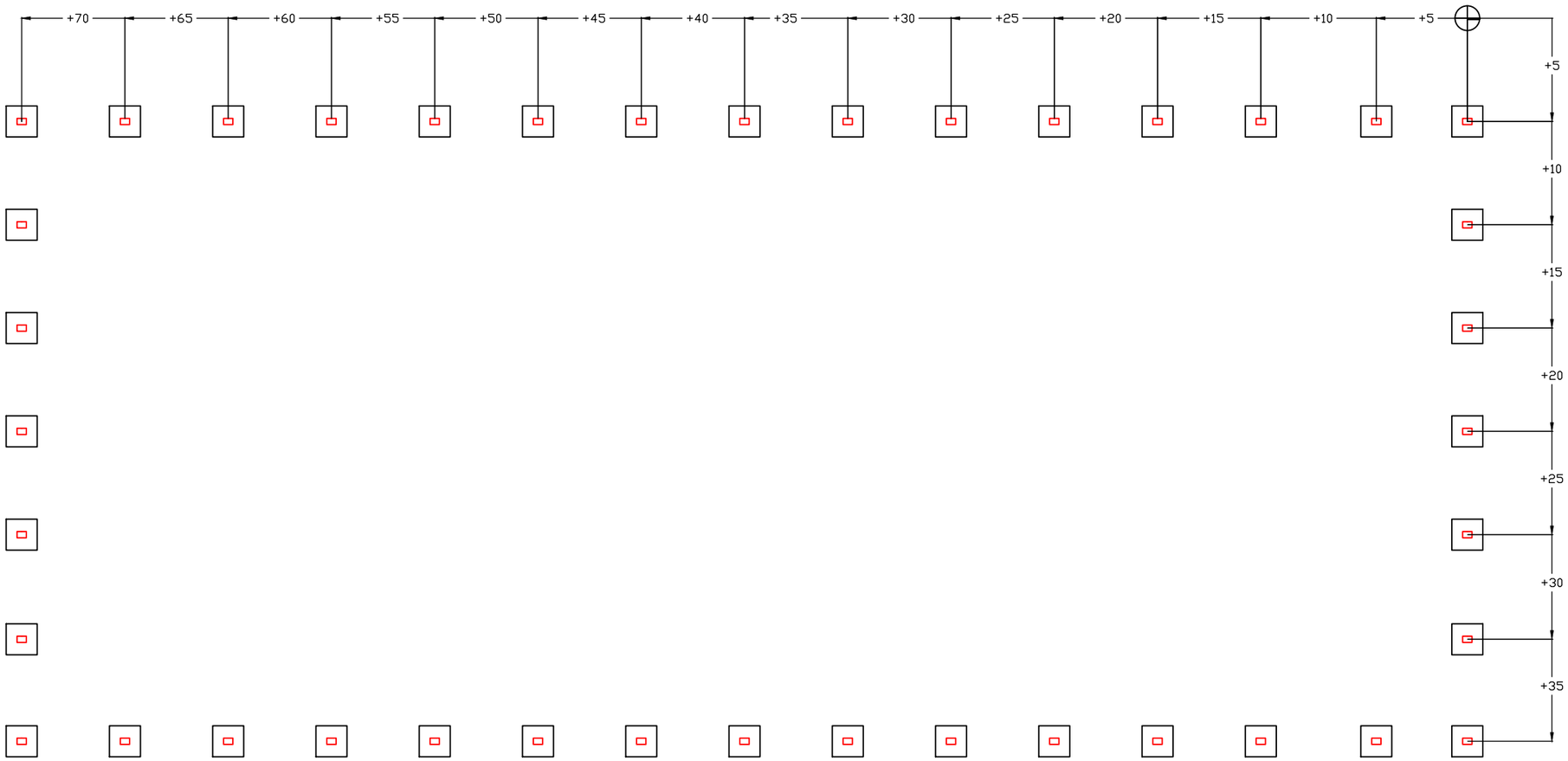


SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA

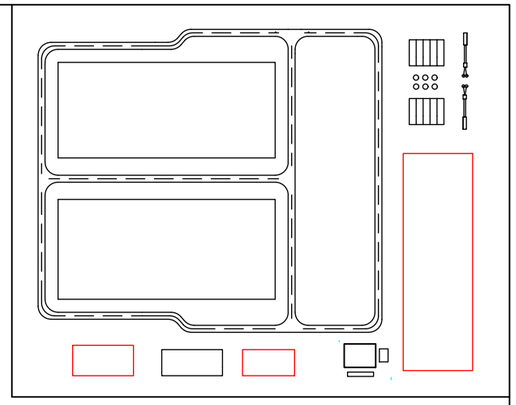


SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PERFIL DE LA ESTRUCTURA

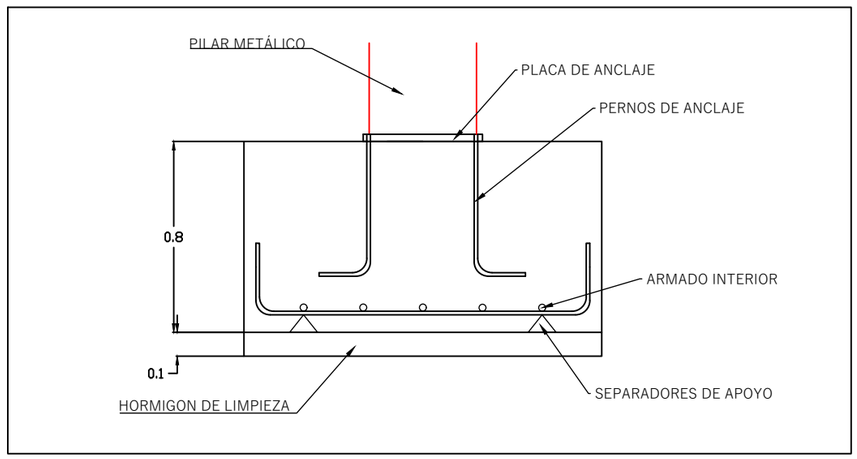
Fecha 04/09/2024	AUTOR JARA GRACIA ROMÁN	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Título VISTAS TRANSVERSALES DEL MÓDULO DE VESTUARIOS		Nº de plano: 4 Escala: 1:50



VISTA EN PLANTA DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN



DETALLE CIMENTACIÓN (ESCALA 1:25)



NOTAS DETALLE CIMENTACIÓN:

- Zapata cuadrada 1.5x1.5 m
- Placa de anclaje de 30 mm de espesor y dimensiones de 60x50 cm

Fecha 02/09/2024	AUTOR JARA GRACIA ROMÁN	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Título	DETALLE CONSTRUCTIVO DE LA NAVE PREFABRICADA	Nº de plano: 5 Escala: 1:250