



**XXII CONGRESO**  
NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA

# **ANALES DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Revista de la Asociación Española  
de Ingeniería Mecánica  
Año 21, Septiembre 2018

19-21

**LIBRO DE ACTAS SEP 2018 madrid**

Congreso y publicación promovidos por la Asociación Española de Ingeniería Mecánica AEIM.

**Editor:**

José I. Pedrero

**Comité Editorial:**

Miryam B. Sánchez

Miguel Pleguezuelos

Lourdes del Castillo

Eduardo Gómez

*Área de Ingeniería Mecánica*

*Departamento de Mecánica*

*UNED*

**Edita:**

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Septiembre de 2018

**Anales de Ingeniería Mecánica**

Año 21, Septiembre

**ISSN: 0212-5072**

## Sistemas de acceso a unidades de producción de energías marinas. Revisión y nuevas propuestas

**P. García, J. Sánchez-Espiga, A. De-Juan, A. Solórzano**

*Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica, Universidad de Cantabria*

*garciafp@unican.es, sanchezespij@unican.es, ana.dejuan@unican.es, solorzanoa@unican.es*

---

*La búsqueda de nuevas formas de producción de energía que sirvan para satisfacer la creciente demanda energética y paliar los problemas ambientales derivados de la producción de la misma mediante la utilización de recursos no renovables, está motivando el desarrollo de nuevas tecnologías como aquellas relativas a la producción de energía renovable marina offshore. El interés de esta forma de producción de energía queda de manifiesto por el hecho de la adjudicación de diferentes proyectos en varios países, tanto en Europa como en el resto del mundo. A pesar de ser una fuente de producción de energía muy prometedora, presenta importantes retos tecnológicos para asegurar la viabilidad económica de las instalaciones. En este sentido, resulta fundamental la reducción de los costes asociados con las labores de mantenimiento y reparación. Uno de los principales factores que pueden contribuir a dicha reducción de costes es disponer de sistemas de transferencia del personal de instalación y servicio entre un barco de servicio y la instalación, que garantice su seguridad y que sea efectivo en unas condiciones de mar lo más amplias posibles. En este trabajo se realiza una revisión de las opciones de transferencia de personal existentes en el mercado, estudiando cada una de ellas considerando los rangos de trabajo y la tipología de la instalación a la que se pretende acceder, pero también la seguridad y otros factores determinantes que afectarán a la viabilidad económica de esta forma de producción de energía. Igualmente, se estudiarán nuevas ideas, en desarrollo actualmente, relacionadas con la obtención de sistemas de acceso aptos para infraestructuras flotantes, siendo este un problema no resuelto en la actualidad.*

---

### 1. Introducción

La humanidad afronta actualmente varios problemas en términos de producción sostenible de energía y aumento en la demanda de energía. En primer lugar, el incremento de la demanda de energía debida al incremento de la población mundial y asimismo a la necesidad de una mayor cantidad de energía per cápita. Al mismo tiempo, hay diferentes problemas ambientales relacionados directamente con las emisiones de gases de efecto invernadero consecuencia de la producción de energía, lo cual hace necesario el desarrollo y la implantación de nuevas formas de producción de energía “limpia”. De la misma forma, los países adscritos al reciente tratado de París y al previo protocolo de Kioto han de cumplir con los objetivos fijados en cuanto a producción de energías renovables.

Como resultado, en las últimas décadas diferentes tipos de energías renovables han experimentado un rápido crecimiento en términos de potencia instalada y producción. Dentro de ese espectro la energía eólica es la opción más utilizada actualmente, alcanzando una potencia total instalada de 486.769 MW el final del 2016 [3], debido a la alta disponibilidad de viento como recurso y a la madurez alcanzada en el desarrollo de la tecnología necesaria para su producción.

Sin embargo, los lugares apropiados para este tipo de plantas en tierra se están acabando y como consecuencia, en las últimas dos décadas, las miras se han dirigido al mar. La producción de energía eólica offshore ha crecido sustancialmente, alcanzándose una potencia total instalada de 12.631 MW entre diez países europeos [1, 2, 4] y una potencia instalada de 14.384 MW a nivel mundial [3] al final del 2016. Además, varios nuevos proyectos están desarrollando actualmente en todo el mundo a pesar de los altos costes asociados a la construcción y al mantenimiento de este tipo de instalaciones.

Diversas empresas y proyectos de investigación se centran en el desarrollo de sistemas de acceso de personal a las plataformas de producción de energía de forma rápida y segura para un rango de condiciones de mar lo más amplio posible. Se busca así reducir el coste de mantenimiento y aumentar el tiempo de operación de estas instalaciones para asegurar así su viabilidad económica.

El diseño de una gran parte de los sistemas de acceso actuales sigue una estrategia denominada “walk to work” basada en que el personal se desplaza por su propio pie desde el barco de apoyo hasta la plataforma de producción de energía, normalmente a través de una pasarela interpuesta entre ambos elementos. El sistema de transferencia debe asegurar que tanto el despliegue de la pasarela como el tránsito por la misma se puedan llevar a cabo de forma segura para el personal y las estructuras. Además, esta configuración permite el tránsito continuo de personal. Esto se logra, entre otros con la incorporación de distintos sistemas de compensación de movimiento. Esta estrategia de transferencia resulta más ágil y segura que otras en las que el personal se encuentra confinado en algún elemento móvil durante la misma o aquellas en las que tiene que subir por escalas.

## 2. Principales sistemas existentes

Típicamente, los sistemas “walk to work” siguen una morfología en la cual ha de haber una pasarela, un sistema de compensación de movimientos (SCM) y un sistema de control que gobierna todas las operaciones. Básicamente, la pasarela es el único elemento obligatorio en los sistemas basados en esta tecnología. A continuación, estos componentes se describen en detalle teniendo en cuenta las diferentes soluciones que se pueden encontrar actualmente en el mercado.

### 2.1. Pasarela

Un elemento común en cualquier sistema de transferencia de personal basado en la tecnología “walk to work” es la pasarela. Permite al personal caminar desde la embarcación de servicio a la estructura marina fija. Aunque este tipo de sistemas podrían tener una pasarela completamente pasiva, ésta no resultaría suficiente para obtener el comportamiento adecuado del conjunto del sistema. Como resultado, se hace necesario el control de algunos grados de libertad (GDL).

En relación con los actuadores incluidos en la pasarela para obtener un funcionamiento adecuado; En primer lugar, cada pasarela necesita actuadores que permitan modificar la orientación y la inclinación, así como la longitud total de la misma, para acoplarla al destino y mantener el contacto durante la maniobra. Dado esto, se incluye una sección telescópica, al mismo tiempo que se incorporan actuadores para controlar la orientación e inclinación permitiendo solventar desalineamientos, diferencias de altura e incrementos y decrementos de la distancia entre el barco y la zona de descarga de la estructura. Al mismo tiempo, la pasarela incorpora un dispositivo en su punta para asegurar el contacto de la misma con la zona de descarga. Todas estas actuaciones pueden no ser siempre activas dependiendo de la solución escogida y la fase de la maniobra en la que se esté.

### 2.2. Pasivas

Entre los sistemas de tecnología “walk to work” las soluciones más simples, no siempre las más adecuadas, consisten en pasarelas que son totalmente pasivas una vez se realiza el acople con la estructura marina fija. Desde un punto de vista teórico, una vez establecida la conexión física entre la pasarela y la zona de descarga todos los actuadores se desactivan y el sistema se deja llevar por el movimiento del barco dejando libres los pares cinemáticos. Como contrapunto, dejarse llevar puede conllevar mucho movimiento y por lo tanto un peligroso aumento del riesgo de la maniobra.



**Figura 1:** Pasarela UPTIME 4-12 m

Estos son sistemas en los cuales la pasarela se controla para alcanzar la conexión física con la zona de descarga y cuando esto se logra, los pares cinemáticos se liberan. Éstas son configuraciones de cadena abierta, lo cual permite el paso continuo de personal entre el origen y el destino.

A pesar de las opciones existentes que se han visto anteriormente en la mayoría de ellas el principal componente, la pasarela, está unida a un SCM, que trabaja en paralelo para mejorar la empleabilidad del sistema. Desde el punto de vista de la compensación algunas de las soluciones se consideran activas

### 2.3. Activos

Al darle la denominación de “activos” a este tipo de sistemas se hace referencia a la imposibilidad de desconexión de cualquiera o la totalidad de los actuadores durante la maniobra y al hecho de que hacerlo supondría comprometer toda la operación.

Ampelmann es el mayor exponente en la producción de sistemas de compensación de movimiento activos para compensar los movimientos de barcos, mientras se transfiere personal a una estructura marina fija. Esta empresa dispone de una amplia gama de productos basada en la tecnología “walk to work”. Típicamente, estas pasarelas incorporan configuraciones que permiten compensar los movimientos de la embarcación causados por el oleaje. En la mayoría de los sistemas comercializados por Ampelmann el SCM consiste en una plataforma Stewart-Gough, Figura 3. Al cambiar la orientación del mecanismo el elemento terminal y la base cambian. Así, el elemento fijo es la plataforma superior y el elemento terminal es la plataforma inferior. Sobre la plataforma superior descansa la pasarela. Por medio de esta configuración, se compensan los movimientos con la actuación de los GDL del hexápodo de manera que reproduzca los movimientos del barco, pero de forma opuesta. Consecuentemente, al componer los movimientos considerando los del barco y el sistema de compensación se obtiene como resultado un movimiento nulo de la plataforma superior, lográndose que ésta permanezca estable.



Figura 2: Sistema Ampelmann en servicio [4]

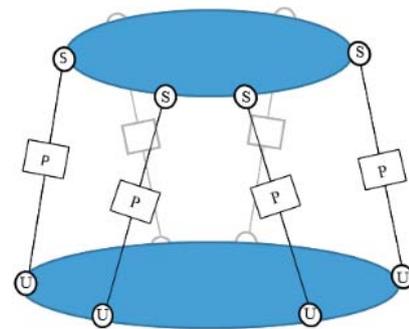


Figura 3: Esquema configuración 6-UPS

Desde el punto de vista constructivo las cadenas cinemáticas que componen los sistemas Ampelmann presentan modificaciones, convirtiendo las 6-UPS en 6-UCU [1, 9]. Otro aspecto interesante de su construcción está en la combinación de un manipulador paralelo y un sistema de cadena abierta, siempre permitiendo el cruce continuo de personal. Cinematicamente, con el objeto de lograr el correcto posicionamiento del elemento terminal su movimiento es el resultado de la composición del movimiento de todas las cadenas por separado. Esto permite mantener la pasarela estable sin necesidad de estirarla o encogerla o cambiar su orientación. Por el contrario, esta composición de movimientos hace imprescindible que los actuadores estén activos en todo momento, si alguno se desconectase, toda la maniobra se vería comprometida.

Sin embargo, estas soluciones activas necesitan de un suministro constante de energía y están en movimiento a lo largo de la totalidad de la misma. En busca de soluciones más simples y que sean más eficientes desde el punto de vista energético se encuentran en el mercado, opciones semi-pasivas.

### 2.4. Semi-pasivos

Al contrario que en los sistemas activos, en los semi-pasivos una vez la pasarela está acoplada a la estructura marina fija la desconexión de actuadores está permitida, de hecho, es una obligación para obtener un comportamiento apropiado del sistema de transferencia. De esta manera, se simplifica el sistema de control y se reduce el consumo de energía. En esta categoría se engloban gran parte de los sistemas que se emplean para este tipo de maniobra. Normalmente, en este tipo de sistemas, la pasarela se sitúa sobre un pedestal de compensación de movimiento. Típicamente, este pedestal posee la traslación vertical desacoplada del resto de actuadores, dado que es el GDL más determinante. De hecho, en diferentes sistemas semi-pasivos (UPTIME 23,4m, UPTIME 26m, MACGREGOR OFFSHORE GANGWAY) [7, 12] el SCM compensa exclusivamente este GDL. Figura 4, Figura 5.

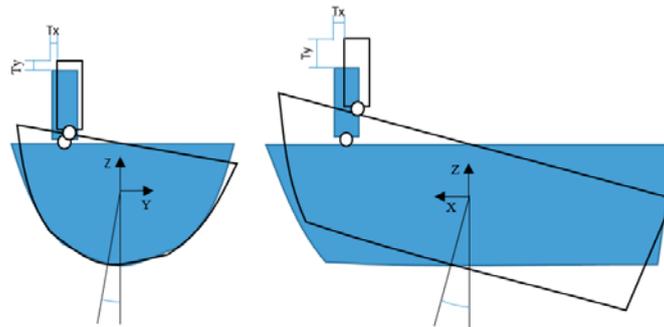


**Figura 4:** MACGREGOR offshore gangway



**Figura 5:** UPTIME 23,4m

Sin embargo, existen sistemas más complejos (BM GANGWAY 3.0, BM GANGWAY 4.5 and SAFEWAY SEAGULL) que incorporan en la parte inferior del pedestal de compensación, cadenas cinemáticas que permiten compensar los giros de la cubierta del barco (el cabeceo y la escora). Para asegurar este efecto, normalmente se introducen un par de cilindros aparte de un par de pares rotacionales. Como consecuencia el pedestal se mantiene vertical asegurando que la traslación sea paralela al eje Z, pero experimentando traslaciones residuales en los ejes X e Y debido al posicionamiento de los pares rotacionales con respecto del punto de pivotamiento del barco. Figura 6



**Figura 6:** Traslaciones residuales debidas a los giros de la cubierta

Con respecto a su construcción, este tipo de sistemas se componen de un manipulador paralelo, el pedestal, y un manipulador de cadena abierta, la combinación de la traslación vertical y la pasarela.

### 3. Sistema de control y maniobra

La componente de aleatoriedad del comportamiento del mar hace que sea imposible asegurar la compensación de los movimientos inducidos por él en una embarcación a partir del modelizado del fenómeno, debido al carácter estadístico en el modelo. Como resultado, estos sistemas de control se basan en la utilización de medidas de los diferentes movimientos de la embarcación debidos al oleaje. Para medir estos movimientos, se recurre a un sistema IMU (Inertial Measurement Unit) compuesto por tres acelerómetros y tres giróscopos que miden los movimientos en los seis GDL. Estas medidas son utilizadas por los actuadores que componen los SCM.

Además, los sistemas que incorporan la tecnología “push” en la punta de la pasarela precisan de los sensores necesarios para garantizar el contacto, como puede ser una célula de carga. Esta tecnología basa el mantenimiento del contacto en la obtención de un nivel estable de carga en la unión entre la zona de descarga y la pasarela mediante el acortamiento o alargamiento de la pasarela para aumentar o disminuir la presión en la punta de la misma.

### 4. Aparte del “walk to work”

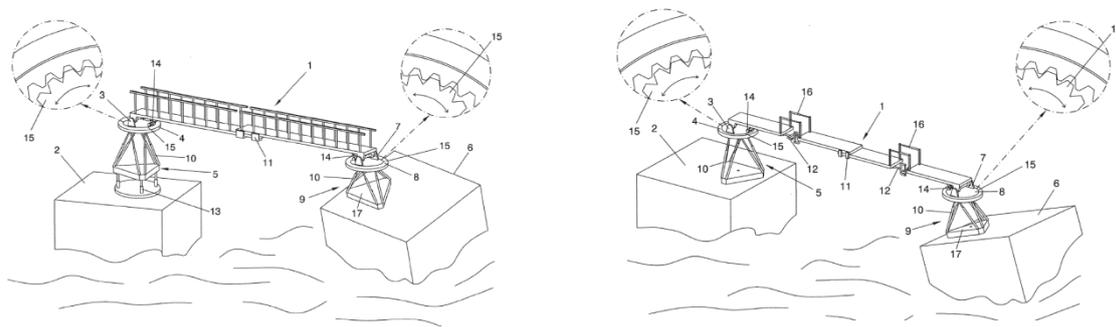
Las soluciones anteriores están basadas en la tecnología “walk to work”, pero a pesar del hecho de que es la tendencia predominante, no es la única opción presente en el mercado. Otras opciones consisten en la utilización de robots de cadena abierta o grúas situadas sobre plataformas compensadas. En este tipo de solución el elemento terminal consiste en una góndola o una cabina donde el posicionamiento se logra a partir del brazo y después se emplea un articulación a modo de muñeca para la orientación de la cabina, lo cual hace que el paso continuo de personal sea imposible.[4]

Existen otras soluciones fundamentadas en la utilización del cierre de forma, de tal manera que el sistema de transferencia agarra la estructura fija usando diferentes configuraciones que normalmente se equipan en la punta de la embarcación.

## 5. Nuevos retos

En busca de una mayor producción de energía y en vista de la escasez de zonas costeras de baja profundidad, se están desarrollando nuevas tecnologías destinadas a la producción de energía renovable marina sobre estructuras flotantes. Éstas son fundamentalmente de tipo eólico y undimotriz. Estas nuevas formas de obtención de energía suponen un nuevo reto en cuanto al trasvase de personal, tener la capacidad de garantizar una elevada empleabilidad de las nuevas infraestructuras mediante la obtención de soluciones para trasvasar personal entre dos cuerpos flotantes que son movidos por la acción de las olas.

Algunas ideas propuestas hasta la actualidad consisten en configuraciones más complejas que las presentadas con anterioridad, como se puede observar en la Figura 7.



**Figura 7:** Propuestas para el trasvase entre cuerpos flotantes [14]



**Figura 8:** Tránsito de mercancías entre embarcaciones en movimiento

Este es un problema no resuelto todavía, donde se está trabajando en la actualidad en el desarrollo de diversas posibles soluciones, que pueden ser semejantes a las presentadas en la Figura 7 o nuevas versiones más sofisticadas de los sistemas empleados para el tránsito a estructuras marinas fijas. No obstante, para el desarrollo de posibles soluciones técnicas, un aspecto más importante que la cinemática de su mecanismo acoplado, es el control de los esfuerzos dinámicos, especialmente durante la fase de acoplamiento.

## 6. Conclusiones

Todos los nuevos sistemas de transferencia descritos anteriormente en esta revisión se clasificaron en activos, semi-pasivos o pasivos según el funcionamiento de los actuadores una vez la pasarela está acoplada, teniendo en cuenta que cada una de estas opciones presenta sus potencialidades y sus debilidades.

En primer lugar, el hecho de que los sistemas pasivos no compensen el movimiento hace que los riesgos asociados a este tipo de maniobra sean mucho mayores. Además, requiere de una mayor proximidad entre la estructura y la embarcación de servicio, lo cual afecta a la estabilidad del barco. Por otra parte, estas soluciones son mucho más sencillas y tienen un tamaño más reducido permitiendo su montaje en embarcaciones de un tamaño más reducido y consecuentemente reduciendo el coste de utilización de la embarcación.

En el caso de productos como los del fabricante Ampelmann, el sistema de compensación de movimientos se encuentra situado antes de la pasarela y además es capaz de compensar los 6 GDL de esta desde su base. Esto permite que la pasarela puede permanecer completamente estática, lo que hace que la maniobra sea más segura que en otros sistemas que únicamente aseguran la estabilidad de la punta de la pasarela. Sin embargo, el SCM que propone esta empresa presenta un mayor espacio ocupado en cubierta y gasto energético que otras soluciones. Igualmente, el sistema de control es mucho más complejo.

Los sistemas semi-pasivos constituyen una solución más eficiente en términos de energía, con respecto a los activos. No se aprecia redundancia en las actuaciones de los GDL. Estos sistemas alcanzan la compensación total de los movimientos a partir de la acción combinada de los actuadores presentes en el pedestal y de los presentes en la pasarela. Esto permite desconectar algunos de los actuadores una vez la pasarela está acoplada. En ese momento el control trabaja únicamente para asegurar la continuidad del contacto y la seguridad de los operarios durante el cruce.

En general, los sistemas con tecnología “walk to work” permiten en cierto grado la transferencia continua de personal, bien porque dicha característica forma parte de su diseño intrínseco o con la ayuda de algún elemento adicional.

En cuanto a las soluciones que no se basan en la tecnología “walk to work” el principal inconveniente se presenta en la imposibilidad del cruce continuo de personal. Como consecuencia, la duración de la maniobra se incrementa y por ende el coste asociado. Al mismo tiempo, este tipo de soluciones suponen una opción más peligrosa teniendo en cuenta la posibilidad de que ocurriese cualquier eventualidad y la imposibilidad de los operarios de recibir asistencia o de abandonar rápidamente la cabina o góndola en la que están montados, todo ello a causa de no haber una conexión continua del origen y el destino.

## 7. Referencias

- [1] Cerda, D.-J.: Ampelmann, Development of the Access System for Offshore Wind Turbines. PhD thesis TU Delft (2010).
- [2] Floating Offshore Wind: Market and Technology Review. Carbon Trust. Jun 2015.
- [3] GWEC Global wind statistics 2016.
- [4] Katsouris, G. Savenije, L.-B.: Offshore wind access 2017.ECN (2016)
- [5] Merlet, J.-P.: Parallel Robots (Series: Solid Mechanics and Its Applications). Springer (2006)
- [6] Siciliano, B. Khatib, O.: Handbook of Robotics. Springer (2008)
- [7] <http://www.uptime.no/> (11/01/2017 10:42)
- [8] <https://www.barge-master.com/products/> (11/01/2017 10:45)
- [9] <http://www.ampelmann.nl/systems> (11/01/2017 11:00)
- [10] <http://www.vanaalstmarine.com/safeway> (12/01/2017 18:45)
- [11] [http://m-a.no/wp-content/uploads/2015/03/MA-Gangway2016\\_LOW.pdf](http://m-a.no/wp-content/uploads/2015/03/MA-Gangway2016_LOW.pdf) (15/01/2018 11:27)
- [12] <https://www.macgregor.com/Products-solutions/Offshore-oil-and-gas-and-renewables/> (12/01/2018 17:36)
- [13] [http://www.owjonline.com/news/view,norway-recognises-offshore-winds-huge-potential\\_50452.htm](http://www.owjonline.com/news/view,norway-recognises-offshore-winds-huge-potential_50452.htm) (17/01/2018 10:05)
- [14] FUNDACION CENTRO TECNOLÓGICO DE COMPONENTES, Santander, España. *Pasarela*. Rodríguez-Arias, Raúl, Rodríguez Ruíz, Álvaro, Fernández Ruiz, Pablo. ES, Int. CI: B63B 27/14, ES 2595242. 1 abril 2011.