



Universidad Europea de Canarias

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

Alumno: Juan Suárez García

Tutor: Susana Hernando Castro

(Kontiolahti), 2023



Universidad europea de Canarias

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Alumno: Juan Suárez García

TUTOR: Susana Hernando Castro

(Kontiolahti), 2023

ÍNDICE

1	RESUMEN / ABSTRACT	11
2	INTRODUCCIÓN	12
2.1	EL PARQUE EÓLICO MARINO “WIKINGER”	16
3	OBJETIVOS.....	19
4	ANTECEDENTES	21
5	ALCANCE DEL INFORME.....	25
6	METODOLOGÍA.....	27
6.1	ESTUDIOS DE CASO	29
6.2	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS HAZID	29
6.3	ANÁLISIS BOWTIE.....	29
6.3.1	METODOLOGÍA BÁSICA.....	29
6.3.2	PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	31
6.4	ANÁLISIS POR ÁRBOL DE EVENTOS.....	32
6.5	EVALUACIÓN DE RIESGOS IRPA.....	34
6.6	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS	35
7	EVALUACIÓN DE RIESGOS	39
7.1	ESTUDIOS DE CASO	41
7.2	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	42
7.3	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	44
7.3.1	ANÁLISIS BOWTIE	44

7.3.2	ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE EVENTOS.....	45
7.4	EVALUACIÓN DE RIESGOS IRPA.....	48
8	RESULTADOS.....	51
9	CONCLUSIONES.....	53
10	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	55
11	BIBLIOGRAFÍA.....	57
12	ANEXO I: DIAGRAMA BOWTIE.....	63
13	ANEXO II: ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE EVENTOS.....	65
14	ANEXO III: LA TRANSFERENCIA DE PERSONAL EN EL MEDIO MARINO	67
14.1	PUNTOS DE ACCESO A LOS AEROGENERADORES	67
14.2	MÉTODO "BUMP & JUMP"	68
14.2.1	PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO BUMP & JUMP	69
14.2.2	LOS BUQUES DE SERVICIO.....	73
14.3	ACCESO A LA PLATAFORMA TP.....	74
14.3.1	EL MÉTODO WALK TO WORK (W2W)	76
14.4	ACCESO MEDIANTE HELICÓPTERO.....	79
14.5	LEGISLACIÓN APLICABLE A LAS TRANSFERENCIAS DE PERSONAL	79
14.5.1	NORMAS TÉCNICAS PARA BUQUES DE TRANSFERENCIA	79
14.5.2	NORMAS TÉCNICAS SISTEMAS DE ACCESO W2W	80
14.5.3	REQUISITOS DE FORMACIÓN DE LOS TÉCNICOS.....	81
14.5.4	REQUISITOS DE FORMACIÓN PARA LA TRIPULACIÓN	83
14.6	FACTORES HUMANOS.....	84
15	ANEXO IV: ACCESIBILIDAD Y EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS	87
15.1	DATOS METEOROLÓGICOS	88

15.2	ACCESIBILIDAD	89
15.2.1	MÉTODO" BUMP & JUMP"	90
15.2.2	MAXACCESS T-SERIES	91
15.2.3	AMPELMANN TIPO L.....	91
15.2.4	AMPELMANN TIPO A	91
15.2.5	UPTIME 23.4M AMC LOGISTICS SYSTEM.....	92
15.2.6	SMST TAB L	92
15.2.7	COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS	93
15.3	EFICIENCIA	93
15.3.1	TIEMPO DE NAVEGACIÓN	94
15.3.2	APROXIMACIÓN Y DESPLIEGUE DE LOS SISTEMAS.....	94
15.3.3	TIEMPO DE TRANSFERENCIA	95
15.4	COMPARACIÓN.....	97
16	ANEXO V: DATOS DE LA EVALUACIÓN DEL MÉTODO ANTERIOR "BUMP & JUMP"	101
16.1	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS "BUMP & JUMP"	101
16.2	ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE EVENTOS "BUMP & JUMP"	102
17	ANEXO VI: EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL - EPI.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Ilustración 1 - Evolución de la eólica marina	13
Ilustración 2 - Procesos de trabajo con mayor potencial de riesgo.....	14
Ilustración 3 - Parque eólico marino Wikinger.....	17
Ilustración 4 - Aumento pronosticado del tamaño de las turbinas	23
Ilustración 5 - Etapas del proceso de evaluación.....	28
Ilustración 6 - Ejemplo del diagrama BowTie	30

Ilustración 7 - Ejemplo del diagrama BowTie incluyendo barreras preventivas	30
Ilustración 8 – Ejemplo de la unidad estructural del BowTie.....	31
Ilustración 9 - Ejemplo de un análisis por árbol de eventos	33
Ilustración 10 - Ecuación de cálculo del IRPA.....	34
Ilustración 11 - Criterio de riesgo individual y societal	35
Ilustración 12 - Edda Passat equipado con la plataforma Uptime 23.4m AMC y grúa SMST. 39	
Ilustración 13 - Buque SOV Normand fortress equipado con SMST TAB L en el parque de Sandbank	42
Ilustración 14 - Diagrama BowTie del caso.....	63
Ilustración 15 - ETA y QRA del método W2W en estudio relajado con el software “Reliability Workbench”	65
Ilustración 16 - Puntos de acceso de los aerogeneradores	67
Ilustración 17 - Partes principales de la estructura de fijación	68
Ilustración 18 - Pushing del CTV Cos Mate en el Boat landing	69
Ilustración 19 - Escalera con latchway incorporado.....	70
Ilustración 20 - Proceso de "Bump & Jump" a bordo del CTV Cos Mate.....	72
Ilustración 21 - CTV Energizer	73
Ilustración 22 - SOV Wind Innovation amarrado en el puerto de Esberj.....	74
Ilustración 23 - Sistema Ampelmann Tipo A	76
Ilustración 24 - Ubicaciones de los parques en estudio.....	88
Ilustración 25 - Comparación de los sistemas.....	93

Ilustración 26 - Técnico equipado con los EPI	106
Tabla 1 - Tabla explicativa de las barreras preventivas	32
Tabla 2 - Valores ETA obtenidos de industria ferroviaria.....	34
Tabla 3 - Análisis HAZID del método W2W activo	44
Tabla 4 - Análisis del árbol de eventos del método W2W activo	47
Tabla 5 - Resultados finales del ETA del método W2W activo.....	48
Tabla 6 - IRPA del método W2W activo.....	49
Tabla 7 - Características genéricas de los CTVs	74
Tabla 8 - relación de parques seleccionados para su estudio	87
Tabla 9 - Límites de transferencia segura para cada sistema.....	90
Tabla 10 - Condición anual de acceso mediante el método "Bump & Jump"	91
Tabla 11 - Condición anual de acceso mediante el sistema MaXccess T-Series.....	91
Tabla 12 - Condición anual de acceso mediante el sistema Ampelmann tipo L.....	91
Tabla 13 - Condición anual de acceso mediante el sistema Ampelmann tipo A	92
Tabla 14 - Condición anual de acceso mediante el sistema Uptime 23.4m AMC	92
Tabla 15 - Condición anual de acceso mediante el sistema SMST TAB L.....	93
Tabla 16 - Tiempo de despliegue de los sistemas	95
Tabla 17 - Tiempo de transferencia en los sistemas.....	96
Tabla 18 – Resultados del análisis.....	99
Tabla 19 - HAZID para el método "Bump & Jump" en Wikinger	102

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

Tabla 20 - ETA para el método “Bump & Jump” en Wikinger 103

Tabla 21 - Resultados finales del ETA del método Bump & Jump en Wikinger 104

1 RESUMEN / ABSTRACT

Resumen

Los trabajadores del sector de la energía eólica marina poseen una serie de riesgos aparejados con la actividad específica que realizan. En el presente documento se expone la identificación y análisis de los riesgos específicos a los que están expuestos los trabajadores del parque eólico marino "Wikinger" en los procesos de transferencia tras el cambio en el método de acceso (Bump & Jump a W2W activo). Se lleva a cabo un análisis de riesgos típico de este sector a través del desarrollo de estudios de caso, método HAZID, el método Bowtie, los métodos análisis de árbol de eventos (ETA) y el Individual risk per annum (IRPA).

Palabras clave: Evaluación de riesgos, BowTie, HAZID, ETA, IRPA, Parque eólico marino, turbina eólica, W2W, Uptime, Ampelmann, Bump & Jump.

Abstract

Workers of the offshore wind energy face various risks associated with the specific activities they carry out. This document presents an analysis of the specific risks that workers face during transfer processes after changing access method (from Bump & Jump to active Walk to Work) in the "Wikinger" offshore wind farm. A typical risk analysis of this industry is conducted through the development of case studies, the HAZID method, the Bowtie method, the Event Tree Analysis method (ETA), and the Individual Risk Per Annum (IRPA)

Keywords: Risk assessment, BowTie, HAZID, ETA, IRPA, Offshore wind farm, wind turbine, W2W, Uptime, Ampelmann, Bump & Jump.

2 INTRODUCCIÓN

El creciente auge del consumo energético mundial aunado a las políticas de obtención de recursos de forma sostenible, han propiciado un cambio en la política energética. Este cambio favorece la producción energética a través de fuentes de energías renovables, que sean rentables, fiables, respetuosas con el medio ambiente y que al mismo tiempo reduzcan las emisiones nocivas (Fincias Anta, 2021).

Entre todas las energías renovables, la energía eólica es la que ha experimentado un mayor crecimiento en este siglo, contando además con una previsión de desarrollo exponencial en años venideros. Esta nueva tendencia de aumento de la capacidad instalada se topa con la problemática de que cada vez resulta más compleja y costosa la tarea de encontrar nuevas localizaciones para futuros parques eólicos.

Los nuevos emplazamientos para la implantación de turbinas eólicas en tierra son cada vez más complicados de obtener, ya que su disponibilidad es limitada y el mercado se encuentra cada día más saturado. Gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías en este sector, unas de las posibles soluciones es encontrar nuevos emplazamientos en el medio marino (Seva Pérez, 2021).

Esta opción, posee las ventajas de que la adjudicación de licencias es más accesible, entraña menos molestias a las poblaciones próximas, así como que el espacio disponible es muy abundante (Espinosa Grandmontagne, 2022). La ilustración 1 muestra la energía eólica marina instalada y prevista a nivel mundial hasta el año 2050 (Meißner, 2020).

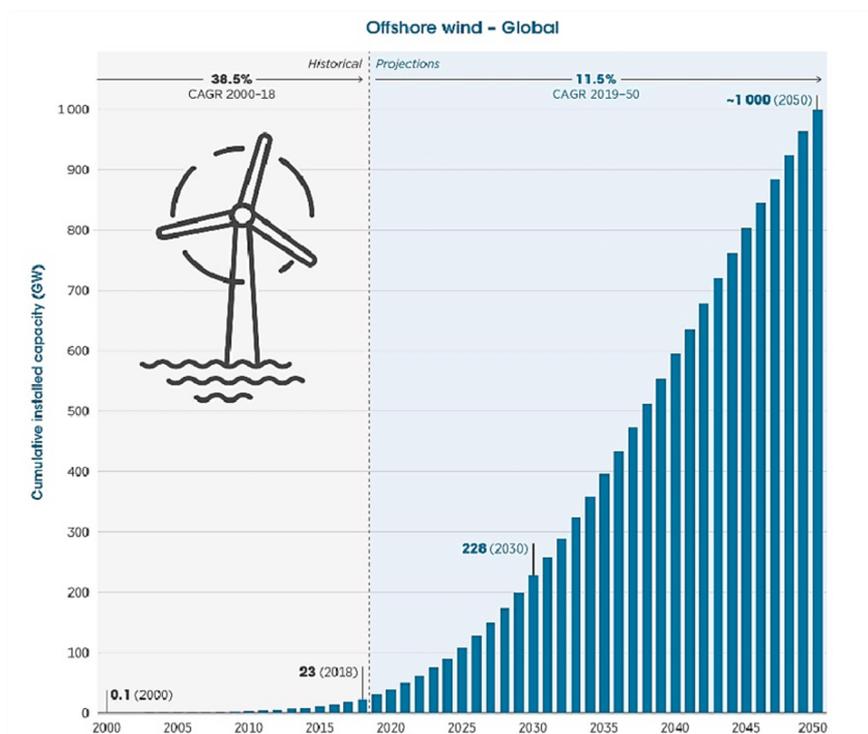


Ilustración 1 - Evolución de la eólica marina (Meißner, 2020)

Los riesgos para la salud y la seguridad en el trabajo durante la instalación, operación y el mantenimiento (I / O&M) de los parques eólicos marinos son en general similares a los de las instalaciones industriales terrestres. La diferencia para el medio marino radica en que este entraña un gran número de riesgos o peligros específicos, que, sumados a los propios del sector eólico, convierten a este tipo de parques en localizaciones de especial peligrosidad. Uno de los puntos de notoria importancia, se haya en el acceso y la salida del lugar de trabajo de los técnicos, por razones obvias:

"Los parques eólicos marinos están expuestos a las fuerzas de las olas, las mareas y las condiciones climáticas extremas, lo que presenta mayores desafíos y riesgos en términos de acceso, trabajo y manejo de situaciones de emergencia que los esquemas terrestres equivalentes". (Gebruers, 2015)

Se debe considerar también, que existen otros riesgos que surgen de la necesidad de hacer frente a todas estas condiciones especiales, como el uso de helicópteros en caso de emergencia o con la finalidad realizar transferencias específicas (G+ Global Offshore Wind

Health & Safety Organisation, 2021). Además de todos los riesgos aparejados a uso de estos medios, debemos incluir los generados de los traslados de personal entre embarcaciones marinas y turbinas eólicas, así como los de colisiones entre ellas y caídas del personal al agua.

En el informe de incidentes de la Organización Mundial de Seguridad y Salud Eólica Marina (G+) de 2022, se reportó de un total de 868 incidentes. En este reporte se muestran 37 tipos de tareas diferentes, en los que ha ocurrido algún percance. En la ilustración 2 se muestran los diez procesos de trabajo de este sector con mayores frecuencias absolutas, mostrando la variable C, los relativos a los procesos de transferencia.

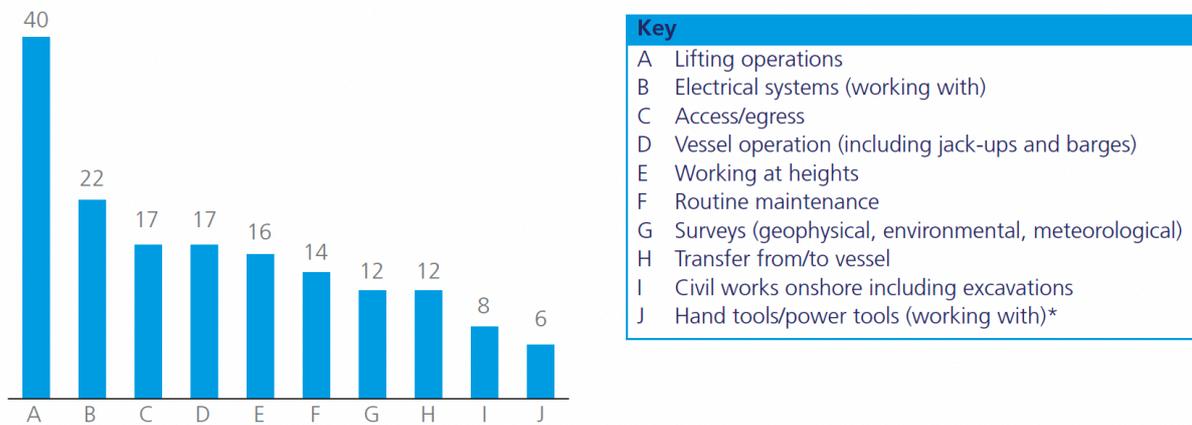


Ilustración 2 - Procesos de trabajo con mayor potencial de riesgo (G+ Global Offshore Wind, 2022)

En 2022, el número de horas trabajadas experimentó un aumento significativo, con un récord de 44,6 millones de horas trabajadas. Esto significa un 38% más de aumento respecto al año anterior, y un 79% respecto a 2020. La tasa total de lesiones registrables (TRIR) y la frecuencia de lesiones con tiempo perdido (LTIF) en este estudio presentan una trayectoria descendente durante el 2022. El TRIR, que representa el número de lesiones por millón de horas trabajadas, ha caído de un 5,52 en 2016 a un 2,82 en 2022. De manera similar, el LTIF, que mide la frecuencia de las lesiones que resultan en tiempo de trabajo perdido, también ha ido decreciendo a lo largo de los años, pasando de un 1,98 en 2016 a un 1,03 en 2022 (G+ Global Offshore Wind, 2022).

El informe concluye que, de los 868 incidentes reportados, 22 fueron causados durante las transferencias de personal. De entre los estos, todos se reportaron como “incidentes de alto potencial” con una probabilidad alta de mortalidad o de causar lesiones muy severas a los

involucrados (G+ Global Offshore Wind, 2022). Cabe reseñar, además, que otras tareas como las operaciones marítimas, transferencia por buque, movilización y operaciones de los buques se encuentran íntimamente relacionadas con las transferencias de personal (+7).

En general, en la industria se acepta que no existen medios seguros para el traslado de personal (Spouge et al., 2014). Para poner solución a esto, se está intentando diferentes soluciones como legislar al respecto, y tomar las medidas oportunas, como se alentar a los operadores, desarrolladores y fabricantes a ayudar a eliminar riesgos en medida de lo posible durante los procesos de transferencia.

La reducción del riesgo debería lograrse necesariamente por medio del desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías, así como la evolución y especialización de los procedimientos establecidos (Twigt, 2020). Pese a todo lo anterior, se ha de considerar que cualquier tipo de equipo que se encuentre en funcionamiento en alta mar incrementa sus riesgos de operación y mantenimiento. Esto se debe a los peligros inherentes asociados a estas tecnologías y la distancia a la que se encuentra a la costa, lo que los advoca a un mayor aislamiento y mayores tiempos de respuesta en caso de una emergencia.

La necesidad de eliminar estos riesgos en los procesos de transferencia se ve obstaculizada además por el hecho de que la industria eólica marina es aún un sector emergente (G+ Global Offshore Wind, 2020). Las innovaciones normativas, técnicas o de seguridad evolucionan y se implementan de manera continuada, requiriendo un largo plazo para su consolidación. Para paliar este problema, se requiere una actualización legislativa y protocolaria constante, así como la necesidad de proporcionar una mayor formación a los trabajadores para garantizar una zona de trabajo segura.

A medida que aumenta la necesidad de energía renovable y la industria eólica continúa su celérica expansión en el medio marino, contar con procesos de transferencia seguros se antoja vital en aras de prevenir incidentes y garantizar evacuaciones de emergencia adecuadas. A esto hay que añadir además, que cuanto mayor es la distancia a la que se encuentran los parques de la costa, mayor es la exposición del personal a ambientes ruidosos y perturbados por vibraciones durante los traslados (causando efectos negativos en los trabajadores, tales como mareos, aburrimiento y pérdida de concentración).

Conseguir unos métodos de transferencia eficientes, seguros y fiables, es tan importante como garantizar una accesibilidad adecuada en los parques eólicos marinos (Valdés, 2022). Hasta el

momento, no se ha establecido en la industria un método estándar de accesibilidad a las turbinas. Esta tasa de accesibilidad viene determinada principalmente por las condiciones climáticas presentes en la zona y la altura significativa de las olas, Hs (La altura significativa de ola se define como la altura media de ola, de valle a cresta, del tercio superior de las olas). Otros factores de peso en esta variable son los límites nominales de transferencia propios de cada sistema de acceso y las características del buque en el que están ensamblados. Se puede obtener una explicación más detallada en el anexo IV.

Para dar solución a esta problemática, han surgido en el mercado nuevos sistemas de acceso, como las pasarelas con compensación de movimiento (tipo Ampelmann o Uptime), que muestran que es viable reducir el riesgo de caídas y ahogamiento durante las trasferencias. Por otro lado, estos sistemas pueden aparejar nuevos tipos riesgos debidos a su propia naturaleza. Los informes de incidentes de estos dispositivos mencionan riesgos como el de aplastamiento entre piezas móviles, desprendimiento incontrolado de una pasarela o retracción de emergencia (UPTIME, 2023).

Teniendo en cuenta los motivos expuestos anteriormente, los profesionales que trabajan en el medio marino han de estar altamente cualificados, con unas capacidades psicofísicas adecuadas, y con la experiencia suficiente para poder llevar a cabo el correcto desempeño de sus funciones laborales en condiciones de seguridad. Cualquier fallo, error o despiste pueden acarrear graves consecuencias tanto para estos técnicos como para su entorno, ya que como se mencionaba con anterioridad, cualquier pequeño problema se magnifica en un medio tan hostil como el marino.

Una cultura basada en la seguridad, una buena concienciación, información precisa y la disponibilidad de todos los medios necesarios, son factores clave para garantizar la seguridad de estos profesionales. Una evaluación de riesgos adecuada, completa y específica, por ende, se antoja crucial para estos fines.

2.1 El parque eólico marino “WIKINGER”

El estudio que se realizará a continuación se desarrollará en el parque eólico marino “Wikinger”. Este parque eólico marino, está ubicado en el Mar Báltico (54°50'2,4"N - 14°4'4,47"E), en Alemania, y representa un hito en la generación de energía renovable. Este proyecto tiene la capacidad de producir 350 megavatios, suficientes para abastecer de energía a

aproximadamente 350,000 hogares, lo que se traduce en una significativa reducción de las emisiones de gases nocivos a la atmósfera (Iberdrola, 2019).

El parque se despliega en una extensión de unos 34 kilómetros cuadrados y alberga un total de 70 aerogeneradores modelo Areba M5000 con rotores de 135 metros de diámetro, cada uno con una potencia individual de 5 megavatios. Los soportes o TP de estos aerogeneradores se instalan a profundidades que oscilan entre los 37 y los 43 metros.

La ubicación estratégica en el Mar Báltico y la capacidad de generación de energía de Wikinger lo convierten en un activo valioso para la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Además de su impacto en la reducción de emisiones, este parque eólico marino contribuye al suministro de electricidad limpia y renovable, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles y avanzando hacia un futuro más respetuoso con el medio ambiente (Iberdrola, 2019).

La tecnología utilizada en Wikinger, con aerogeneradores de gran envergadura y la explotación de recursos eólicos marinos, refleja la innovación en el sector de las energías renovables, permitiendo un mayor aprovechamiento de la energía eólica en la región y allanando el camino hacia una matriz energética más sostenible y eficiente.



Ilustración 3 - Parque eólico marino Wikinger

3 OBJETIVOS

Con el presente trabajo se pretende realizar la identificación de los riesgos específicos a los que están expuestos los trabajadores del parque eólico marino “Wikinger” en los procesos de transferencia tras el cambio en el método utilizado para acceder a las turbinas. Se procederá posteriormente a la evaluación del riesgo pertinente de este nuevo sistema. Se pretende con esto, dar respuesta a la petición académica de desarrollo de un trabajo final, en la conclusión del máster de prevención de riesgos laborales.

El objetivo principal es, por tanto, identificar y evaluar los riesgos laborales presentes durante las transferencias de personal mediante el sistema de pasarela con compensación de movimiento activo (tipo UPTIME) de nueva implantación en el parque eólico de “Wikinger”. Se darán a conocer así, los riesgos específicos a los que se encuentran expuestos a los trabajadores del sector eólico marino durante las transferencias a este lugar de trabajo, con la finalidad tanto de adoptar las medidas preventivas para evitarlos, como de minimizar o controlar los riesgos que no han podido ser eliminados.

Esta evaluación de riesgos no ha de ser un fin en sí misma, solamente un medio para alcanzarla: controlar los riesgos para evitar daños a la salud derivados del trabajo (accidentes y enfermedades profesionales) ahorrando costos sociales y económicos.

Los objetivos específicos serán el analizar los nuevos equipos, condiciones de operación y procesos involucrados en las transferencias personal mediante este nuevo método, como introducir someramente en estas nuevas metodologías disponibles.

La presente evaluación de riesgos abarca los puestos de técnicos, ingenieros, inspectores y todo aquel personal involucrado en transferencias de personal para instalación, operación o mantenimiento de los parques eólicos marino de mediante el sistema de pasarela con compensación de movimiento activo (tipo UPTIME). Alcanza por tanto a todo el personal propio de las principales empresas contratistas, subcontratistas, así como cualquier otro personal ajeno o contratado que realice sus funciones laborales en dichas características.

4 ANTECEDENTES

El crecimiento de la demanda energética a nivel mundial es el resultado de una serie de factores que incluyen el crecimiento poblacional, el desarrollo económico, el desarrollo tecnológico industrial y la urbanización masiva entre otros. La gestión de esta creciente demanda es un desafío importante para garantizar un suministro de energía seguro y sostenible en el futuro. El agotamiento de las fuentes primarias de energía de origen fósil, las emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad de un consumo energético sostenible hacen necesario un cambio de modelo, con el uso preferente de las energías renovables (Fincias Anta, 2021).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o IPCC aproximadamente dos tercios de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero pueden atribuirse al CO₂ procedente de la combustión de combustibles fósiles y de los procesos industriales (IPCC, 2022). Por lo que una transición rápida y generalizada hacia las energías renovables será esencial para lograr los objetivos de reducción de las emisiones establecidos en el Acuerdo según la secretaria ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Lucas Garín, 2017).

Para 2030, la mayoría de las capacidades existentes a base de carbón llegarán al final de su vida útil técnica y podrán ser sustituidas por energías renovables modernas o de generación a partir de gas. Durante los pasos iniciales de esta transición, las turbinas eólicas y la generación hidroeléctrica son económicamente viables, debido a perfiles de generación más estables (Bogdanov et al., 2021) En segundo lugar, jugará también un papel crucial en la neutralidad climática, ya que al tratarse de una energía limpia fomentará el proceso de reducción de emisiones de carbono, en concreto, el dióxido de carbono (CO₂), a la atmosfera.

En concreto, la energía eólica marina es una fuente de energía limpia, que se obtiene al explotar la fuerza del viento que se genera en alta mar (Grasu & Liu, 2023). Es ahí, donde debido a la libertad total de barreras, la fuerza eólica alcanza su punto óptimo de mayor velocidad y constancia. La instalación en este medio permite implantar un mayor número de turbinas, ya que no existen las limitaciones de espacio, así como modelos mucho más grandes y potentes. Pueden erigirse turbinas que exploten el recurso eólico con la mayor eficiencia posible a alturas de buje relativamente bajas, en comparación con sus homólogas de tierra, ya que como se comentaba antes, no existen barreras orográficas que perturben el discurrir del viento.

La energía eólica marina es una fuente relativamente moderna, con una inversión récord en 2021 de 26.000 millones de euros, dotando la tecnología offshore de mayor confianza en el mercado energético (Renewable energy magazine, 2021). La instalación de parques eólicos ha crecido una media de 12 GW/año durante la última década (Urzainqui, 2016).

La Comisión Europea presentó en 2020 la Estrategia de Energías Renovables en el Mar (ORES) creando un marco normativo para el desarrollo de la tecnología offshore fijando un objetivo de 300 GW en 2050 para la UE. Europa dispone en la actualidad de 205 GW de capacidad de energía eólica; 181 GW son eólica terrestre y 23 GW eólica marina. Esto representa aproximadamente el 30,5% de la energía eólica terrestre mundial y el 74,5 % de la capacidad eólica marina mundial (Pueyo Rufas, 2021).

Entre los grandes proyectos eólicos europeos offshore están involucrados países como Países Bajos, liderando con la instalación de 1493 MW. Bélgica instaló 706 MW, Reino Unido 706 MW y Alemania 219 MW. Polonia aprobó en 2020 la Ley de Energía Eólica Marina aspirando a construir parques marinos con capacidad de hasta 28 GW. También hay países como España, Grecia, Irlanda, Estonia, Letonia y Lituania que están en vías de desarrollo de proyectos viables debido a un gran avance en el sector en profundidades medias (Fincias Anta, 2021).

En la actualidad los planes estimados para 2030, suponen que la energía eólica podría alcanzar los 400 GW en 2030: 290 GW en tierra y 110GW en alta mar. Esto supone un aumento del 65% en capacidad eólica terrestre y un aumento de casi el 500% en offshore. La estimación de la producción es de 954 TWh de electricidad, que cubrirán el 30% de la demanda de energía de Europa (Espinosa Grandmontagne, 2022).

Los costos de instalación de parques eólicos marinos pueden variar significativamente según varios factores, incluida la ubicación, el tamaño del proyecto, las condiciones del emplazamiento, la tecnología utilizada y los costos asociados con la infraestructura submarina. Como se puede apreciar en la ilustración 4, diferencia de escala y el desarrollo tecnológico en las turbinas diseñadas para el marino es significativa. Los costos asociados a operación y mantenimiento (O&M) de estos parques eólicos, son también abultados, y suelen representar una parte de entre el 20 y el 30 %, del costo final de la energía (Wilding López, 2019). Una parte importante de estos costos reside en las transferencias de personal, tanto en instalación como en operación y mantenimiento, ya que involucran medios de alto coste como buques o aeronaves. Además, estas transferencias se realizan en la mayoría de los casos con carácter diario, numerosas veces y en múltiples lugares.

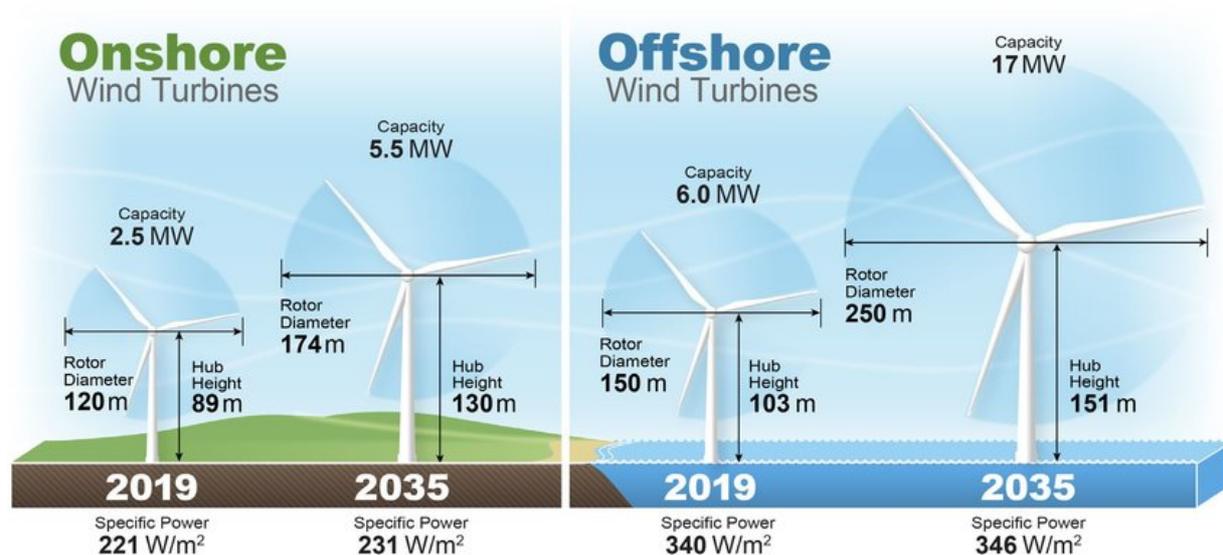


Ilustración 4 - Aumento pronosticado del tamaño de las turbinas (Wiser et al., 2021)

Teniendo estos datos en cuenta, es fácilmente entendible, que la prevención de riesgos laborales vinculada al traslado del personal en el medio marino está adquiriendo gran relevancia en la actualidad por diversas razones. Las restricciones de accesibilidad resultantes de condiciones climáticas severas impiden la transferencia de técnicos a los lugares de instalación o a las turbinas que necesitan ser mantenidas u operadas, generando grandes costos económicos, temporales y sociales (en el Anexo IV se desarrolla la accesibilidad y eficiencia de estos sistemas).

Por tanto, una adecuada evaluación de riesgos en las transferencias de personal es de vital importancia, ya que: garantiza la seguridad y la eficiencia de las operaciones en estos entornos marinos desafiantes, mejora la reducción de accidentes, el cumplimiento normativo, promueve la mejora continua, el aumento de la eficiencia (tanto de la maquinaria involucrada como de los trabajadores), mejora confianza del personal y aumenta su motivación.

Para finalizar, cabe destacar que los antecedentes de la prevención de riesgos en el sector de la energía eólica marina offshore se han desarrollado a lo largo del tiempo a medida que la industria ha evolucionado. Esta se ha nutrido de la experiencia de la industria petrolera (Oil & Gas Uk Board, 2013), ya que esta ha sido una de las pioneras en operaciones marinas en alta mar. Muchos de los procedimientos de seguridad y protocolos de prevención de riesgos

utilizados en la energía eólica marina se inspiraron en la experiencia acumulada por la industria petrolera en términos de seguridad en alta mar (Sanchez Banegas, 2016).

Además, se fundamentó en la experiencia adquirida a lo largo del tiempo en el propio sector eólico, la regulación gubernamental y organismos internacionales, que establecen estándares de seguridad que las empresas deben seguir (Álvarez, 2015). También de la innovación en equipos de seguridad, que a medida que la industria ha crecido, han desarrollado equipos más especializados: trajes de supervivencia, chalecos salvavidas con sistemas de inflado automático o sistemas de anclaje seguro, para proteger a los trabajadores en las transferencias entre embarcaciones y las turbinas.

5 ALCANCE DEL INFORME

En esta sección se describen los límites establecidos para este proyecto. Dentro del proyecto sólo se analiza el traslado de personal desde la embarcación operativa a las turbinas eólicas marinas, no teniendo en cuenta el acceso a otras instalaciones marinas, como subestaciones marinas. La extensión de este documento cubre la transferencia del personal mediante el uso de sistemas “walk to work” o plataformas de posicionamiento dinámico activo. El anterior método “bump & jump”, al ya estar totalmente evaluado y no encontrarse en los objetivos de este documento, queda fuera del alcance de este trabajo (mas es referenciado para establecer las pertinentes comparativas con el nuevo método).

Otros métodos de acceso complementarios al estudiado, como el “Sliding Access”, “Double hook” o acceso mediante helicópteros, debido a su complejidad o extensión documental necesaria para su correcta exposición, quedan también fuera del alcance de este trabajo. Los riesgos relacionados con el tránsito marítimo (como los contemplados en el Reglamento Internacional para prevenir los abordajes o RIPA) o el trabajo realizado en alta mar quedan excluidos del presente escrito.

Los estudios de caso dentro de los anexos de este trabajo se limitan geográficamente a los parques eólicos instalados en el mar del Norte y el mar Báltico, donde se concentran por el momento la mayor parte de estos a nivel mundial (solo se ha tenido acceso a los datos referidos a esta región).

6 METODOLOGÍA

La evaluación de riesgos es un proceso vivo mediante el cual se obtiene la información necesaria para que las empresas estén en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre cómo y con que medios proteger adecuadamente a sus trabajadores (INSST, 2000), brindando además la oportunidad de evaluar el funcionamiento de los nuevos sistemas y posibilitando la adopción de adecuadas acciones preventivas.

La metodología de evaluación habitual en las empresas a nivel nacional es la obtenida a partir de las indicaciones establecidas en diferentes normas y documentos como son:

- La Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- El R.D. 39/ 1997 por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Documentos técnicos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Documentos de integración para la implantación y desarrollo de la prevención de riesgos laborales en las empresas de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social.

En el sector de la energía eólica marina dada su naturaleza y condiciones especiales, la metodología de evaluación de riesgos difiere levemente. Como se apreciaba con anterioridad, el sector se desarrolla en base a grandes organizaciones internacionales, que, trabando en consonancia para alcanzar una armonización de criterios a nivel mundial, se dejan guiar o dictan sus propias metodologías de trabajo (G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation, 2019). Se ha de tener en cuenta que este sector no cuenta con un gran largo bagaje, ya que aún se está consolidado y por tanto se encuentra en desarrollo activo.

La praxis en este sector para realizar las evaluaciones de riesgos se basa en una combinación del sistema inglés con influencias de otros países europeos, ya que el primero se encuentra a la vanguardia en este campo debido a sus elevados niveles de eficiencia y fiabilidad. La metodología de evaluación escogida pues, y con la que se desarrollará en este trabajo, es la propia de este sector (Liu et al., 2021).

El método se basa en los siguientes procedimientos, como puede percibirse de una forma más visual en la ilustración 5:

- Determinar la accesibilidad y eficiencia de los sistemas de acceso mediante estudios de casos.
- Identificar eventos peligrosos y consecuencias relacionadas con el proceso de transferencia.
- Visualizar los peligros y consecuencias identificados, incluyendo las “barreras” preventivas y mitigantes, utilizando un análisis “BowTie”. Estas “barreras” se obtienen de los estándares del sector y en base a las guías sobre buenas prácticas publicadas.
- Realizar un análisis de riesgo cuantitativo (QRA) utilizando un análisis de árbol de eventos (ETA), en donde el análisis BowTie servirá como origen de datos.
- Evaluar los riesgos para el método de transferencia propuesto.
- Evaluar el Riesgo Individual Anual (IRPA) para este método.
- Comparar los métodos antecedentes
- Obtener conclusiones
- Proponer recomendaciones para trabajos futuros.

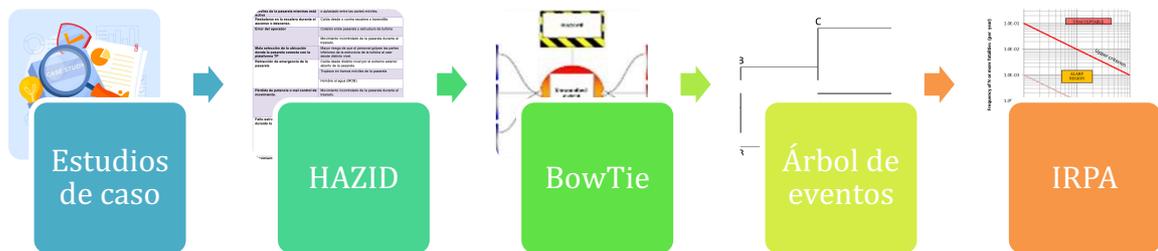


Ilustración 5 - Etapas del proceso de evaluación

6.1 Estudios de caso

Los estudios de caso desempeñan un papel crucial en la evaluación de riesgos laborales, ya que proporcionan una valiosa herramienta para comprender y abordar los peligros y riesgos específicos a los que se enfrentan los trabajadores en diversos entornos laborales. Estos, permiten la identificación de situaciones reales en las que se han producido incidentes, accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo. Estas situaciones brindan una visión detallada de los factores que contribuyeron a tales incidentes, lo que a su vez ayuda a los profesionales de la prevención de riesgos laborales a identificar patrones, tendencias y áreas críticas que requieren intervención.

6.2 Identificación de peligros HAZID

El método HAZID (HAZard IDentification) es un estudio formal para la identificación de peligros y riesgos, los controles requeridos en una operación o instalación, y la evaluación de la aceptabilidad de dichos riesgos utilizando métodos tanto cualitativos como cuantitativos (Ramírez-Agudelo et al., 2021). Este método consta de una lluvia de ideas o “Brainstorming”, que se utiliza para identificar todas las amenazas y eventos peligrosos que pueden provocar daños durante una actividad o proceso. Para ello se han de consultar informes de incidencias, guías de buenas prácticas, especificaciones de sistemas y evaluaciones de riesgos operacionales.

6.3 Análisis BowTie

6.3.1 Metodología básica

Un análisis BowTie es un método estructurado y cronológico para visualizar amenazas y consecuencias de un evento no deseado. El BowTie se basa en un diagrama que permite visualizar el riesgo presente en una sola facilitando en gran medida su visualización y entendimiento. El diagrama tiene la forma de una pajarita, creando una clara distinción entre la gestión de riesgos proactiva (preventiva) y reactiva. En decir, este método proporciona una explicación sencilla y visual de un riesgo que de otro modo sería mucho más difícil de explicar. En la ilustración 6 de abajo se muestra un esquema de la estructura básica de BowTie.

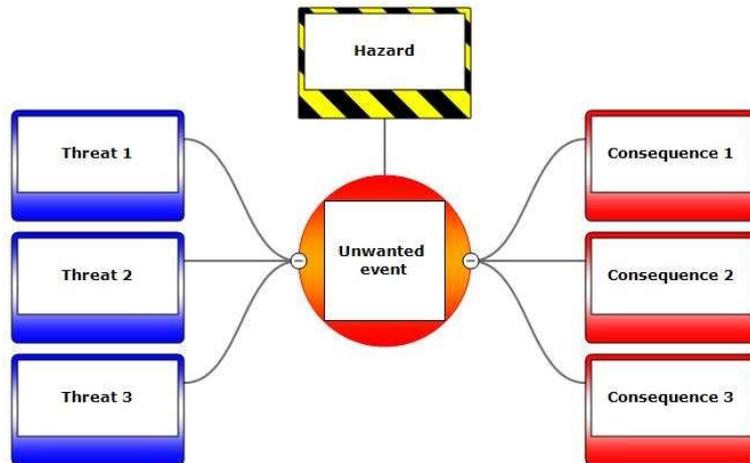


Ilustración 6 - Ejemplo del diagrama BowTie (Twigt, 2020)

El evento no deseado de la parte central suele corresponder a una pérdida de control sobre un proceso o actividad. El peligro es el proceso o actividad que hace posible que ocurra el evento no deseado. Una vez identificadas todas las amenazas y consecuencias, se procede a la técnica BowTie para identificar y analizar “barreras” necesarias para evitar una pérdida de control con resultados negativos, así como también las “barreras” oportunas con el fin de mitigar sus consecuencias. Los factores en escalada resaltan las posibles debilidades de las barreras preventivas o mitigadoras. En la ilustración 7 se muestra la estructura de BowTie, incluidas las barreras y los factores en escalada (Twigt, 2020).

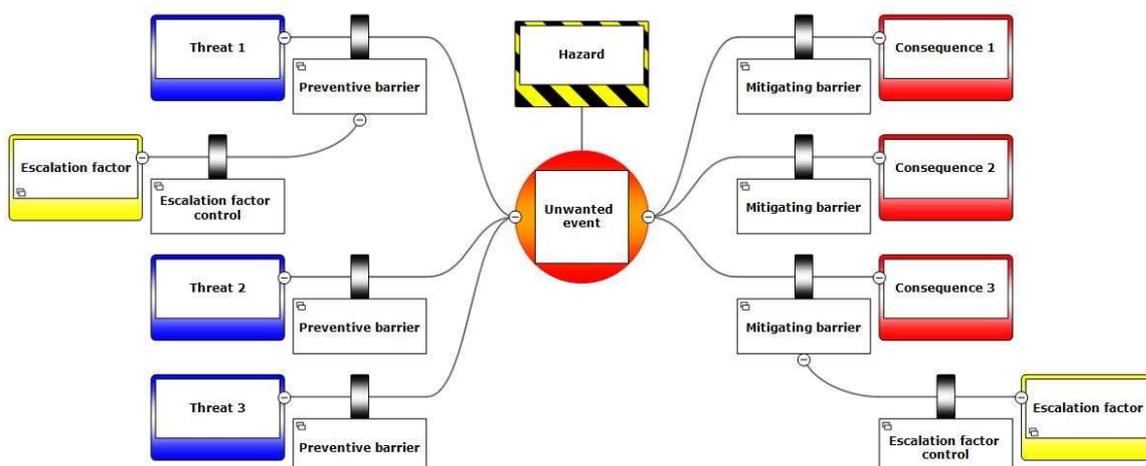


Ilustración 7 - Ejemplo del diagrama BowTie incluyendo barreras preventivas (Twigt, 2020)

El diagrama BowTie muestra visualmente cómo se gestionan los peligros para que se pueda comprender el riesgo y se puedan identificar las debilidades. Esto permite la toma de decisiones adecuada y una mejora en la gestión de riesgos.

6.3.2 Presentación de la información

En la sección anterior se explica la estructura básica de un BowTie, sin embargo, para su correcta comprensión sería conveniente una explicación más detallada. Cada unidad analizada se debe detallar en el diagrama como aparece en la ilustración 8, referenciando en su parte superior al tipo de barrera preventiva y en su parte baja indicando el concepto del ítem.

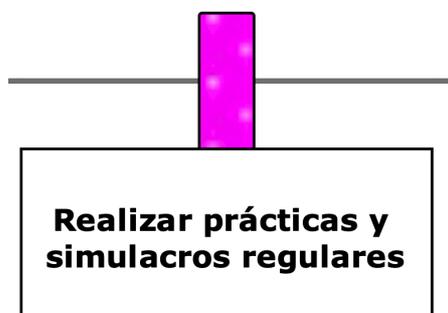


Ilustración 8 – Ejemplo de la unidad estructural del BowTie

En la tabla 1 se especifican los cuatro tipos de barrera preventivas, su color asignado y una descripción somera.

Color	Tipo de barrera	Descripción
	Ingeniería	Barreras que son características implícitas del diseño estructural, implican modificaciones mecánicas de los elementos o propias del sistema,

	Factor humano	Barreras directamente relacionadas con la competencia del personal para ejecutar sus tareas y su comportamiento.
	Organizacional	Barreras directamente relacionadas con la organización y sistema de trabajo.
	Procedimental	Las barreras procedimentales son las dadas por la aplicación de protocolos, procedimientos operativos, inspecciones, mantenimiento o chequeos periódicos y/ o de selección de los EPI.

Tabla 1 - Tabla explicativa de las barreras preventivas

6.4 Análisis por árbol de eventos

Partiendo del análisis del árbol de decisiones, el análisis de árbol de eventos se erige como un método incidental de discernir las posibilidades y resultados de manera secuencial. Este enfoque emplea un esquema gráfico denominado "árbol de eventos" para exponer la conexión lógica entre posibles incidentes y las posibles causas subyacentes. Se utiliza un análisis de árbol de eventos (ETA) para estudiar las amenazas provistas por el diagrama BowTie y determinar el índice de sus consecuencias. A través de un examen tanto cualitativo como cuantitativo del árbol de eventos, se pueden identificar las causas primordiales de los incidentes y brindar soluciones confiables para alcanzar el propósito de evitar y prevenir accidentes (Twigt, 2020).

Cada etapa del árbol de eventos plantea una pregunta que, por lo general, se responde con un "sí" o un "no", lo que genera dos posibles ramificaciones. A medida que se generan más etapas, el árbol de eventos se vuelve más extenso y ofrece una mayor cantidad de resultados posibles. Para visualizar esto, se presenta en la ilustración 9 un ejemplo que muestra dos pasos del evento y con tres resultados diferentes (Twigt, 2020):

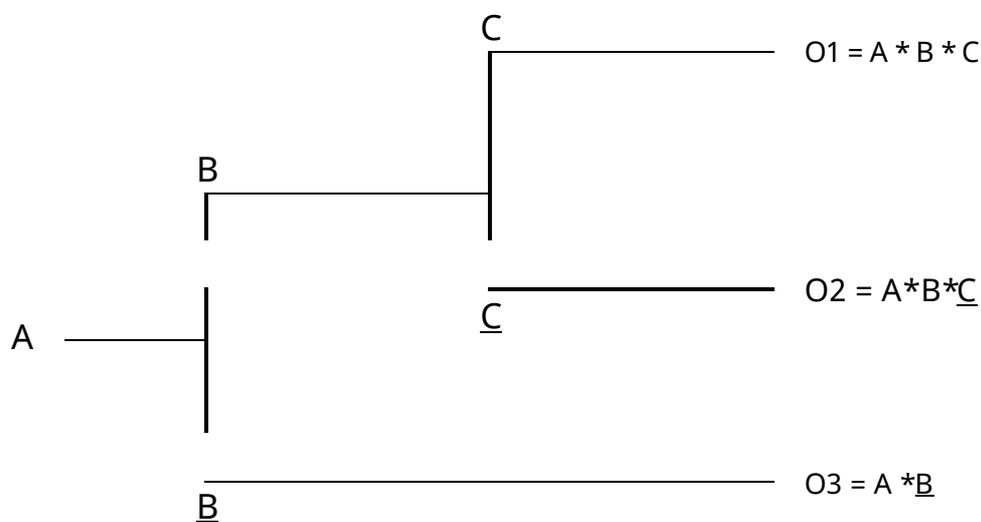


Ilustración 9 - Ejemplo de un análisis por árbol de eventos (Twig, 2020)

Es habitual en la práctica organizar los pasos del evento de tal manera que las respuestas afirmativas se encuentren arriba y las negativas abajo, lo que facilita la legibilidad del árbol de eventos. Cuando existen numerosos pasos y resultados posibles de un evento, si la mayoría son muy similares, suele ser común agrupar estos diferentes resultados y luego continuar con un análisis de riesgos más detallado.

Los árboles se han de clasificar, además, según la gravedad de sus resultados. Estos, se asignan de forma cualitativa en función del tipo de lesiones que podrían sufrir a un trabajador. Los tipos de lesiones se dividen en los siguientes:

- "Ninguno", lo que significa que se ha realizado una transferencia exitosa o a se ha conseguido un aterrizaje/recuperación segura después de un error.
- "Leve", es decir, un impacto o caída con consecuencias leves.
- "Grave", lo que implica una lesión significativa debido a un impacto o caída.
- "Fatal", lo que significa que no se logra la recuperación en caso de una caída al mar (MOB).

Los ETA finalizados analizan el riesgo asociado a las transferencias y proporcionan una visión general probabilística de que una persona que realiza una transferencia pueda sufrir cualquiera de una de las lesiones citadas.

Mediante el uso generalizado y el análisis de los ETA, sería posible determinar el riesgo global de muerte asociado a cada uno de los métodos de transferencia existentes, así como otros datos de relevancia. Como se hacía mención anteriormente, al estar este sector aún en desarrollo, no existen valores de referencia apropiados. Por el momento los valores empleados son los obtenidos de industria ferroviaria, que se encuentran en la tabla 2, mostrada a continuación (Montes Vázquez, 2013):

Tipo de lesión	Descripción	Ponderación	Relación
Leve	Lesiones físicas sin implicaciones graves, los primeros auxilios son suficientes.	0.0001	1000
Grave	Esto incluye pérdida del conocimiento, fracturas, dislocaciones importantes, pérdida de la vista y otras lesiones que requieran asistencia hospitalaria durante más de 24 horas.	0.01	10
Fatal	La muerte ocurre dentro del año siguiente al accidente.	0,1	1

Tabla 2 - Valores ETA obtenidos de industria ferroviaria

6.5 Evaluación de riesgos IRPA

El Individual risk per annum (IRPA) es el índice que muestra el riesgo de fatalidad que experimenta una persona de forma individual en un periodo temporal determinado. Este índice de riesgo varía en función del tiempo que una persona permanece en cada área, así como la vulnerabilidad que tiene a los efectos de los posibles contextos que puedan ocurrir en cada área. Normalmente se utiliza para cuantificar el riesgo asociado a fatalidades y es expresado en fatalidades por año (Seattone, 2017). Los peligros o actividades específicas pueden ser indicadas mediante un subíndice, IRPAa. Multiplicar el riesgo general de muerte por transferencia por un número postulado de transferencias por año permite calcular el riesgo individual por año (IRPA), como se puede observar en la ecuación de la ilustración 10.

$$IRPA_k = \theta_k \cdot \sum_i \sum_j P_{ubicacion,i,k} \cdot (f_{evento,j} \cdot P_{fatalidad,i,j} \cdot P_{ambiente,j} \cdot P_{direccion,i,j})$$

Ilustración 10 - Ecuación de cálculo del IRPA (Seattone, 2017)

En general, los valores para un IRPA eólico como puede verse en la ilustración 11 en el sector marino se consideran:

- Inaceptable, si es superior a 1×10^{-3} ,
- Tolerable, si está entre 1×10^{-3} y 1×10^{-6} ,
- Aceptable, si está por debajo de 10^{-6} .

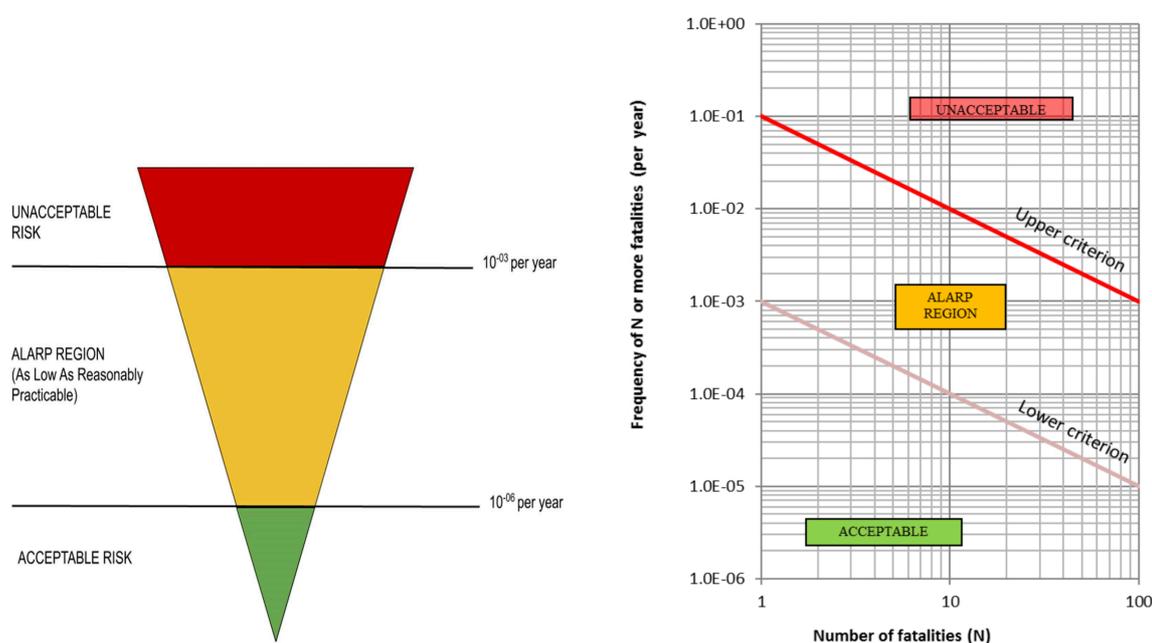


Ilustración 11 - Criterio de riesgo individual y societal (Seattone, 2017)

6.6 Criterios de evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos será desarrollada teniendo en cuenta las siguientes consideraciones y criterios:

- Se evaluarán los riesgos para del proceso de transferencia, con la carga habitual de trabajo y con la celeridad habitual del mismo, considerando el personal suficientemente formado para este cometido.

- Se considerará por transferencia con el conjunto total de personas que componen cada uno de los grupos de trabajo.
- El personal involucrado en el proceso cuenta con la experiencia y capacidad suficiente.
- La valoración de los diferentes riesgos ha sido estimada en el momento de la evaluación según los datos recogidos en campo y a las experiencias anteriores de los técnicos.
- Atendiendo a posiciones o situaciones análogas de otros sectores relacionados.

La valoración de los diferentes riesgos se estima en base a situaciones de trabajo habituales y condiciones normales, teniendo en cuenta aquellas alteraciones previsibles que se dan con relativa frecuencia debido a fallos o deficiencias de las situaciones normales (INSST, 2022).

En la enumeración de las situaciones evaluadas no se ha tenido en cuenta los medios o equipos ajenos que puedan utilizarse en situaciones específicas. En estos casos la empresa (Iberdrola) deberá facilitar una Evaluación de Riesgos específica.

Debido a su complejidad, a la imposibilidad de realizar un análisis directo con otros medios y a la limitación temporal, no se contemplan en el apartado siguiente situaciones tales como:

- Riesgos excepcionales no previsibles que puedan producirse debido a paradas de emergencia, averías, etc.
- Riesgos producidos como consecuencia de la imprudencia o conductas temerarias del trabajador.
- Todos aquellos riesgos que no se hayan podido observar en la toma de datos.

La evaluación de riesgos, como proceso continuo, necesita ser actualizada cuando se vea afectados por alguna de las siguientes situaciones o se presentan determinadas circunstancias, como son (INSST, 2000):

- Adopción de medidas correctoras.
- Cambios en las condiciones de trabajo
- Elección de equipos de trabajo, sustancias o preparados químicos, introducción de nuevas tecnologías o modificación en el acondicionamiento de los lugares de trabajo, como es el caso.
- Incorporación de un trabajador cuyas características personales o particular estado médico lo hagan especialmente sensible a las condiciones de trabajo.
- Modificación de los criterios de evaluación.

- Requerimiento de la Autoridad Laboral.
- Resultados de las investigaciones de accidentes o enfermedades profesionales.
- Resultados de los controles ambientales periódicos.
- Vencimiento de la periodicidad establecida entre la empresa y los representantes de los trabajadores.

Con los resultados obtenidos de la evaluación de riesgo realizada se tendrá una base para:

- Adecuarse a lo establecido en la legislación vigente.
- Identificar las situaciones de riesgo.
- Planificar actividades preventivas y de mejora, estableciendo las bases de un plan preventivo.
- Formar e informar a los trabajadores sobre los riesgos existentes en su puesto de trabajo.

7 EVALUACIÓN DE RIESGOS

El caso que nos ocupa para este estudio surge de la necesidad de continuar con las tareas de operación y mantenimiento en el parque eólico Wikinger, más allá de las campañas estivales planeadas.

Debido a la climatología adversa presente durante el verano de 2023, los retrasos imprevistos, y problemas mecánicos de los CTV, se antojaba necesario el continuar con las campañas de mantenimiento que fueron postpuestas y eran de acuciente apremio para que las turbinas siguieran en funcionamiento. Para dar solución a este problema, se han decidido continuar trabajando durante el invierno, cuando las condiciones del mar son más adversas. La única vía para conseguir este objetivo es mediante el uso de un buque SOV, el “EDDA PASSAT”, más adecuado para este fin, que integra una pasarela activa del tipo Uptime 23.4m AMC Logistics System para realizar las transferencias.



Ilustración 12 – Edda Passat equipado con la plataforma Uptime 23.4m AMC y grúa SMST.

Por tanto, antes de iniciar estas tareas, se precisa de realizar una evaluación de este nuevo método transferencia, ya que difiere significativamente del método estándar de “Bump & Jump” (Los diferentes métodos son desarrollados en el Anexo III) realizado por los trabajadores a bordo de los CTVs.

Como paso antecedente, para que se pueda comenzar con el proceso de evaluación de riesgos, previamente la empresa a la que se le va a proceder a evaluar los riesgos deberá cumplir con la siguiente lista de requisitos (Prevencion, 2021):

- Cumplir los requisitos sobre consulta y participación de los trabajadores que indica la normativa de aplicación (Ley de Prevención y Reglamento de los Servicios de Prevención).
- Disponer de una relación de trabajadores por puesto de trabajo.
- Disponer de la documentación relativa a los trámites administrativos necesarios para el cumplimiento de la normativa relacionada con la seguridad industrial.
- Recopilar toda la documentación de prevención de riesgos laborales que se haya efectuado con anterioridad.
- Comunicar la existencia de trabajadores que: por sus características personales, estado biológico conocido o por tener reconocida una discapacidad, puedan ser especialmente sensibles a los riesgos derivados del trabajo.
- Disponer una relación de todos los productos químicos utilizados por puesto de trabajo, incluyendo además de las materias primas, los productos finales y los residuos generados; así mismo se deberá disponer de información acerca de dichos productos químicos (fichas de datos de seguridad o información equivalente en el caso de no disponer de las mismas).
- Disponer del listado y clasificación de agentes biológicos, en caso de actividades con intención deliberada de manipularlos o utilizarlos.
- Disponer de una relación de los Equipos de Protección Individual utilizados por puesto de trabajo, así como la documentación técnica de los mismos.
- Disponer de la relación de los equipos de trabajo y la documentación técnica de los mismos.
- Disponer de una relación de empresas, contratadas y subcontratadas con las que se mantienen contratos de prestación de obras o servicios y la actividad que desarrollan.
- Comunicar los puestos de trabajo en los que está previsto adscribir trabajadores de empresas de trabajo temporal.

- Disponer de la relación de daños a la salud producidos en los últimos 3 años.

Una vez se han cumplido estos requisitos se puede comenzar a evaluar los riesgos teniendo en cuenta tanto las condiciones como los riesgos laborales implícitos. En el caso que nos ocupa, y como se hacía alusión con anterioridad, se procede a evaluar el método de transferencia W2W compensada por movimiento activo a la plataforma TP, de reciente presentación por la empresa. A partir de ahora, se hará uso pues la metodología propia del sector aplicada al este caso particular.

7.1 Estudios de caso

La existencia de estudios de caso previos y casos análogos es de vital importancia para abordar este tema de manera efectiva. A lo largo de los años, se ha acumulado experiencia de otros emplazamientos que arrojan luz sobre los peligros específicos asociados con la transferencia de personal mediante sistemas W2W activos en otros parques eólicos y otras plataformas marinas.

Afortunadamente, se dispone de los datos relativos a los parques de Dantysk y Sandbank, en donde se utilizan embarcaciones tipo SOV, que cuentan con sistemas W2W activos para transferir personal. Si bien el modelo utilizado en esos casos difiere del presentado en este caso de estudio, ya que los primeros se tratan de los modelos A de Ampelmann y SMST TAB L, y el que nos ocupa es el Uptime 23.4m AMC Logistics System. Debido a la similitud de características ambos equipos, se puede visualizar que son casos análogos.



Ilustración 13 - Buque SOV “Normand fortress” equipado con SMST TAB L en el parque de Sandbank

Los casos análogos son esenciales, ya que permiten extrapolar lecciones aprendidas de un parque eólico marino a otro. A menudo, las condiciones geográficas y meteorológicas pueden ser similares en múltiples ubicaciones lo que implica que los riesgos y desafíos asociados con la transferencia de personal pueden ser comparables (véase el anexo IV). Los casos análogos ayudan a adaptar y aplicar las mejores prácticas y medidas de seguridad desarrolladas en un parque eólico a otro, reduciendo así la posibilidad de incidentes.

7.2 Identificación de riesgos

La segunda etapa en la evaluación de riesgos es la identificación de todos los eventos iniciales que pueden desencadenar situaciones peligrosas. Dado que no es posible prevenir o mitigar los efectos de algo que no se ha identificado previamente, es esencial llevar a cabo este proceso de manera minuciosa. En la industria de la eólica offshore, todas las

transferencias de personal en el mar, sin importar el método utilizado, deben tratarse como operaciones únicas e independientes, y requieren la realización de evaluaciones de riesgos previas.

Como se acaba de exponer, es importante prestar la debida atención y tomar las precauciones necesarias para evitar que esta tarea de evaluación se convierta en rutinaria (BUREAU VERITAS, 2017). Copiar y pegar una lista de peligros o amenazas de análisis previos o análogos no es suficiente, ya que podrían omitirse aspectos clave o características propias del proyecto de especial relevancia.

En este contexto, se llevó a cabo una Identificación de Peligros (HAZID) con el propósito de determinar los eventos peligrosos y sus posibles consecuencias relacionadas con el acceso y la salida de una turbina utilizando el método W2W en su variante activa. Los eventos peligrosos identificados y las consecuencias asociadas se derivan de informes de incidentes consultados, directrices o guías de buenas prácticas, especificaciones de los equipos, protocolos, operaciones del sistema, así como otras evaluaciones de riesgos previas (G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation, 2022).

Los resultados obtenidos por el procedimiento de análisis HAZID para el métodos expuesto se reflejan en las tabla 3 (Gerdes et al., 2005):

HAZID “W2W activo”	
Evento peligroso	Consecuencias
Tropiezo o caída cuando se encuentre en la cubierta del buque.	Caer o golpearse sobre la cubierta o barandillas.
Personal en cubierta cerca de partes móviles de la pasarela mientras está activa.	El personal en cubierta es golpeado por la pasarela o aplastado entre las partes móviles.
Resbalarse en la escalera durante el ascenso o descenso.	Caída desde o contra escalera o barandilla.
Error del operador	Colisión entre pasarela y estructura de turbina.
	Movimiento incontrolado de la pasarela durante el traslado.
Mala selección de la ubicación donde la pasarela conecta con la plataforma TP	Mayor riesgo de que el personal golpee las partes inferiores de la estructura de la turbina al caer desde distinto nivel.

Retracción de emergencia de la pasarela.	Caída desde distinto nivel por el extremo exterior abierto de la pasarela.
	Tropezo en tramos móviles de la pasarela.
	Hombre al agua (MOB).
Pérdida de potencia o mal control de movimiento.	Movimiento incontrolado de la pasarela durante el traslado.
	Pérdida de fijación de pasarela en la plataforma TP.
	Caer o golpearse con la pasarela.
Fallo estructural de la pasarela durante la transferencia.	Caída desde a diferente nivel.
	Caída desde la plataforma de transferencia del sistema W2W.
	Caer o golpearse con la pasarela.
	Hombre al agua (MOB).
Movimiento muy violento e impredecible de la embarcación.	Pérdida de fijación de pasarela en la plataforma TP.
	Movimiento incontrolado de la pasarela durante el traslado.
	Caer o golpearse con la pasarela.
	Hombre al agua (MOB).

Tabla 3 - Análisis HAZID del método W2W activo

7.3 Análisis de riesgos

La segunda etapa en la evaluación de riesgos la conforman las tareas de análisis de riesgos, detalladas a continuación:

7.3.1 Análisis BowTie

El propósito de un análisis de riesgos de este tipo es proporcionar una representación informativa de carácter muy visual de los riesgos presentes. Las amenazas y peligros

identificados en este estudio se han presentado en un diagrama BowTie para este método de transferencia. En el apéndice I, se encontrará la representación del diagrama BowTie, organizado por amenazas y consecuencias, junto con información sobre los factores de escalada y los controles relacionados con dichos factores.

En esta representación, la "pérdida de control" conforma el evento principal, ya que cada evento o amenaza peligroso identificado resulta en una forma de pérdida de control. En el diagrama BowTie presentado, las amenazas se listan en el lado izquierdo y las consecuencias en el lado derecho. Como parte del análisis de riesgos, se ha identificado y categorizado las barreras preventivas (en el lado izquierdo) y las barreras mitigantes (en el lado derecho) correspondientes, como se explicaba en apartados anteriores.

7.3.2 Análisis del árbol de eventos

A partir de la representación cualitativa de los riesgos asociados a este método de transferencia de personal mediante el diagrama BowTie desarrollado en el anexo I, se lleva a cabo un análisis de árbol de eventos (ETA) que incorpora las amenazas y consecuencias previamente identificadas en el apartado anterior. Como se decía, el objetivo del árbol de eventos es proporcionar una evaluación cuantitativa de la efectividad de las barreras en la reducción del riesgo, y en última instancia, calcular el riesgo residual individual para el trabajador en cada transferencia a una turbina eólica marina.

Los valores de probabilidad para realizar el análisis de riesgo cuantitativo (QRA) se han extraído de bibliografía especializada como el "Offshore Risk Assessment" vol 1 & 2 (J.-E. Vinnem, 2014), así como de la documentación de seguridad y salud del parque Wikinger. El resto de los datos de probabilidad restantes, han sido extraídos en campo y realizado estimaciones basadas en el mejor conocimiento disponible. Además, se ha hecho uso de los datos provenientes de la evaluación de riesgos "Offshore Wind Accelerator: Sliding Access Risk Assessment," (Beeson, 2019). Estos datos se han tratado mediante el software "Reliability Workbench" en su versión V.14.0, desarrollado por la empresa Isograph. El ETA y los valores del QRA obtenidos del método W2W en estudio se puede visualizar en el Anexo II. Los resultados principales se muestran en la tabla 4:

ETA “W2W activo”	
Paso	Descripción
Movimiento muy violento e impredecible de la embarcación. (fuera del sistema W2W).	<p>Debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Movimiento aleatorio e inesperado debido a las condiciones climáticas. • Fallo del sistema de propulsión del buque. • Fallo del sistema de posicionamiento dinámico del buque. <p>La probabilidad de ocurrencia se establece en 0.0003 suponiendo una operación en condiciones climáticas seguras.</p>
Pérdida de potencia o mal control de movimiento.	<p>En teoría y con un movimiento abrupto del buque es de 0,01, en la práctica, no podría compensarse adecuadamente.</p> <p>Sin movimientos abruptos, la probabilidad se estima en 0,00001 considerando el caso de una doble falla que resulte en inestabilidad.</p>
Pérdida de fijación de la pasarela en la plataforma TP.	<p>Debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El sistema W2W excede su rango de movimiento. - La pasarela trabaja en rangos incorrectos. - Un fallo múltiple: hidráulica, eléctrica, mecánica o de operación. <p>Con movimiento violento se tasa en 0,5. En condiciones óptimas es de un 0,00001.</p>
Retracción de emergencia de la pasarela.	<p>Debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema W2W excede su rango de movimiento. • La pasarela trabaja en rangos incorrectos. • Un fallo múltiple: hidráulica, eléctrica, mecánica o de operación. <p>Tiene una probabilidad de fallo de 0,001.</p>

Tropiezo o caída mientras se encuentra en la pasarela.	<p>Debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Movimiento aleatorio e inesperado debido a las condiciones climáticas excediendo el rango de movimiento del sistema W2W. • Una pérdida de fijación de la pasarela. • Tropezar con el escalón. <p>En el peor escenario, un movimiento violento del barco con pérdida de fijación de la pasarela y la imposibilidad de iniciar una retracción de emergencia, se supuso que era de un 0,5.</p>
Tropiezo o caída cuando se encuentre en la cubierta del buque.	La probabilidad asignada se fija en 0,01 en el caso de movimientos de embarcaciones impredecibles y violentos. Sin movimientos inesperados y violentos del barco, la probabilidad se estima en 0,00001.
Caída o recuperación.	<p>Este paso considera la probabilidad de una caída ya sea a la pasarela, al agua o a las partes inferiores de la estructura de la turbina.</p> <p>Tiene una probabilidad de fallo de 0,00001</p>
Impacto.	<p>En el proceso de caída, el trabajador puede impactar con:</p> <ul style="list-style-type: none"> - con partes del buque. - con el agua. - impacto con partes de la plataforma. <p>Golpe entre el trabajador y plataforma cuando esta se encuentra activa. La probabilidad se estima en 0,00002.</p>
Recuperación exitosa.	Referido al caso de "Hombre al agua" (MOB). Esta probabilidad se fija en 0,9999 de acuerdo con el estudio sobre acceso slider.

Tabla 4 - Análisis del árbol de eventos del método W2W activo

El ETA para este método se realizó bajo el supuesto de la plena implementación de las medidas del método BowTie en condiciones climáticas favorables. Teniendo en cuenta la gran cantidad de resultados, y a modo de clarificación, se han agrupado según la tabla 5 para favorecer su comprensión.

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

HAZID “W2W activo”	
Tipo de lesión	Total por transferencia
Leve	$2,61 \times 10^{-05}$
Grave	$4,01 \times 10^{-06}$
Fatal	$1,16 \times 10^{-08}$

Tabla 5 - Resultados finales del ETA del método W2W activo

No se encontraron diferencias significativas en el riesgo al que está expuesto un trabajador al acceder o salir una turbina eólica marina. A través de los datos, se pueden desglosar las variables más influyentes para cada tipo de lesión (J. E. Vinnem, 2014):

- Para lesiones leves: lesión por impacto resultante de una caída en la plataforma de transferencia o pasarela del sistema W2W.
- Para lesiones graves: una lesión por impacto importante resultante de una caída desde la plataforma de transferencia del sistema W2W al barco.
- Para las fatales: una caída desde la pasarela a partes inferiores de la estructura de la turbina como resultado de un movimiento violento de la embarcación, pérdida de fijación en la plataforma TP y retracción de emergencia.

Al ponderar las lesiones no fatales y resumirlas, se puede determinar el riesgo general de fatalidad por transferencia utilizando este sistema W2W, obteniéndose un valor de $2,59 \times 10^{-07}$. (Bresser, 2015).

Se puede comparar estos resultados con los obtenidos en método anterior, expuestos en el Anexo V.

7.4 Evaluación de riesgos IRPA

En la tabla 6 se muestran los resultados del cálculo del riesgo individual anual (IRPA), para este método de transferencia, así como los relativos al anterior método de “Bump & Jump”. De esta forma, se puede visualizar y comparar mejor ambas alternativas. Se ha asumido de manera conservadora que cada técnico realiza unas 400 transferencias por año, ya que por norma general, se trabaja en periodos de rotación de 15 días. (Udoh, 2021),

Método de transferencia	Ratio IRPA	Reducción del riesgo en comparación con el método "Bump & Jump"
Bump & Jump	$4,05 \times 10^{-04}$	0,00 %
Plataforma activa W2W	$6,31 \times 10^{-05}$	- 84,41 %

Tabla 6 - IRPA del método W2W activo

8 RESULTADOS

En este capítulo se presentan los hallazgos y las limitaciones del proyecto. En este trabajo se ha realizado una evaluación del sistema de Walk-to-Work (W2W) activo para acceder a la turbina, comparándolo con el método previo de acceso, conocido como "Bump & Jump".

Se encontró que el método "Bump & Jump" tiene accesibilidad más limitada, con un límite de transferencia segura de 1,5 metros, siendo más adecuado para su uso en los meses de verano. La incorporación del nuevo método de transferencia de personal mediante pasarela con compensación de movimiento permite transferencias seguras con hasta 3 metros de Hs, mejora la accesibilidad y facilita el acceso durante todo el año para los parques eólicos marinos.

En el análisis de identificación de peligros (HAZID) se concluyó que este método de transferencia conlleva principalmente las mismas consecuencias que el anterior, como el riesgo de caídas y ahogamiento. Las amenazas identificadas, como movimientos bruscos de las embarcaciones, son comunes a otros métodos, mientras que otras amenazas son inherentes a la operación y el diseño del método específico evaluado.

Se llevó a cabo también un análisis de árbol de eventos (ETA) y un análisis de riesgo cuantitativo (QRA) para evaluar de manera cuantitativa el riesgo al que se exponen los trabajadores durante la transferencia. En el caso de la transferencia activa W2W, se concluyó que las consecuencias más graves eran lesiones por impacto, resultantes de caídas desde la plataforma de transferencia del sistema W2W a la cubierta del barco. Esto está en oposición al anterior método anterior, donde consecuencias más significativas fueron lesiones por aplastamiento entre la embarcación y las barras del parachoques después de un salto del barco a la escalera en momento inapropiado o con mala mar, así como caídas desde una altura tras resbalones en las escaleras.

El análisis de árbol de eventos (ETA) realizado para el método de transferencia se basa en estimaciones conservadoras en relación con la bibliografía especializada debido a la falta de acceso a más datos reales sobre la tasa de fallos.

Al calcular el Riesgo Individual Anual (IRPA) para los diferentes métodos de transferencia, asumiendo de manera conservadora que un trabajador realiza 400 transferencias al año, se determinó que el método "Bump & Jump" anterior tiene mayor riesgo. En comparación, un

sistema W2W activo como el estudiado ofrece una reducción del riesgo del 84,41 % (similar al Uptime 23.4m AMC Logistics System o al Ampelmann tipo A).

En cuanto a la eficiencia, en el análisis desarrollado en los anexos se determinó que el método "Bump & Jump" era aproximadamente dos veces más rápido que los sistemas W2W activos. Esta diferencia se debe principalmente a las disparidades en la velocidad de navegación y la maniobrabilidad entre los buques utilizados, así como el tiempo usado para el despliegue de los dispositivos.

9 CONCLUSIONES

El ingreso o egreso de las plataformas de soporte de las turbinas eólicas marinas representan aproximadamente el 6,68% de todos los incidentes reportados en la industria en 2022. A medida que la industria continúa creciendo, es probable que la cantidad de incidentes aumente, lo que afianza la demanda de métodos de transferencia seguros y eficientes.

Las pasarelas con compensación de movimiento son sistemas complejos que presentan una amplia variedad de diseños y modos de funcionamiento. Siendo un método de transferencia relativamente nuevo, especialmente en la industria eólica marina, resulta desafiante obtener información detallada sobre su operación, capacidades y riesgos. A pesar de que las evaluaciones de riesgos son esenciales para los sistemas de acceso y las transferencias en el mar, rara vez se comparten públicamente.

Debido a la limitada colaboración y el intercambio de conocimientos entre los operadores e investigadores, las contribuciones a las evaluaciones de riesgos en la industria eólica marina a menudo se basan en la experiencia y conocimientos propios de cada HSE, o procedente de los propios trabajadores.

Por esta razón, los análisis de árboles de eventos (ETA) y los de riesgo cuantitativo (QRA) desarrollados para evaluar cuantitativamente el riesgo de sistemas W2W se centran en gran medida en el diseño y funcionamiento del sistema Uptime. Aunque pueden ser necesarias modificaciones en los pasos y probabilidades del árbol de eventos para representar con precisión otros sistemas W2W, este enfoque proporciona una base sólida para el análisis.

Los cálculos de los sistemas de acceso se evaluaron utilizando datos meteorológicos históricos provistos por Geostorm y MetOceanView (Gudemstad & Viddal, 2021) así como los extraídos en campo en el parque de Wikinger durante el presente año, lo que significa que los resultados proporcionan solo una aproximación a las condiciones generales, siendo bastante similares a otros parques eólicos marinos próximos.

Los datos sobre los procedimientos de transferencia se basan parcialmente en estimaciones, y pueden variar en la práctica debido a otros factores como las condiciones climáticas y el desempeño humano. Para obtener una representación más precisa de la eficacia de los sistemas de acceso, se requiere una investigación adicional. No obstante, los cálculos ofrecen

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikingen”.

una visión general de las transferencias de personal en varios casos de estudio y las sensibilidades asociadas.

10 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La realización del este trabajo de evaluación debe servir como punto de partida para la planificación de la actividad preventiva futura, tanto en lo que respecta a las posibles medidas preventivas a llevar a cabo, como a la realización de estudios específicos, con objeto de posibilitar la valoración de todos los riesgos o actualizarla periódicamente.

El proceso de redacción de este proyecto facilita el surgimiento de nuevas ideas para futuras líneas de investigación. Como ya se mencionó, resulta difícil encontrar trabajos relevantes sobre esta temática debido quizás, a que este sector sigue en pleno desarrollo.

Uno de los factores que no se ha incluido en el método de transferencia es el análisis de costos. Estos pueden ser costos relacionados con la compra, movilización y mantenimiento de sistemas de acceso que tendrían que obtenerse del fabricante. Además de esto, los sistemas de acceso pueden requerir capacitación adicional del personal o inducir costos adicionales por el fallo de un sistema de acceso bajo demanda, lo que resulta, por ejemplo, en un mayor tiempo de inactividad de las turbinas. Esta información puede resultar vital para las empresas a la hora de decidir qué sistema de acceso es el más adecuado para sus operaciones.

Otros puntos de estudio que podrían surgir del análisis podrían ser:

- **Sistemas de alerta temprana:** Desarrollar sistemas de alerta temprana que puedan prever condiciones climáticas extremas o situaciones de riesgo en las turbinas eólicas marinas antes de iniciar las transferencias, lo que permite una toma de decisiones más efectiva en tiempo real
- **Robótica y automatización de los sistemas de transferencia:** Explorar la aplicación de robots y sistemas automatizados para llevar a el despliegue de futuros y más avanzados sistemas de transferencia.
- **Diseño de turbinas con accesos más seguros para los trabajadores:** Investigar y diseñar o modificar los soportes de las turbinas eólicas con características de seguridad mejoradas, como sistemas de acceso más seguros, eficientes
- **Gestión de la fatiga:** Estudiar estrategias efectivas para gestionar la fatiga en trabajadores que realizan turnos en rotación y trabajan en condiciones adversas en alta mar.

- Sistemas de rescate avanzados: Investigar y desarrollar sistemas de rescate más efectivos y seguros para situaciones de emergencia en las transferencias a turbinas eólicas.
- Simulaciones de evacuación: Desarrollar simulaciones de evacuación para evaluar la capacidad de respuesta de los trabajadores en casos de emergencia y mejorar los procedimientos.
- Sistemas anticaídas avanzados: Investigar y desarrollar sistemas anticaídas más avanzados y efectivos que se adapten a las condiciones específicas de las turbinas eólicas marinas.
- Capacitación en respuesta a emergencias: Mejorar los programas de capacitación en respuesta a emergencias, incluyendo la formación en técnicas de rescate en condiciones marinas adversas.
- Evaluación de riesgos psicosociales: Estudiar los riesgos psicosociales asociados con el trabajo en parques eólicos marinos y desarrollar estrategias para abordarlos, ya que son clave en las causas de fallo humano en las transferencias.
- Comunicación en alta mar: Investigar tecnologías de comunicación más efectivas y seguras para trabajadores en alta mar y turbinas eólicas remotas.
- Análisis de accidentes de los sistemas de transferencias: Realizar análisis exhaustivos de accidentes, situaciones de riesgo para identificar lecciones aprendidas y mejorar las prácticas de seguridad.
- Optimización de los sistemas de retracción de las pasarelas W2W: Investigar y optimizar los sistemas de retracción de las plataformas W2W en caso de retracción de emergencia.

11 BIBLIOGRAFÍA

Para la realización de este trabajo se ha hecho uso de la siguiente bibliografía, referenciada en APA, en su séptima edición.

Álvarez, R. P. (2015). *Evaluación de riesgos de un parque eólico* . 1–22.

Ampelmann Operations. (2013). *Providing offshore Access in the Wind Industry*. November.

Bash, E. (2015). *Guidelines for Offshore Marine Operations*. *PhD Proposal*, 1.

Beeson, M. (2019). *Offshore Wind Accelerator: Sliding Access Risk Assessment*.

Bresser, G. (2015). *Improving the Stewart Platform Design of the Ampelmann System for Asymmetric Load Cases* G. Bresser.

BUREAU VERITAS. (2017). *Index on Applicable Risk Analysis for Marine and Offshore Guidance Note*. 33(December).

Energy Institute (Great Britain), & G+ Global Offshore Wind Health & Safety Association. (2018). *Good practice guideline. The safe management of small service vessels used in the offshore wind industry*. 103.

Espinosa Grandmontagne, C. (2022). *ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA EN ESPAÑA . PERSPECTIVAS DE FUTURO Y VIABILIDAD* . 1–150.

Experts, A. the. (2007). *Easy offshore access*. 100–102.

Fincias Anta, E. (2021). *MARINA EN ESPAÑA ¿ Oportunidad o conflicto ?*

G+ Global Offshore Wind. (2020). *Case study on reducing manual handling and ergonomics related incidents in the offshore wind industry*. 44(0).

G+ Global Offshore Wind. (2022). *G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation - Incident Data Report*. www.gplusoffshorewind.com

G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation. (2015). *Workshop report: Marine Transfer & Access Systems*.

G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation. (2019). *G+ Integrated Offshore Emergency Response (G+ IOER) Good practice guidelines for offshore renewable energy developments*. 3–90. <https://publishing.energyinst.org>.

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

- G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation. (2020). *Good practice guidelines G+ Offshore wind farm transfer*. 1–25. <https://publishing.energyinst.org>.
- G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation. (2021). *Good practice guidelines for safe helicopter operations in support of the global offshore wind industry Section B*. <https://publishing.energyinst.org>.
- G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation. (2022). *G + Floating offshore wind hazard identification (HAZID)*.
- G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation. (2023). *G + Safe by Design workshop : Floating Offshore Wind - Transfers , access and egress , and materials handling*.
- Gebruers, C. (2015). *Safety assessment of offshore O&M access with regard to human resources*. 1, 3–5.
- Gerdes, G., Albrecht, T., & Zeelenberg, S. (2005). *Case Study: European Offshore Wind Farms - A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms*. 158.
- Grasu, G., & Liu, P. (2023). Risk assessment of Floating Offshore Wind Turbine. *Energy Reports*, 9, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.11.147>
- Groenendijk, F. (2018). Review on Risk Assessment on Transit Co-Use of Offshore Wind Farms in Dutch Coastal Water. *Design & Consultancy for Natural and Built Assets, April 2018*.
- Gudemestad, O. T., & Viddal, S. (2021). *Safe procedures for personnel-transfer from a vessel to an offshore floating wind turbine*. 23.
- Hoffmann, P. (2022). *Risk Assessment Report Verified by Approved by*.
- Iberdrola. (2019). *Wikinger, el parque eólico marino que consolida a Alemania como un mercado estratégico*. <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-eolica-offshore/parque-eolico-marino-wikinger>.
- ICIMF. (2018). *Transfer of Personnel by Crane between Vessels*.
- IMCA. (2010). *Transfer of Personnel to and from Offshore Vessels. March*.
- IMCA. (2014). *Guidance on the Transfer of Personnel to and from Offshore Vessels and Structures. June, i–iii; 1–16*.
- INSST. (2000). Evaluación de Riesgos Laborales INSHT. *Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo*, 1–13.
- INSST. (2022). *Directrices básicas para la evaluación de riesgos laborales*.
-

-
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
- Katsouris, G. (2017). Offshore Wind Access 2017. *Offshore Wind Access Report, January*, 1–40. <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid:e8f05155-aa5a-4aad-a7ba-8bed2e9b08fe>
- Liu, B., Jin, W., Zhao, J., Zhang, Q., & An, W. (2021). Research on Risk Assessment Techniques of Offshore Wind Power Projects during Operation Period. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 766(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/766/1/012023>
- Lucas Garín, A. (2017). Novedades del sistema de protección internacional de cambio climático: El Acuerdo de París. *Estudios Internacionales (Santiago)*, 49(186), 137-167.
- Mancebo Gómez, J. (2022). *Plan de seguridad y salud, Proyecto parque eólico corral del molino I*.
- MarineLink. (2012, March 28). *OSBIT Power's MaXcess System Completes Offshore Trials*. <https://www.marinelink.com/news/completes-maxcess343439>.
- Meißner, M. (2020). *Offshore Wind Turbine cost scaling -A critical Assessment and theoretical Investigation* (pp. 161–183).
- Milligan, G., O', J., & Tipton, H. M. (2018). *A detailed ergonomic assessment of ladder climbing Key risks (short-and long-term) to technicians in the offshore wind industry*. www.gplusoffshorewind.com
- Montes Vázquez, S. (2013). *Prevención de riesgos laborales en una empresa del sector ferroviario*.
- Oil & Gas Uk Board. (2013). *MARINE TRANSFER Working together. June*.
- Prevencion, Q. (2021). *Manual de seguridad y salud laboral*. 1–44.
- Pueyo Rufas, C. (2021). Mejora de la incertidumbre en la evaluación de la producción de parques eólicos. *Universidad de Cantabria*, 1–132.
- Ramírez-Agudelo, O. H., Köpke, C., Guillouet, Y., Schäfer-Frey, J., Engler, E., Mielniczek, J., & Torres, F. S. (2021). An expert-driven probabilistic assessment of the safety and security of offshore wind farms. *Energies*, 14(17), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en14175465>
- Renewable energy magazine. (2021). *Europa invierte la cifra récord de 26.000 millones de euros en eólica marina*.
- Sanchez Banegas, D. (2016). *Parque eólico offshore "NGOR" en Dakar, Senegal*.
- Seattone, R. (2017). *Índices de Riesgo en la Industria de los Procesos*. 1–9.
-

- Seva Pérez, M. (2021). Diseño de un parque eólico offshore de 160 MW en el cabo de Trafalgar. *Zaguan.Unizar.Es*, 2021, 0–43. <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>
- Skobieł, B. (2023). The end of organisational resilience. *European Conference on Safety and Reliability (ESREL)*, 33, 2777–2786. <https://doi.org/10.3850/981-973-0000-00-0>
- SMST. (2023). *Telescopic Access Bridge range*. <https://www.smstequipment.com/projects/telescopic-access-bridge-range/>.
- Spouge, J., Strong, P., & Proctor, R. (2014). Risk of marine transfer of personnel offshore. *Dnv-GI, June*, 1–8.
- Twigt, N. (2020). *Access Systems for Offshore Wind Turbines*. January, 94.
- Udoh, F. (2021). *Risk-based Maintenance And Smart Maintenance Concept For Offshore Wind Turbine: A study of a reference wind turbine model*.
- UPTIME. (2023). *23.4m AMC Logistics System*. <https://uptime.no/23-4m-system/>.
- Urzaínqui, Z. (2016). *Implantación de un parque eólico offshore. Análisis técnico y viabilidad económica financiera*. 1–103. <http://zaguan.unizar.es>
- Valdés, G. (2022). *Producción de energía mediante Aerogeneradores en alta mar*.
- Vestas. (2021). *Global Minimum Contractor / Subcontractor HSE Requirements Global Minimum Contractor / Subcontractor HSE Requirements Contents*.
- Vinnem, J.-E. (2014). *Offshore Risk Assessment vol 1*. (Vol. 1). <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-5207-1%5Cnhttp://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-5213-2>
- Vinnem, J. E. (2014). *Offshore risk assessment. Volume 2, Principles, modelling and applications of QRA studies* (Vol. 2).
- Weigall, F. (2006). *Marine pilot transfers -- A preliminary investigation of options*. *ATSB Resea*(September), 1–53.
- Wilding López, D. M. (2019). Dimensionamiento de un parque eólico offshore flotante. *Zaguan.Unizar.Es*, 0–43. <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>
- Wiser, R., Rand, J., Seel, J., Beiter, P., Baker, E., Lantz, E., & Gilman, P. (2021). Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy costs by 2050. *Nature Energy*, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00810-z>

12 ANEXO I: Diagrama Bowtie

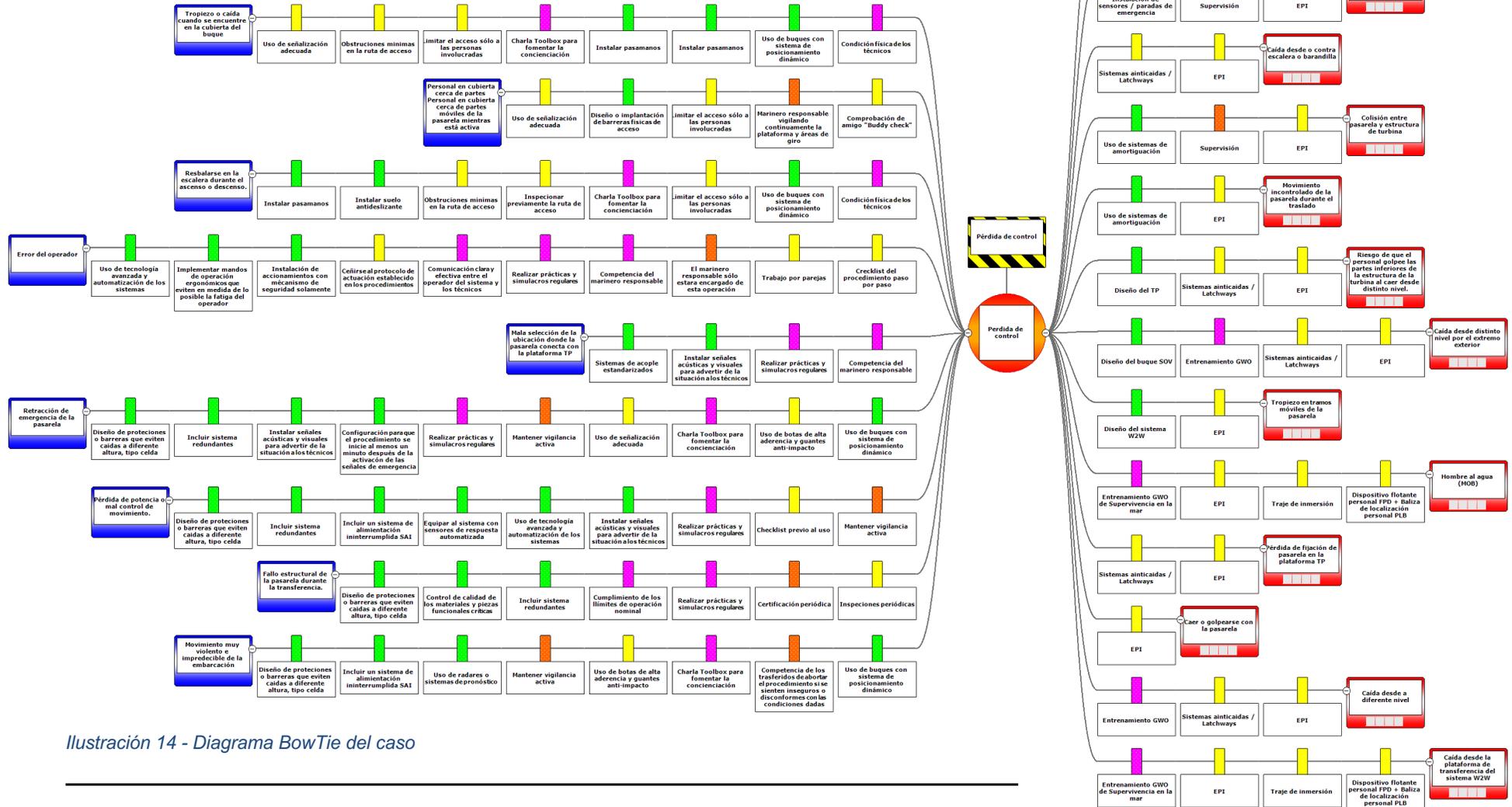


Ilustración 14 - Diagrama BowTie del caso

14 ANEXO III: LA TRANSFERENCIA DE PERSONAL EN EL MEDIO MARINO

14.1 Puntos de acceso a los aerogeneradores

Existen tres vías de acceso principales para acceder a la turbina eólica marina. El primer punto de acceso y el más utilizado es el embarcadero o “Boat landing”. Este se encuentra al nivel del mar, y es desde donde los técnicos suben dos escaleras para llegar a la plataforma principal ubicada en la parte superior, denominada TP (Transition piece). El segundo punto de acceso es esta plataforma o TP, ubicado aproximadamente a 15-20 metros sobre el nivel del mar. El último punto de acceso es la plataforma del helipuerto, ubicada en la parte trasera de la Nacelle (parte superior del aerogenerador). A esta, se accede mediante un helicóptero, desde donde pueden descender los técnicos hasta la plataforma en caso necesario. En la ilustración 16 se detallan las partes citadas.



Ilustración 16 - Puntos de acceso de los aerogeneradores

14.2 Método "Bump & Jump"

El acceso mediante el embarcadero (boarding) se realiza mediante una embarcación de transferencia de tripulación (generalmente un Crew Transfer Vessel o CTV) o una embarcación auxiliar, la cual dispone de una proa especialmente adaptada al propósito de atraque las estructuras de soporte de las turbinas, ya sean fijadas al lecho marino o flotantes (G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation, 2015).

En este procedimiento, la proa del barco empuja contra el embarcadero (Pushing) garantizando la continuidad estructural para que los técnicos puedan trasladarse del barco a la escalera de desembarco. Este método es, con diferencia, el método más utilizado para acceder a las instalaciones de parques eólicos marinos a nivel mundial. Se denomina usualmente “BUmp & Jump”. La ilustración 17 muestra la pieza de transición y la estructura de embarcadero de una turbina eólica marina.

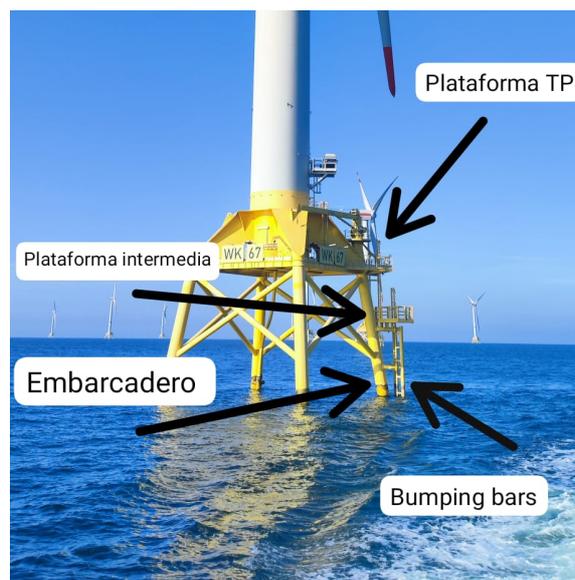


Ilustración 17 - Partes principales de la estructura de fijación

Durante la práctica de este método se requiere que el personal pase desde el CTV o la embarcación secundaria hasta la escalera de embarque.

Cuando el buque se encuentra correctamente posicionado y empujando, existe un espacio máximo de 650 mm entre los elementos de transición (defensas de proa y la escalera de acceso), dotadas de un espacio mínimo de seguridad de 500 mm, como se aprecia en la vista

de la ilustración 18 (Milligan et al., 2018). La razón para proporcionar este hueco es que se debe garantizar un espacio de seguridad para minimizar la posibilidad de aplastar al personal entre la defensa del barco y los peldaños de la escalera (G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation, 2020).

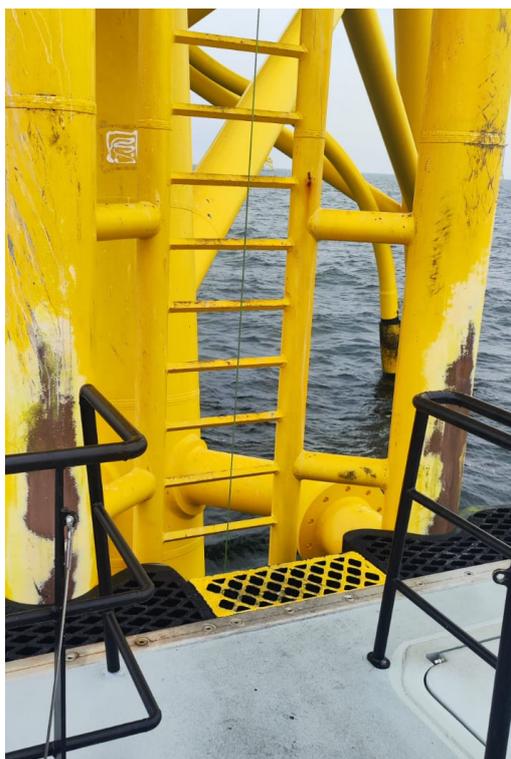


Ilustración 18 - Pushing del CTV "Cos Mate" en el Boat landing

14.2.1 Procedimiento del método Bump & Jump

A continuación, se detalla una descripción de proceso y requisitos para la práctica de este método. Como se aprecia en ilustración 19, se dispone de dispositivos de línea de vida autorretráctil, denominadas "yoyo" o Latchways (SRL), de los que se hace uso cuando los operarios proceden a ascender o descender por la escalera. Estos sistemas se encuentran ubicados en la parte superior de la escalera, trabajando de forma pasiva.



Ilustración 19 - Escalera con Latchway incorporado

El procedimiento para el acceso a la plataforma o embarque será:

- a. Una vez llegados a la plataforma en cuestión, el buque o embarcación procede al proceso de aproximación y posicionamiento adecuado (pushing). Durante este proceso, los operarios deben permanecer en sus posiciones asignadas (generalmente asientos dotados de cinturones de seguridad). Durante este paso, el buque golpea bruscamente contra las defensas de la plataforma, hasta que se hace firme.
- b. Una vez finaliza el procedimiento anterior, se indica a los operarios que pueden proceder a colocarse los EPI correspondientes (de forma usual, mediante una luz de color verde que indica que es seguro proceder, o por las indicaciones del marinero de responsable).
- c. Los operarios revisan y se colocan los equipos de protección individual. Además, se verifica su correcta colocación mediante el uso de controles por parte de otros compañeros (Peer check). Los EPI usuales son: arnés, doble gancho con absorbedor, rana tipo FROG (slider), chaleco salvavidas autoinflable tipo yugo de 275N, baliza PNB, así como casco, guantes, ropa de alta visibilidad de manga larga, botas de seguridad...etc. Cuando la temperatura

del agua es inferior a 17º, se hace también uso del traje de inmersión, mas, es un tema aun en debate.

- d. Los operarios se desplazan desde la zona cámara de pasaje hasta la cubierta.
- e. A tenor de la orden del marinero responsable en cubierta, los operarios avanzan por la cubierta hasta la zona de transferencia. Una vez allí esperan en línea a la orden del marinero para realizar el “bording”, mientras preparan su conector rápido (FROG)
- f. El marinero comprueba que todo está en orden, inspecciona la función del freno SRL y procede a cobrar el cabo del “Latchway”.
- g. Cuando el marinero grita el comando “TRANSFERENCE” y presenta el punto de conexión del Latchway (SRL), el operario debe conectar su conector rápido al SRL.
- h. Inmediatamente después de conectarse al SRL, el técnico pasa del barco a la escalera de desembarco, con la línea de recuperación suelta del SRL colocada sobre el hombro guiada por el marinero
- i. El operario sube la escalera de embarque hasta la plataforma intermedia del TP, cierre la puerta de la plataforma una vez a alcanzado este punto, procediendo a desconectarse del Latchway o SRL. Una vez se desconecta del SRL, informa al marinero mediante la voz de “CLEAR” que el SRL está listo para ser usado por el siguiente operario.
- j. Una vez en la plataforma intermedia, el operario espera su turno y procede a subir la escalera final, también conectándose al Latchway correspondiente a este tramo. De igual manera, al llegar a la plataforma del TP, cierra la puerta de seguridad y procede a desconectarse del sistema anticaídas, notificando que el sistema se encuentra libre al resto de operarios.

El proceso de salida es análogo al de acceso, mas, difiere en ciertos puntos:

- a. Antes de bajar, y aun con la puerta de seguridad cerrada, se inspecciona la función del freno SRL.
- b. Se desciende en las mismas condiciones que en el proceso de ascenso por escalera anterior. Se procede a conectarse al Latchway, bajando con cautela a la plataforma intermedia.
- c. Para bajar el último tramo, es necesario conectarse al pertinente Latchway de este tramo, pero este se encuentra en una zona no muy accesible. Por lo tanto, el marinero desde cubierta asiste al operario, brindándole el cabo del Latchway mediante un balanceo del mismo.

- d. Una vez el operario tiene en su poder el cabo, puede proceder a conectarse al Latchway de la forma oportuna, indicando al marinero de en cubierta mediante la voz “Ready” que se encuentra listo para realizar la transferencia.
- e. Una vez se lo indique el marinero, se inicia el descenso desde la plataforma TP a la embarcación.
- f. Cuando el operario se aproxima a la embarcación, el marinero le indica al operario su proximidad mediante una cuenta regresiva de los peldaños restantes para llegar a cubierta “CINCO, CUATRO, TRES, DOS, UNO”.
- g. Al llegar a “UNO”, el operario embarca de un salto firme en la embarcación, teniendo en cuenta los posibles cabeceos del buque.
- h. El operario desconecta inmediatamente el conector rápido del SRL una vez que está estable en la embarcación con ambos pies.



Ilustración 20 - Proceso de "Bump & Jump" a bordo del CTV "Cos Mate"

En cualquier momento durante el proceso de transferencia, el marinero puede ordenar abortar el proceso, si considera que las condiciones no son adecuadas o seguras. En este caso, el

operario debe volver a una posición de resguardado en la plataforma intermedia del TP y desconectarse del SRL inmediatamente.

14.2.2 Los buques de servicio

Para llevar a cabo el método “Bumb & Jump” existe una amplia gama de buques de servicio tipo CTV que se utilizan para acceder a parques eólicos marinos desde puertos cercanos. Los CTV normalmente tienen capacidad para transportar de entre 12 a 24 técnicos, con sus equipos, herramienta y útiles necesarios. Los diferentes tipos de CTV incluyen buques monocasco, catamaranes, trimaranes, tipo Small-waterplane-area twin hull (SWATH) y barco con efecto de superficie (SES).

Los CTVs más usados son los de casco de aluminio, de tipo catamarán, debido a que alcanzan altas velocidades de navegación, a su buen gobierno, mayor ahorro de combustible y a un buen comportamiento general en el mar. Además, la estabilidad intrínseca y dinámica de este tipo de buques está optimizada para llevar a cabo el traslado de personal (IMCA, 2010). El tipo monocasco es más barato, pero ofrece peores características, y de manera opuesta, trimaranes, SWATH y SES ofrecen una estabilidad mejorada a un costo más alto. Actualmente se están desarrollando nuevos sistemas que mejoren aún más la accesibilidad a los parques eólicos, implementando a este tipo de buques, nuevas tecnologías, como el posicionamiento dinámico (Katsouris, 2017).



Ilustración 21 - CTV Energizer

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

Las características típicas de los tipos de CTV se recogen en la Tabla 7 de abajo.

	Monocasco	Catamarán	Trimarán	SWATH	SES
Longitud	12 - 25 m	15 - 27 m	19 - 27 m	20 - 34 m	26 - 28 m
Velocidad máxima de tránsito (en nudos)	15 - 25	18 - 27	18 - 22	18 - 23	35 - 39
Pasajeros	12 PAX	12 PAX	12 PAX	12 - 24 PAX	12 - 24 PAX
Carga	5 – 10 t	10 – 15 t	15 -20 t	2 – 10 t	3 – 5 t
H_s máxima	1 – 1,2 m	1,2 – 1,5 m	1,5 – 1,7 m	1,7 – 2,0 m	1,8 – 2,2 m

Tabla 7 - Características genéricas de los CTVs

14.3 Acceso a la plataforma TP

El acceso directo a la plataforma del TP comúnmente se lleva a cabo mediante el uso de un buque de operaciones de servicio (SOV) equipado con una pasarela con ajuste de adrizado dinámico. Este tipo de pasarelas permiten a los técnicos caminar desde el barco directamente a la turbina. Estos sistemas son denominados “Walk-to-Work” (W2W) y proporcionan un medio de transferencia más cómodo y práctico para los técnicos, ya que no han de ascender ni descender por escaleras (Groenendijk, 2018).



Ilustración 22 - SOV “Wind Innovation” amarrado en el puerto de Esberj

Como puede apreciarse en la ilustración 22, este tipo de buques son de mayor tonelaje y eslora que los CTV. Aunque tienen un mayor coste operativo, tienen cualidades que los CTV no pueden ofrecer, como poseer el suficiente porte estructural para instalar los tipos de pasarelas antes citadas. Otra característica suele ser que pueden ofrecer habilitación para el alojamiento de los trabajadores, así como otras comodidades (Comedores, Salas de entretenimiento, Gimnasio, Ambulatorio, Acceso a internet) que permite a los técnicos trabajar en un sistema de rotación. Además, este tipo de buques ostentan la independencia suficiente para realizar largas singladuras o estancias en la mar, sin necesidad de volver a puerto (Weigall, 2006). Esta cualidad es muy importante en parques que se encuentra muy alejados de la costa, en localizaciones fuera del alcance de navegabilidad de los CTVs.

En comparación con los CTVs, los SOV ofrecen una mayor tasa de accesibilidad, lo que resulta en periodos de trabajo mayores (denominadas en el sector como “Ventanas temporales”) para las actividades de instalación, puesta en servicio y mantenimiento. Este hecho mejora significativamente la eficiencia de los procesos, redundando en menores costes operativos

Este tipo de buques utilizan tecnología de vanguardia como el posicionamiento dinámico (DP) para mantener la embarcación en una posición relativamente fija. Esto se consigue en primer lugar, al medir y analizar constantemente el oleaje, el balanceo y el rumbo de la embarcación. En un segundo punto, esta información es comparada con la posición requerida, determinando sistema de control DP las acciones necesarias para compensar el balanceo y el cabeceo de la embarcación. En último lugar, esta información es enviada a la planta de propulsión de la embarcación para compensar el error de posición (Seattone, 2017).

La velocidad de tránsito de un SOV es relativamente lenta, entre 10 y 12 nudos de media, viéndose aún más reducida cuando se maniobra entre turbinas. Por esta razón, algunos SOV están equipados con embarcaciones auxiliares, que pueden realizar funciones de CTV sólo en estados de mar relativamente tranquilos (Hs de menos de 1,5 metros).

Actualmente, la mayoría de los SOV de la industria eólica marina son embarcaciones adaptadas de la industria del petróleo y el gas. Desde 2015, se han desarrollado buques SOV diseñados específicamente tanto para la instalación como para la operación y mantenimiento diario de parques eólicos marinos.

14.3.1 El método Walk to Work (W2W)

Los sistemas “walk to work” están diseñados para evitar o minimizar los riesgos presentes en el método de acceso “Bump & Jump”, como aplastamientos o caída al mar de los trabajadores. Además, este sistema proporciona una mayor accesibilidad a la turbina, así como, de agilizar el proceso y brindar mayor confort a sus usuarios en condiciones de mar más desfavorables, donde sería imposible usar el método “Bump & Jump”.

Estos sistemas de pasarelas están diseñados para instalarse en el lado más alejado de las bandas de la embarcación. Desde allí, un operador puede dirigir manualmente la pasarela mediante una interfaz o mediante control remoto. Este proceso implica girar, abatir o elongar la pasarela hasta su posición de trabajo. Para garantizar la fijación en la estructura de la plataforma, los sistemas de la pasarela suelen ejercer una presión o agarre constante en el punto de conexión (Experts, 2007).



Ilustración 23 - Sistema Ampelmann Tipo A (Ampelmann Operations, 2013)

La ilustración 23 muestra un sistema Ampelmann que compensa los movimientos mediante el uso de seis cilindros hidráulicos conocidos como hexápodo o plataforma Stewart, que se utiliza

frecuentemente en simuladores de vuelo (Gudemestad & Viddal, 2021). Otros sistemas de “walk to work” tienen diferentes medios para compensar los movimientos, pero los grados de libertad son los mismos.

En general, existen dos tipos de sistemas de pasarelas con compensación de movimiento: pasivas y activas. Las pasarelas con movimiento pasivo compensado reducen las oscilaciones marinas sin utilizar ningún sistema o equipo externo, de forma muy leve. Una pasarela con movimiento compensado activo, en cambio, hace uso de un sistema de compensación a tiempo real que reduce o mitiga la oscilación del buque. Para este propósito hace uso de una fuente de alimentación externa que energiza los mecanismos accionadores desde uno hasta los seis grados de libertad de este sistema. Estos seis grados, definen la movimiento y oscilación de la embarcación, y se dividen en tres de traslación y tres de rotación: Los primeros los forman la traslación vertical (ascenso o descenso), la traslación lateral (ronza o abatimiento) y la traslación longitudinal (avance o retroceso); Los segundos son la rotación en el eje Z (giñada o virada), en el eje trasversal o Y (cabeceo o arfada) y la rotación en el eje longitudinal o X (alabeo)(Gudemestad & Viddal, 2021).

La compensación activa de este tipo de mecanismos permite utilizar una plataforma en un mayor rango de situaciones de manera más adecuada y segura. Pero lamentablemente, como todo sistema y debido a su propia naturaleza, estas pasarelas introducen otros tipos de riesgos que deben evaluarse y minimizarse. Un ejemplo de esto, podría ser la posibilidad de una retracción de emergencia de la pasarela durante un proceso de transferencia.

Debido a que en el mercado existen varios tipos de sistemas W2W, el protocolo siguiente solo brinda una descripción genérica del proceso de transferencia “walk to work” mediante un sistema W2W para acceder a la plataforma TP(G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation, 2020):

Los trabajadores se equipan y comprueban los EPI que necesarios.

- a. Se inicia el posicionamiento de la pasarela por parte del marinerero operador y se asegura de una conexión estable con la plataforma TP, aplicando presión sobre la estructura de la turbina.
- b. Una vez colocada la plataforma, el marinerero responsable indica a los trabajadores que se puede empezar el procedimiento de transferencia. La señal puede darse de varias

maneras, por ejemplo, señal visual verde, señal sonora u otros medios de comunicación por parte del operador.

- c. El trabajador se desplaza por la pasarela, manteniendo continuamente al menos una mano en el pasamano de la pasarela.
- d. Se presta especial atención al escalón deslizante (donde las dos partes de la pasarela se deslizan una sobre otra para permitir la compensación de movimientos) y se continua el traslado hasta la plataforma TP con precaución.

El traslado de regreso a la embarcación es similar. El trabajador debe esperar a una distancia segura del área de posicionamiento de la plataforma hasta recibir una señal del marineroperador antes de iniciar el proceso de transferencia por la plataforma. En caso emergencia, la plataforma inicia el proceso de retracción de emergencia. Al iniciarse este, se hace sonar una alarma, y se procede a la retracción automática después de un breve periodo de aproximadamente 3 o 4 segundos. Cuando suena la alarma, los transferidos deben dejar de caminar, sujetarse firmemente a la barandilla y tener cuidado con las manos y los pies cuando el escalón deslizante este próximo a ellos (Ampelmann Operations, 2013).

Los sistemas W2W pasivos son relativamente más pequeños en comparación con los sistemas W2W activos. Una vez fijados, los movimientos del barco se compensan mediante un efecto de amortiguación pasivo, lo que no requiere el uso de ningún sistema o equipo externo y, por lo tanto, es menos propenso a fallas técnicas.

El proceso de transferencia que utiliza un sistema pasivo W2W es similar al método de “Bump & Jump”, donde el “paso” desde el barco hasta la escalera de desembarco se reemplaza por un paso a través de la pasarela. Las pasarelas con compensación de movimiento pasivo pueden estar equipadas o no con un retraimiento de emergencia dependiendo de la longitud de la pasarela.

Dentro de los sistemas pasivos, en el mercado podemos encontrar las siguientes alternativas: Ampelmann L-Type, Autobrow, Houlder - Turbine Access System (TAS), MaXccess T-Series, MOMAC - MOTS 500 and MOTS 1000/G, SMST Telescopic Access Bridge (TAB), Uptime Gangway 8m - 12m - 15m, WaterBridge, Wind-Bridge, Z-Catch, Sliding Ladder (SLILAD) and Z-Step(Katsouris, 2017). Dentro de los activos: Ampelmann A- and E-Type, Barge Master 3.0 and 4.5 gangways, Crew Access Bridge (CRAB), Houlder Personnel Transfer System (PTS), Kenz Cranes Offshore Gangways, MacGregor gangway, MaXccess AM- and P-Series, Seagull, SeaQualizer, SMST TAB M and L, Uptime Gangway 23.4m and 26m, Zbridge (Katsouris, 2017).

14.4 Acceso mediante Helicóptero

Los helicópteros pueden proporcionar acceso cuando las condiciones meteorológicas hacen imposible el acceso mediante embarcaciones. El acceso a las turbinas eólicas se logra a través de la plataforma-helipuerto situada en la parte superior de la Nacelle, cuando las velocidades de viento no rebasan 20 m/s (G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation, 2021). Los helicópteros reducen significativamente el tiempo de viaje en comparación con las embarcaciones, pero son significativamente más caros y tienen una capacidad limitada para transportar técnicos, repuestos y herramientas (Katsouris, 2017). Como se espera que el transporte por helicóptero se utilice principalmente para traslados de emergencia y transporte auxiliar en lugar de transporte regular, así como que excede los objetivos de este trabajo, no se analiza este punto más a fondo.

14.5 Legislación aplicable a las transferencias de personal

La legislación aplicable en este sector es nivel europeo, ya que la instalación, operación y mantenimiento de los parques eólicos marinos engloba a multitud de personal de varias nacionalidades. Las principales directivas involucradas son las recogidas en la siguiente lista (Bash, 2015):

- Directiva 2014/90/UE: Garantizar la aplicación uniforme del Convenio SOLAS (Seguridad de la vida humana en el mar) sobre equipos marinos.
- Directiva 2009/16/CE (incluidas las modificaciones de la Directiva 2017/2110): sobre reglas y estándares comunes para las organizaciones de inspección y peritaje de buques y para las actividades pertinentes de las administraciones marítimas.
- Directiva 2009/45/CE (incluidas las modificaciones de la directiva 2017/2108): sobre reglas y normas de seguridad para buques de pasaje.
- Directiva 2012/35/UE: Normas de formación y competencia para la gente de mar.

14.5.1 Normas técnicas para buques de transferencia

Todos buques de servicio que operan en el entorno de un parque eólico marino, por ejemplo, los CTV o SOV, deben haber sido sometidos a una serie de evaluaciones e inspecciones (IMCA, 2014). De acuerdo con la guía de buenas prácticas, estas deben incluir;

- a. Una evaluación de idoneidad, para determinar si una embarcación es apta para el propósito del área de operación y las actividades que se llevarán a cabo.

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

- b. Una inspección marítima para embarcaciones de trabajo (MISW) de conformidad con (IMCA) M 189/S 004.
- c. Sistema de auditorías sobre los puntos cruciales del buque.
- d. Demostrar la familiaridad de la tripulación con el buque, incluida la realización periódica de simulacros de emergencia.

Independientemente del equipo mínimo requerido por la Administración soberana competente sobre el abanderamiento del buque, registro o Sociedad de clasificación, todos los buques en servicio deben estar equipados con el siguiente equipo mínimo de seguridad y salvamento:

- a. Chalecos salvavidas homologados para el total de las almas (personas) a bordo +10%.
- b. Trajes de inmersión suficientes para todo el personal.
- c. Al menos dos aros salvavidas a cada lado de la embarcación.
- d. Un sistema de recuperación de hombre al agua (MOB).
- e. Equipos de señalización pirotécnica de emergencia.
- f. Transpondedor de búsqueda y rescate (SART).
- g. Radiobaliza indicadora de posición de emergencia (EPIRB).
- h. Un medio para monitorear y rastrear haces de localización personal (PLB).
- i. Al menos un reflector montado permanentemente y un reflector portátil alimentado por baterías.
- j. Al menos una tabla espinal y camilla para evacuación de heridos.
- k. Un suministro actualizado de medicamentos y equipos médicos.
- l. Un desfibrilador externo automático
- m. Exhibir carteles o listas de emergencia, mostrando claramente las responsabilidades de la tripulación, los técnicos y los pasajeros.

14.5.2 Normas técnicas sistemas de acceso W2W

En relación con las normas técnicas sistemas de acceso W2W, el estándar industrial utilizado es el DNVGL-ST-0358. Este, describe en detalle los requisitos para pasarelas marinas e incluye

pasarelas tipo Uptime o Ampelmann con compensación de movimiento tanto activo como pasivo. La norma DNVGL-ST-0358 incluye requisitos mínimos con respecto a documentación y certificación, materiales y fabricación, diseño estructural y resistencia, requisitos funcionales, equipos de seguridad y protección, ensayos y marcado de estos (Experts, 2007).

La norma además hace hincapié en la redundancia y robustez de las funciones de seguridad en los equipos de control y monitoreo de estos sistemas, así como en su diseño específico para evitar fallos de funcionamiento.

Por ejemplo, los controladores lógicos programables (PLC) usados en estos dispositivos, así como las tarjetas de E/S, estaciones de operador y conmutadores de red, deben instalarse de manera que, en caso de fallo, la seguridad del personal esté garantizada. Los errores en la comunicación de los dispositivos u otros fallos detectados activarán una alarma acústica. Los controles remotos deben contar con un interruptor de llave para desactivarlo cuando no esté en uso y un interruptor de "hombre muerto". Generalmente no se requiere redundancia de componentes activos de una pasarela, por ejemplo, engranajes, cabrestantes, cilindros, etc., si se cuenta con suficientes inspecciones periódicas y mantenimiento regulares.

En relación con las pasarelas con compensación de movimiento activo, los sistemas garantizan el funcionamiento si se produce un fallo durante tiempo suficiente, normalmente no menos de 60 segundos, para abortar de forma segura la operación de transferencia. Los sistemas de control que soportan las funciones de seguridad principales, secundarias, así como el suministro de energía (eléctrico o hidráulico) deben ser redundantes para mantener una pasarela operativa en caso de fallo (Bresser, 2015).

14.5.3 Requisitos de formación de los técnicos

Dada la ubicación remota de los parques offshore y los numerosos riesgos a los que los técnicos se enfrentan en su día a día, cobra sentido que las exigencias de su capacitación avanzada en seguridad y emergencia sean elevadas. Para poder unificar criterios, la Organización Eólica Mundial (GWO), ha desarrollado una capacitación estandarizada que especialmente desarrollada para este sector, y que cubre gran parte de las necesidades mínima de seguridad para el personal que desarrolla sus funciones en energía eólica marina.

La Global Wind Organization (GWO) es una coalición formada por la mayor parte de empresas del sector eólico a nivel mundial, como Acciona, Vestas, EON, Siemens/Gamesa, Este estándar formativo es altamente reconocido en el sector y se establece como el nivel mínimo aceptable

que deben adquirir los trabajadores del sector eólico para realizar los trabajos de manera segura. Este estándar se desarrolla desde enero de 2013 y puede ser impartido sólo por entidades certificadas (Mancebo Gómez, 2022).

La formación básica en seguridad (BST), es la mínima exigida para poder trabajar en el sector, y consta de cuatro módulos con una duración de 16 horas en total, con un período de validez de 2 años, tras el cual se ha de realizar un curso de refresco. EL BST (Basic Safety Training) se compone de los módulos de: Trabajos en Alturas, Manipulación de Cargas, Primeros Auxilios, Extinción de Incendios. Los trabajadores que realizan sus funciones en el medio marino han de completar un módulo extra, denominado “Supervivencia en el mar”, con una duración 8 horas, donde se tratan los aspectos propios de este medio. Además del BST, los técnicos deben obtener un certificado sanitario marítimo válido que los considere aptos para trabajar en un entorno marino.

Específicamente relacionado con el proceso de transferencias, el curso de supervivencia en el mar incluye un apartado sobre el traslado seguro. El objetivo del apartado es proporcionar a los técnicos conocimientos sobre los peligros y riesgos de las transferencias, así como garantizar que se tomen las medidas preventivas correctas y seguir el protocolo adecuado. Esto consigue siguiendo los procedimientos establecidos y usando los dispositivos de salvamento (LSA) y EPI establecidos (Bash, 2015). Los técnicos reciben también formación sobre los diferentes tipos de embarcaciones de transferencia comúnmente utilizadas en la industria eólica marina, los peligros relacionados con los diferentes métodos de transferencia y cómo mitigarlos. Aquí se hace la distinción entre los siguientes tipos de situaciones de transferencia; dinámico a estático, estático a dinámico y dinámico a dinámico. Durante la formación, los técnicos aprenden a hacer uso del SRL y los equipos anticaídas.

Es recomendable además que los trabajadores de este sector realicen también la formación GWO BTT (Basic Technical Training Standard) que se compone de módulos como mecánico, eléctrico, hidráulico, instalación de turbinas y apriete de tornillería. También los cursos de rescate de emergencia avanzado del grupo ART: GWO ART-H Hub, Spinner and Inside Blade Rescue (HSIBR), GWO ART-N Nacelle, Tower and Basement Rescue (NTBR), GWO ART SART-H Single Rescuer: Hub, Spinner and Inside Blade Rescue, GWO ART-SART-N Single Rescuer: Nacelle, Tower and Basement Rescue (SR:NTBR), además del curso GWO Slinger Signaller.

No es obligatorio realizar formación GWO si los requisitos de la legislación de seguridad laboral establecidos por los países se cumplen de otra manera. Sin embargo, como la industria eólica marina está liderada por grandes empresas que participan activamente en el proceso de estandarización, los estándares GWO se han convertido en la mejor y única alternativa.

14.5.4 Requisitos de formación para la tripulación

El Convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar (STCW) establece las normas mínimas de cualificación relativas a la formación, titulación y guardia para los capitanes, oficiales y personal de guardia a bordo de los buques. Las instituciones educativas y de formación deben cumplir con el STCW para poder impartir cursos y certificados, esto requiere autorización de la respectiva administración marítima competente (Bash, 2015).

La formación básica en seguridad (BST) es un requisito mínimo legal para la gente de mar empleada en cualquier puesto a bordo de un barco. Un certificado STCW BST tiene una validez de cinco años, tras los cuales debe completarse una formación de actualización. El STCW BST, tiene una duración de entre 4 a 6 días e incluye los siguientes apartados: Técnicas de supervivencia personal, Prevención y extinción de incendios, Primeros auxilios básicos. Seguridad personal y responsabilidades sociales. La gente de mar también debe poseer un certificado médico y puede requerir formación adicional dependiendo de su función en un buque.

Con respecto al proceso de transferencia, el capitán del buque, oficial o el timonel bajo órdenes de este, al estar al mando del buque, tomará la decisión sobre si las condiciones climatológicas son adecuadas para la navegación desde la costa hasta el destino final.

Se realiza otra evaluación para verificar si las condiciones son propicias para realizar la transferencia una vez se ha llegado a la plataforma a la que se desea acceder. El contramaestre (Bosum) o el marinero responsable de la operación de transferencia observan continuamente todo el proceso, verificando que todo se encuentra en condiciones adecuadas. La persona al mando tiene potestad suficiente para detener la operación una vez que las condiciones se vuelven inseguras.

Como se decía, el marinero de cubierta responsable o asistente de transferencia es encargado de preparar y guiar el proceso de transferencia. El marinero ordenará a los técnicos avanzar hacia él cuando estos estén listos y las condiciones, del barco y el oleaje, sean adecuadas para

iniciar la transferencia hacia o desde la turbina eólica. Sin embargo, la decisión sobre cuándo iniciar el salto queda en manos del propio técnico. Antes de iniciar la transferencia, el marinero de cubierta debe:

- Realizar inspecciones visuales de la escalera, el área de transferencia, la embarcación y las defensas de la estructura; o de la plataforma W2W.
- Realizar una comprobación del funcionamiento del Latchway (SRL).
- Realizar comprobaciones previas al uso de cualquier sistema de transferencia en uso.
- Comprobar el correcto uso de los EPI por parte de los técnicos.
- Si ocurriera un accidente, prestar ayuda para recuperación en caso de hombre al agua.

14.6 Factores humanos

Se pueden implementar todo tipo de medidas de diseño y control para prevenir incidentes, pero en última instancia, la competencia y el comportamiento humano son clave para garantizar que las tareas se ejecuten de manera segura (Skobie, 2023). La competencia puede definirse como la aptitud que tiene un trabajador, formada por capacidades, habilidades y destrezas con las que cuenta para realizar una actividad o cumplir un objetivo dentro del ámbito laboral. En el caso de la industria eólica marina, la competencia del personal se garantiza mediante estándares y requisitos de la industria, como los de formación continua o realización de simulacros de seguridad.

Las habilidades, aptitudes y actitudes del trabajador son factores que influyen a la hora de medir el desempeño y desarrollo de conductas seguras este en el contexto laboral. Estos factores pueden clasificarse en tres aspectos:

- Actitudinales. Son las competencias que un trabajador tiene relacionadas con la actitud, los valores y la predisposición.
- Instrumentales. Son las habilidades que un trabajador tiene, aquello que sabe hacer.
- Cognitivas. Son las competencias que un trabajador tiene en el ámbito del saber, es decir, aquello sobre lo que sabe o conoce. Este conocimiento puede provenir de la experiencia personal, de los estudios o experiencia laboral previa.

El comportamiento humano de los individuos determina cómo se aplican sus conocimientos, habilidades y experiencia para permitirles realizar y repetir una tarea de forma segura, teniendo en cuenta limitaciones ambientales y propias.

Este comportamiento de los trabajadores puede verse modificado directamente por su grupo social de influencia (otros técnicos, la tripulación...etc), la cultura de seguridad de la empresa y otros muchos factores externos. Los factores que pueden impactar negativamente el desempeño humano durante el proceso de transferencia son:

- Internos:
 - Inconvenientes fisiológicos (sueño, mareo, cansancio, hambre).
 - Problemas familiares.
 - Motivación.
 - Estrés laboral.
 - Desarrollo profesional.
 - Injusticia percibida.
- Externos:
 - Presión grupal.
 - Presión para hacer el trabajo.
 - Sobrecarga de trabajo.
 - Falta de comunicación.
 - Pérdida de confianza.
 - Limitaciones temporales.
 - Malas condiciones climáticas.

Planificar minuciosamente para garantizar que haya suficiente tiempo disponible, trabajar sin presión y con los medios necesarios para realizar todas las tareas previsibles es vital para minimizar la mayoría de los factores que afectan negativamente el desempeño humano. Lo mismo ocurre con el factor condiciones climáticas, donde las transferencias se han de realizar bajo las condiciones mínimas de seguridad, abortando el proceso cuando existen dudas, para paliar los efectos negativos como los mareos y reducir los riesgos generales relacionados con el proceso.

El balanceo es la variable dependiente más influyente con el mareo del personal. De manera similar, los cabeceos y los movimientos bruscos resultan incómodos para los técnicos. El mareo puede afectar en gran medida la capacidad de desempeño de un individuo. Incluso cuando las

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

personas están familiarizadas con las condiciones del mar, la probabilidad de cometer errores aumenta dependiendo de la gravedad del mareo(Energy Institute (Great Britain) & G+ Global Offshore Wind Health & Safety Association., 2018).

15 ANEXO IV: ACCESIBILIDAD Y EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS

Para llevar a cabo una comparación entre los distintos tipos de sistemas de acceso y su desempeño en cuanto a accesibilidad y eficiencia, se han seleccionado seis parques eólicos marinos establecidos en diferentes ubicaciones dentro del Mar del Norte y el Mar Báltico. La localización de estos parques eólicos seleccionados se encuentra representados en la ilustración 24.

Se eligieron seis parques eólicos teniendo en cuenta sus variaciones en términos de ubicación, tamaño y proximidad a la costa, con el fin de abarcar un amplio rango de situaciones para su análisis. Los detalles específicos de estos parques se encuentran detallados en la Tabla 8.

	Nombre del parque	Capacidad instalada (MW)	Modelo	Número de turbinas	Altura de buje (m)	Ubicación (DMS)	Distancia a la costa(km)
1	Horns Rev II	209	SWT-2.3-93	91	70	55°36'00"N 7°34'55,1"E	32
2	Kaskasi II	342	SG 8.0-167	38	107,5	54°29'00"N 7°41'00"E	35
3	Arkona	385	SWT-6.0-154	60	102	54°46'55,2"N 14°07'15,6"E	34
4	Dantysk	288	SWT-3.6-120 /	80	88	55°08'24"N 7°12'00"E	70
5	Sandbank	288	SWT-4.0-130	72	94	55°11'23,9"N 6°51'36"E	90
6	Wikinger	366	Areba M5000	70	90	54°50'2,4"N 14°4'4,47"E	35

Tabla 8 - Relación de parques seleccionados para su estudio

Actualmente, Dantysk y Sandbank utilizan SOV embarcaciones auxiliares o CTV para transferir personal. En cambio, Horns Rev II, Kaskasi II Arkona y Wikinger generalmente utilizan CTV.



Ilustración 24 - Ubicaciones de los parques en estudio

15.1 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos para los parques eólicos seleccionados se recopilaron de Geostorm y MetOceanView utilizando sus datos retrospectivos disponibles de sus repositorios.

Estos repositorios hacen uso del modelo SWAN (Simulated Waves Nearshore) a intervalos de 3 horas y del modelo WRF (Weather and Research Forecast) a intervalos de 1 hora que registran datos desde 1979 hasta 2015, ambos incluidos (Gudemestad & Viddal, 2021).

Las olas son perturbaciones en la superficie del océano principalmente generadas por la acción del viento. La altura de estas olas se determina a partir de tres factores clave, que son los siguientes (Twigt, 2020):

- La velocidad del viento.
- La duración del viento, que corresponde al tiempo durante el cual el viento sopla.

- El alcance, que representa la distancia continua sobre aguas abiertas en la que el viento mantiene su dirección sin cambios.

Por lo tanto, es lógico esperar que la altura de las olas aumente durante los meses de invierno, que abarcan de octubre a marzo, y alcance su punto más bajo durante el verano, siguiendo la misma pauta que la velocidad del viento.

15.2 Accesibilidad

La accesibilidad a los parques eólicos marinos se encuentra determinada por varios factores, incluyendo los límites de operatividad de las embarcaciones, sus sistemas de acceso y el tipo de operaciones que se realizan (Vestas, 2021). Los límites de operatividad se basan en la capacidad de resistir condiciones climáticas que permitan llevar a cabo transferencias y operaciones de forma segura (ICIMF, 2018).

La accesibilidad está principalmente condicionada por la altura significativa de las olas, o Hs. Otros parámetros oceanográficos utilizados para evaluar la accesibilidad de las estructuras marinas incluyen la velocidad del viento y con el período pico de las olas, que corresponde al período en el que las olas tienen la mayor energía. Cuando todos estos parámetros se encuentran por debajo de los límites de operatividad, se considera que la transferencia es segura. La "ventanas meteorológicas" o periodos de trabajo, determinan la duración y la condiciones con la que se pueden llevar a cabo las transferencias para realizar actividades de instalación, operación o mantenimiento de las turbinas eólicas.

Debido a la limitación de datos meteorológicos locales y a los diferentes límites de operatividad de los sistemas de acceso, los cálculos llevados a cabo en los casos de estudio son aproximados. Las alturas significativas de las olas para cada uno de los parques eólicos seleccionados se calcularon a partir de registros históricos de olas por mes en intervalos específicos. Esto se realizó tomando el promedio de los intervalos de 0,5 metros, es decir, una estimación de 0,25 metros.

Es importante destacar de nuevo que el uso de datos mensuales proporciona solo una estimación aproximada de la accesibilidad, dado que la velocidad del viento varía significativamente en dichos intervalos, siendo más intensa generalmente al final de la tarde y más suave por la mañana.

Para representar tanto el método convencional como los sistemas de movimiento compensado pasivo y activo, con diferentes puntos de acceso a la turbina, se muestran seis sistemas de acceso. La accesibilidad de estos sistemas se determina según la cantidad de meses al año en los cuales se puede utilizar un sistema de acceso dado, considerando su límite máximo permitido.

El límite de transferencia segura utilizando el método convencional de "Bump & Jump", generalmente se establece en 1,5 metros, y este valor se toma como el máximo permitido. De entre los sistemas seleccionados, a excepción del método convencional de "Bump & Jump", los sistemas Ampelmann A han registrado la mayor cantidad de transferencias de personal, siendo el tipo A el más exitoso en términos de eficiencia y utilización (Ampelmann Operations, 2013).

Sistema de acceso	Tipo	Punto de acceso	Límite de transferencia segura (H _s)
“Bump & Jump”	Método convencional	Embarcadero	1,5
MaXccess T-Series	Sistema pasivo W2W	Embarcadero	1,9
Ampelmann tipo L	Sistema pasivo W2W	Embarcadero	2
Ampelmann tipo A	Sistema activo W2W	Plataforma TP	3
Uptime 23.4m AMC Logistics System	Sistema activo W2W	Plataforma TP	3,5
SMST TAB L	Sistema activo W2W	Plataforma TP	3,5

Tabla 9 - Límites de transferencia segura para cada sistema

15.2.1 Método "Bump & Jump"

Como se indicaba, este método cuenta un límite de transferencia segura establecido 1,5m de Hs. A tenor del cálculo con los datos recabados a través de MetOceanView (Gudemstad & Viddal, 2021) se puede configurar la siguiente tabla 10, que refleja la accesibilidad para los parques eólicos seleccionados cuando se utiliza este método.

Método “Bump & Jump”												
Parque eólico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horns Rev II	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Kaskasi II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arkona	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Dantysk	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sandbank	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wikinger	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-

Tabla 10 - Condición anual de acceso mediante el método "BUmp & Jump"

15.2.2 MaXccess T-Series

Este sistema establece un límite de transferencia segura de 1,9 m de Hs. Se determinó la siguiente accesibilidad para los parques eólicos seleccionados cuando se utiliza el MaXccess T-Series (MarineLink, 2012).

MaXccess T-Series												
Parque eólico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horns Rev II	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-
Kaskasi II	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Arkona	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dantysk	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Sandbank	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Wikinger	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 11 - Condición anual de acceso mediante el sistema MaXccess T-Series

15.2.3 Ampelmann Tipo L

Este sistema establece un límite de transferencia segura de 2 m de Hs. Se determinó la siguiente accesibilidad para los parques eólicos seleccionados cuando se utiliza el Ampelmann tipo L (Ampelmann Operations, 2013).

Ampelmann tipo L												
Parque eólico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horns Rev II	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-
Kaskasi II	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Arkona	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dantysk	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Sandbank	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Wikinger	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 12 - Condición anual de acceso mediante el sistema Ampelmann tipo L

15.2.4 Ampelmann Tipo A

La variante A de Ampelmann, determina un límite de transferencia segura más elevado que su versión L, fijándolo en 3m de Hs. Se determinó la siguiente accesibilidad para los parques eólicos seleccionados cuando se utiliza el tipo Ampelmann A (Ampelmann Operations, 2013).

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

Ampelmann tipo A												
Parque eólico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horns Rev II	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kaskasi II	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Arkona	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dantysk	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-
Sandbank	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-
Wikinger	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 13 - Condición anual de acceso mediante el sistema Ampelmann tipo A

15.2.5 Uptime 23.4m AMC Logistics System

Cuenta con un límite de transferencia segura de los más elevados de todos los sistemas analizados, fijando en 3,5 m. Se comprobó la siguiente accesibilidad para los parques eólicos seleccionados cuando se utiliza Uptime 23,4 m (UPTIME, 2023).

Uptime 23.4m AMC Logistics System												
Parque eólico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horns Rev II	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kaskasi II	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arkona	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dantysk	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Sandbank	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Wikinger	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 14 - Condición anual de acceso mediante el sistema Uptime 23.4m AMC

15.2.6 SMST TAB L

Al igual que el Uptime, tiene también el límite de transferencia segura muy elevado, fijando en 3,5 m. Se comprobó la siguiente accesibilidad para los parques eólicos seleccionados cuando se utiliza SMST TAB L (SMST, 2023).

SMST TAB L												
Parque eólico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horns Rev II	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kaskasi II	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arkona	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dantysk	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Sandbank	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Wikinger	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 15 - Condición anual de acceso mediante el sistema SMST TAB L

15.2.7 Comparación de los sistemas

La ilustración 25 muestra una visión general de la accesibilidad que ofrecen los sistemas de acceso seleccionados por año, en relación con los seis parques eólicos marinos.

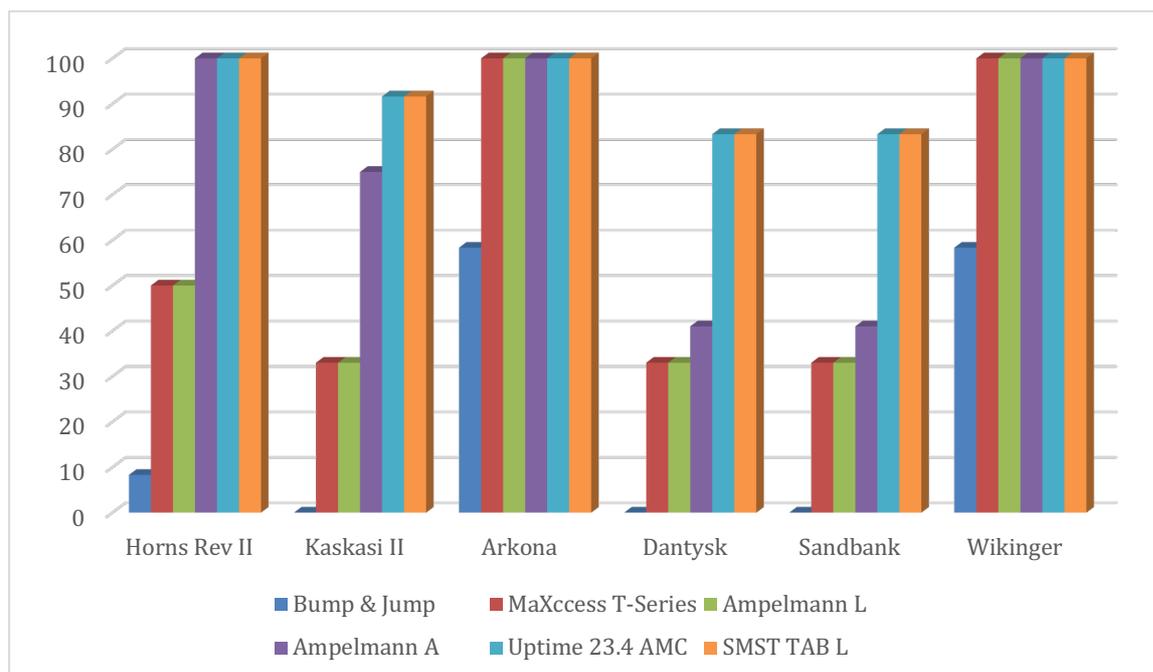


Ilustración 25 - Comparación de los sistemas

15.3 Eficiencia

La eficiencia de los sistemas de transferencia se encuentra condicionada por varios factores. En primer lugar, depende de la velocidad de navegación del CTV o SOV en el cual está instalado, en relación con la distancia que debe recorrer para llegar a su destino.

Además, influyen en la velocidad los tiempos de despliegue del propio sistema de acceso y el tiempo necesario para completar la transferencia. Es importante destacar que, en las campañas de mantenimiento, a menudo se requiere mover equipos técnicos entre en diversas turbinas (carga operation). En este contexto, la capacidad de maniobra de un barco y su sistema de despliegue de acceso también se convierten en factores de gran importancia.

La transferencia a una turbina en alta mar se puede dividir en tres fases principales. En primer lugar, está la fase de navegación, que involucra el transporte de personal desde la costa hasta la turbina y viceversa. Luego, se encuentra la fase de aproximación, que consiste en un posicionamiento controlado hacia el embarcadero o plataforma TP por parte del buque. Finalmente, la fase de transferencia corresponde al proceso en el cual el personal se traslada desde el barco hacia la estructura en el mar y viceversa.

15.3.1 Tiempo de navegación

El tiempo de navegación se refiere al período necesario para que el personal transite desde la costa hasta alcanzar su destino en el parque eólico marino. La duración del tránsito depende exclusivamente del tipo de buque seleccionado para la transferencia.

Un catamarán CTV tiene una velocidad de navegación que oscila entre 18 y 27 nudos, mientras que un SOV generalmente alcanza una velocidad de navegación de 10 a 12 nudos (Hoffmann, 2022). Esto significa que un SOV tardará aproximadamente el doble de tiempo en llegar a un parque eólico marino en comparación con un CTV. Tomando como ejemplo el parque eólico Sandbank, ubicado a 90 km. (48,59 millas náuticas) de la costa, un SOV requeriría más de 4 horas para completar la “derrota”. Debido a esta razón, los SOV suelen realizar viajes a parques eólicos marinos una vez cada dos semanas y efectuar las navegaciones durante la noche, para asegurarse de no perder horas de trabajo. Por otro lado, los CTV realizan salidas con carácter diario. Por ejemplo, en el parque de Wikinger, el CTV “Cost Mate” emplea 1h 15 min en recorrer el trayecto desde el puerto de Mukram hasta el parque eólico.

15.3.2 Aproximación y despliegue de los sistemas

El tiempo de aproximación se define como el lapso de tiempo que tarda un buque en posicionarse adecuadamente para realizar la transferencia del personal en el embarcadero o plataforma TP. Una vez en posición, el tiempo de despliegue de los sistemas de acceso determinará el tiempo total requerido antes de realizar una transferencia segura de personal desde o hacia la embarcación (G+ Global Offshore Wind Health & Safety Organisation, 2023).

En el caso de condiciones climáticas moderadas, se estima que la maniobra de acercamiento del CTV al embarcadero es relativamente sencilla tanto para el método convencional “Bump & Jump” como para el sistema Ampelmann tipo L. Sin embargo, cuando las condiciones climáticas se tornan más adversas, es probable que se requieran múltiples intentos para asegurar el acoplamiento del CTV al embarcadero cuando se utiliza el método de “Bump & Jump”.

El sistema Ampelmann tipo L, que no exige una sujeción (pushing) del CTV al embarcadero, y está diseñado para ser instalado en embarcaciones CTV con una eslora mayor a los 30 metros, como las embarcaciones tipo Small-waterplane-area twin hull o SWATH. Estos CTV, tipo SWATH, poseen una mayor resistencia, potencia y gobierno, por lo tanto, resultan más adecuados para enfrentar condiciones climáticas más severas.

Se estima que el tiempo que tarda un SOV en situarse junto a la plataforma TP es bastante mayor que un CTV, pero se ha de tener en cuenta que esta es una embarcación más lenta y menos ágil. El tiempo despliegue de los sistemas es bastante similar, entono a uno o dos minutos para las pasarelas (Ampelmann Operations, 2013). En la tabla 16 se muestra una descripción general del enfoque y los tiempos de despliegue de los sistemas de acceso.

Sistema de acceso	Tiempo de aproximación	Tiempo de despliegue
Bump & Jump	30 – 60 seg	No aplica
MaXccess T-Series	30 – 60 seg	15 – 30 seg
Ampelmann tipo L	30 – 60 seg	60 – 120 seg
Ampelmann tipo A	60 – 120 seg	60 – 120 seg
Uptime 23.4m Logistics System AMC	60 – 120 seg	60 – 120 seg
SMST TAB L	60 – 120 seg	100 – 180 seg

Tabla 16 - Tiempo de despliegue de los sistemas

15.3.3 Tiempo de transferencia

El tiempo de transferencia se refiere al lapso necesario para que el personal se desplace desde el buque hasta la plataforma TP de la turbina eólica, y viceversa. Los tiempos medios estimados

de acceso y salida para cada uno de los sistemas de acceso se calcularon mediante la información provista por los técnicos de Muehlham, GWS, MaisVento, Robur, H2E , Mhquadrat offshore, Siemens Energy, y tripulaciones de los buques de transferencia entrevistados.

Sistema de acceso	Transferencia de acceso	Transferencia de salida
Bump & Jump	30 – 45 seg	45 – 60 seg
MaXccess T-Series	30 – 45 seg	45 – 60 seg
Ampelmann tipo L	30 – 45 seg	45 – 60 seg
Ampelmann tipo A	10 – 15 seg	10 – 15 seg
Uptime 23.4m AMC Logistics System	15 – 20 seg	15 – 20 seg
SMST TAB L	15 – 20 seg	15 – 20 seg

Tabla 17 - Tiempo de transferencia en los sistemas

En el caso del método de "Bump & Jump", se estima que el acceso lleva aproximadamente 40 segundos por técnico, mientras que la salida, que implica bajar con cuidado, toma más tiempo, alrededor de 45 segundos (Ampelmann Operations, 2013). Cabe destacar que el tiempo real puede variar significativamente según el tipo de estructura de soporte de la turbina eólica, de la longitud de la escalera y, sobre todo, de las condiciones físicas de cada técnico. En el caso del sistema Ampelmann tipo L y MaXccess T-Series, los tiempos registrados son similares a los del "Bump & Jump".

En cuanto a los sistemas Ampelmann tipo A, Uptime 23,4 m y SMST TAB L tanto el acceso como la salida implican que los técnicos simplemente caminen a lo largo de una pasarela hasta llegar a la plataforma TP. Para calcular el tiempo de traslado, se consideró una velocidad media de marcha de 1,5 metros por segundo y se determinó según la longitud promedio de la pasarela.

La longitud media de la pasarela para el tipo A en los parques seleccionados es de 21 metros, 22 metros para el SMST TAB L, mientras que para el sistema Uptime 23,4 m es de 23 metros. No se tiene en cuenta una diferencia en la velocidad de marcha en función de la pendiente de la pasarela.

15.4 Comparación

Para determinar y comparar la eficiencia de los sistemas de acceso seleccionados se realizará un análisis considerando los traslados de tripulación a tres aerogeneradores marinos de forma consecutiva usando diferentes tipos de embarcaciones (Twigt, 2020). En este caso de estudio, el buque de transferencia, un catamarán CTV, CTV tipo SWATH o un buque SOV, parte del origen con dirección a la primera turbina eólica, que se encontrará a 1 milla náutica, transfiriendo a esa localización a un equipo de 6 técnicos con sus equipos. Después, iniciará la navegación hacia la segunda turbina, que se encuentra a 1,5 millas náuticas, donde se repetirá el proceso de transferencia. Por último, navegará hasta la tercera turbina, que se encontrará a una distancia de 1,5 millas náuticas para transferir a otros 6 técnicos. El proceso finaliza al terminar la transferencia en la tercera turbina y la con retracción del sistema de acceso utilizado. Las condiciones supuestas para el caso serán las habituales (Twigt, 2020):

- El traslado se realizará en condiciones meteorológicas favorables.
- El tiempo de despliegue se considera igual al tiempo de retracción de los elementos de transferencia (Tomando el indicado en el apartado de Aproximación y despliegue de los sistemas)
- La velocidad de navegación para el CTV se establecerá en 22 nudos;
- La velocidad de navegación para el CTV SWATH se establecerá en 20 nudos;
- La velocidad de navegación para el SOV se establecerá en 11 nudos;

Los tiempos de acceso y salida de la tripulación para cada uno de los sistemas de acceso vendrán determinados mediante las siguientes ecuaciones (Gudemstad & Viddal, 2021):

$$C_1 = \left(\frac{D_1}{T_s} + X + 2Y + nE \right) + V \left(\frac{D_2}{T_s} + X + 2Y + nE \right)$$

$$C_2 = \left(\frac{D_1}{T_s} + X + 2Y + nA \right) + V \left(\frac{D_2}{T_s} + X + 2Y + nA \right)$$

Dónde;

- C1 = Tiempo de llegada de los técnicos
- C2 = Tiempo de recogida de los técnicos
- D1 = Distancia a la primera turbina en oros
- D2 = Distancia a la primera turbina en metros
- V = Número de turbinas visitadas -1
- Ts= Velocidad de navegación en metros/segundo
- X = Tiempo de aproximación en segundos
- Y = Tiempo de despliegue o retracción del sistema en segundos
- N = Número de técnicos por transferencia
- A = Tiempo de acceso en segundos
- E = Tiempo de salida en segundos

Además, se tomarán medidas de tiempo reales para los sistemas de “Bump & Jump”, “Ampelmann tipo A” y “SMST TAB L” para confirmar los resultados teóricos del análisis. Los resultados finales del caso propuesto se muestran en la tabla 18.

Sistema de acceso	Entrega de los técnicos en segundos	Recogida de los técnicos en segundos
Bump & Jump	1475,18	1565,18

MaXccess T-Series	2066,20	1796,20
Ampelmann tipo L	2336,20	2606,20
Ampelmann tipo A	2489,36	2489,36
Uptime 23.4m Logistics System AMC	2579,36	2579,36
SMST TAB L	2939,36	2939,36

Tabla 18 – Resultados del análisis

En resumen, y para el escenario propuesto, se determina que el uso de un SOV con un sistema de pasarela, en comparación con el método convencional de "Bump & Jump" utilizando un catamarán CTV, lleva aproximadamente un 60% más de tiempo. Además, el sistema Ampelmann tipo L o MaXccess T-Series son más lentos que el método "Bump & Jump", principalmente debido al tiempo necesario para poner en marcha los sistemas.

16 ANEXO V: Datos de la evaluación del método anterior “Bump & Jump”

16.1 Identificación de riesgos “Bump & Jump”

Se llevó a cabo una recopilación de la Identificación de Peligros (HAZID) del método “Bump & Jump” establecida en Wikinger con el propósito de mostrar los eventos peligrosos y sus posibles consecuencias relacionadas con el acceso y la salida de una turbina utilizando este método.

Los resultados obtenidos por el procedimiento de análisis HAZID se reflejan en la tabla 18 siguiente (Gerdes et al., 2005):

HAZID "BUmp & Jump"	
Evento peligroso	Consecuencias
Tropiezo o caída cuando se encuentre en la cubierta del buque.	Caer o golpearse sobre la cubierta o barandillas.
Salto del barco a la escalera o viceversa en momento inapropiado o con mala mar.	Hombre al agua (MOB).
	Aplastamiento entre el buque y las barras protectoras del embarcadero.
Resbalarse en la escalera durante el ascenso o descenso.	Caída desde o contra escalera.
Movimiento de embarcaciones impredecible y violento.	Quedar suspendido de FAS.
	Ser golpeado o aplastado por el buque.
	Hombre al agua (MOB).
	Impacto significativo del buque con el embarcadero o la estructura de la turbina..
	Aplastamiento entre el buque y las barras protectoras del embarcadero.

Evaluación de riesgos en las transferencias del personal en operación y mantenimiento en el parque eólico marino “Wikinger”.

Fallo estructural de las barras de parachoques o de la escalera del embarcadero.	Caída de la escalera.
	Hombre al agua (MOB).

Tabla 19 - HAZID para el método “Bump & Jump” en Wikinger

16.2 Análisis del árbol de eventos “Bump & Jump”

Los valores de probabilidad se han extraído de la documentación de seguridad y salud del parque Wikinger. Para los valores de probabilidad que faltan en cuanto a las posibles ubicaciones de un técnico y las consecuencias de un incidente, se realizaron estimaciones basadas en el mejor conocimiento disponible (Twigt, 2020).

ETA “Bump & Jump”	
Paso	Descripción
Movimiento muy violento e impredecible de la embarcación.	<p>Debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Movimiento aleatorio e inesperado debido a las condiciones climáticas; • Fallo del sistema de propulsión del buque; • Fallo de la defensa, (se incluye la falta de detección previa). <p>La probabilidad de ocurrencia se establece en 0.0003.</p>
Tropiezo o caída cuando se encuentre en la cubierta del buque.	<p>La probabilidad asignada se fija en 0,01 en el caso de movimientos de embarcaciones impredecibles y violentos. Sin movimientos inesperados y violentos del barco, la probabilidad se estima en 0,00001.</p>
Salto del barco a la escalera o viceversa en momento inapropiado o con mala mar.	<p>Esto considera la posibilidad de que un trabajador cometa mal un paso durante el ascenso o descenso.</p> <p>Directamente derivado del estudio sobre el acceso deslizante, la probabilidad de un paso inoportuno durante los movimientos violentos de la</p>

	embarcación se fija en 0,3. Sin movimientos violentos del barco, esto se fija en 0,0001.
Resbalarse en la escalera durante el ascenso o descenso.	Este paso incluye la posibilidad de que un trabajador resbale en un peldaño de la escalera durante su ascenso o descenso. La probabilidad de que esto ocurra se establece en 0,0004 y es idéntica al valor utilizado para el acceso deslizante.
Perdida contacto con la escalera.	Después de que ocurre un resbalón, la probabilidad de que un trabajador pierda contacto con la escalera y caiga se establece en 0,2.
Bloqueo del FAS.	Esto considera el evento de que un FAS falle bajo demanda, alineado con el estudio sobre acceso deslizante esta probabilidad Se establece de manera conservadora en 0,1. Este valor se puede actualizar fácilmente utilizando datos de tasa de fallas de los fabricantes.
Caída o recuperación.	Se considera que una caída o recuperación es más fácil durante el ascenso que durante el descenso. Sus respectivas probabilidades se fijan en 0,7 y 0,55. Una caída considera la probabilidad de que un trabajador caiga al agua, a la torre o entre la embarcación y los topes de embarcadero.
Impacto.	En el proceso de caída, el trabajador puede impactar con: <ul style="list-style-type: none"> • con el marinero responsable. • con partes del buque. • con el agua. • impacto con partes de la plataforma.
Recuperación exitosa.	Referido al caso de "Hombre al agua" (MOB). Esta probabilidad se fija en 0,9999.

Tabla 20 - ETA para el método "Bump & Jump" en Wikinger

Las ETA para el método "Bump & Jump" se realizó bajo el supuesto de la implementación de las medidas del método BowTie en condiciones climáticas favorables (Twigt, 2020). Teniendo en cuenta la gran cantidad de resultados, 46 durante el ascenso y 71 durante el descenso, se agrupan para favorecer su comprensión:

"Bump & Jump"			
Tipo de lesión	Fase de ascenso	Fase de descenso	Total
Leve	$5,86 \times 10^{-05}$	$8,63 \times 10^{-05}$	$1,45 \times 10^{-04}$
Grave	$6,85 \times 10^{-06}$	$7,81 \times 10^{-06}$	$1,47 \times 10^{-05}$
Fatal	$4,07 \times 10^{-09}$	$5,98 \times 10^{-09}$	$1,00 \times 10^{-08}$

Tabla 21 - Resultados finales del ETA del método Bump & Jump en Wikinger

En la tabla 21 se muestra que existe un riesgo durante la fase de ascenso en comparación con la fase de descenso (Hoffmann, 2022). A través de los datos, se pueden desglosar las variables más influyentes para cada tipo de lesión (J. E. Vinnem, 2014):

- Para lesiones leves: caída al agua, impacto con la embarcación o defensas durante el salto al barco en momento inapropiado o con mala mar.
- Para lesiones graves: Aplastamiento entre la embarcación y las defensas durante el salto al buque en momento inapropiado o con mala mar., impacto con la cubierta o el costado del CTV después de una caída a diferentes alturas.
- Para las fatales: recuperación fallida de un MOB después de una caída.

Es importante destacar que los resultados de mayor contribución permanecieron consistentes tanto en el ascenso como en el descenso.

17 ANEXO VI: EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL - EPI

La seguridad de los trabajadores de lo parque eólico marino es una prioridad absoluta. Estos profesionales desempeñan un papel crucial en la instalación, operación y el mantenimiento de las turbinas eólicas, realizando tareas críticas en alturas considerables y en condiciones climáticas impredecibles. Para mitigar los riesgos asociados a este entorno laboral que no se han podido eliminar o mitigar de otras formas, es esencial que los técnicos utilicen el equipo de protección individual (EPI) adecuado.

Los EPI que los trabajadores han de usar, son los propios de los riesgos generales en este sector, como los usados en la industria eólica terrestre. Además, se han de añadir a estos, los que protegen frente a los agentes específicos del medio marino.

Los EPI generales, incluyen protección frente a caídas a diferente nivel, golpes o corte con objetos o herramientas, pisadas sobre objetos punzantes, contactos eléctricos, ruido, vibraciones, agentes químicos...etc. Por norma general, la relación de estos EPI consta de:

- Uniforme y Chaleco de alta visibilidad.
- Casco + barboquejo.
- Calzado de seguridad.
- Gafas protección mecánica .
- Protección auditiva.
- Guantes de protección mecánica / térmica / química.
- Arnés integral.
- Cabos de anclaje + mosquetones + ganchos de gran apertura + absorbedores de energía.
- Rana o Slider.
- Rodilleras.

Los principales riesgos asociados al proceso de transferencia mediante el método "Bump & Jump" son las caídas y el ahogamiento. Para mitigar eficazmente el riesgo de caídas, es necesario utilizar un sistema anticaída completo antes citado (FAS). Para prevenir el riesgo de ahogamiento en caso de una caída al agua, se deben emplear la combinación de los siguientes elementos de protección personal anteriores a los que se les debe incluir:

- Dispositivo flotante personal (PFD).
- Rana tipo FROG-
- Baliza de localización personal (PLB).
- En algunos casos, podría ser necesario el uso de un traje de inmersión.



Ilustración 26 - Técnico equipado con los EPI

La elección dependerá de varios factores de riesgo. Algunos ejemplos de estos factores incluyen la temperatura del agua, la visibilidad y el tiempo estimado para la recuperación de las personas que pudieran caer al agua. En función de estos factores de riesgo, se tomará la decisión de si los técnicos deben usar un traje de inmersión aislante, un traje de inmersión más ligero o si no se requiere ningún traje de inmersión (J.-E. Vinnem, 2014). Es esencial asegurarse

de que todos los elementos de protección personal sean compatibles entre sí para evitar conflictos entre ellos.

En cuanto a los requisitos específicos para los sistemas W2W, estos pueden variar según la instalación, las operaciones y los procedimientos específicos de cada plataforma o de cada embarcación, pero por norma general, serán los mismos que los usados en el método "Bump & Jump", exceptuando la rana tipo FROG.