



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Máster

CURSO 2016/17

*MODELADO Y SIMULACIÓN MEDIANTE EVENTOS DISCRETOS
DE LA LOGÍSTICA DE MOVIMIENTOS Y ALMACENAMIENTO DE
JACKETS PREVIO A LA OPERACIÓN DE EMBARQUE*

Máster en Ingeniería Industrial

ALUMNA

Lidia Freire Fustes

TUTOR

Adolfo Lamas Rodríguez

FECHA

FEBRERO 2017

RESUMEN TRABAJO FIN DE MÁSTER.

El objetivo de este Trabajo Fin de Master que tiene como título *“Modelado y simulación mediante eventos discretos de la logística de movimientos y almacenamiento de jackets previo a la operación de embarque”* es el desarrollo de un modelo paramétrico de eventos discretos con el fin de realizar un estudio logístico de transporte y almacenamiento de jackets en un astillero.

El modelo deberá ser capaz de estudiar el espacio de almacenamiento necesario en el astillero según diferentes escenarios basados en distintas fechas de load-out, tanto el número de áreas de almacenamiento como el número de estaciones necesarias en cada área.

El motivo que ha impulsado el desarrollo de este proceso es la necesidad de las empresas del sector naval de llevar un presupuesto ajustado del coste total en el que se incurre al llevar a cabo la construcción de jackets.

En este proyecto se demostrará además la gran importancia en costes que tiene una buena logística interna en un astillero.

O obxectivo deste Traballo Fin de Master que ten como título *“Modelado e simulación de eventos discretos da loxística de movementos e almacenamento de jackets previo á operación de embarque”* é o desenvolvemento dun modelo paramétrico de eventos discretos a fin de realizar un estudo loxístico de transporte e almacenamento de jackets nun estaleiro.

O modelo ten que ser capaz de estudar o espazo de almacenamento necesario no estaleiro según diferentes escenarios baseados en diferentes datas de load-out, tanto o número de áreas de almacenamento como o número de estacións necesarias en cada área.

O motivo que impulsou o desenvolvemento deste proceso é a necesidade das empresas do sector naval de levar un presuposto axustado do coste total no que se incurre ó levar a cabo a construción de jackets.

Neste proxecto demostrarase tamén a gran importancia en custes que ten unha boa loxística interna nun estaleiro.

The objective of this Project called *“Modeling and simulation by discrete events of the logistics movements and storage of jackets prior to shipment operations”* is the development of a parametric model of discrete events in order to carry out a logistic study of transport and storage of jackets in a shipyard.

The model should be able to study the storage space required in the shipyard according to different scenarios based on different load-out dates, both the number of storage areas and the number of allocations needed in each area.

The reason behind the development of this process is the need for companies in the naval sector to keep an adjusted budget of the total cost incurred in carrying out the construction of jackets.

This Project will also demonstrate the great importance in costs of good internal logistics in a shipyard.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN TRABAJO FIN DE MÁSTER.	2
MEMORIA.....	4
PRESUPUESTO	67



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2016/17

*MODELADO Y SIMULACIÓN MEDIANTE EVENTOS DISCRETOS
DE LA LOGÍSTICA DE MOVIMIENTOS Y ALMACENAMIENTO DE
JACKETS PREVIO A LA OPERACIÓN DE EMBARQUE*

Máster en Ingeniería Industrial

Documento

MEMORIA

Índice de contenidos

1 ANTECEDENTES	9
1.1 ENERGÍA EOLICA. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS	9
1.2 EÓLICA OFFSHORE. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS	11
1.3 ESTADO DEL ARTE DE LA EÓLICA OFFSHORE.....	17
1.3.1 Estructuras para aguas poco profundas	19
1.3.2 Estructuras para aguas de profundidad media.....	20
1.3.3 Estructuras para aguas profundas	22
2 OBJETIVOS	24
3 ESTADO DEL ARTE	25
3.1 ANTECEDENTES.....	25
3.2 MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS	25
3.3 IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DE EVENTOS DISCRETOS.....	29
3.4 INNOVACIÓN	29
3.5 ELEMENTOS DE TRANSPORTE	33
3.5.1 SPMT (Self Propelled Modular Transporters).....	33
3.5.2 GRÚAS	34
3.6 ELEMENTOS DE SOPORTE.....	36
4 DESARROLLO DEL MODELO.....	38
4.1 DEFINICIÓN	38
4.2 REALIZACIÓN DEL MODELO.....	40
4.3 SIMULACIÓN DEL PROCESO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
4.3.1 Tipos de distribución de jackets de mesa de trabajo a zonas de almacenamiento	46
4.3.2 Línea base del modelo: Resultados ajustándose a la planificación.	48
4.3.3 Lecciones aprendidas: Aplicación de retrasos a la línea base	53
4.3.4 Error en el estudio y gestión de la logística de almacenamiento de jackets: Disposición de un número de zapatas inferior al necesario.	59
5 CONCLUSIONES	63
6 TRABAJO FUTURO	65
7 BIBLIOGRAFÍA	66

Índice de figuras

Figura 1. Generación de electricidad de enero a diciembre del 2016	9
Figura 2. Previsión del mercado entre 2016 y 2020.....	10
Figura 3. Previsión del mercado anual por regiones entre 2016 y 2020	11
Figura 4. Parque eólico onshore	11
Figura 5. Parque eólico offshore	12
Figura 6. Comparativa eólica onshore y offshore	12
Figura 7. Mapa de los parques eólicos offshore instalados en la actualidad en Europa	13
Figura 8. Características parques europeos en construcción y operación	13
Figura 9. Capacidad anual instalada de eólica offshore.....	14
Figura 10. Inversiones en sector de eólica offshore en la primer mitad del 1026.....	15
Figura 11. Financiación de proyectos offshore	16
Figura 12. Estimaciones de coste de la energía	17
Figura 13. Relación coste-profundidad de las estructuras offshore	18
Figura 14. Tipos de estructuras según la profundidad.....	19
Figura 15. Monopiles.....	20
Figura 16. Jackets	21
Figura 17. Trípodes.....	21
Figura 18. Tipos de estructuras flotantes.....	22
Figura 19. Utilización de los distintos tipos de subestructuras.....	23
Figura 20. Media de mejoras alcanzadas	26
Figura 21. Etapas para el modelado y la simulación de procesos.....	27
Figura 22. Evolución de la industria: Industria 4.0.....	30
Figura 23. Tecnologías indispensables de la industria 4.0	31
Figura 24. Transportador modular autopropulsado proyecto Wikinger	33
Figura 25. Load Out Subestación Wikinger con SPMT	34
Figura 26. Load Out jackets Wikinger Astillero Navantia Fene	35
Figura 27. Data sheet grúa CC8800-1 SFVL ALE	35
Figura 28. Load Out jackets Wikinger Astillero Bladt Industries.....	36
Figura 29. Elementos soporte	37
Figura 30. Zona de almacenaje 1 y Zona Load - Out	38
Figura 31. Zonas de almacenaje restantes.....	39

Figura 32. Parte del modelo general: Almacenamiento y zona load out.....	40
Figura 33. Diagrama de bloques modelo.	40
Figura 34. Modelado según posiciones determinadas e indeterminadas	41
Figura 35. Código posiciones indeterminadas	42
Figura 36. Distribución jackets posiciones determinadas.....	43
Figura 37. Separación de caminos de transporte	43
Figura 38. Parámetros ítems	44
Figura 39. Etapa final: load out	45
Figura 40. Utilización de zonas caso posiciones indeterminadas: Load Out, 1 y 2.	47
Figura 41. Utilización de zonas caso posiciones indeterminadas: Todas las zonas.	47
Figura 42. Resumen utilización: 2 zonas caso indeterminado; todas las zonas caso determinado	48
Figura 43. Gráfico almacenamiento para fechas planificadas	49
Figura 44. Distribución astillero según planificación	50
Figura 45. Estimación de costes según las diferentes opciones de load out presupuestadas	52
Figura 46. Gráfico almacenamiento para 3 meses de retraso	54
Figura 47. Distribución astillero con almacenamiento de jaclets para 3 meses	55
Figura 48. Estimación de costes según con retraso de 3 meses	56
Figura 49. Gráfico almacenamiento para retraso basado en proyectos anteriores	57
Figura 50. Distribución astillero para cumplir retrasos según información de proyectos anteriores	57
Figura 51. Estimación de costes según con retraso de proyectos anteriores.....	58
Figura 52. Diferencias en costes de las distintas opciones de compra de zapatas.....	59
Figura 53. Retrasos en fabricación y load out por mala gestión de la logística de almacenamiento	60
Figura 54. Retrasos en fabricación por mala logística de almacenamiento, pero no en load out.	61
Figura 55. Estimación de costes ante falta de almacenamientos: mayores costes	62
Figura 56. Visualización del proceso de almacenamiento en 3D: Cámara 1 Unity 3D	64
Figura 57. Visualización del proceso de almacenamiento en 3D: Cámara 3 Unity 3D	64

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución de jackets en caso posiciones determinadas	42
Tabla 2. Entrada de datos para almacenaje	44
Tabla 3. Movimientos según la planificación	52
Tabla 4. Movimientos SPMT en caso de un retraso de 3 meses.....	55
Tabla 5. Movimientos SPMT en caso de un retraso variable	58
Tabla 6. Retrasos en fabricación por mala logística de almacenamiento (carga con SPMT's)	60
Tabla 7. Retrasos en fabricación por mala logística de almacenamiento (carga con grúa).....	61

1 ANTECEDENTES

1.1 ENERGÍA EOLICA. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

La industria eólica está viviendo un momento de expansión imparable a nivel mundial. Países que tradicionalmente han basado su sistema energético en fuentes fósiles están dando un giro hacia las energías renovables, lo que ha tenido un efecto muy positivo en la eólica.

La eólica lleva ya más de veinte años trabajando para España: es la solución de generación más eficiente, que proporciona más energía producida por MW instalado. La energía eólica muestra un gran crecimiento en 2016. Según la Red Eléctrica de España un 19,3% de la electricidad generada en España en 2016 proviene de la energía eólica.

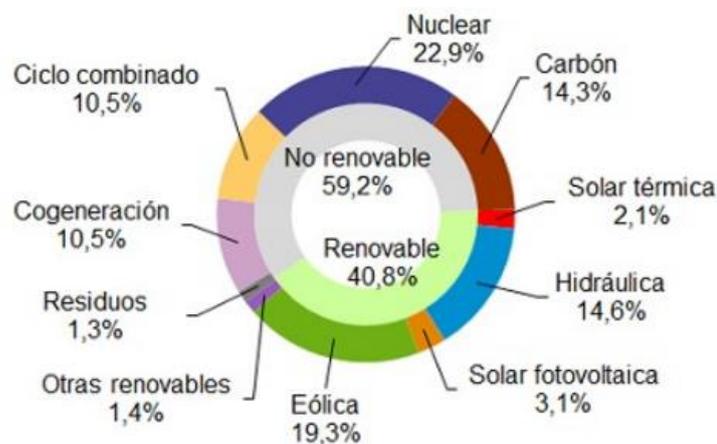


Figura 1. Generación de electricidad de enero a diciembre del 2016

Los cinco países líderes en energía eólica a nivel mundial siguen siendo los mismos: China, Estados Unidos, Alemania, India y España. En cuanto a la nueva capacidad instalada durante la primera mitad del año, España y Estados Unidos sólo aporta el 4% del total, mientras que Alemania y la India agregaron casi 5 GW entre ellos. China, por el contrario, se dice que ha instalado 10 GW en la primera mitad del año.

La evolución de la industria eólica a nivel mundial ha traído consigo cambios importantes ya que el desarrollo de la tecnología ha permitido aumentar su competitividad y reducir el coste de la energía.

España ha sido un referente a nivel mundial en cuanto al desarrollo de la eólica, pero aún necesita desarrollar proyectos de energía renovable para cumplir con el objetivo europeo de generar el 20% de nuestra electricidad a través de fuentes limpias de cara a 2020. Todavía existen posibilidades de expansión con proyectos nuevos como una repotenciación por parte de los parques instalados que cuentan con más de 15 años de antigüedad.

En teoría cualquier turbina eólica puede mantenerse operativa durante un período ilimitado si se proporciona un mantenimiento adecuado, incluso más allá de su vida útil de 20 años.

Una apuesta para el futuro es la creación de un servicio inteligente basado en la digitalización con el que se puedan resolver de manera remota incidencias que se produzcan en cualquier parte del mundo. La implementación de servicios de diagnóstico remoto permitiría supervisar más de 10.000 aerogeneradores desde un único lugar. La digitalización aporta un nuevo paradigma plagado de oportunidades que ya ha está transformando este modelo de negocio.

Sobre la base de las actuales tasas de crecimiento, la WWEA (World Wind Energy Association) ha revisado las futuras expectativas de la capacidad eólica mundial:

- En el primer semestre del año 2017, se espera que la capacidad mundial supere los 500 GW.
- En 2020 se llegaría a los 700 GW.
- En 2030 sería posible llegar a 2.000 GW de capacidad de generación eólica global, según la última estimación del Global Wind Energy Council (GWEC).

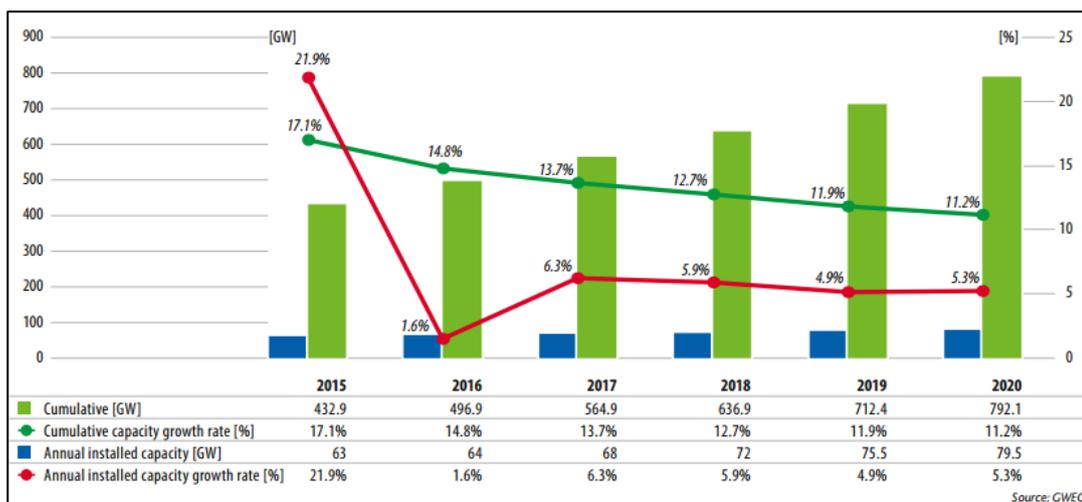


Figura 2. Previsión del mercado entre 2016 y 2020

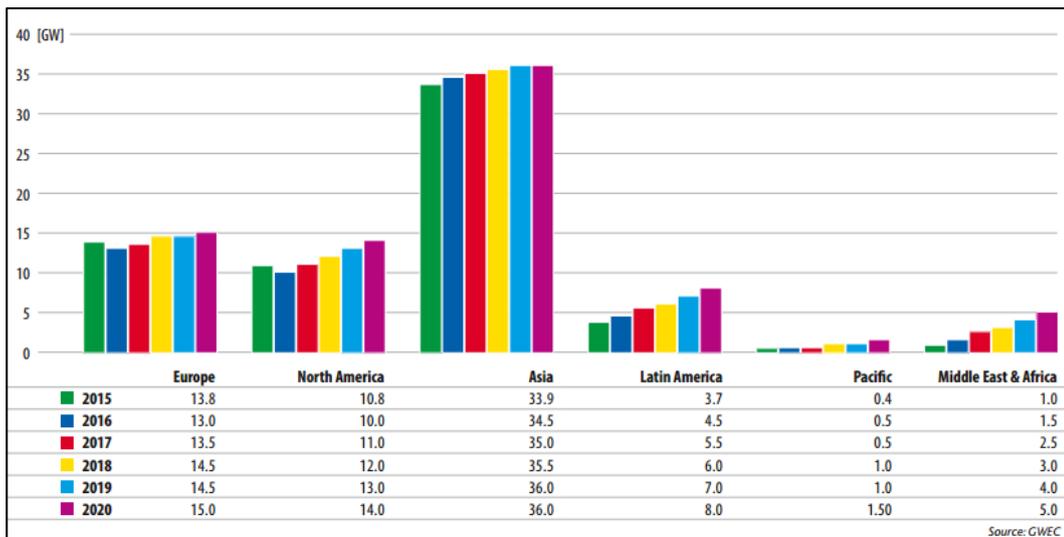


Figura 3. Previsión del mercado anual por regiones entre 2016 y 2020

1.2 EÓLICA OFFSHORE. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

La energía eólica tiene un futuro prometedor aunque los mejores terrenos han sido ya ocupados o están en trámites de autorización y cada vez es más difícil encontrar zonas con altas velocidades de viento sin explotar; como solución a este problema aparece la energía eólica offshore.

Hablamos de energía eólica onshore a la obtenida por aquellos aerogeneradores instalados en tierra firme y de energía eólica offshore a aquella obtenida de aerogeneradores instalados en el medio marino.



Figura 4. Parque eólico onshore



Figura 5. Parque eólico offshore

La mayoría de los países que han alcanzado un alto desarrollo eólico tienen ahora las miras puestas en el mar.

Países europeos empiezan a instalar aerogeneradores frente a sus costas. Los costes de construcción de estos parques son muy superiores, pero también lo es la producción de energía (gracias a que en el mar los vientos son más fuertes y constantes), por lo que esta tecnología tiene un futuro prometedor.

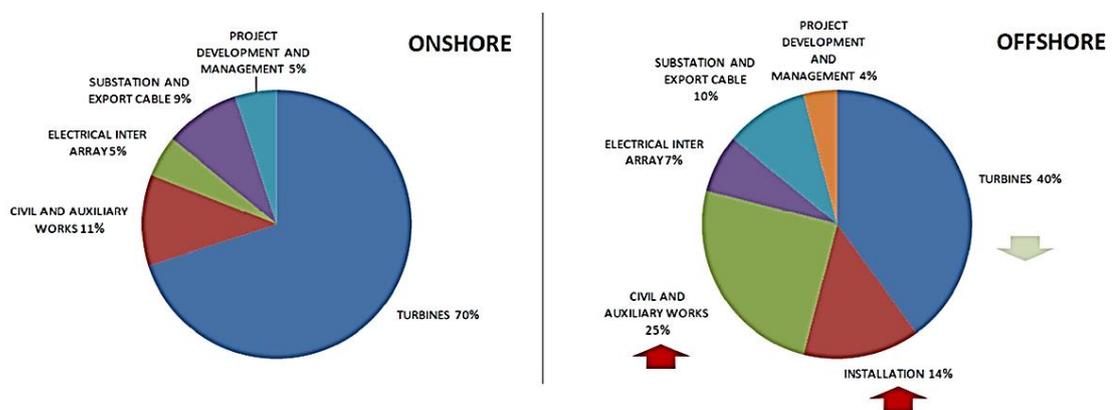


Figura 6. Comparativa eólica onshore y offshore

En España, fuentes del sector consideran poco realistas las posibilidades del desarrollo del offshore por la profundidad de nuestra plataforma continental costera, que encarecería los costes por cimentación y estructura, por las fuertes corrientes marinas, que provocan erosión y por el elevado aprovechamiento turístico de nuestras costas.

Empresas españolas apuestan por la eólica offshore y en la actualidad están desarrollando exitosos proyectos en Reino Unido, Alemania y Francia, siendo así posible encontrar ejemplos de parques ya operativos:



Figura 7. Mapa de los parques eólicos offshore instalados en la actualidad en Europa

Con más detalle, algunos de los parques europeos de empresas españolas que ya se encuentran en operación o todavía están en proceso de construcción o en desarrollo son:

	West of Duddon Sands	Wikingen	East Anglia ONE	St. Brieuc
Status	En operación	En construcción	FID Q1 2016	En desarrollo
Fecha prevista puesta en marcha	Q4 2014	Q3 2017	2017-2018	2022
Potencia	389 MW	350MW	714 MW	~500 MW
Propiedad	50% IBE - 50% DONG	100%	100%	70% IBE – 30% RES
Distancia a costa	15 km	75 km	45 km	40 km
Profundidad	18-24m	~40 m	40-45 m	~40 m
Turbinas	Siemens 3,6 MW	Adwen 5 MW	Siemens 7 MW	-

Figura 8. Características parques europeos en construcción y operación

La energía eólica es una realidad creciente, tanto en tierra como en mar, con un amplio potencial para convertirse en la sustitución de energías sucias por energías limpias.

En la primera mitad de 2016 (H1), Europa conectó a la red 114 aerogeneradores comerciales costa afuera con una capacidad combinada de 511 MW. En total 13 parques eólicos comerciales estaban en construcción y una vez completados tendrán una capacidad total de más de 4.2 GW.

En el gráfico que se muestra a continuación puede observarse la tendencia creciente de la potencia eólica offshore instalada en los últimos años.

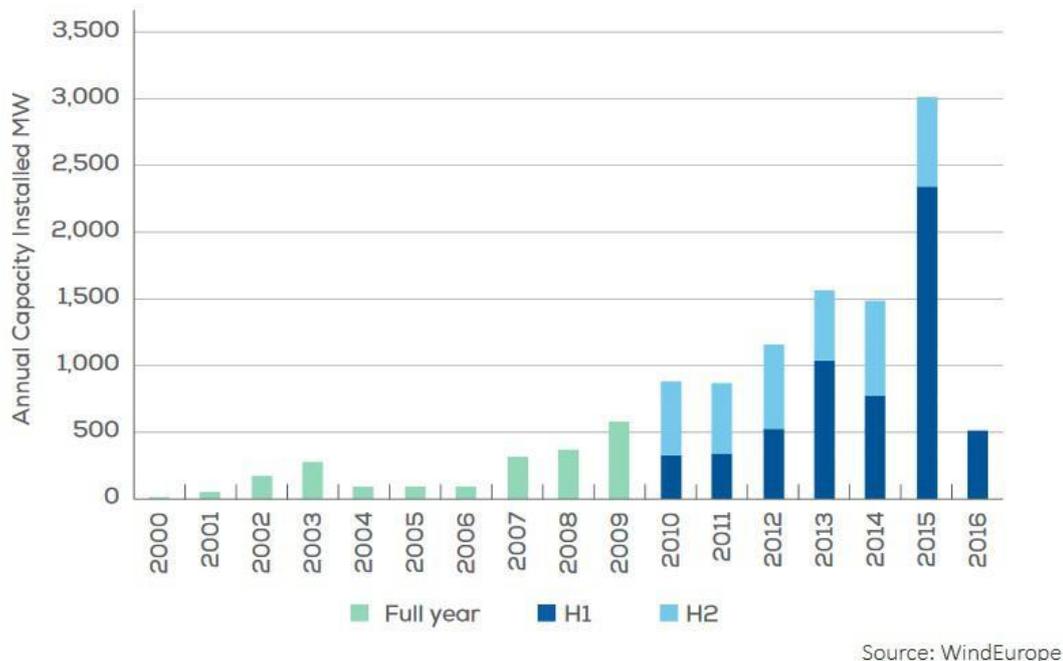


Figura 9. Capacidad anual instalada de eólica offshore

Las nuevas instalaciones de capacidad offshore durante el primer semestre de 2016 disminuyeron 78% en comparación con el mismo período del año anterior. El trabajo realizado en los parques eólicos europeos durante el año 2016 se detalla a continuación:

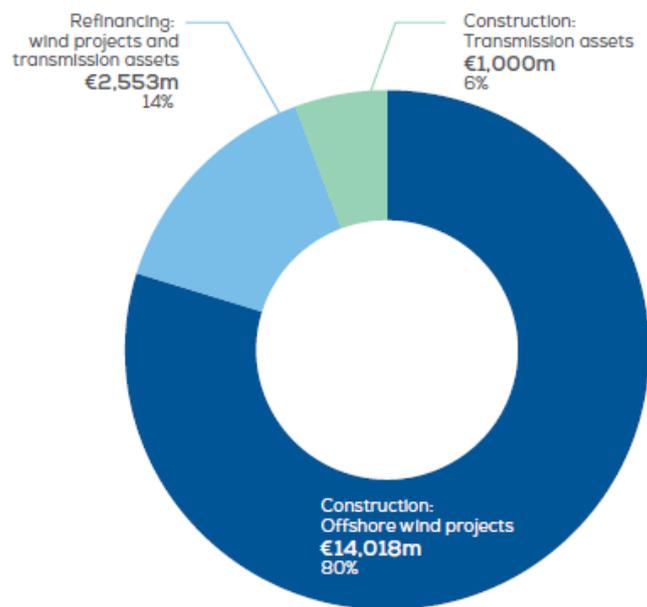
- En el primer semestre, 114 aerogeneradores estaban totalmente conectados a la red, totalizando 511 MW en 4 parques eólicos: Westermeerwind (NL), Gemini (NL), Gode Wind I (DE), Gode Wind II (DE).
- 182 aerogeneradores (44 unidades o 32% más que durante el mismo período del año pasado) fueron erguidos en cuatro parques eólicos en el primer semestre del año: Westermeerwind (NL), Gemini (NL), Gode Wind I (DE), Gode Wind II (DE). Algunos han sido conectados a la red, otros no.
- Incluyendo la actividad de instalación del año pasado, actualmente se instalan 128 turbinas, con un total de 596 MW, pero en espera de conexión a la red.

- 177 estructuras offshore (28% más que el mismo período del año anterior) fueron instaladas en nueve parques eólicos en el primer semestre: were installed in nine wind farms: Nordsee One (DE), Nobelwind (BE), Nordergründe (DE), Dudgeon East (UK), Sandbank (DE), Veja Mate (DE), Burbo Bank Extension (UK), Race Bank (UK), Rampion (UK).
- La actividad de empilado en Wikinger (DE) comenzó en la primera mitad de 2016, y se completó la instalación de la totalidad de las jackets al inicio del 2017.
- El tamaño promedio de los aerogeneradores instalados en el primer semestre de 2016 es de 4,8MW, o un 15% más que en el mismo período del año pasado.
- Siete proyectos, por valor de 14.000 millones de euros, alcanzaron la Decisión Final de Inversión (FID) en el primer semestre de 2016. Esto financiará 3,7 GW de nueva capacidad, duplicándose desde el primer semestre de 2015 (1,8 GW).

En la primera mitad de 2016, Europa conectó a la red 114 aerogeneradores comerciales offshore con una capacidad combinada de 511 MW. En total 13 parques eólicos comerciales estuvieron en construcción que una vez completados tendrán una capacidad total de más de 4.2 GW.

Las nuevas inversiones en energía eólica marina en Europa continúan creciendo fuertemente. Además de las inversiones en nuevos parques eólicos, en el primer semestre de 2016 también se registraron 2.500 millones de euros en operaciones de refinanciación y 1.000 millones de euros para la construcción de la transmisión.

El sector generó una inversión total de 17.500 millones de euros.



Source: WindEurope

Figura 10. Inversiones en sector de eólica offshore en la primer mitad del 2016

Los productores de electricidad continúan siendo proveedores sustanciales de capital propio. Muy pocos productores de electricidad han recurrido hasta ahora a estructuras de financiamiento sin recurso y esta tendencia se ha mantenido a lo largo de 2016. En consecuencia, los mercados estaban fuertemente dominados por la financiación de los balances.

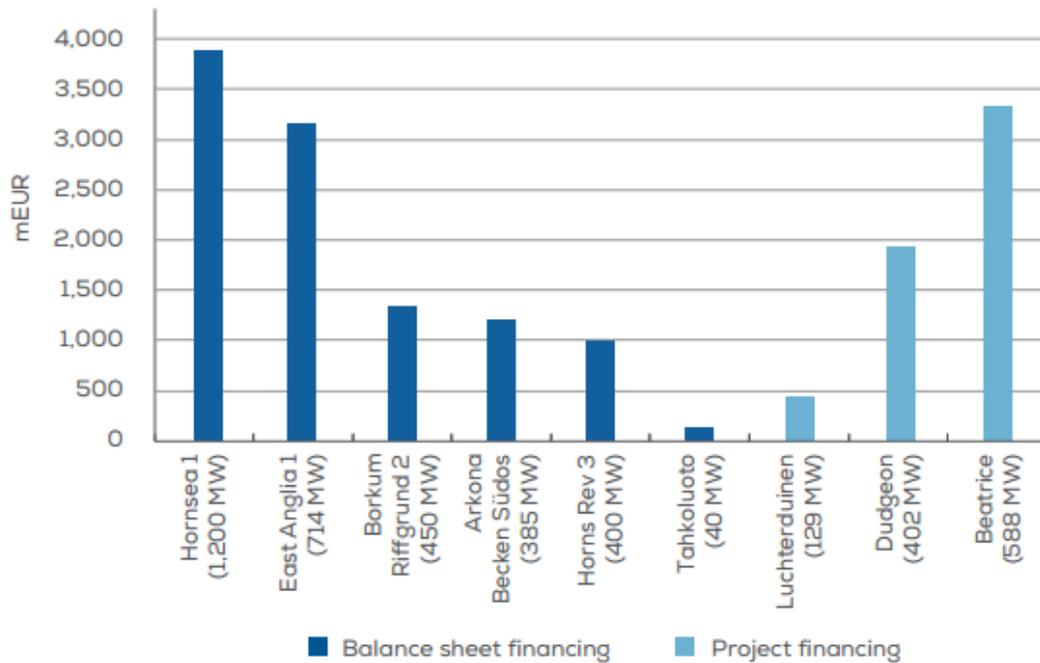


Figura 11. Financiación de proyectos offshore

El financiamiento de proyectos sigue siendo una herramienta importante dada la escala del sector eólico offshore.

El principal reto de la industria offshore para el futuro es la reducción de costes, se prevé una reducción de costes al minimizar los riesgos invirtiendo según se va adquiriendo conocimiento.

El hecho de poder contar con menos aerogeneradores dentro de un mismo parque eólico representa además un ahorro significativo de los costes derivados de su cimentación e instalación en alta mar.

Junto a esta transformación de las instalaciones eólicas marinas destacan las ventajas frente a las instalaciones en tierra, sobre todo mayor capacidad de generación (20-40 por ciento mayor), por su propia ubicación mar adentro y un menor impacto visual y acústico, ya que la menor rugosidad superficial en el mar favorece la utilización de menores alturas de torre. Todo esto permite un mayor aprovechamiento del recurso eólico.

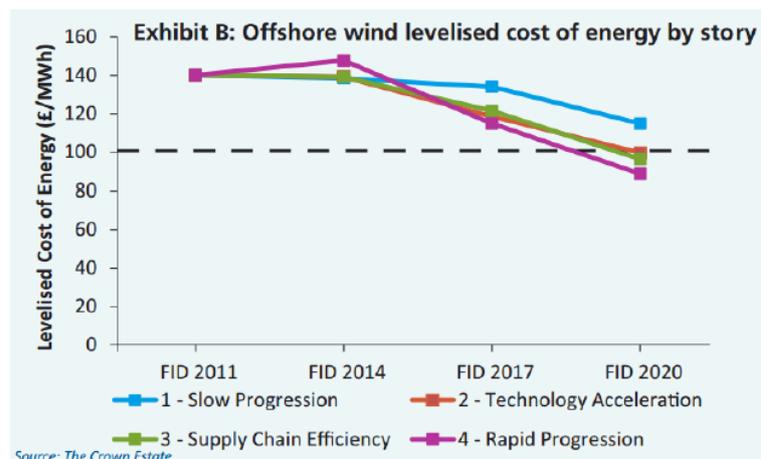


Figura 12. Estimaciones de coste de la energía

La industria de la energía marina está creciendo a buen ritmo en Europa, donde en los últimos diez años se han instalado un total de 8.000 MW, según la European Wind Energy Association.

El objetivo es alcanzar los 150.000 MW de capacidad en 2030, llegando a cubrir el 14 por ciento del consumo energético. De esta manera se reduciría también la emisión de 315 millones de toneladas de CO2 al año.

1.3 ESTADO DEL ARTE DE LA EÓLICA OFFSHORE

La tecnología de la energía eólica marina ha recorrido un largo camino en un corto tiempo, pero es mucho el desarrollo que queda por hacer. A pesar de que los fundamentos de la tecnología son los mismos en tierra y mar, los métodos de instalación y operación ya son muy diferentes de la generación eólica en tierra, prestando gran atención a la fiabilidad y el acceso.

La energía eólica marina tiene una serie de ventajas respecto a la que se genera en tierra, siendo la principal el viento que es más constante y tiene una velocidad mayor en el mar, debido a la ausencia de accidentes geográficos. Por el lado contrario, la principal desventaja es el coste económico asociado a la instalación y al mantenimiento y la dificultad que entraña realizar tareas de instalación en el mar.

La profundidad a la que se lleven a cabo los proyectos offshore es de gran importancia ya que la profundidad a la que se lleve a cabo y el coste asociado tienen una relación directa.

Este es uno de los múltiples factores a tener en cuenta a la hora de ver la viabilidad de la estructura offshore a elegir para cada proyecto.

En la siguiente gráfica se puede observar cómo aumenta el precio a medida que nos adentremos a unas mayores profundidades:

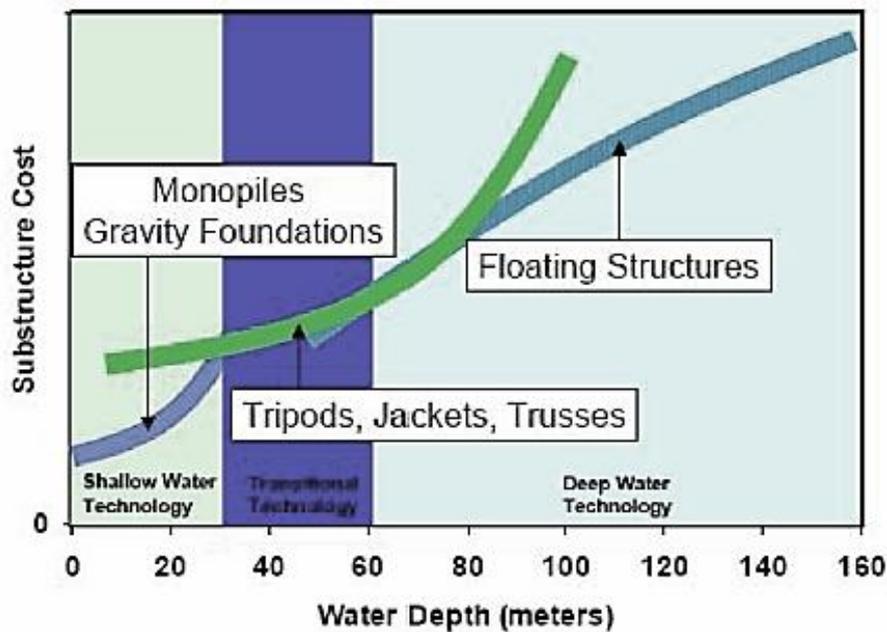


Figura 13. Relación coste-profundidad de las estructuras offshore

A medida que el mercado global de energía eólica offshore continúa su crecimiento fenomenal, las tecnologías están evolucionando para conseguir costos de proyecto más bajos, y en última instancia, menor costo de energía. Se considera que el coste de la subestructura soporte es aproximadamente el 25% del coste total.

La función básica de esta subestructura es mantener el aerogenerador en su lugar. Esto significa que debe ser construido para soportar cargas originadas por las corrientes marinas, las olas y el viento, actuando tanto en la estructura de soporte como en la turbina en funcionamiento.

Existen distintos tipos de estructuras según su donde vaya a realizarse la instalación:

- Subestructuras para aguas poco profundas.
- Subestructuras para aguas de profundidad media.
- Subestructuras para aguas profundas.

Así mismo según sus características de instalación se distinguirán:

- Subestructuras flotantes.
- Subestructuras fijas.

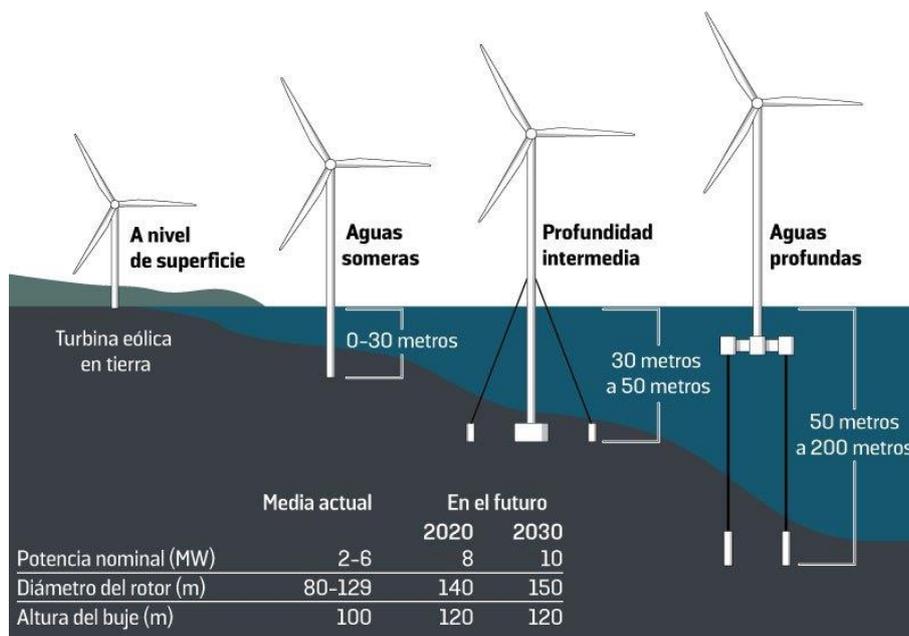


Figura 14. Tipos de estructuras según la profundidad

1.3.1 Estructuras para aguas poco profundas

Se habla de aguas poco profundas en aquellos lugares en los que la profundidad del agua va desde 0 a 30 m. En este caso estamos ante la instalación subestructuras fijas.

El tipo de soporte en este caso es llamado monopile o monopilote. Es un diseño relativamente simple por el que la torre se apoya en el monopile, ya sea directamente o a través de una pieza de transición. Consiste en una estructura vertical hecha de secciones o tramos de acero tubulares cimentados en el fondo del mar.

Estas estructuras se ven limitadas por la deflexión total debida a las corrientes y por las cargas axiales debidas a la pieza de transición, esfuerzos que transmiten al lecho marino al estar ancladas a él. Son comúnmente utilizados debido a la facilidad de su instalación.



Figura 15. Monopiles

1.3.2 Estructuras para aguas de profundidad media

Para profundidades entre los 30 - 50 m las estructuras más comunes son las tipo Jacket y Trípode.

- **Estructura tipo Jacket:** Las jackets se caracterizan por encontrarse plantadas sobre el suelo marino extendiendo su estructura por encima de la superficie del nivel del mar.

La subestructura está compuesta principalmente por perfiles tubulares de sección circular. La estructura se basa en que los elementos principales que constituyen el apoyo, interconectados y arriostrados por elementos de menor sección transversal, adoptando un conjunto formando una pirámide truncada que pivotea en el fondo del mar, con una altura que debe sobresalir por encima de la altura del mar logrando la conexión entre los pilotes y la superestructura.

Al igual que los monopilotes disponen de una pieza de transición que une la estructura con la torre del aerogenerador.



Figura 16. Jackets

- **Estructura tipo trípode:** se compone de un monopilote con tres puntos de anclaje sobre el fondo marino. Las tres barras permiten una mejor distribución de tensiones. Las cargas que sufre el aerogenerador se transfieren a la columna central, la cual los transmite a los pilotes. Estos pilotes, normalmente con un diámetro entre 0,9-1 m, sirven para anclar la estructura al fondo marino. Estos pilotes aportan a la estructura una gran estabilidad y rigidez.



Figura 17. Trípodes

1.3.3 Estructuras para aguas profundas

Para aguas profundas de 50 - 200 m se habla ya de subestructuras flotantes. En este caso, los aerogeneradores en lugar de colocarse sobre estructuras ancladas al fondo marino, estarían sobre una plataforma flotante de acero y hormigón que deben anclarse con cables al fondo marino.

Su principal ventaja es que en caso de problemas técnicos, podrá trasladarse nuevamente a tierra para su reparación.

Sin duda el potencial de esta tecnología enorme, pero todavía tiene que superar algunos retos tecnológicos. Hay que pensar que la turbina tiene que aguantar grandes temporales y oleajes flotando en el mar.

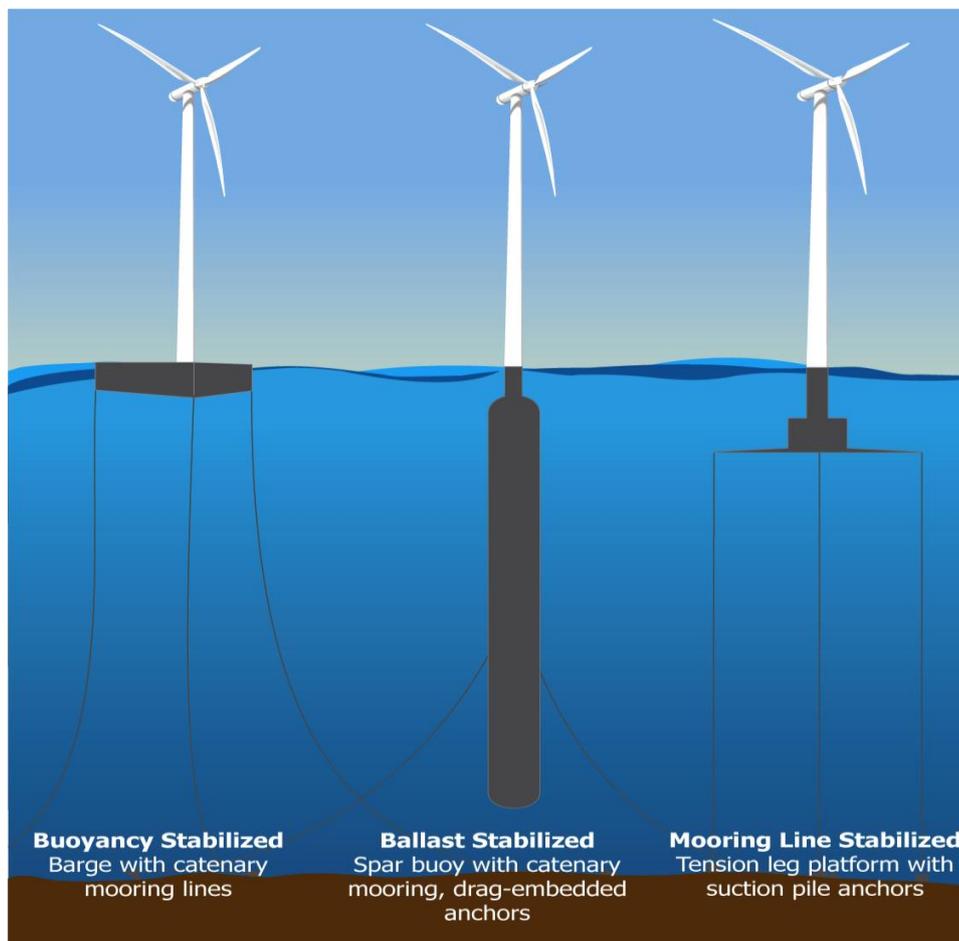


Figura 18. Tipos de estructuras flotantes

De todos los tipos de subestructuras disponibles para la eólica offshore, este Trabajo de Fin de Master se centra en el estudio de las jackets.

Según un informe de la EWEA de 2015 se refleja que los monopiles siguen siendo las subestructuras más populares, pero también puede observarse el crecimiento que se está produciendo en cuando a la instalación de subestructuras tipo jacket.

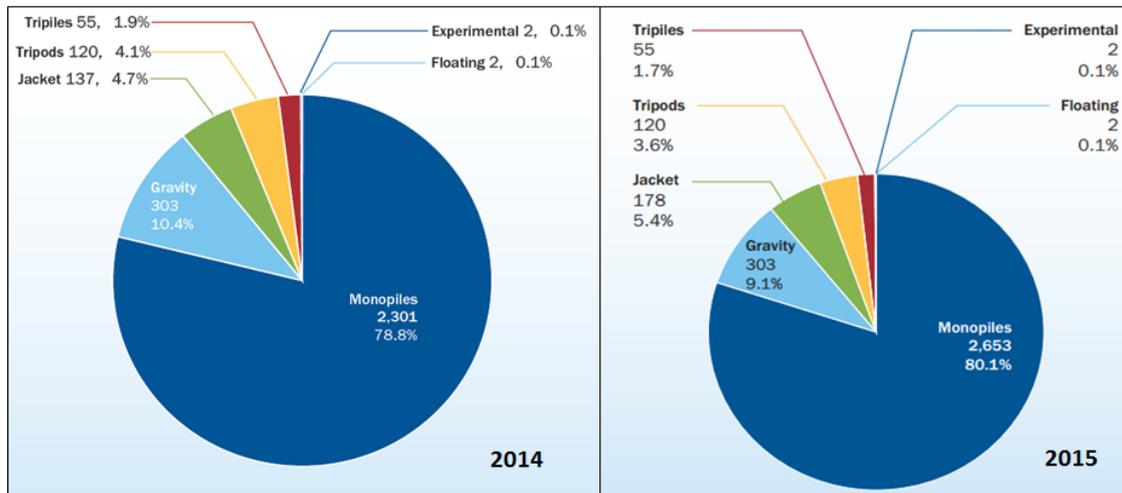


Figura 19. Utilización de los distintos tipos de subestructuras

El reto para el futuro es continuar con el desarrollo de turbinas eólicas flotantes, las cuales podrán ser instaladas en lugares con gran recurso eólicos pero mayores profundidades.

Según el responsable de negocio de energías renovables de General Electric, los parques eólicos flotantes pueden ser cruciales para el mix energético del futuro. Estos aerogeneradores, en lugar de ir anclados al fondo marino, estarían sobre una plataforma flotante de acero y hormigón, lo que les permitiría operar en aguas de hasta 200 metros.

Actualmente Francia tiene previsto el desarrollo de dos parques eólicos offshore flotantes, en uno de los cuales participará General Electric. Para ello utilizará su turbina eólica Haliade de 6 MW de potencia. Una turbina que ya se utiliza en instalaciones offshore. Así mismo, Statoil se encuentra en plena fabricación de cinco estructuras tipo SPAR para el parque eólico piloto en la costa este de Escocia.

Sin duda el potencial de esta tecnología enorme, pero todavía tiene que superar algunos retos tecnológicos. Hay que pensar que la turbina tiene que aguantar grandes temporales y oleajes flotando en el mar.

Se prevé que la energía solar sea la fuente renovable de más rápido crecimiento en los próximos cinco años, la Agencia Internacional de Energía proyecta que la capacidad de los proyectos eólicos offshore se triplicará para 2021. Aunque seguirá siendo inferior a 1% de la capacidad mundial, sus perspectivas de crecimiento son particularmente atractivas en regiones como el norte de Europa, donde la luz del sol es escasa durante la mitad del año.

Ahora que el costo de los parques eólicos offshore está cayendo, Japón, China, India y Taiwán se disponen a apostar a la tecnología, indica el Consejo Global de Energía Eólica, un grupo del sector.

2 OBJETIVOS

El presente proyecto se incluye en la línea de optimización de procesos, que busca el análisis de los procesos de fabricación de la planta y de los productos desarrollados mediante el modelado y simulación, con el fin de evaluar la eficiencia actual, proponer mejoras tanto globales como específicas e incorporar lecciones aprendidas de sectores industriales más desarrollados, concluyendo con recomendaciones que permitan la definición de un astillero sostenible y optimizado

Su objetivo es el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías que permitan incrementar la competitividad del astillero, mediante la mejora de los procesos productivos existentes de tal forma que se incremente la productividad y se reduzcan tiempos y costes.

Mediante el uso de simulación de eventos discretos, se desarrolla un modelo paramétrico global de eventos discretos mediante el software Extendsim con el fin de realizar un estudio logístico de transporte y almacenamiento de jackets.

El modelo debe ser capaz de estudiar el espacio de almacenamiento necesario en el astillero según diferentes escenarios basados en distintas fechas de load-out, tanto el número de áreas de almacenamiento como el número de estacionamientos necesarios en cada área. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1º Analizar el sistema de logística de transporte de jackets mediante la información aportada de proyectos anteriores del sector de la eólica marina.
- 2º Recoger los tiempos y las trayectorias necesarios para la realización del modelo, así como la información aportada por el cliente en cuanto a hitos de embarque de las jackets.
- 3º Desarrollar un modelo de simulación que integre el software de eventos discretos Extendsim con Microsoft Excel, para facilitar la parametrización de los procesos. Excel servirá como fuente de datos de entrada y como salida de los resultados obtenidos, facilitando la comprensión de los mismos.
- 4º Realizar un análisis de escenarios con distintas fechas de embarque.
- 5º Analizar los resultados obtenidos y realizar una comparativa de costes para obtener el mejor resultado posible. Para ello se buscará la opción que minimice el riesgo de incumplimiento de los hitos de embarque, los movimientos realizados en el astillero y el número de estacionamientos de jackets necesarios.

El motivo que ha impulsado el desarrollo de este proceso es la necesidad de las empresas del sector naval de llevar un presupuesto ajustado del coste total en el que se incurre al llevar a cabo la construcción de jackets.

En este proyecto se demostrará además la gran importancia en costes que tiene una buena logística interna en un astillero.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 ANTECEDENTES

La práctica de esta metodología de la orientación de los procesos comenzó a aplicarse en la década de 1970, gracias a la aparición de los lenguajes de simulación de propósito general para modelos de eventos discretos.

Hoy en día el modelado suele realizarse empleando entornos de simulación a fin de facilitar la descripción del modelo mediante interfaces de usuario muy intuitivos.

Sin duda la simulación de procesos es una herramienta poderosa en toda empresa que tenga como una de sus metas principales optimizar sus recursos y generar una mejor experiencia para el cliente, pudiendo ser mucho más competitiva en el pasar del tiempo otorgando mejores análisis y generando una imagen de la situación real, pasada y futura del comportamiento propio, o bien generando una imagen del entorno en el cual se está operando.

Los usos más comunes en la actualidad son los siguientes:

- Diagnóstico de problemas en los procesos
- Aplicaciones hospitalarias
- Ideas de mejora de rendimiento de pruebas de laboratorio
- Evaluar decisiones de inversión de capital

Toda empresa tiene por debajo algún tipo de ingeniería para manejar sus procesos. Muchas de estas empresas acuden a la ayuda de programas de simulación o a empresas que se dediquen a prestar servicios de simulación y mejora de procesos.

3.2 MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS

La simulación de un hecho real o de un proceso por medio de otro proceso más simple que analiza sus características es una herramienta práctica de la ingeniería.

La simulación permite a corto plazo una mejor toma de decisiones a la dirección de la empresa ya que, mediante ella, se puede medir un proceso o esquematizar el funcionamiento lógico de una empresa por medio de la creación de un modelo que recoge el sistema de procesos de la planta de producción que se simulará en condiciones reales dentro de un plano irreal (sin interferir en la actividad normal).

Un modelo de simulación consiste en la representación mediante un conjunto de relaciones cuantitativas y lógicas entre sus componentes, permitiendo estudiar cómo se comporta el modelo del sistema cuando cambia alguno de sus componentes

Al trabajar con un modelo, una equivocación no ocasionará ningún problema real a la planta de producción, incluso nos permite anticiparnos a su resultado. Además evaluar cualquier alternativa no conlleva ningún sobrecoste, al no tener que efectuar las inversiones o cambios necesarios para comprobar su resultado velocidad variable, es decir, podemos hacer que los eventos de la simulación sucedan más lentos, igual o mucho más rápidos que el tiempo real.

Hoy en día el modelado suele realizarse empleando entornos de simulación a fin de facilitar la descripción del modelo mediante interfaces de usuario muy intuitivos.

Actualmente se emplea la simulación como herramienta en el proceso de toma de decisiones. Como medio para comprender la realidad y asumir su complejidad, sin necesidad de interactuar con el sistema real. La simulación, se ha convertido en una herramienta ampliamente extendida y eficaz, para prever el comportamiento de sistemas reales, para determinadas condiciones de operación. Sus principales ventajas son:

- Identificar los procesos que añaden valor e identificar los cuellos de botella.
- Optimizar el uso de las instalaciones y el análisis de recursos necesarios.
- Evaluar escenarios de fabricación para cuantificar su impacto en precio, plazo y calidad del producto.
- Analizar riesgos de incumplimiento de hitos de contrato.
- Identificar cambios en el diseño que mejoren el proceso de fabricación.
- Evaluar inversiones.

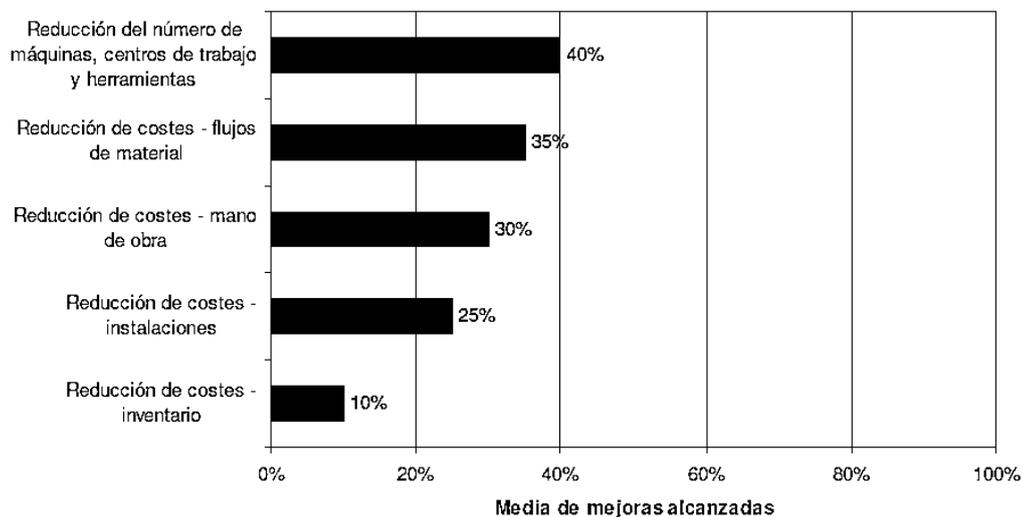


Figura 20. Media de mejoras alcanzadas

Los modelos de simulación se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios:

Según el instante temporal que representan se clasifican en:

- Estáticos: representan a un sistema en un determinado estado de tiempo.
- Dinámicos: representan a un sistema que evoluciona a lo largo del tiempo.

Según la aleatoriedad de sus variables de estado pueden ser:

- Deterministas: el sistema no contiene variable de estado aleatoria.
- Estocásticos o aleatorios: el sistema contiene al menos una variable de estado no determinista.

Según el comportamiento de los sistemas a lo largo del tiempo podemos clasificarlos en:

- **Sistemas continuos:** Son aquellos en las que las variables de estado evolucionan de un modo continuo a lo largo del tiempo.
- **Sistemas discretos:** Son aquellos en los que las propiedades de interés del sistema cambian en un cierto instante o secuencia de instantes, que normalmente obedecen a un patrón periódico.
- **Sistemas orientados a eventos discretos:** Al igual que los sistemas discretos, se caracterizan en que las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en una secuencia de instantes de tiempo, permaneciendo constantes el resto del tiempo. La secuencia de instantes en los cuales el estado del sistema puede presentar un cambio obedece a un patrón aleatorio.
- **Sistemas combinados:** Son aquellos que combinan subsistemas continuos o discretos respectivamente.

Para la simulación de la línea objeto del presente proyecto se parte de la identificación de esta como un sistema dinámico de eventos discretos. La simulación basada en eventos discretos permite la creación de modelos dinámicos del proceso que posteriormente servirán para la comprobación de distintas hipótesis así como su implementación en la realidad.

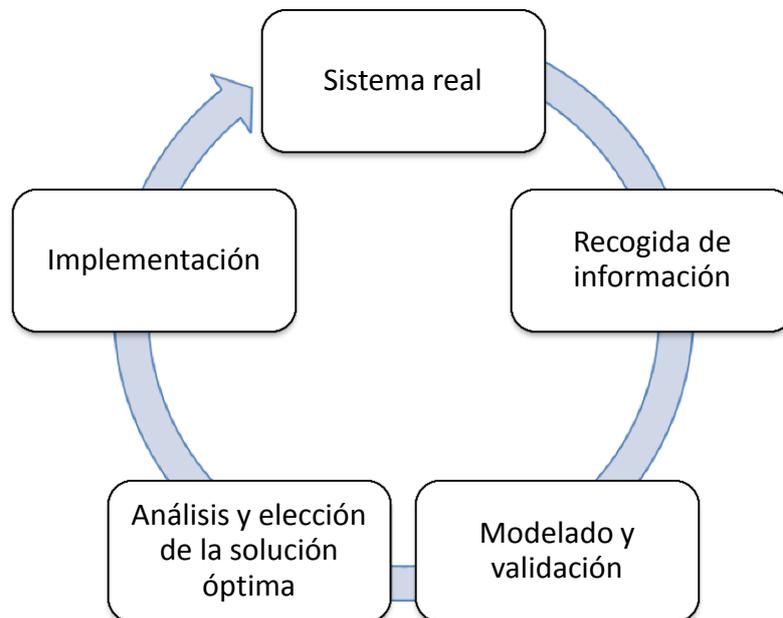


Figura 21. Etapas para el modelado y la simulación de procesos

Toda simulación comienza con la formulación de un problema existente en el sistema real. Es necesario realizar un planteamiento inicial de dicho problema para asegurarse de que se entiende perfectamente el tipo de problema, para ello se sugiere preparar un conjunto de supuestos y plantear los objetivos que se desean alcanzar, para proceder a la recogida de información necesaria.

Los objetivos indican las cuestiones que debe responder el estudio de simulación. La planificación del proyecto debe incluir los distintos escenarios que se deben estudiar.

Es imprescindible la realización de un diagrama de bloques del proceso antes de llevar a cabo el modelado para organizar toda la información disponible y comenzar con un modelo simplificado que se irá desarrollando hasta completarlo, teniendo cuidado de no realizar un modelo con una gran complejidad innecesaria para conseguir los resultados.

Una vez que la propuesta haya sido aceptada se procede a la recogida de datos necesario y al estudio de tiempos.

Tras la recogida de datos se procede a la implementación de los mismos en el modelo realizado. Es necesario verificar los resultados obtenidos con los datos reales para validar el modelo y proceder a la optimización de los procesos.

Para ello se diseñará una amplia variedad de escenarios diferentes con las posibles soluciones al problema, realizando así un análisis para la elección de la mejor solución para el proceso en cuestión. Se han de definir los parámetros a analizar, el número de simulaciones y la duración de dicha simulación, pues un programa de simulación aporta mucha información.

Se llevarán a cabo todas las simulaciones que sean necesarias para obtener unos datos válidos para alcanzar los objetivos del proyecto. Si los datos extraídos son coherentes y suficientes para alcanzarlos no será necesario realizar más simulaciones, en caso contrario, se deberá volver a simular para obtener otros resultados o bien rediseñar el modelo.

Todos estos datos obtenidos serán documentados y servirán como herramienta de toma de decisiones o simplemente serán la base para implementar físicamente el escenario planteado mediante la simulación en el sistema real, completando así el ciclo de la optimización del proceso.

Sin duda la simulación de procesos es una herramienta poderosa en toda empresa que tenga como una de sus metas principales optimizar sus recursos y generar una mejor experiencia para el cliente, pudiendo ser mucho más competitiva en el pasar del tiempo otorgando mejores análisis y generando una imagen de la situación real, pasada y futura del comportamiento propio, o bien generando una imagen del entorno en el cual se está operando.

La simulación es de gran utilidad debido a su carácter visual e intuitivo basado en la modelización de la línea de producción y su lógica de funcionamiento, además pueden realizarse simulaciones a diferentes niveles, desde el más operativo de células de fabricación a niveles superiores que contemplen diferentes estrategias de producción.

Cabe destacar también, que la simulación permite trabajar con escenarios hipotéticos sin afectar a los sistemas de producción existentes, evaluando diferentes escenarios de fabricación para obtener la información necesaria para una toma de decisiones fiables con rapidez tanto en las primeras fases de planificación como en la fase de producción.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DE EVENTOS DISCRETOS

Hoy en día es imperativo para las empresas de fabricación para elaborar operaciones de forma eficiente con el objetivo de mantenerse competitivos en el mercado mundial.

Los productores necesitan responder rápidamente a la demanda y producir productos de alta calidad. El *“lot streaming”* es una técnica de planificación de la producción que puede incrementar eficientemente la velocidad del flujo de material en máquinas y además reducir la producción *“makespan”* (tiempo de ciclo) y regular el promedio de inventario de trabajo en proceso. Es una técnica que acelera el flujo de una producción mediante el fraccionamiento del lote de producción en sub-lotes para luego procesar los sub-lotes simultáneamente a través de las máquinas reduciendo así el trabajo en proceso y el tiempo de ciclo.

Se llevará a cabo la realización de un modelo de eventos discretos global que permitirá un análisis de los procesos de fabricación a grandes bloques así como de los procesos de almacenamiento y embarque obteniendo unos datos reales sin exceso de detalle para una visualización clara de los resultados.

A partir de este modelo se realizará una optimización de los movimientos internos realizados durante la realización del proyecto, movimientos debidos al almacenamiento y a los procesos de embarque, además, se ofrecerán soluciones mediante el estudio de distintos escenarios, es decir, se obtendrá el número de estacionamientos necesarios y se identificarán las posibles necesidades de ampliación / mejora de espacios o de inversión en maquinaria.

3.4 INNOVACIÓN

El sentido de la innovación es la utilización de la simulación mediante eventos discretos como apoyo y mejora de los sistemas de planificación implantados en la industria actual (MS Project) para conseguir sistemas productivos más ajustados pudiendo analizar los movimientos internos del astillero y testar soluciones que posteriormente puedan requerir una inversión.

En general, la realización de una simulación detallada, pero a grandes bloques, sin llegar al gran detalle que se encuentra en las planificaciones actuales y, además, que permita ser fácilmente modificable con el fin de analizar diferentes políticas o escenarios en proyectos futuros.

Los nuevos desarrollos tecnológicos, la hiperconectividad y la globalización de la economía están planteando importantes oportunidades y retos a nuestra economía. La industria también debe abordar estas oportunidades y retos, para evolucionar y posicionarse como un sector fuerte, competitivo y de referencia internacional.

La industria está sometida a una gran presión sobre su competitividad y una robotización aún más intensiva se contempla hoy como oportunidad para reducir costes. Pero, además, han cambiado los intereses de los clientes; los nuevos mercados se basan en la personalización y la creación de nuevos productos y servicios innovadores.

Los clientes están más dispuestos a pagar por la experiencia o el servicio que por el producto en sí. Por ello la industria necesita añadir al producto servicios nuevos, experiencia individualizada, capacidad de actualización, lo que pasa por añadir software y conectividad a cualquier producto.

La industria 4.0 da respuesta a ambas exigencias y ofrece a Europa la oportunidad de recuperar buena parte de la industria que se perdió en las últimas décadas.

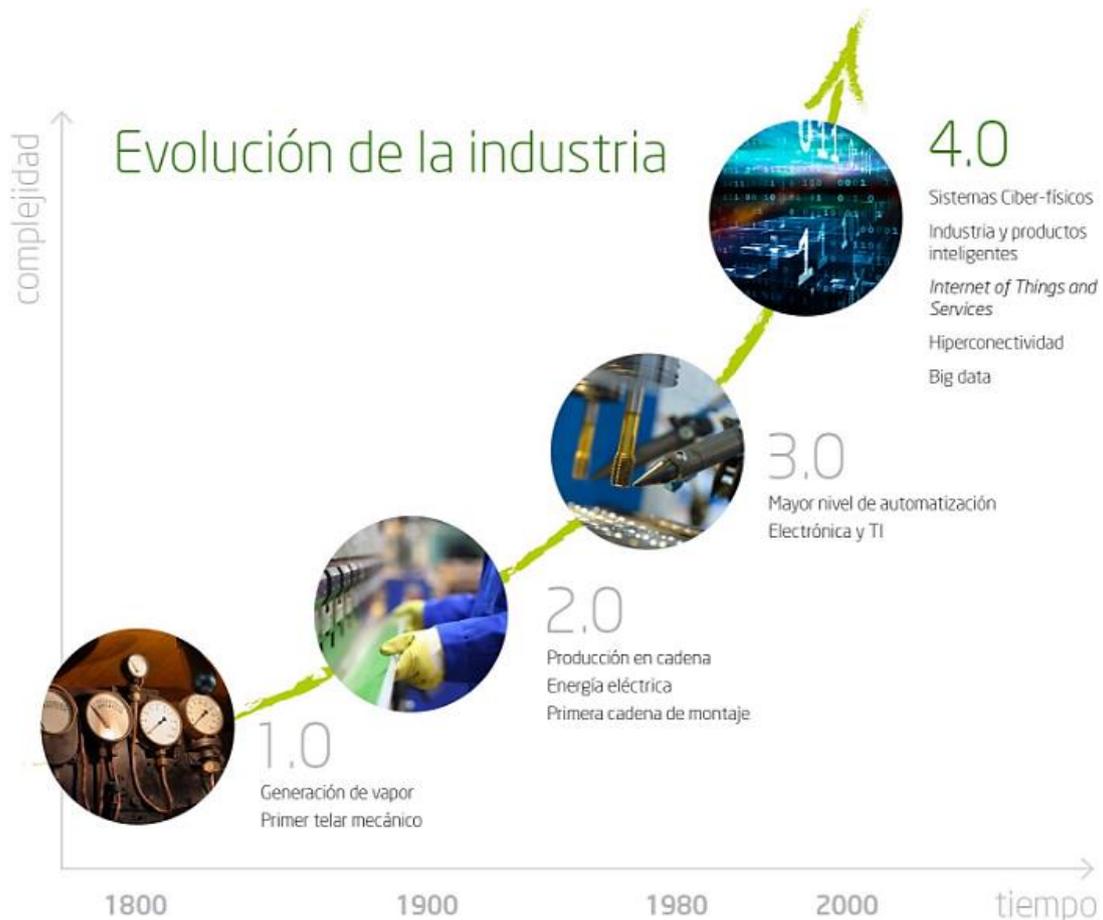


Figura 22. Evolución de la industria: Industria 4.0

El concepto Industria 4.0 fue desarrollado en su día por el ejecutivo alemán para describir una visión de la fabricación con todos sus procesos interconectados mediante Internet de las Cosas (IoT).

Según Gartner, en el camino de la innovación hacia la industria 4.0 es imprescindible una convergencia digital entre los componentes industriales y los de negocio; y entre los modelos y los procesos internos de las empresas.

La consultora internacional destaca, entre otras cosas, la combinación de datos de fuentes externas e internas para mejorar la toma de decisiones; el desarrollo de competencias digitales para integrar mejor los recursos dentro de la organización, incluida la seguridad, la ciberseguridad y el control de riesgos; el entendimiento y la comprensión de cómo las tecnologías de la Industria 4.0 pueden afectar a la fabricación localizada; y por último, el trabajo simultáneo en el desarrollo de productos inteligentes y en los procesos de fabricación.

El nuevo modelo de industria centrada en los datos requiere de una transformación profunda, basada en la integración inteligente de las TIC en el corazón de las empresas.

Seis tecnologías indispensables para la transición a la Industria 4.0:

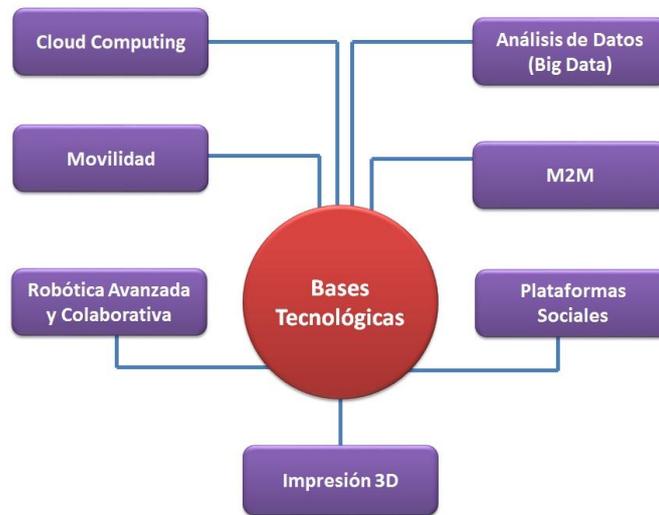


Figura 23. Tecnologías indispensables de la industria 4.0

IIoT y Sistemas Ciberfísicos: El concepto de IIoT (Industrial Internet of Things) se refiere al uso de las tecnologías IoT en los procesos industriales.

Los sistemas ciberfísicos son todos aquellos dispositivos que integran capacidades de procesamiento, almacenamiento y comunicación con el fin de poder controlar uno o varios procesos físicos. Están conectados entre sí y a su vez conectados con la red global gracias al paradigma IoT.

Fabricación aditiva, impresión 3D: Permite, entre otras cosas, la hiper sin encarecer el proceso ya que permite fabricar productos, sin penalizar el coste, independientemente de si se tiene que fabricar un determinado número de piezas iguales o todas distintas. Además, hace mucho más sencillo producir lotes pequeños de productos, desde pequeñas piezas de maquinaria hasta prototipos.

Big Data, Data Mining y Data Analytics: La cantidad de información que actualmente se almacena en relación a diferentes procesos y sistemas, servicios o tráfico de datos resulta inmanejable de forma manual.

El análisis de estos datos puede proporcionar información muy valiosa acerca del comportamiento de estos procesos; se pueden prevenir problemas en un determinado proceso industrial a través de la detección de resultados o medidas anómalas o determinar qué eventos están relacionados dentro de un proceso más complejo facilitando su gestión a través de la predicción.

A partir de toda esta información se pueden realizar simulaciones que, además, permiten predecir qué recursos van a ser necesarios, pudiendo optimizar su uso de forma automática y proactiva anticipando los acontecimientos futuros.

Inteligencia Artificial: Son necesarias herramientas y tecnologías que sean capaces de procesar en tiempo real grandes volúmenes de información que extraemos de las tecnologías Big Data, así como algoritmos capaces de aprender de forma autónoma a partir de la información que reciben, con independencia de las fuentes y de la reacción de los usuarios y operadores (técnicas de *Machine Learning*, *Deep Learning* y *Artificial Intelligence*).

Robótica Colaborativa (Cobot): Este término define a una nueva generación de robots industriales que coopera con los humanos de manera estrecha, sin las características restricciones de seguridad requeridas en aplicaciones típicas de robótica industrial. Se caracteriza, entre otras cosas, por su flexibilidad, accesibilidad y relativa facilidad de programación.

Realidad virtual y Realidad aumentada: La mayor accesibilidad de estas tecnologías en los últimos años las ha hecho situarse como una herramienta útil para la optimización de los diseños, la automatización de los procesos, el control de la fabricación y la construcción, el entrenamiento y la formación de los trabajadores, y los trabajos de mantenimiento y de seguimiento.

Mediante de la utilización de herramientas BIM (Building Information Modeling) y la implementación de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual para la optimización de diseños, automatización de procesos, control de fabricación y construcción, training de operaciones y seguimiento, así como control del mantenimiento en planta, permiten aumentar el potencial de crecimiento de la INDUSTRIA CONECTADA 4.0.

La industria se aproxima a un cambio al que los astilleros no pueden obviar. Los retos que componen este salto al Naval 4.0 son muchos, pero podrían agruparse en tres: la integración vertical de sistemas de producción naval inteligentes, la integración horizontal de una nueva generación de redes de creación de valor y la aceleración de tecnologías que obligan a la reingeniería de toda la cadena de producción.

Destacar, en lo referente a Aclunaga (asociación cluster del naval gallego), que esta asociación espera que los resultados **a medio plazo** (2017-2020), sean los siguientes:

1. Tecnicificar el sector naval gallego, tanto a la industria tractora como a la auxiliar.
2. Desarrollar y transferir a la industria naval gallega nuevas tecnologías de fabricación avanzada y bajo coste.
3. Presentar propuestas de investigación al programa Horizon2020 que garanticen un retorno para Galicia superior a los 1,5M €/año.
4. Incrementar el ratio de patentes solicitadas en Galicia relacionadas con las tecnologías de fabricación avanzada.
5. Mantener la actividad de difusión internacional en ferias.

Y a largo plazo (2020):

1. Disponer de un polo tecnológico en el campo de la fabricación avanzada para el sector naval de gran relevancia en Europa.
2. Disponer de un tejido industrial con alta capacidad técnica, tanto en el desarrollo, como en la implementación y explotación de tecnologías de fabricación avanzada.
3. Participar activamente en el diseño de los programas de investigación europeos relacionados con las tecnologías de fabricación avanzada para el sector naval.

3.5 ELEMENTOS DE TRANSPORTE

Dado que el presente proyecto se centra en el estudio de la logística de almacenamiento y en los procesos de embarque es necesario un estudio previo de los métodos de transporte disponibles para el transporte de jackets.

3.5.1 SPMT (Self Propelled Modular Transporters)

Un SPMT o transportador modular autopropulsado es una combinación de plataformas de varios ejes operados a través de un sistema controlado por ordenador según sea necesario para levantar, transportar y depositar cargas muy grandes y pesadas de muchos tipos.

Es un vehículo de plataforma con una gran cantidad de ruedas. Dispone de una cuadrícula de ejes controlables de forma individual con el fin de distribuir el peso uniformemente y dirigir con precisión. Cada eje puede girar 360º y están coordinados mediante un sistema de control para permitir que el SPMT pueda moverse y girar a la vez.

Por sus dimensiones y cargas, estas máquinas requieren grupos propulsores adecuados y asequibles que garanticen la máxima maniobrabilidad y un control sin problemas.

Son vehículos que se mueven a una muy baja velocidad pero que son capaces de transportar grandes estructuras y depositarlas con precisión en su posición.

La carga transportada de esta manera es normalmente soportada sobre las vigas y suspendida entre los ejes permitiendo que la altura de la carga sea maximizada pero manteniendo una solución de remolque maniobrable comparada con la superficie plana equivalente.

Hay una gran variedad de SPMT's para diferentes necesidades. En relación a la eólica offshore se tiene como ejemplo el proyecto de construcción de las 29 jackets para el parque eólico Wikinger en Alemania de Iberdrola. La empresa ALE fue la encargada de la realización de más de 60 transportes de jackets con su plataforma de 22 ejes SPMT. En este caso, cada una de las jackets llevaba incorporadas 4 ménsulas de apoyo en el interior de las patas que servían de soporte para el transporte.



Figura 24. Transportador modular autopropulsado proyecto Wikinger

La utilización de plataforma SPMT permite la máxima flexibilidad de todos los movimientos necesarios tanto para los procesos de fabricación de jackets, como el transporte de las jackets ya fabricadas y su carga en barco en los procesos de load out.



Figura 25. Load Out Subestación Wikingier con SPMT

3.5.2 GRÚAS

La operación de carga del embarque de las jackets puede llevarse a cabo también mediante la instalación en la zona de embarque de una grúa.

Se trata de grúas de celosía que soportan grandes cargas de entorno a las 800 T de carga máxima y que además son capaces de desplazarse con la carga suspendida.

Un ejemplo de grúa para este tipo de procesos es la utilizada en proyectos de eólica marina como Wikingier para la carga en el proceso de embarque en el Astillero de Navantia Fene se tuvo a disposición para los procesos de load out la grúa CC8800 con configuración SFVL que permite radios de giro de 90 a 270º necesarios en este tipo de procesos de embarque para conseguir la correcta orientación en el barco, además de disponer de la posibilidad de trasladarse encontrándose en plena carga.

En el caso de las jackets del proyecto Wikingier se tratan de jackets de 625 – 650T. Otro factor a tener en cuenta es la disposición de células de carga, pues esto permite conocer de forma inmediata el peso de la estructura y asegurarse de que no habrá excesos de carga en el barco.



Figura 26. Load Out jackets Wikinger Astillero Navantia Fene

Existen una gran variedad de grúas disponibles para este tipo de cargas pesadas con diferentes configuraciones adaptables a distintos tipos de estructuras en relación a la altura, el peso y las distancias y giros que haya que cubrir. Para ello las empresas dedicadas al transporte, manejo e instalación de estructuras pesadas ponen a disposición las hojas de datos (Data sheet) facilitando la elección de la grúa que más se adapte a las necesidades del proyecto.

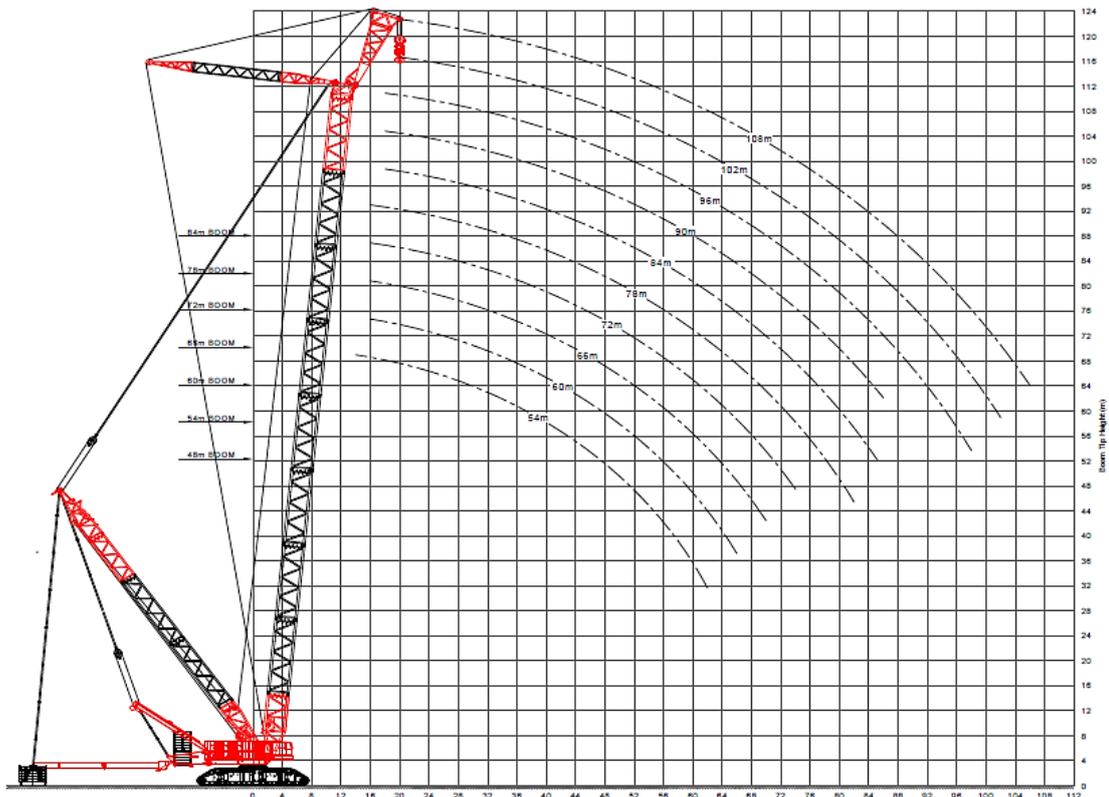


Figura 27. Data sheet grúa CC8800-1 SFVL ALE

Otros astilleros, como es el caso de Bladt Industries, disponen de una grúa pórtico que les ha permitido realizar el load out de sus jackets fabricadas para este mismo proyecto Wikinger debido a la gran altura, capacidad portante y a la flexibilidad de que disponen por la extensión de los raíles del pórtico hasta pie de carga.



Figura 28. Load Out jackets Wikinger Astillero Bladt Industries

3.6 ELEMENTOS DE SOPORTE

Tanto el propio proceso de fabricación, como el almacenaje posterior antes de la realización del embarque, exigen que las Jackets descansen sobre unos soportes que permitan la distribución de los esfuerzos sobre el terreno.

Estos soportes son además de ayuda en el proceso de izado de los transportadores modulares autopropulsados, SPMT's.

Es necesario por tanto la adquisición de unos soportes de hormigón armado estándar que sean fácilmente manipulables con los medios del astillero para poder trasladarlos a las posiciones requeridas en el momento y que a la vez que cumplan con su propósito de reducir la carga distribuida al terreno.

Se denomina estacionamiento de una jacket al conjunto de bloques necesarios para la estiba de cada jacket en el astillero.

Se dispondrá entonces de un estacionamiento de almacenamiento por jacket compuesto por un juego de 3 o 4 zapatas o bloques de hormigón armado dependiendo del diseño de la jacket, es decir, si la estructura cuenta con 3 o 4 patas.



Figura 29. Elementos soporte

4 DESARROLLO DEL MODELO

4.1 DEFINICIÓN

Para llevar a cabo el estudio de la logística de transporte y almacenamiento de jackets se parte de un análisis previo de las estrategias de almacenamiento y load out llevadas a cabo en proyectos anteriores.

Es necesario definir la zona de actuación, en este caso el Astillero de Fene en el que se dispone de medios adecuados y de experiencia necesaria para la fabricación de jackets.

El modelo base de trabajo engloba todo el proceso de fabricación de jackets, pero el estudio llevado a cabo en este Trabajo de Fin de Máster abarca únicamente los movimientos realizados desde el momento en que la jacket finaliza su proceso de fabricación hasta que es embarcada en el proceso de load out.

Las zonas objeto de estudio son las que se muestran a continuación:

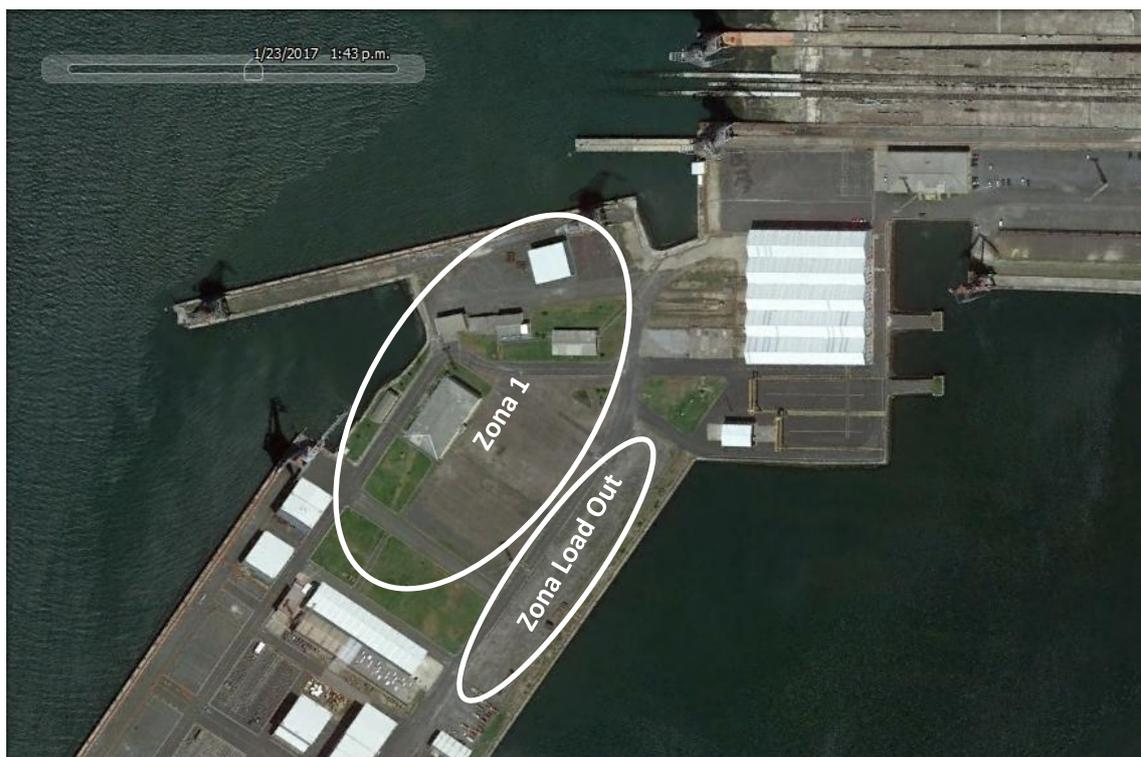


Figura 30. Zona de almacenaje 1 y Zona Load - Out

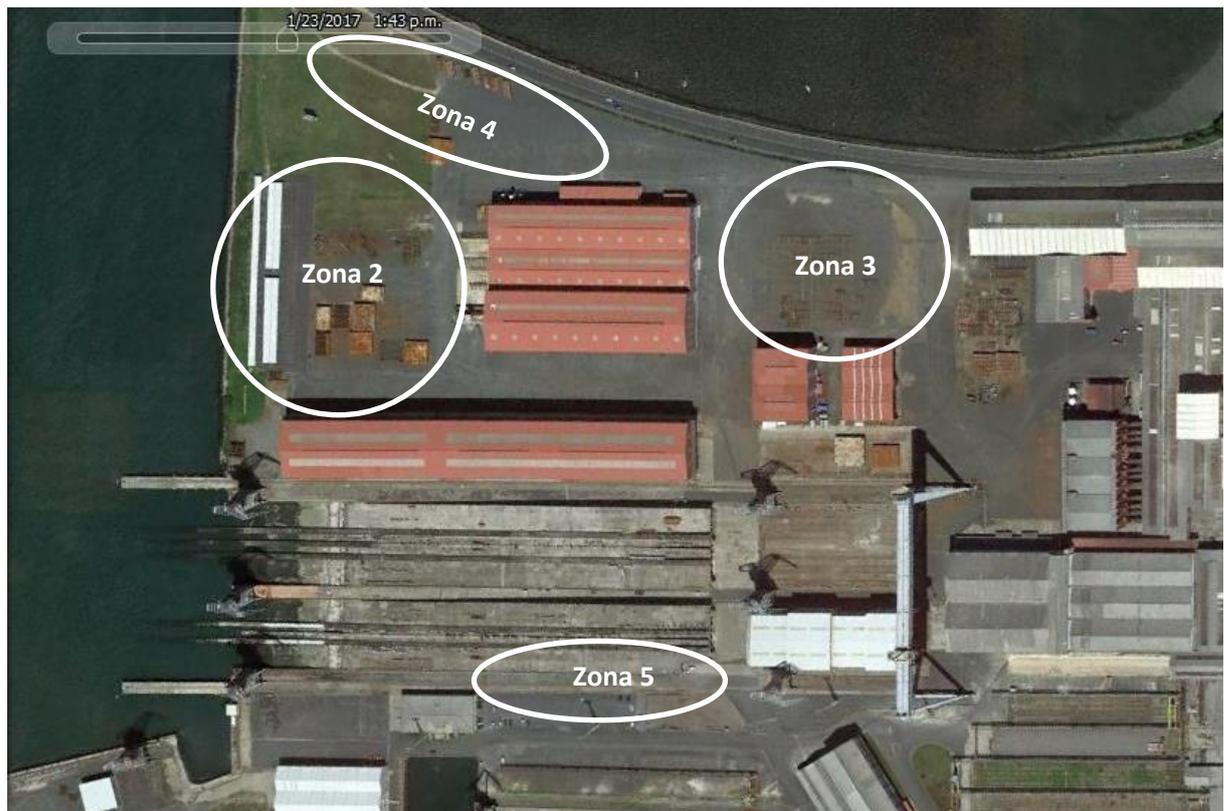


Figura 31. Zonas de almacenaje restantes

Con el modelo de eventos discretos se pretende determinar cuál es el mínimo de estacionamientos necesarios para cubrir la demanda planificada sin que resulte necesario detener la fabricación, cómo afectaría un retraso en los hitos de embarque en relación a los buffers disponibles en el astillero y cuánto se incrementarían los costes al optar por la disposición de todos los estacionamientos posibles permaneciendo así del lado de la seguridad.

Para esto se tienen en cuenta dos tipos de secuencias en la logística de almacenamiento: posiciones determinadas y posiciones indeterminadas.

En el caso de las posiciones determinadas cada jacket dispone de un estacionamiento fijo y se ubica cada embarque en una zona de almacenamiento determinada al inicio del proyecto, en el caso indeterminado, se procura acercar lo máximo posible las jackets a la zona de load-out colocándolas directamente en dicha zona de almacenamiento si es posible.

Además se llevará a cabo un estudio de dos posibilidades de embarque: con grúa o con spmt's.

Para la visualización de resultados se requiere conocer la ocupación de estos buffer de almacenamiento, el número de movimientos realizados y el tiempo total de la ventana de load-out.

4.2 REALIZACIÓN DEL MODELO

Se parte de un modelo paramétrico para la simulación de jackets, realizado y validado con anterioridad, en el que se incluye la fabricación completa de un total de 42 jackets de 3 patas cada una.

Para la finalización de este modelo es necesario modelar la parte final del mismo, es decir, todo el proceso llevado a cabo en la realidad entre la mesa de trabajo (bajo grúa pórtico), de donde salen las jackets una vez finalizadas, hasta la zona de embarque en el muelle.

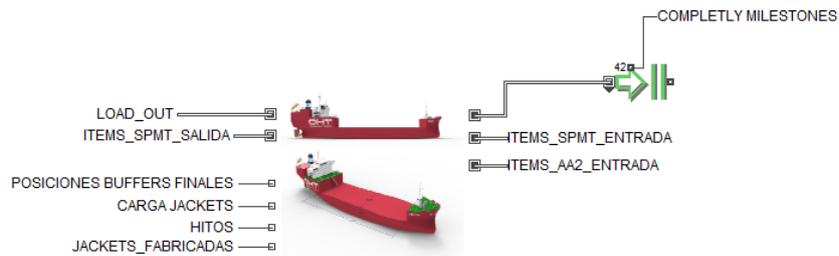


Figura 32. Parte del modelo general: Almacenamiento y zona load out.

Como ítems de entrada se dispone de las jackets que salen del proceso de fabricación y como información de entrada se dispone de las fechas de los hitos de embarque y del número de jackets por embarque.

Los datos de entrada se reciben a través de un documento Excel vinculado al programa Extend en el que se volcarán además los resultados obtenidos.

Para entender mejor el modelo, se ha realizado un diagrama de bloques de la parte modelada en este trabajo.

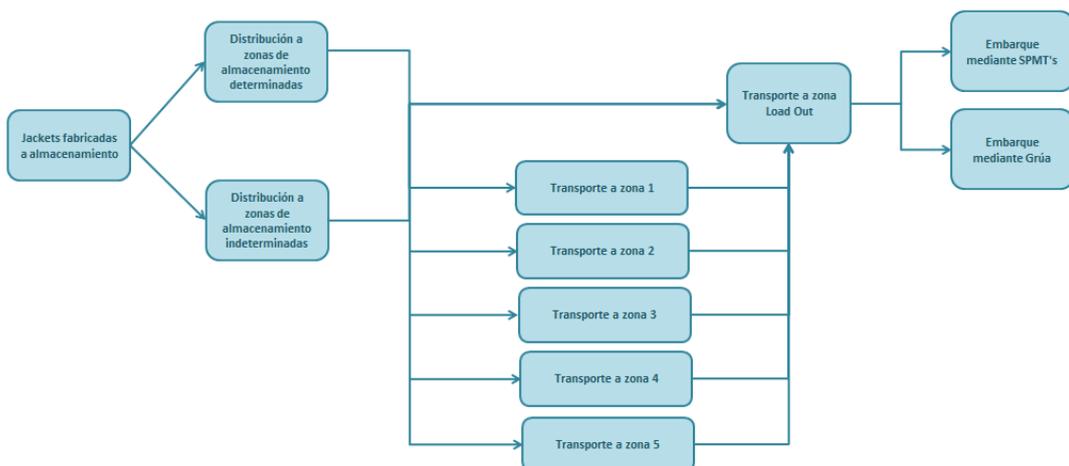


Figura 33. Diagrama de bloques modelo.

En el modelo de Extend se distinguen varias zonas diferenciadas. Una primera parte destinada al reparto de las jackets desde la mesa de trabajo hacia las zonas de almacenaje y una segunda parte en la que se determina si el load out se realiza con grúa o con SPMT's.

La gran diferencia radica en esta primera parte, para el caso en la que las posiciones son indeterminadas, ninguna jacket parte en la fabricación con un estacionamiento preestablecido, por tanto se modela de forma que las jackets del primer embarque se dirijan a la zona de load out y las jackets restantes se vayan colocando lo más cerca posible rellenando los almacenamientos de más cerca de load out a más lejos.

En el caso de las posiciones determinadas, se establece un estacionamiento concreto para cada jacket y una secuencia fija de sucesión. Las jackets se agruparán por hitos y se irán colocando en su posición respectiva independientemente de que las zonas cercanas al load out se encuentren vacías. En este caso la agrupación se produce por hitos de embarque para llevar a cabo un almacenamiento más ordenado.

Con esto se pretende estimar las diferencias respecto a coste y movimientos que se producen en ambos casos.

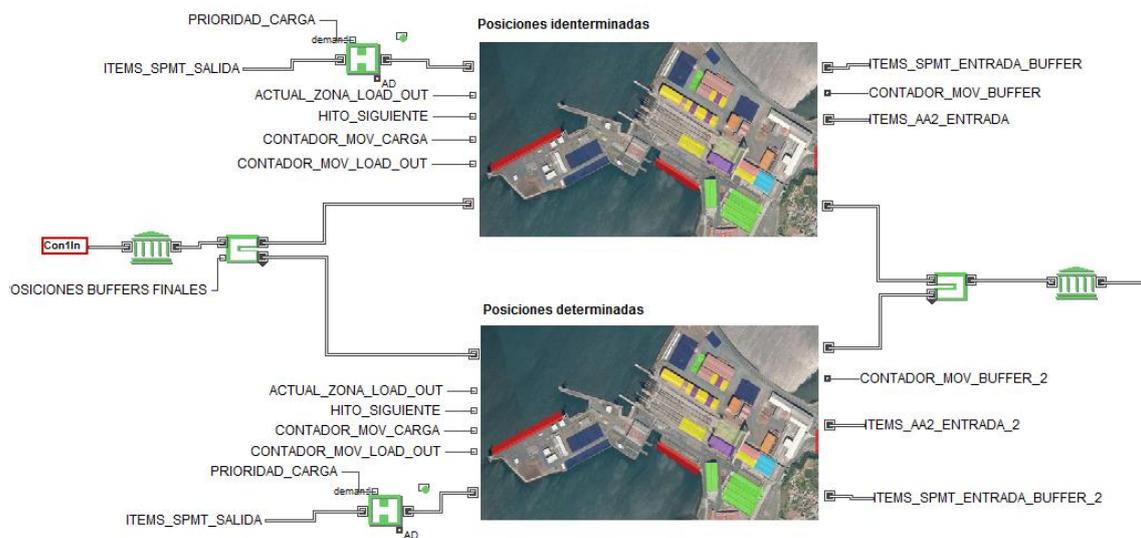


Figura 34. Modelado según posiciones determinadas e indeterminadas

Para el método de posiciones indeterminadas se establece el código que se muestra a continuación en el que se comprueba el estado en el que se encuentran las distintas zonas y se van colocando las jackets en los almacenamientos comenzando por la zona de load out y teniendo en cuenta el orden de los hitos de entrega.

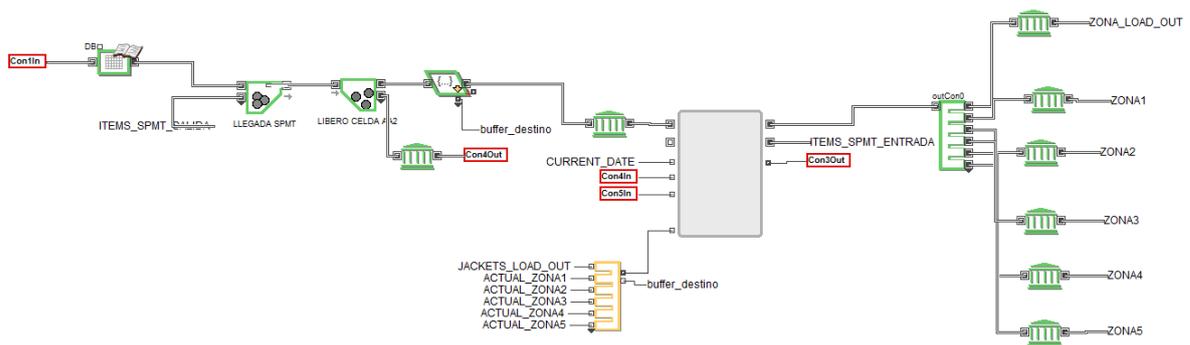


Figura 36. Distribución jackets posiciones determinadas

El siguiente proceso es el transporte de las jackets de las zonas de almacenaje a la zona de load out.

Parte de las jackets ya no pasarán por las zonas de almacenaje e irán directamente a la zona de load out para ello se separan los caminos a seguir.

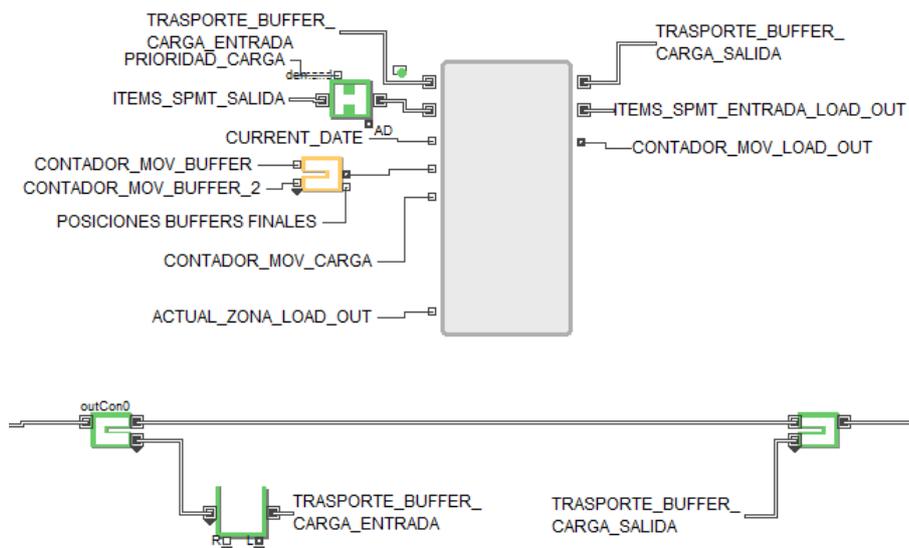


Figura 37. Separación de caminos de transporte

Los procesos que vayan a la zona de load out directamente por disponibilidad de espacio en dicha zona siguen su camino, en cambio las piezas que requieran de transporte de las zonas de almacenaje a la zona de load out deben desviarse de la línea base del modelo para realizar este desplazamiento a mayores.

Debido a la diferencia de distancia que existe entre las distintas zonas de almacenaje los datos de entrada para estos tiempos se introducen a través de Excel mediante una tabla fácilmente editable.

Tabla 2. Entrada de datos para almacenaje

Buffer	Máximo nº de jackets	Buffer	Tiempo a zona de almacenaje [días]	Tiempo de zona de almacenaje a zona load out [días]
1	12	Load Out	0,4	
2	8	1	0,4	0,4
3	8	2	0,4	0,4
4	8	3	0,4	0,4
5	4	4	0,4	0,4
		5	0,4	0,4

Con esta tabla es posible elaborar y probar distintos escenarios pues el Extend leerá la información directamente sobre esa tabla.

Las jackets que se encuentren en las distintas zonas de almacenaje se dirigirán a la zona de load out para prepararse para el embarque siempre y cuando la misma se encuentre disponible y hayan recibido la señal del hito de embarque.

Cabe destacar que todos los ítems del modelo tienen asignadas unas series de características. Cada ítem tiene asociado un número de jacket, así como un número y una fecha de embarque. Para el caso estudiado se dispone de un total de 42 jackets que se agruparán en embarque de 4 jackets cada uno, excepto el embarque final que será de solamente 2 jackets.

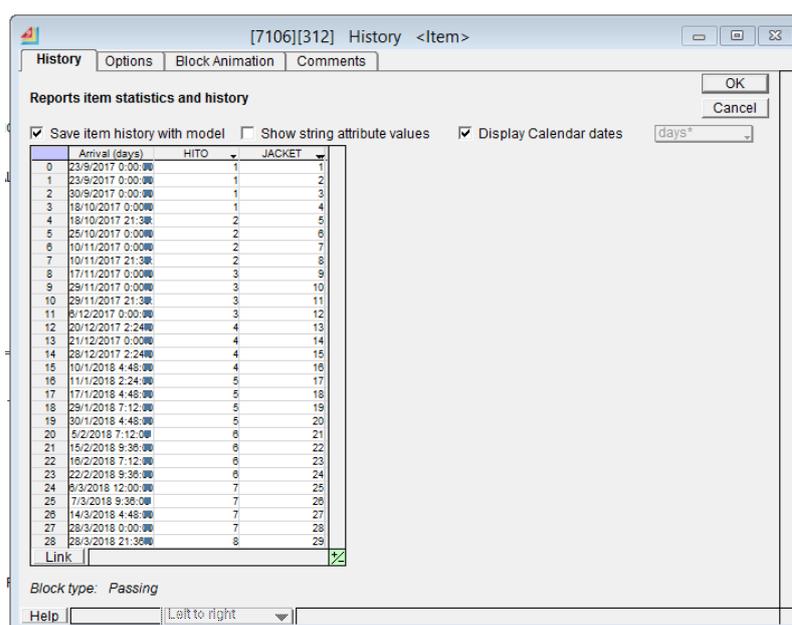


Figura 38. Parámetros ítems

Toda esta información es aportada y modificable a través del mismo documento Excel que se utiliza para la distribución de las jackets en las zonas de almacenamiento.

La parte final del modelo es la correspondiente al embarque. Puede darse la posibilidad de que el cliente exija un cierto tipo de procedimiento de load out, dado que inicialmente no es conocido, se procede a la simulación de dos procedimientos de embarque diferentes.

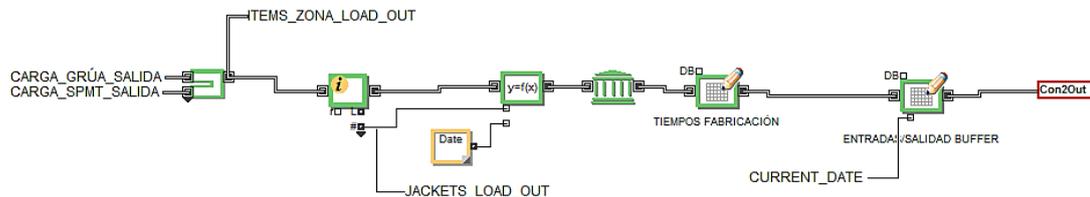


Figura 39. Etapa final: load out

La primera opción que se presenta es la llevada a cabo con SPMT's, para este caso se utilizaría el mismo SPMT utilizado en el resto de transportes internos del astillero, por tanto uno de los factores a tener en cuenta es la imposibilidad de realizar otros desplazamientos en el astillero mientras se esté llevando a cabo el proceso de embarque, pues el SPMT es un recurso compartido para movimientos y embarque y el proceso con prioridad es el de embarque de las jackets.

La segunda opción es el alquiler de una grúa durante la ventana de load out para realizar el proceso de embarque.

Se ha estimado el mismo tiempo de embarque para ambos procesos debido a todos los factores externos al procedimiento en sí mismo que hay que tener en cuenta, como pueden ser el nivel del mar, el tiempo requerido para la perfecta sujeción de la jacket al seafastening del barco, la recolocación de la grúa para el siguiente embarque o la posible recolocación del barco, la retirada de las eslingas utilizadas para sujeción de la jacket con la grúa o bien la retirada de cualquier viga / soporte utilizado en el caso de los SPMT's así como el proceso de lastrado del barco para el embarque con estos transportadores modulares.

Se destacan estos factores entre otros que podrían surgir y que se incluirían en ese tiempo, estableciéndose así un tiempo de carga de una jacket por día.

4.3 SIMULACIÓN DEL PROCESO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para mostrar la utilidad de este modelo de eventos discretos se han escogido una variedad de casos que permiten conocer cómo impactarían ciertos retrasos del cliente en los costes del proyecto, qué implicaría un mal cálculo manual de los recursos necesarios para el proyecto tanto en costes como en el transcurso de la fabricación y, además, como el modelo permite variar la ordenación de las jackets a la hora de ser almacenadas y la elección de distintos sistemas de load out, se obtendrán también comparativas de costes, tiempo y ocupación de buffers de almacenamiento según los distintos casos.

4.3.1 Tipos de distribución de jackets de mesa de trabajo a zonas de almacenamiento

La primera comprobación a realizar está basada en los posibles métodos de distribución de jackets en las zonas de almacenamiento.

Se ha de comprobar que opción es mejor: la opción de establecer posiciones de almacenamiento determinadas para las jackets al inicio del proyecto o el caso de posiciones indeterminadas en el que se trata de acercar las jackets lo máximo posible a la zona de embarque.

En un proyecto real, es normal redactar un procedimiento de logística de los movimientos para llevar un control y orden de los movimientos que se van a llevar a cabo a lo largo del proyecto. Es importante gestionar la logística de transportes de la mejor forma posible y este modelo es una buena base para visualizar los movimientos a realizar.

Como se ha mencionado anteriormente, el astillero dispone de unas zonas determinadas de almacenaje que serán aptas para el estacionamiento temporal de jackets previo a su embarque.

La llamada zona de load out va a disponer siempre de 4 estacionamientos, este valor es fijo debido a la consideración de embarques de 4 en 4 jackets por tanto aunque se considera zona de almacenamiento, solo albergará en ella las jackets equivalentes al hito de embarque correspondiente.

Pero la repartición de jackets en el resto de zonas es muy variable y por tanto se establecen dos casos como motivo de estudio para determinar si se produce o no una gran diferencia en los movimientos realizados durante el proyecto.

Para esta comparación se dota al modelo de recursos suficientes para satisfacer la demanda de fabricación de estas 42 jackets disponiendo de estacionamientos suficientes para almacenar las jackets, tantos como sean necesarias.

Con esto se tiene en cuenta la diferencia que habría entre mantener unas posiciones fijas de las jackets en una zona determinada o ir acercando las jackets a la zona de embarque siempre que sea posible.

Tras la simulación se obtienen las ocupaciones de los buffer para cada caso y esto puede visualizarse en las imágenes que se muestran a continuación:

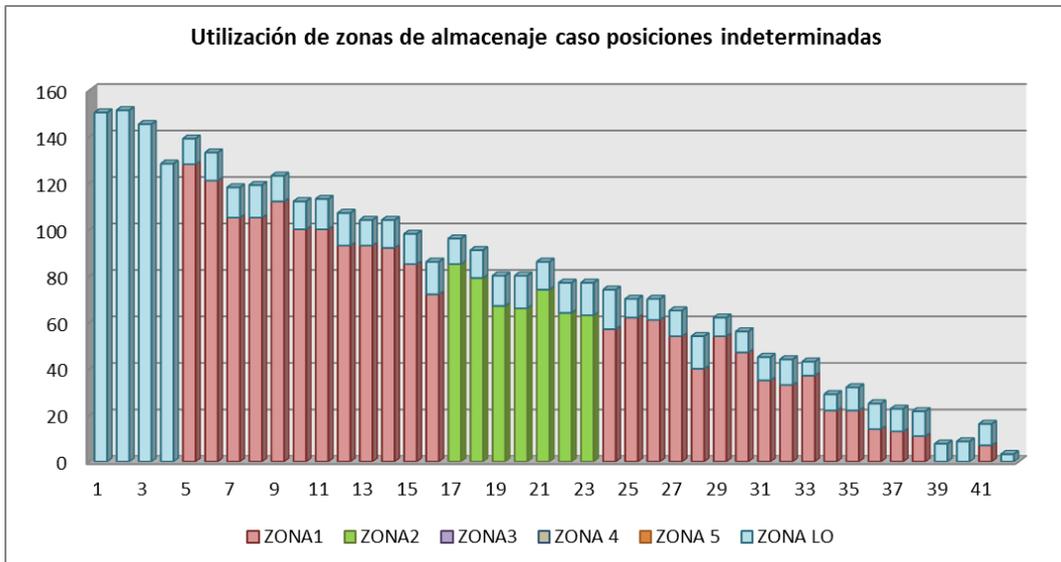


Figura 40. Utilización de zonas caso posiciones indeterminadas: Load Out, 1 y 2.

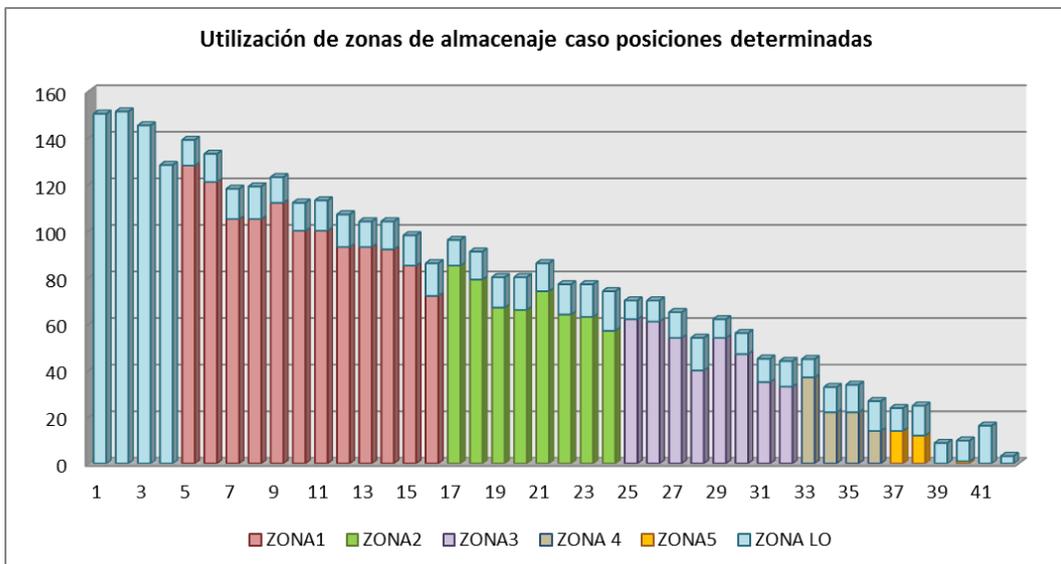


Figura 41. Utilización de zonas caso posiciones determinadas: Todas las zonas.

Separando la zona de load out de las zonas de almacenaje y obteniendo la utilización de cada buffer, el resultado es el resumen que se muestra a continuación de la utilización de los buffer de almacenamiento:

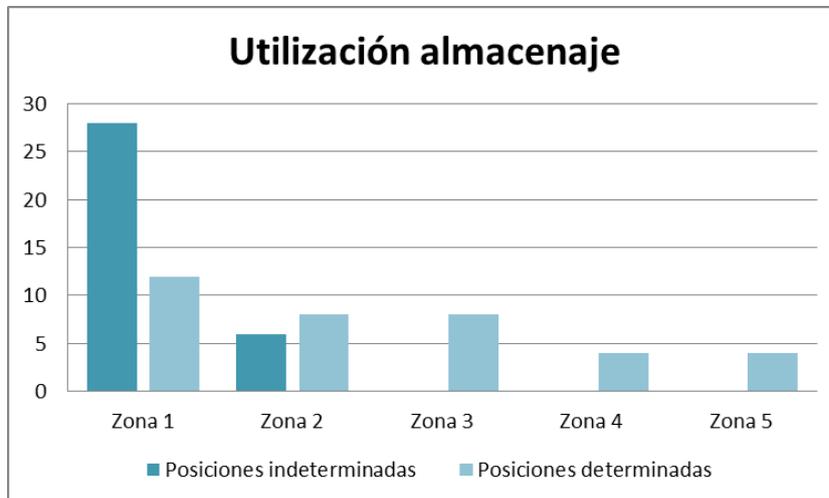


Figura 42. Resumen utilización: 2 zonas caso indeterminado; todas las zonas caso determinado

Estos gráficos muestran, que ante una disponibilidad máxima, si se permite a las zapatas tomar los estacionamientos de los buffer cercanos a load out no sería necesaria la colocación de zapatas en otra zona. Mientras que si especificamos una posición determinada para cada jacket, estamos obligándola a utilizar dicho estacionamiento, lo que implicaría un exceso en compra de zapatas.

Eso sí, el método de almacenaje de posiciones determinadas tiene gran utilidad para estudiar distintos órdenes de distribución de jackets en el astillero y se asemeja más al cálculo manual o con Excel que suele hacerse en la actualidad.

4.3.2 Línea base del modelo: Resultados ajustándose a la planificación.

Continuando a partir de ahora con el caso de posiciones indeterminadas se procede al estudio inicial de costes, movimientos y gestión del almacenamiento del proyecto.

Se considera para ello las fechas planificadas y se estudian los posibles costes respecto a transporte y almacenamiento que habrá que tener en cuenta para el desarrollo total del proyecto incluyendo el proceso de embarque.

Para llevar a cabo este estudio inicial se dota al modelo de todos los recursos necesarios para cumplir con la planificación sin problema alguno, de este modo se obtiene el valor mínimo de almacenamientos necesarios para cumplir con dicha planificación.

Dicho de otro modo, se estudia la ocupación del astillero, se obtiene el intervalo de tiempo de máxima ocupación y el número de jackets almacenadas en dicha ventana de máxima ocupación.

Para las fechas planificadas se obtiene que como mínimo es necesario disponer de almacenamiento para 23 jackets incluyendo la zona de load out. Esto equivale a un total de 78 zapatas teniendo en cuenta las jackets de la mesa de trabajo que también requieren de elementos de soporte y que son un total de 3 estaciones de trabajo.

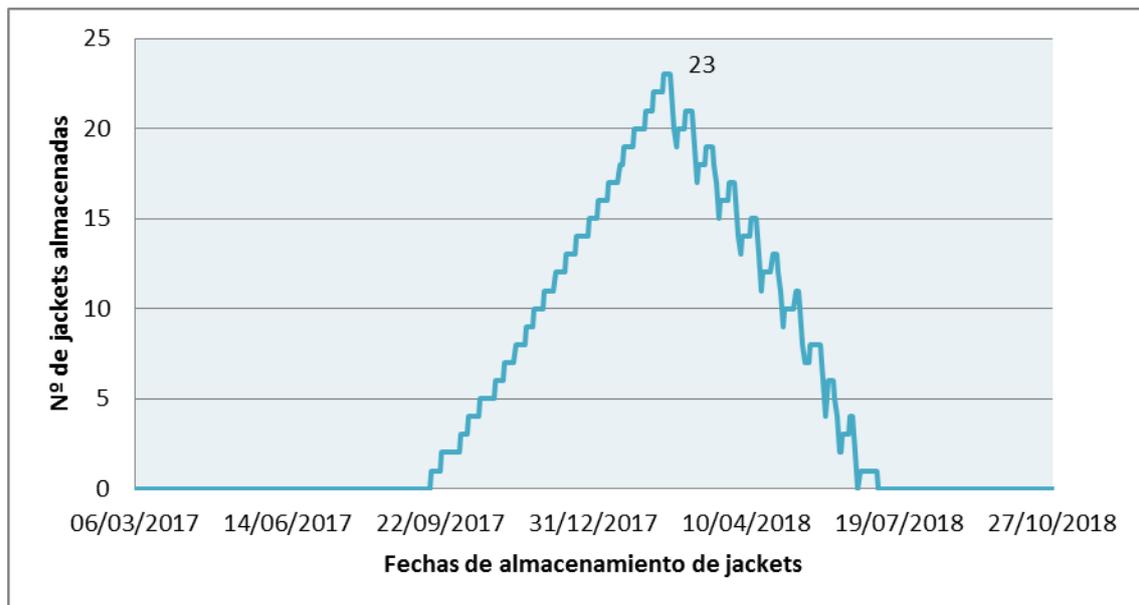


Figura 43. Gráfico almacenamiento para fechas planificadas

Una vez obtenido el valor del número de jackets para el que habrá que disponer de almacenamiento, se diseña un reparto de zapatas entre las distintas zonas disponibles en el astillero.

Cabe destacar que existen una amplia variedad de configuraciones disponibles según la amplia capacidad de almacenaje del astillero, pero se expondrá para cada caso estudiado un ejemplo determinado de distribución de zapatas para una mejor visualización.

Una distribución válida para este caso es la que se muestra a continuación, en la que no sería necesario disponer de los buffer de almacenaje de las zonas 4 y 5.



Figura 44. Distribución astillero según planificación

Una vez definida la línea base de actuación, es decir, una vez que se dispone de toda la información necesaria del proyecto según las fechas planificadas, se procede al estudio de costes.

Para el cálculo de costes, se solicita presupuesto para la construcción de las zapatas necesarias, que para el caso planificado son las correspondientes al almacenamiento de 23 jackets de 3 patas, más las zapatas necesarias para la fabricación de las jackets en la mesa bajo el pórtico, con un máximo de 3 jacket. Por lo tanto, en total se solicita presupuesto para 78 zapatas.

Este presupuesto incluye la construcción de una zapata piloto al igual que de la ingeniería necesaria para su diseño y cálculo, así como la ejecución de dichas zapatas de hormigón.

Para el caso del transporte, se solicitan dos presupuestos diferentes a una compañía especializada en transportes pesados.

En ambos presupuestos se tienen en cuenta transportes horizontales con SPMT para el traslado de las jackets a almacenaje y a la zona de load out y la distinción es únicamente para el embarque de las jackets, que puede ser a partir de los mismos SPMT's o bien mediante la instalación de una grúa.

La oferta transportes horizontales y load out con SPMT`s abarca el período desde la finalización de la primera jacket hasta la finalización del último load out: 10 meses. Incluye:

- Movilización y desmovilización del transportador SPMT.
- 1 ingeniero a tiempo parcial.
- 1 supervisor de load out a tiempo parcial.
- 1 encargado de load out a tiempo completo.
- 1 operador de load out a tiempo completo.

La oferta que incluye transportes horizontales y load out con grúa abarca un período de transportes con SPMT`s desde la finalización de la primera jacket hasta el transporte de la última jacket a la zona de load out (9 meses y medio) y la grúa abarca únicamente el período de embarques (4 meses y medio). Incluye:

- Movilización y desmovilización del transportador SPMT.
- 1 ingeniero a tiempo parcial.
- Movilización y desmovilización de la grúa.
- Alquiler y manejo de la grúa.

Para ambos casos, para el transporte mediante SPMT se establece un máximo de 50 horas / semana y 10 horas / día.

En las semanas de Stand by, en caso de ampliación del período contratado o en los caso de los movimientos extras no incluidos en el presupuesto se aplica un coste distinto, en este caso por día, tanto por la utilización del transporte como por el desplazamiento del personal.

Como la contratación de estos SPMT`s está ligada a una ventana de tiempo, un retraso en los load outs implicaría un sobre coste de ampliación de dicha ventana, siendo necesarios o no estos SPMT`s para el proceso de embarque. En caso de utilización de estos transportadores para llevar a cabo el embarque han de incluirse dichos embarques en la ventana de alquiler.

En caso de retraso es posible que se aplique un sobre cargo de movilización y desmovilización de los SPMT`s si la empresa contratada lo requiere oportuno.

En el caso de la grúa, ésta solo está ligada al proceso de embarque, se contratará la grúa para un período determinado de meses de load out. Si el primer embarque se retrasa, pero se conserva en los siguientes embarques el ritmo planificado no habría ningún coste extra que aplicar, pues solo habría que retrasar la instalación de la grúa.

En caso de que el primer embarque empiece en fecha y se produzcan más retrasos en los posteriores o bien que todos los embarques se retrasen según lo establecido, por ejemplo, en el caso estudiado con anterioridad, la ventana de load out aumenta, por tanto la ventana de alquiler de la grúa también lo hará.

Para este último caso se ha de tener en cuenta que el alquiler de SPMT`s para los movimientos finaliza tras el movimiento de la última jacket a la zona de load out.

Una vez simulado el modelo y obtenido el número de zapatas mínimo necesario, se aplica esta configuración de buffers de almacenamiento al modelo para obtener los resultados de movimientos de los SPMT a lo largo del proyecto, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3. Movimientos según la planificación

	Transportes horizontales y load out con SPMT's	Transportes horizontales con SPMT's y load out con grúa
Semanas Stand by	0	2
Semanas Operativas	42	40
Semanas con movimientos extras	9	0
Número de días con movimientos extras	9	0

Con todo esto se puede calcular una estimación de costes según la planificación del proyecto para ambos casos y con las ofertas presupuestadas.

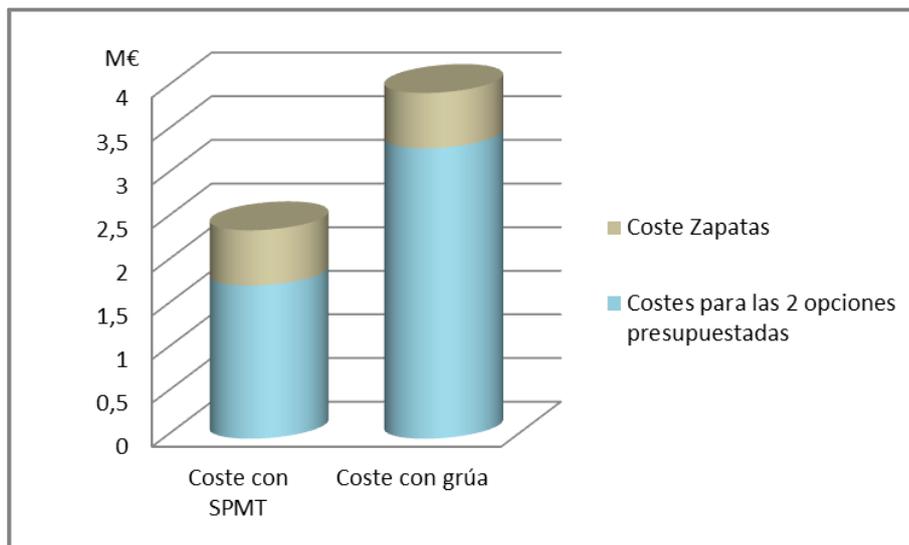


Figura 45. Estimación de costes según las diferentes opciones de load out presupuestadas

Aun aplicando sobrecostes por exceso de movimientos en el caso de load out con SPMT's, se observa una gran diferencia entre el coste de la utilización de la grúa para el load out, pues se ahorraría entorno a un 45% escogiendo la opción de llevar a cabo los embarques mediante la utilización de SPMT's.

Los costes obtenidos para el caso del proceso de embarque mediante SPMT's, más la suma de las zapatas correspondientes más la suma de los costes asignados a la utilización de SPMT's para los movimientos de las jackets entre las zonas de almacenaje también con SPMT rondan entorno a los 2,4 M€, pues se estima un período de utilización de los SPMT's para ambos procesos de 10 meses.

En el caso del load out con grúa se obtiene una utilización de SPMT's de casi 9 meses y una ventana de utilización de grúa de 4,5 meses. En este caso no se realizan movimientos de SPMT extras ya que no son necesarios, pero añadiendo los costes de las zapatas casi se alcanzan los 4 M€.

En el caso planificado no se observan problemas de retrasos por culpa de la ocupación de los SPMT's pero más adelante se estudiará el caso de cómo afectaría el defecto de zapatas en el astillero en relación a las fechas de embarque y al uso de los SPMT para el traslado horizontal de jackets que es compartido con el proceso de embarque.

4.3.3 Lecciones aprendidas: Aplicación de retrasos a la línea base

Dado que el cliente está en su derecho a atrasar las fechas de embarque según el margen establecido en contrato, cabe la posibilidad de que estas fechas o hitos de embarque se modifiquen.

De proyectos anteriores, se ha aprendido que es muy posible que surjan problemas en campo en las etapas de preparación del parque para la instalación de las jackets, pues inicialmente, antes de la entrega de las jackets al cliente y del envío de las mismas al parque offshore, se habrán producido los embarques de los pilotes así como gran parte de su instalación.

Esto implica diversos riesgos relacionados con las características del suelo marino, pues puede ser de peor calidad de lo esperado, o relacionados también con una mala instalación de los pilotes o a un deterioro de los mismos por interferencias con terreno rocoso.

Además han de tenerse en cuenta las condiciones meteorológicas, que en caso de ser adversas podrían paralizar los trabajos en campo provocando un retraso en la recogida de las jackets. Dado que estos y otros problemas que puedan surgir son difícilmente controlables o predecibles, es de gran utilidad disponer de información de proyectos anteriores del mismo sector para disponer de unos tiempos de referencia que poder aplicar al modelo y analizar así sus consecuencias.

Se parte en todo momento que la empresa constructora de jackets dispone de experiencia en el sector, pues el modelo ha sido validado con los tiempos obtenidos de proyectos anteriores. Por tanto se establecen dos casos de estudio con dos tipos de retrasos diferentes:

- 1º En el primer caso se aplica al modelo un retraso de 3 meses en la fecha del primer embarque, desplazando a la vez el resto de hitos de embarque de manera que se conserve el mismo período de embarques que el establecido en la planificación.
- 2º En segundo caso se establece una demanda variable basada en estimaciones de datos reales de retrasos en proyectos del sector de la eólica offshore.

4.3.3.1 Retraso de 3 meses sobre la planificación del proyecto

En este caso se considera un retraso en la primera fecha de embarque de 3 meses conservando el mismo tiempo entre embarques planificado.

Aplicando esta información al modelo se obtiene una necesidad de almacenamiento en el astillero para como mínimo 35 jackets.

Por tanto para este caso es necesario disponer de almacenamiento para 35 jackets, lo que implica la compra de un de 114 zapatas incluyendo las zapatas de la mesa de trabajo.

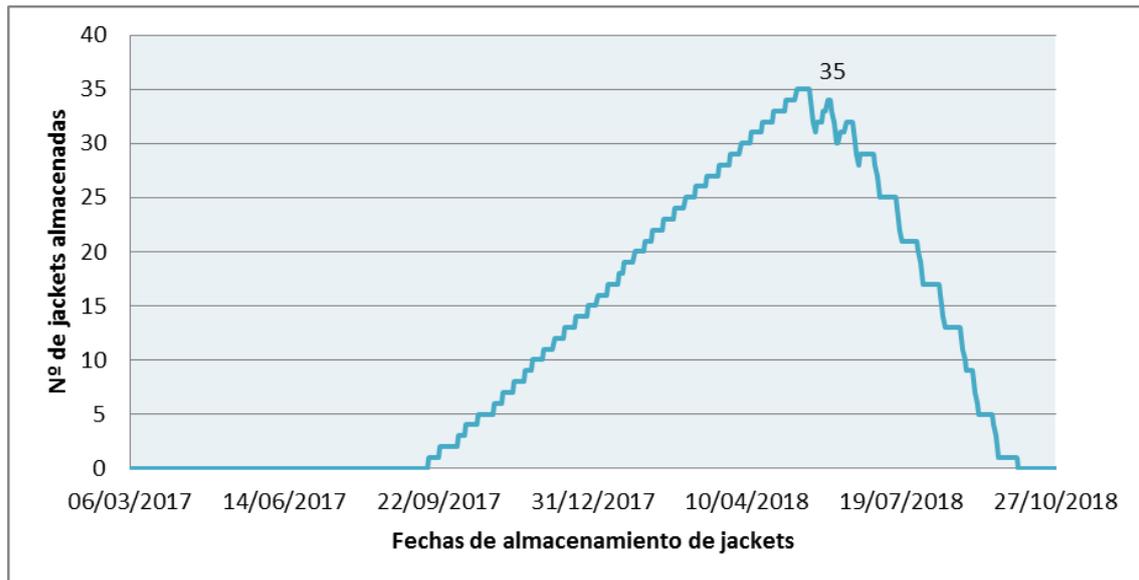


Figura 46. Gráfico almacenamiento para 3 meses de retraso

Al aumentar el número de zapatas la disposición en el astillero varía y han de utilizarse más zonas de almacenaje respecto a lo planificado para dar cabida a estas 35 jackets.

Como en el caso anterior se sugiere una distribución válida para el almacenamiento de dichas jackets.



Figura 47. Distribución astillero con almacenamiento de jaclets para 3 meses

Una vez simulado el modelo y obtenido el número de zapatas mínimo necesario, se aplica esta configuración de buffers de almacenamiento al modelo para obtener los resultados de movimientos de los SPMT a lo largo del proyecto, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4. Movimientos SPMT en caso de un retraso de 3 meses.

	Transportes horizontales y load out con SPMT's	Transportes horizontales con SPMT's y load out con grúa
Días con movimientos fuera de plazo	66	25

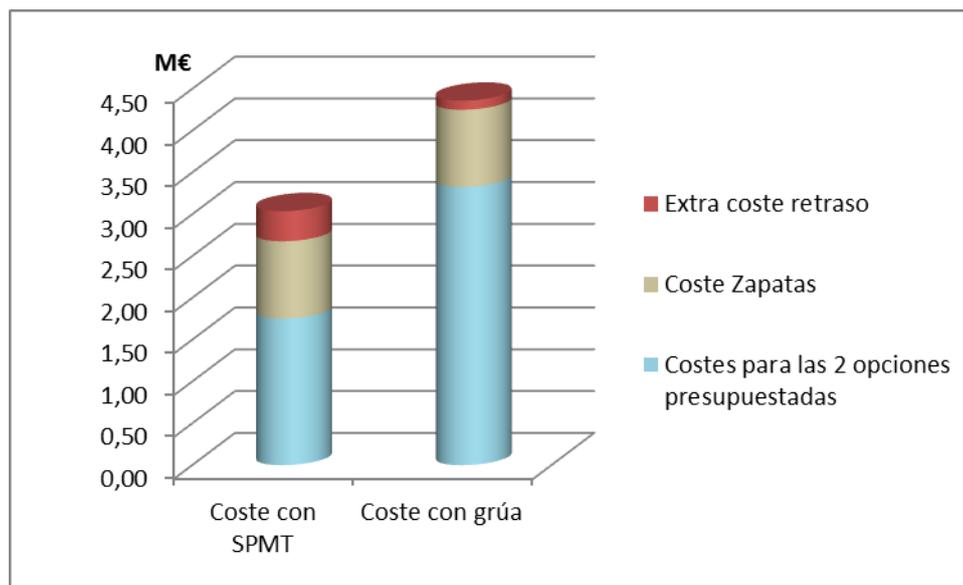


Figura 48. Estimación de costes según con retraso de 3 meses

Los costes obtenidos para el caso del proceso de embarque mediante SPMT's, más la suma de las zapatas correspondientes más la suma de los costes asignados a la utilización de SPMT's para los movimientos de las jackets entre las zonas de almacenaje también con SPMT prácticamente alcanzan los 3 M€.

En este caso se han contabilizado los movimientos fuera de la ventana contratada y se les ha aplicado el coste presupuestado equivalente a semanas de stand by o semanas fuera de plazo, con el correspondiente coste de los operarios requeridos en cada caso.

En el caso del load out con grúa se mantiene la ventana de utilización de grúa de 4,5 meses como en el caso planificado a pesar de desplazarse en el tiempo. En este caso no se realizan movimientos de SPMT extras durante la fabricación, pero sí se contabilizan sobrecostes por transportes de los SPMT's por encontrarse fuera de la ventana de fechas contratadas. Añadiendo además los costes de las zapatas se obtendrían unos costes de en torno a 4,4 M€.

4.3.3.2 Retraso de 3 variable de proyectos anteriores sobre la planificación del proyecto

En este caso se considera un retraso en la primera fecha de embarque y no se conserva el tiempo entre embarques planificado, es decir, todos los embarques tienen retraso respecto a la fecha planificada y respecto al cumplimiento del tiempo entre embarques contractual.

Aplicando esta información al modelo se obtiene una necesidad de almacenamiento en el astillero para como mínimo 27 jackets que suman un total junto a las zapatas necesarias para mesa de fabricación de 90 zapatas.

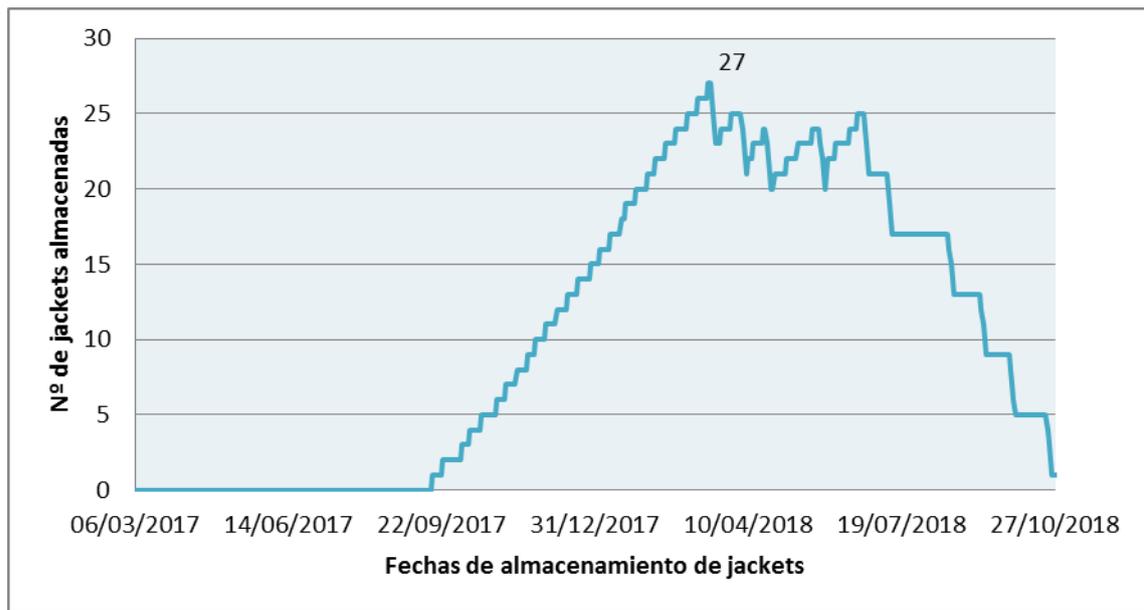


Figura 49. Gráfico almacenamiento para retraso basado en proyectos anteriores

Al aumentar el número de zapatas la disposición en el astillero varía y han de utilizarse más zonas de almacenaje respecto a lo planificado para dar cabida a estas 27 jackets. Como en el caso anterior se sugiere una distribución válida para el almacenamiento de dichas jackets.



Figura 50. Distribución astillero para cumplir retrasos según información de proyectos anteriores

Una vez simulado el modelo y obtenido el número de zapatas mínimo necesario, se aplica esta configuración de buffers de almacenamiento al modelo para obtener los resultados de movimientos de los SPMT a lo largo del proyecto.

Aplicando costes como en el caso anterior, teniendo en cuenta los movimientos que salen fuera de la venta temporal establecida y considerando los costes de zapatas equivalentes para este caso se obtiene:

Tabla 5. Movimientos SPMT en caso de un retraso variable

	Transportes horizontales y load out con SPMT's	Transportes horizontales con SPMT's y load out con grúa
Días con movimientos fuera de plazo	52	18

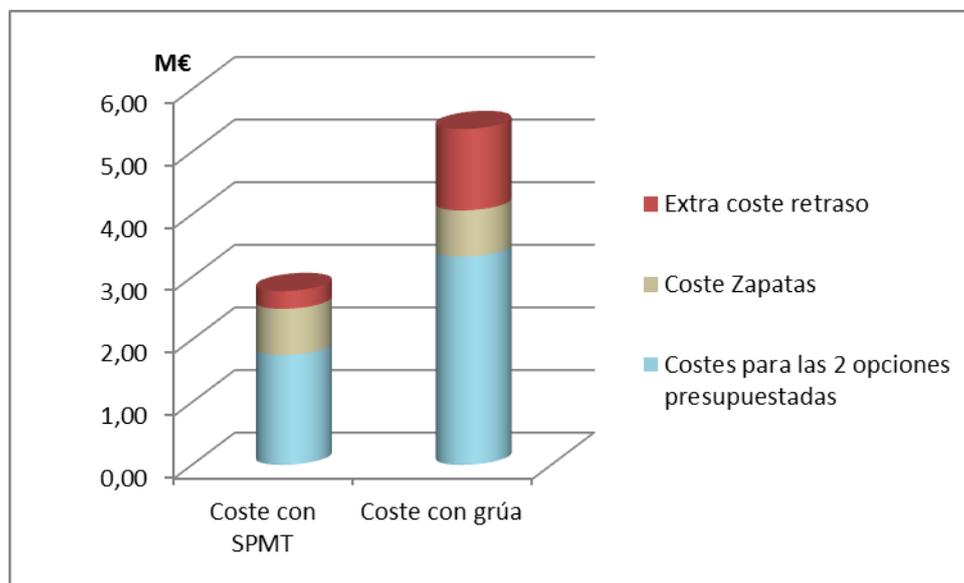


Figura 51. Estimación de costes según con retraso de proyectos anteriores

En este caso el extra coste de retraso en el caso de la grúa es más pronunciado, pues pasamos de tener una ventana de grúa de 4 meses e 4 meses y medio a una ventana de grúa de aproximadamente 8 meses y este elevado alquiler mensual se ve claramente reflejado aumentando el coste total del proceso de embarque mediante grúa a los 5M€.

En el caso de la utilización de SPMT's para todos los procesos de movimiento y embarque de jackets los extra costes no son tan pronunciados. Se añaden los sobre costes de movimientos extras / fuera de plazo y se obtiene un total de casi 3M€.

Por último añadir una comparación de la diferencia de compra que habría entre la compra fraccionada de zapatas o bien la compra directa desde el inicio del proyecto.

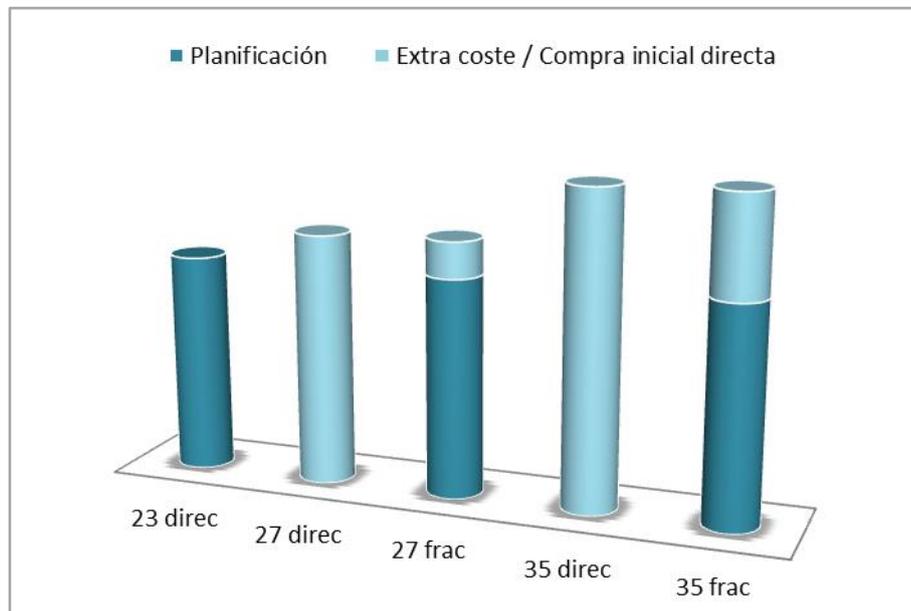


Figura 52. Diferencias en costes de las distintas opciones de compra de zapatas

Como se puede observar no hay una gran diferencia en costes respecto a encargar directamente un número superior de zapatas por previsión de retrasos desde el inicio del proyecto o a hacer una ampliación posterior a la compra de las zapatas planificadas. Eso sí, ha de tenerse en cuenta el plazo de ejecución para realizar el encargo con el suficiente tiempo de antelación para disponer de las zapatas a tiempo en caso de darse dichos retrasos.

4.3.4 Error en el estudio y gestión de la logística de almacenamiento de jackets: *Disposición de un número de zapatas inferior al necesario.*

Después de estos estudios realizados es posible ir más allá y enfocar los posibles problemas desde otro punto de vista, teniendo en cuenta esta vez que los motivos de retraso se deban a retrasos en la fabricación debidos a una mala logística de transportes originados por un fallo humano de cálculo del tamaño de los buffer.

Para ello, con las fechas de planificación previstas se va a establecer un número máximo de jackets almacenadas de 20. Inicialmente se había calculado que para cumplir con los hitos de embarque y seguir el ritmo de fabricación era necesario disponer de almacenamiento para 23 jackets, pero por un fallo de cálculos o por un deseo de ahorrar en costes se va a establecer que la empresa ha decidido invertir únicamente en la compra de las zapatas correspondientes al almacenaje de 20 jackets.

Llevando a cabo el estudio con el caso de transporte y load out con SPMT's se comprueba que hasta la jacket número 20 el proceso sigue su ritmo normal de fabricación, pero una vez terminada de fabricar la jacket número 21, el modelo se encuentra sin posibilidad de almacenar esta última jacket produciéndose una parada en la fabricación de 1 mes:

Tabla 6. Retrasos en fabricación por mala logística de almacenamiento (carga con SPMT's)

Nº jacket	Fin fabricación	Fecha de almacenaje
(...)		
19	16/01/2018	16/01/2018
20	19/01/2018	19/01/2018
21	26/01/2018	23/02/2018
22	22/02/2018	23/02/2018
23	22/02/2018	24/02/2018
(...)		

Aunque la fabricación consigue volver a estabilizarse, este retraso ha impactado fuertemente en el proceso de total provocando que se produzcan retrasos en los load outs que pueden originar una pérdida de dinero considerable de en torno a los 100.000 € por día y por jacket retrasada, dependiendo de las exigencias contractuales del proyecto.

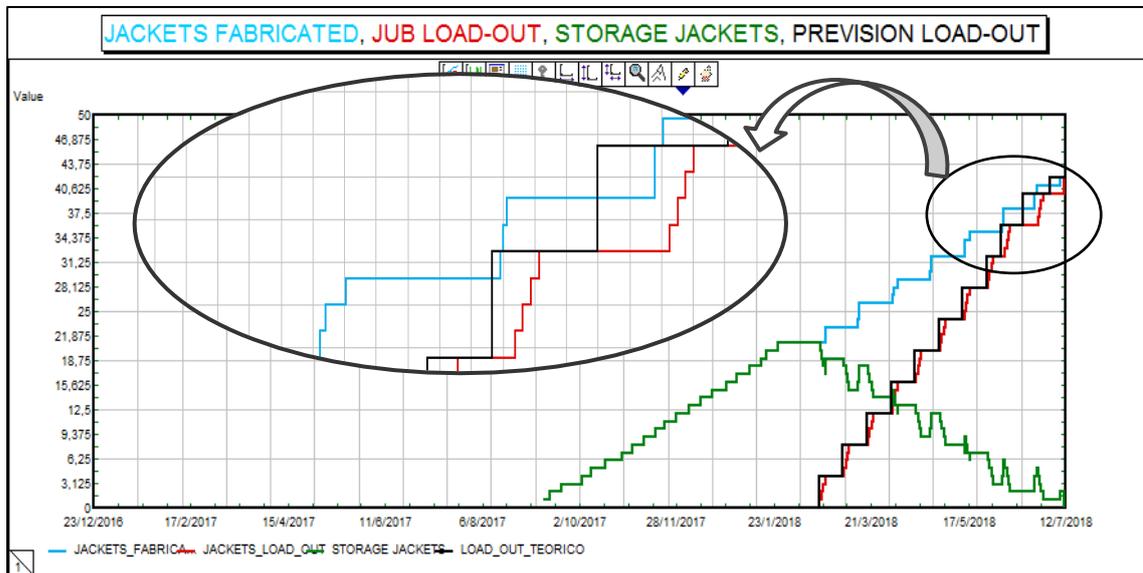


Figura 53. Retrasos en fabricación y load out por mala gestión de la logística de almacenamiento

Llevando a cabo el mismo estudio, pero en el caso de la realización del load out con grúa en lugar de con SPMT's los resultados son similares en cuanto a retrasos de fabricación.

Tabla 7. Retrasos en fabricación por mala logística de almacenamiento (carga con grúa)

Nº jacket	Fin fabricación	Fecha de almacenaje
(...)		
19	16/01/2018	16/01/2018
20	19/01/2018	19/01/2018
21	26/01/2018	23/02/2018
22	22/02/2018	23/02/2018
23	22/02/2018	24/02/2018
(...)		

Pero en este caso, a pesar realizarse una parada de la fabricación de un mes, las fechas de embarque se cumplen debido a la liberación de movimientos de SPMT's que permite la opción de carga de jackets en el barco con grúa.

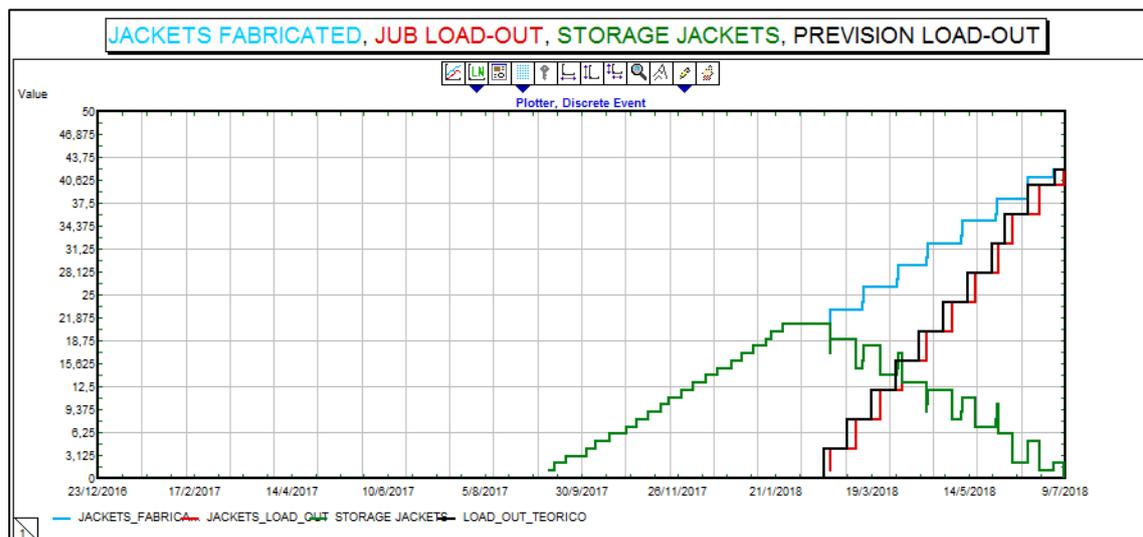


Figura 54. Retrasos en fabricación por mala logística de almacenamiento, pero no en load out.

Económicamente hablando, en el caso de una mala estimación o de un deseo de ahorro en costes mediante la disminución de 23 a 20 jackets almacenadas en el astillero, se ahorrarían aproximadamente 100.000 € al reducir el número de zapatas de 78 a 69 contando con las necesarias para la mesa de trabajo.

Eso sí, el retraso de un mes producido en la fabricación y el incumplimiento de los hitos de load out con un total de 54 días de retraso sumando los días de retraso de cada jacket de los 3 últimos hitos de embarque por el uso de SPMT's tanto para movimientos como para el embarque implica que se apliquen unas importantes penalizaciones por parte del cliente.

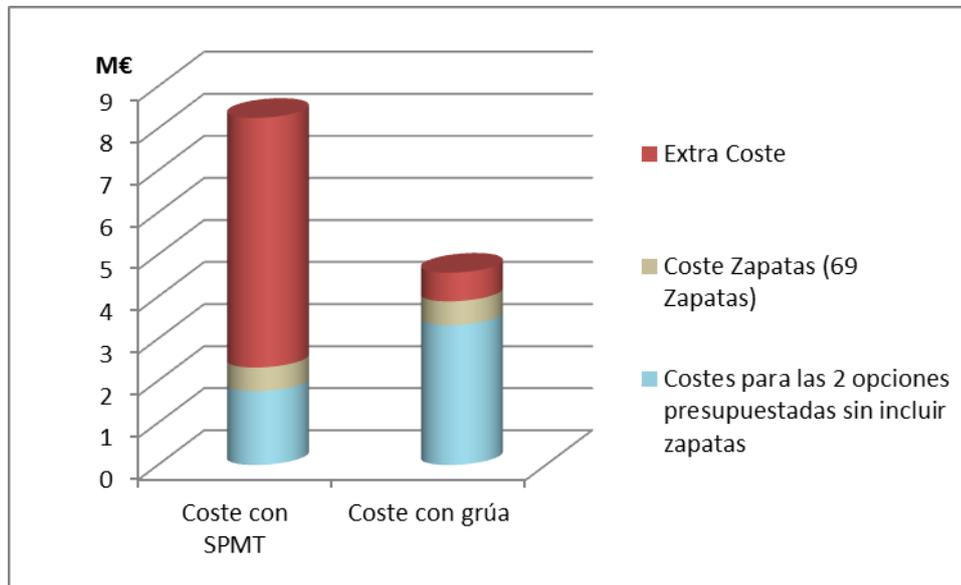


Figura 55. Estimación de costes ante falta de almacenamientos: mayores costes

Para el caso de transportes y proceso de embarque con SPMT's, debido a las penalizaciones del cliente y al exceso de movimientos realizados, los costes aumentan a los 7M€, el triple de los costes planificados.

Para el caso de transporte mediante SPMT's y carga de jackets en proceso de embarque con grúa el único sobre coste es el producido por el uso de SPMT's para la realización de movimientos extras necesarios para cumplir con los hitos de embarque, quedando un coste total de 4M€.

Queda demostrado entonces, que de no disponer de una herramienta de simulación de procesos como el modelo llevado a cabo podrían omitirse estas estimaciones y realizarse un mal cálculo que implicaría pérdidas de millones de euros.

5 CONCLUSIONES

En el presente Trabajo Fin de Master se ha desarrollado un modelo paramétrico de simulación que combina el software Extendsim con un archivo Microsoft Excel que actúa como fuente de datos para la programación de los movimientos internos posteriores a la fabricación de jackets llevados a cabo en un proyecto de eólica offshore.

El modelo permite la configuración de duraciones de movimiento, estimar el número de estacionamientos de almacenaje necesarios y de los movimientos a almacenaje realizados considerando la variabilidad que pueda producirse en las fechas de los hitos de embarque.

Las principales conclusiones que se derivan de interés para una empresa dedicada a la fabricación de subestructuras para la eólica offshore son:

- Gran utilidad para la etapa precontractual, pues permite estimar qué opción resulta más conveniente para la empresa contratada a la hora de negociar la ventana de embarques con el cliente, pues el objetivo principal del astillero es reducir el buffer total lo máximo posible. En caso de que el cliente desee unos márgenes muy amplios de posibles retrasos y solicite mayor período de almacenaje del planificado, con esta herramienta es posible obtener la cantidad exacta de estacionamientos necesarios para cumplir con las especificaciones del cliente y los costes adicionales que esto implica.
- Esta variedad de opciones en la elección del número de zonas de almacenamiento y del número de estaciones por zona, aporta una gran utilidad a la hora de compartir recursos con otros proyectos llevados a cabo en el astillero, pues puede ser más conveniente repartir las jackets en distintas zonas del astillero en menor cantidad en cada zona o puede haber la limitación de utilizar únicamente unas zonas determinadas y aun teniendo en cuenta un mismo número de estacionamientos, dichas zonas tendrían mayor ocupación.
- Resulta más conveniente almacenar las jackets directamente en la zona de load out siempre que sea posible y en las zonas cercanas a la misma para ahorrar tiempo y movimientos que impactan en el coste total.
- En lo relativo a costes, gracias a la facilidad de obtener resultados con cualquier fecha deseada, es muy sencillo poder estimar cualquier coste y realizar todas las variaciones que se consideren oportunas, obteniendo al momento los resultados requeridos.
- La exportación de resultados en el mismo archivo Excel de lectura de datos permite una mayor comprensión de estos resultados para la empresa constructora de jackets, pues se cuenta con tablas y diagramas que permiten la visualización de resultados en cuanto a fechas, ocupaciones y trayectorias. Permitiendo una comparación directa de los resultados obtenidos con los planificados.
- El modelo realizado sirve de base para los proyectos de realidad aumentada que se están desarrollando en la actualidad de cara a una implantación futura en la industria, pues se han establecido unas trayectorias mediante coordenadas con las dimensiones reales del astillero que introducidas en Unity 3D permiten la visualización real de los movimientos del astillero según las fechas y duraciones aportadas por el modelo de Extend.



Figura 56. Visualización del proceso de almacenamiento en 3D: Cámara 1 Unity 3D

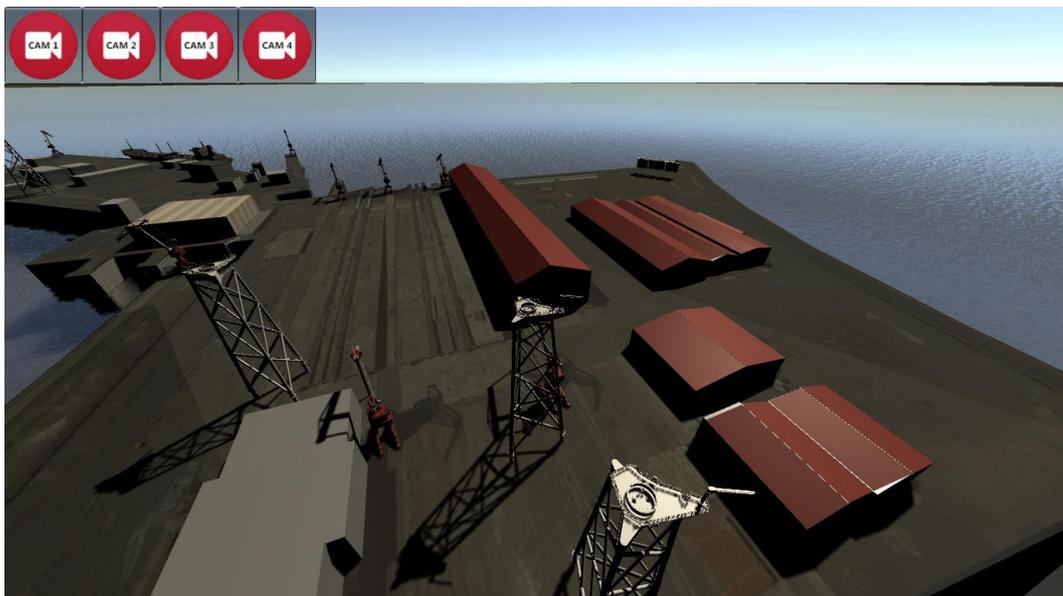


Figura 57. Visualización del proceso de almacenamiento en 3D: Cámara 3 Unity 3D

Por todo ello los resultados de este trabajo muestran que la adopción de modelos de eventos discretos para la simulación de procesos de fabricación de jackets en un astillero proporciona importantes ventajas en cuanto a orden y distribución, reducción de costes y minimización de riesgos, siendo una medida simple y fácil de implantar que únicamente requiere de personal capacitado para la modelización en este tipo de softwares y con conocimientos suficientes en el sector que le permitan analizar e interpretar los resultados. Además, es una gran elección para la industria naval de abrir las puertas a la industria del futuro y conseguir así un astillero más competitivo en el sector de la eólica offshore

6 TRABAJO FUTURO

- Se propone como estudio futuro la implementación de la realidad aumentada en el proceso de simulación de procesos, pues gracias a las facilidades en cuanto a compatibilidad que ofrece Extend, pueden utilizarse los resultados obtenidos tras la simulación para generar una visualización de trayectorias y movimientos realizados a través de softwares de visualización 3D como Unity 3D.
- Gracias al completo editor visual del que disponen softwares como Unity 3D es posible importar los modelos 3D de las estructuras fabricadas, aplicar texturas, sonidos, etc. para después ir trabajando con ellos, pudiendo llegar a apreciarse un acabado muy profesional y realista. Así, además de la fábrica física, conectada e inteligente, puede construirse una réplica virtual para simular procesos de fabricación completos y no solo movimientos y trayectorias de jackets ya realizadas.
- Sería posible aplicar esta visualización 3D a las operaciones de fabricación y load out con las que sería posible estudiar las maniobras necesarias y hacerlas más comprensibles, gracias a su visualización, tanto para el cliente como para la dirección del proyecto facilitando la toma de decisiones en casos de existencia de retrasos.
- Llegar a llevar a cabo la implantación de sistemas basados en realidad aumentada, que permitirán proporcionar a los trabajadores información en tiempo real para mejorar la toma de decisiones e incrementar la seguridad. Esta tecnología de realidad aumentada es aplicable en todas las fases de un proyecto: diseño, construcción y mantenimiento y los beneficios son palpables desde el estudio y optimización de una obra, hasta el ahorro en costes durante toda su vida útil.
- Además de todo esto, el uso del modelo serviría para cuantificar los riesgos de incumplimiento de la planificación por acopio de materiales o problemas de uso de las instalaciones debido a los recursos compartidos con otros proyectos, así como de medios de transporte.
- Y por último, con todos los estudios realizados están ligados al impacto en costes, podría utilizarse este modelo como referencia para el estudio de inversiones relativas a la compra de SPMT's en comparación a los costes que originan su movilización y desmovilización además de los costes de operación de los equipos y del personal necesario para la puesta en marcha de estos transportadores.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Revista Energíadehoy.com nº 14 Agosto 2016.
- [2] Revista Energíadehoy.com nº 15 Julio 2016.
- [3] Revista Deusto.
- [4] Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico (REVE): *“La eólica generó el 19,3% de la electricidad en 2016”*.
- [5] Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico (REVE): *“Las renovables generaron el 41% en España en 2016”*.
- [6] Global Wind Energy Council (GWEC): Global wind report 2015.
- [7] The European Wind Energy Association (EWEA): *“The European offshore wind industry - key trends and statistics 2015”*
- [8] World Wind Energy Association (WWEA): *“Small wind world report 2016”*
- [9] Iberdrola España: *“Perspectivas del sector eólico en España”*, Diciembre 2016.
- [10] EolicCat *“La eólica que viene: perspectivas de la energía eólica al mundo 2020 – 2030”*.
- [11] Offshore WIND International Business Guide 2017
- [12] ALE: *“Transporte y carga jackets proyecto Wikinger Ferrol”*.
- [13] Diario Renovables: *“La potencia eólica mundial alcanzará los 500 GW antes de finales de año”*.
- [14] Diario Renovables: *“La energía eólica abastecerá el 20% de la demanda eléctrica mundial en 2030”*.
- [15] Diario Renovables: *“Aerogeneradores flotantes. La energía renovable del futuro según General Electric”*.
- [16] The Europea offshore wind industry: *“Key trends and statistics 1st half 2016”*
- [17] Energía estratégica: *“Crece a buen ritmo la energía eólica Off Shore con proyectos en Europa, Asia y Estados Unidos”*.
- [18] 50º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima: *“Estudio, caracterización y comparación de tipologías de plataformas para soporte de aerogeneradores en alta mar”*, Octubre 2011.
- [19] Gradient: *“Seis tecnologías para explicar la Industria 4.0”*
- [20] Exponav Fundación: *“La industria “INTELIGENTE”: el “ASTILLERO 4.0””*
- [21] Fundación Prodintec y Femetal. *La simulación de procesos industriales: clave en la toma de decisiones para procesos de reingeniería de planta y diseño de nuevas instalaciones de fabricación*, 2010.

Páginas web de consulta:

- [Ministerio de economía, industria y competitividad](#)
- [Global Wind Energy Council](#)
- [European Wind Energy Association](#)
- [ALE](#)
- [Navantia](#)
- [Bladt Industries](#)
- [Iberdrola](#)



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2016/17

*MODELADO Y SIMULACIÓN MEDIANTE EVENTOS DISCRETOS
DE LA LOGÍSTICA DE MOVIMIENTOS Y ALMACENAMIENTO DE
JACKETS PREVIO A LA OPERACIÓN DE EMBARQUE*

Máster en Ingeniería Industrial

Documento

PRESUPUESTO

Índice de contenidos

1 CAPÍTULOS PRESUPUESTO 69
1.1 RESUMEN PRESUPUESTO 71

1 CAPÍTULOS PRESUPUESTO

CAPÍTULO I. Ingeniería

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio(€)	Importe(€)
1.1	h	Ingeniería de desarrollo y simulación del modelo	700	50,00 €	35.000,00 €
1.2	Ud	Traslados por visita a obra	10	15,00 €	150,00 €
Total CAPÍTULO I					35.150,00 €

CAPÍTULO II. Equipamiento

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio(€)	Importe(€)
1.1	Ud	Equipamiento electrónico	1	850,00 €	850,00 €
1.2	Ud	Material de oficina	1	200,00 €	200,00 €
Total CAPÍTULO II					1.050,00 €

CAPÍTULO III. Licencias

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio(€)	Importe(€)
1.1	Ud	Extendsim suit 9.1			
			1	4.540,00 €	4.540,00 €
1.2	Ud	Microsoft Office Professional Plus 2016			
			1	539,00 €	539,00 €
	Ud	Windows 10 Pro			
			1	279,00 €	279,00 €
1.3	Ud	Unity Pro			
			1	539,00 €	1.400,00 €
Total CAPÍTULO III					6.758,00 €

1.1 RESUMEN PRESUPUESTO

CAPÍTULO I	Ingeniería	35.150,00 €
CAPÍTULO II	Equipamiento	1.050,00 €
CAPÍTULO III	Licencias	6.758,00 €
	IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	42.958,00 €
	13 % GASTOS GENERALES	5.584,54 €
	6 % BENEFICIO INDUSTRIAL	2.577,48 €
	IMPORTE DE EJECUCIÓN	51.120,02 €
	21% DE I.V.A.	10.735,20 €
	IMPORTE DE CONTRATA	61.855,22 €

El presupuesto total de contrata asciende a la cantidad de **61.855,22 € (SESENTA Y UN MIL OCHOCIENTOS CINCUENTA Y CINCO EUROS CON VEINTIDÓS CÉNTIMOS)**.

Ferrol, Febrero 2017



Lidia Freire Fustes