

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



“PAPEL CONSIDERADO PARA PUBLICACIÓN”

**NOMBRE DEL SUB-EVENTO**

**Modelación de sistemas y Simulación /  
Otras temáticas afines a la Ingeniería industrial**

**Título**

**Aplicaciones científicas, industriales y académicas de una plataforma  
Stewart**

*Title*

*Scientific, industrial and academic applications of a Stewart platform*

**Josep M. Rossell<sup>1</sup>, Victor Barcons<sup>2</sup>, Jesus Vicente-Rodrigo<sup>3</sup>**

1- Josep M. Rossell. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España.

E-mail: josep.maria.rossell@upc.edu

2- Víctor Barcons. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España.

E-mail: victor.barcons@upc.edu

3- Jesús Vicente. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España.

E-mail: jesus.vicente@upc.edu

**Palabras Clave:** Plataforma Stewart; robots paralelos; cinemática inversa; mecanismos con 6 grados de libertad; control de vibraciones; simulaciones.

**Keywords:** *Stewart platform; parallel robots; inverse kinematics; mechanisms with 6-DOF; vibration control; simulations.*

“

**Resumen:** En este artículo se presenta un mecanismo que ha sido diseñado, construido y puesto en funcionamiento por nuestro equipo de investigación en la Universitat

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



Politécnica de Catalunya (UPC), Barcelona (España) y que tiene muchas aplicaciones prácticas tanto en el mundo científico, industrial, como en el académico. Se trata de una plataforma Stewart, un sistema electromecánico (o hidráulico) consistente en una base fija unida a una plataforma móvil por seis actuadores lineales, formando un mecanismo paralelo del tipo octaedro hexápodo de seis grados de libertad, esto es, tres traslaciones y tres rotaciones, que permite simular el movimiento de un objeto en el espacio. Aunque ciertas empresas fabrican algunos modelos de plataformas Stewart, cabe señalar que su coste es muy elevado y que, además, suelen funcionar con un software propio que no permite introducir modificaciones a lo que ya viene programado por el fabricante.

En primer lugar, vamos a comentar las características que debe tener una plataforma Stewart a la hora de su diseño, ensamblaje, puesta a punto y control, así como algunas de las aplicaciones en ámbitos tan distintos, pero complementarios, como son la investigación, la industria o la docencia. El objetivo último es la creación de un tándem de dos plataformas, esto es, una estructura formada por dos plataformas superpuestas, de tal manera que la plataforma inferior, de mayor tamaño, actúe como generadora de movimientos y la superior sea capaz de compensarlos. De esta forma, un objeto situado encima del disco superior de la plataforma pequeña debería permanecer inmóvil ante las perturbaciones generadas por la plataforma inferior.

Finalmente, se darán a conocer las múltiples utilidades de este tipo de mecanismos, con la intención de que otros centros científico-tecnológicos puedan construirlos o bien usarlos en sus laboratorios experimentales.

***Abstract:** This paper presents a mechanism that has been designed, built and put into operation by our research team at the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona (Spain) and that has many practical applications in the scientific, industrial and academic fields. It is a Stewart platform, an electromechanical (or hydraulic) system capable of moving with six degrees of freedom, that is, three translations and three rotations, and that allows to simulate the movement of an object in space. Although*

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



*certain companies manufacture some models of Stewart platforms, it should be noted that their cost is very high and, in addition, they usually work with their own software that does not allow modifications to be introduced to what is programmed by the manufacturer.*

*First, we will present the characteristics of a Stewart platform for its design, assembly, tuning and control, as well as some applications of such mechanisms which can be used in different but complementary fields as research, industry or educational. The ultimate goal is the construction of a tandem of two platforms, that is, a structure composed by two overlapped platforms, in such a way that the lower platform, of greater size, acts as a generator of movements and the superior one is able to compensate them. In this way, an object placed on the small platform upper disc should remain immobile with respect to the disturbances generated by the lower platform.*

*Finally, we will present multiple utilities of this type of mechanisms, with the intention that other scientific or technological centers can construct or use them in their experimental laboratories.*

## **Objetivos**

El objetivo principal de este trabajo es la presentación de una plataforma Stewart para ser diseñada, construida y utilizada en Universidades, industrias y centros de innovación científica y tecnológica. A partir de las numerosas aplicaciones prácticas de dichos mecanismos, queda justificada su importancia en el campo del control de estructuras flexibles, así como en la simulación de movimientos con seis grados de libertad, lo cual puede servir como banco de pruebas para una gran cantidad de experimentos en el laboratorio.

## **1. Introducción**

El control de estructuras flexibles que se encuentran afectadas por vibraciones externas es un problema de gran interés en el área del control automático de sistemas. Para ello se

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



requieren mecanismos capaces de simular este tipo de situaciones, con el fin de diseñar leyes de control que permitan amortiguar las vibraciones que sufren dichas estructuras.

Un mecanismo que permite simular movimientos y perturbaciones con seis grados de libertad, esto es, tres movimientos lineales respecto a los ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (lateral, longitudinal y vertical) junto con otros tres movimientos rotacionales alrededor de los mismos ejes, más conocidos como *roll*, *pitch* y *yaw*, es una plataforma Stewart. Puede clasificarse como un sistema mecatrónico complejo puesto que involucra diversas disciplinas: mecánica, electrónica, computación y control. Este tipo de robot está compuesto por dos plataformas paralelas, esto es, una plataforma en la base (fija) y una placa o disco superior (móvil) conectadas por seis actuadores extensibles e independientes. Para modificar la posición de la placa superior, los actuadores deben moverse de forma coordinada con el fin de producir el desplazamiento y orientación deseados. Estos movimientos se pueden lograr haciendo uso de una técnica denominada *cinemática inversa*, como se detallará más adelante.

Aunque dicho mecanismo fue creado como simulador de vuelo por el ingeniero D. Stewart en 1965 [1], en los últimos años se ha venido utilizando como herramienta para la experimentación científica en áreas como la generación de energía eólica, automoción, mecánica, aeronáutica, ingeniería civil o medicina, entre otras. Algunas aplicaciones prácticas se encuentran en la tecnología de máquinas-herramienta [2]; robots de soldadura; corte de objetos de alta precisión mediante métodos láser [3]; imágenes médicas [4]; operaciones quirúrgicas [5]; rehabilitación de miembros inferiores humanos [6-7]; radio telescopios [8]; suspensiones de vehículos [9]; control de vibraciones de estructuras flexibles [10] o en el control de trayectorias de objetos en movimiento [11], por citar algunas. Otras aplicaciones están relacionadas con estructuras flotantes marinas que soportan sistemas de instrumentación de precisión, grúas o aerogeneradores [12], como también en la simulación de oleajes y terremotos.

Sin lugar a dudas, uno de los objetivos principales de una plataforma Stewart es generar, con la máxima precisión posible, movimientos multidireccionales preestablecidos para

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

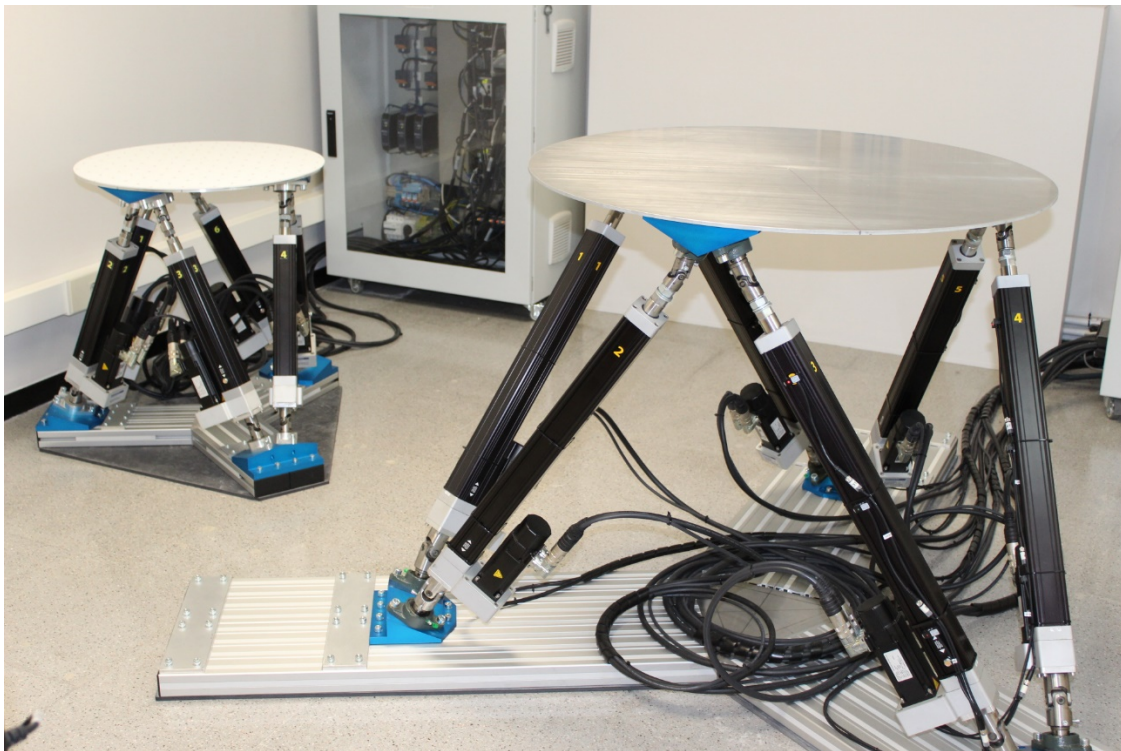
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



estudiar su efecto sobre estructuras ubicadas en la parte superior o bien controlar un objeto que se está moviendo encima de la placa o disco superior.

Nuestro equipo de investigación de la UPC ha diseñado y construido dos plataformas Stewart de tipo electromecánico (ver Fig.1). Dado que este tipo de mecanismos están compuestos por una gran cantidad de elementos mecánicos tales como cuñas metálicas, juntas universales, uniones, perfiles de aluminio, tornillería, etc. y teniendo en cuenta las pequeñas imperfecciones en su ensamblaje, podemos asegurar que obtener movimientos altamente precisos no es una tarea fácil. Otro inconveniente importante es el carácter no lineal de su movimiento ya que intervienen matrices de rotación de Euler [13].



**Figura 1.** Plataformas Stewart diseñadas y construidas por nuestro equipo de investigación de la UPC

En nuestro caso, las longitudes de los cilindros se controlan mediante un CompactRIO. Para conseguir unos movimientos precisos, se requiere un proceso de pre-calibración para establecer los parámetros óptimos de la plataforma, es decir, los puntos de unión exactos

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA

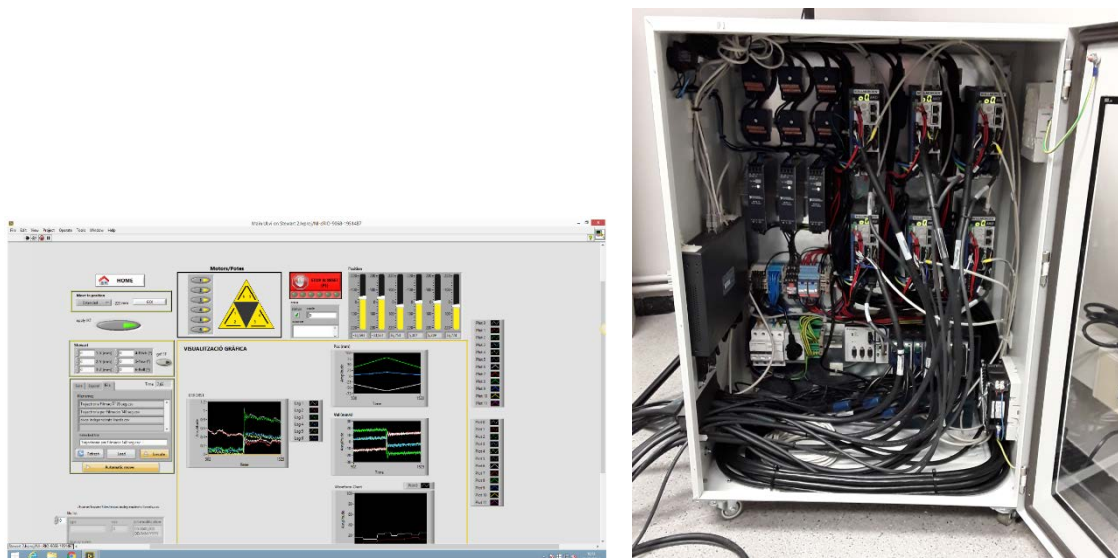


en la base y en la placa superior, con el objetivo de minimizar errores de longitud [14-16]  
(ver Fig. 2)



**Figura 2.** Proceso de calibración de una plataforma Stewart mediante un teodolito

Para operaciones en tiempo real, es crucial seleccionar métodos eficientes de control para evitar retardos en la actuación. Por sus altas prestaciones, LabVIEW ha sido el software elegido para realizar los movimientos y el control de las plataformas (ver Fig. 3)



**Figura 3.** Pantalla de LabVIEW y armario con los componentes electrónicos para el movimiento y el control de las plataformas Stewart

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



### **2. Metodología**

Los pasos a seguir para la construcción de una plataforma Stewart son: (1) configuración mecánica y diseño electrónico del mecanismo que se pretende construir; (2) ensamblaje de los componentes mecánicos; (3) instalación de los sistemas electrónicos; (4) programación de los algoritmos de movimiento (cinemática inversa) y de control con LabVIEW; (5) pre-calibración y calibración final de la plataforma; (6) instalación de aparatos complementarios: focos de iluminación, cámara de visión, pantalla táctil, etc. (7) test final de la plataforma mediante simulaciones experimentales.

Los siete apartados anteriores se podrían resumir en dos: Una primera fase de construcción y de movimiento de la plataforma y una segunda fase de control y simulaciones de la misma. Para la segunda etapa de control y de simulaciones, se cuenta con una cámara de visión de alta resolución la cual nos proporciona, en tiempo real, la posición de un objeto que se está desplazando sobre la plataforma y del que se pretende que siga una determinada trayectoria. Por otro lado, también estamos interesados en el control de posicionamiento de un objeto en movimiento, haciendo uso de una pantalla táctil que nos van a proporcionar, en cada instante de tiempo, la información de dónde se encuentra dicho objeto con el fin de controlarlo.

En nuestro caso, el producto final obtenido son dos plataformas de alta precisión con numerosas prestaciones, pudiendo actuar sobre ellas en tiempo real, muestreando cada 5 milisegundos. Esta rapidez en la lectura de datos de los sensores, del procesado de la información y de su posterior control ha sido posible gracias al uso de LabVIEW y al CompactRio. Aunque no se pretende especificar con detalle la tecnología empleada para el movimiento y el control de una plataforma, vamos a comentar algunos aspectos sobre la configuración de este tipo de mecanismos tal y como se ha señalado en el punto (1).

### **Configuración y diseño de una plataforma Stewart**

A pesar de no existir una única forma de diseñar una plataforma Stewart, hay que tener en cuenta que la simetría es la principal característica a tener en cuenta a la hora de pensar en su estructura, la cual estará relacionada con los puntos de anclaje de los seis actuadores.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

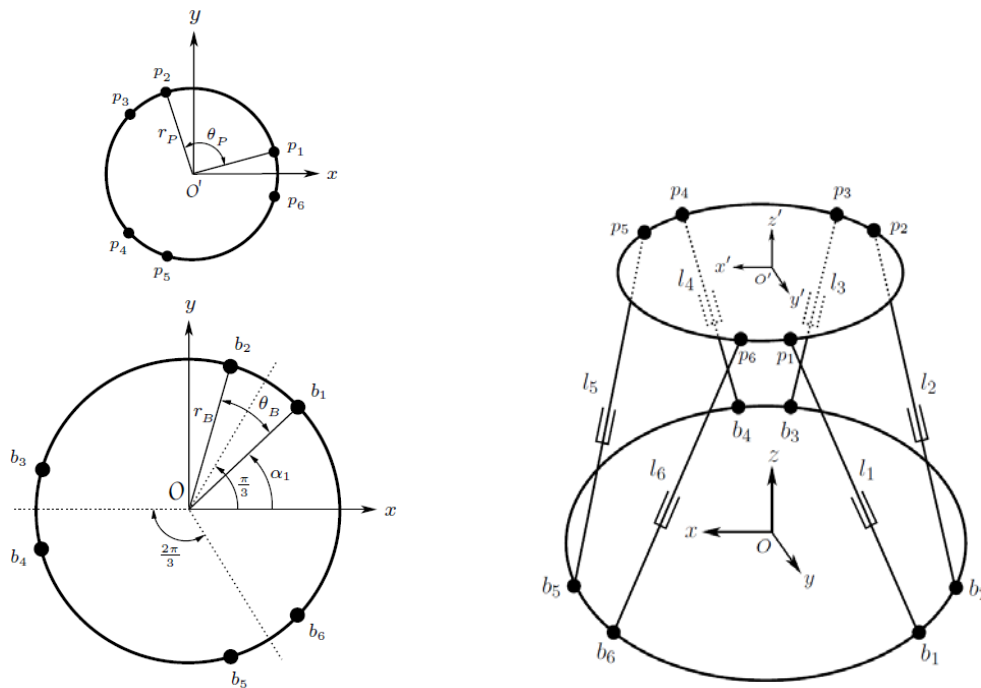
DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
 CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA

Desde un punto de vista matemático, puede considerarse que cada par de actuadores parten de un mismo punto de la base y se reúnen, a pares, en un único punto del disco superior. Mecánicamente esto no es posible, pero los cálculos para la programación de movimientos no se ven afectados por esta consideración [14].

Denotemos por  $B = [O; x, y, z]$  el sistema de referencia de la base de la plataforma y por  $P = [O'; x', y', z']$  el sistema de referencia del disco superior. Sean  $b_i$  y  $p_i$ ,  $i = 1, \dots, 6$ , los puntos de fijación de los actuadores en la base y en la placa superior, respectivamente (ver Fig. 4). Los ángulos que deben formar los puntos de anclaje vienen dados por:

$$\alpha_i = \frac{\pi}{3}i - \frac{\theta_B}{2}, \text{ para } i = 1,3,5 \quad \alpha_i = \alpha_{i-1} + \theta_B, \text{ para } i = 2,4,6$$

$$\beta_i = \frac{\pi}{3}i - \frac{\theta_P}{2}, \text{ para } i = 1,3,5 \quad \beta_i = \beta_{i-1} + \theta_P, \text{ para } i = 2,4,6$$

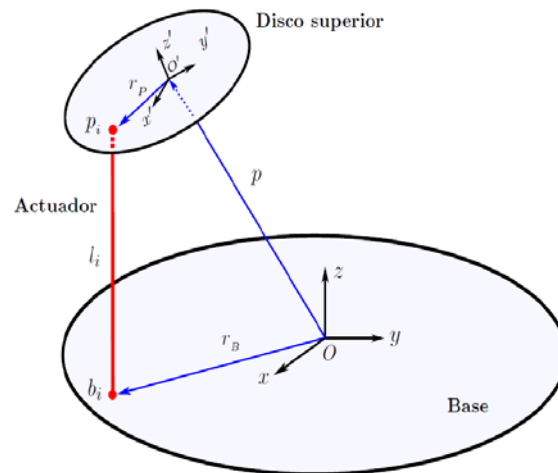


**Figura 4.** Puntos de fijación y esquema de los actuadores en la base y en el disco superior

Una vez configurada mecánicamente la plataforma, la metodología empleada para el movimiento y el control será la cinemática inversa (ver Fig. 5). Consiste en calcular la



longitud que debe tener cada actuador, esto es,  $l(t) = [l_1(t), \dots, l_6(t)]^T$ , a partir de la posición y de la inclinación del disco superior, en cada instante de tiempo  $t$ .



**Figura 5.** Esquema del movimiento de una plataforma Stewart mediante el uso de la cinemática inversa

La cinemática directa, que nos proporciona la posición y la inclinación de la plataforma superior a partir de las longitudes de los actuadores, no es una buena estrategia. Se requiere la resolución simultánea de múltiples ecuaciones no lineales y, en general, existe más de una solución factible, lo cual imposibilita definitivamente su implementación. Además, teniendo en cuenta que estamos interesados en el control en tiempo real, este método no sería adecuado por el excesivo tiempo computacional.

En la Figura 5 podemos observar que la longitud de cada actuador viene dada por  $l_i(t) = \| p(t) + R(t) p_i - b_i \|$ , donde  $R(t)$  es la matriz de Euler, esto es, la matriz de rotación que especifica la orientación del sistema móvil  $P = [O'; x', y', z']$  con respecto al sistema fijo de la base  $B = [O; x, y, z]$ . Así pues, podemos dar la orden a cada actuador, de forma independiente, para que alcance la longitud requerida en cada instante de tiempo y así conseguir la posición e inclinación deseadas en la plataforma superior.

### 3. Algunas aplicaciones de las plataformas Stewart

Tal y como hemos comentado en la introducción, las aplicaciones prácticas de una plataforma Stewart son múltiples y variadas. Vamos destacar, entre otras:

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



- **Simulación de oleajes** para el análisis y posterior desarrollo de métodos de control estructural de *offshore wind turbines*, es decir, aerogeneradores marinos situados lejos de la costa y soportados por mecanismos flotantes, los cuales necesitan ser estabilizados, como puede verse en la Figura 6.

El uso de plataformas Stewart permite realizar estudios de vibraciones sobre este tipo de turbinas eólicas que se encuentran afectadas por múltiples fenómenos naturales, tales como oleajes, corrientes marinas o vientos de fuerte intensidad. Es, por lo tanto, una herramienta útil en el estudio y desarrollo de fuentes de energía no contaminante y sostenible.



**Figura 6.** Aerogeneradores *offshore* flotantes sometidos a oleajes y vientos

- **Simulación de terremotos.** Se pueden simular todo tipo de perturbaciones multidireccionales que permitan diseñar leyes de control para reducir los efectos de los sismos sobre cualquier tipo de estructura flexible. En general, la mayoría de estudios consideran vibraciones unidireccionales o bidireccionales, pero no movimientos tridimensionales ni de tipo torsional. La simulación con una plataforma Stewart permite reproducir todos estos movimientos, incluidos los rotacionales, los cuales aparecen en la realidad.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

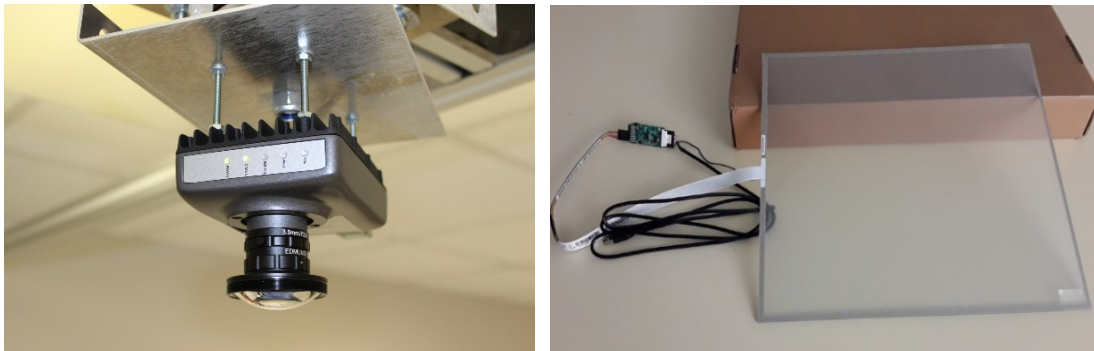
DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



- **Simulación de perturbaciones.** Aplicación al control de vibraciones estructurales: puentes, torres, edificios, monumentos, estatuas, estructuras metálicas, etc. Más concretamente, permite realizar estudios de cómo afectan ciertas vibraciones medioambientales a monumentos antiguos o a cualquier otro tipo de construcción que deba ser protegida de perturbaciones, tales como la circulación de trenes o metros, vientos fuertes, tráfico rodado intenso, aeropuertos cercanos, concentraciones humanas, conciertos al aire libre, fiestas pirotécnicas, etc.
- **Simulación de movimientos de amortiguadores** de vehículos sometidos a un firme irregular para conseguir diseños más perfeccionados, incluidos los amortiguadores inteligentes [9].
- **Captura de energía** a partir del oleaje marino, proceso conocido también como *harvesting*. Se pretende simular, mediante la plataforma, oleajes de distinta intensidad para experimentar y medir captura de energía. Se trata de proporcionar algunos micro voltios a unas bolas de metacrilato que se depositan en el mar o en un océano y que van recopilando información sobre la posición, temperatura del agua, vientos, corrientes marinas, mareas, etc. del lugar donde se encuentran flotando. El problema radica en que estas esferas necesitan una mínima energía para recoger la información y enviarla a un satélite de forma periódica, el cual la transmitirá finalmente a una central de datos. Esta energía debe suministrarla el propio movimiento marino para que sea constante, duradera y no dependa de una fuente de alimentación propia. La energía solar, aunque también podría utilizarse para este fin, tiene el inconveniente que durante la noche no abastecería energía de forma adecuada a dicho mecanismo.
- **Calibración de aparatos de alta precisión** instalados en barcos o aviones para medir la fuerza de la gravedad hasta la novena cifra decimal de exactitud. Un pequeño cambio en el valor de la gravedad en algún punto de la tierra o del mar, permite detectar posibles bolsas de gas o de petróleo en el subsuelo.
- **Control de objetos**, principalmente esferas, que se deslizan sobre la superficie de la plataforma. Como sensor se puede utilizar una cámara de alta resolución o bien una

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

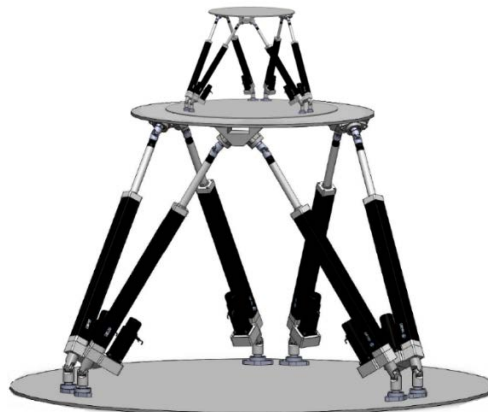
pantalla táctil para determinar la posición del objeto [17-19] (ver Fig. 7). Este tipo de experimentación nos permite apreciar la precisión con la cual trabaja la plataforma al poder contrastar el movimiento preestablecido con el movimiento real del objeto controlado.



**Figura 7.** Cámara y pantalla táctil como sensores de posición de un objeto en movimiento situado encima de una plataforma Stewart

- **Con un tándem de plataformas.** Simulación de perturbaciones en la plataforma inferior y compensación de dicha perturbación mediante la plataforma superior. Se pretende controlar una estructura situada encima de la segunda plataforma para conseguir su inmovilidad, todo ello en tiempo real.

La Figura 8 recrea un tándem de dos plataformas que se va a materializar en un futuro inmediato, el cual será utilizado para simulaciones diversas en el laboratorio de la UPC.



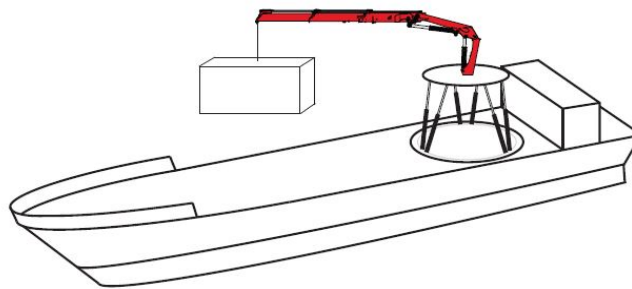
**Figura 8.** Recreación gráfica de un tándem de dos plataformas Stewart

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL "II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA



Como ejemplo práctico de un tándem de plataformas, podemos imaginar un barco que necesita realizar con precisión operaciones de carga y descarga de contenedores, ya sea en un puerto o bien sobre otro barco, pero que se ve sometido a movimientos causados por el oleaje (ver Fig. 9). Mediante el uso de una plataforma Stewart situada entre el barco y la grúa, se puede compensar en tiempo real el movimiento producido por las olas, manteniendo la grúa estable y en posición vertical en todo momento.



**Figura 9.** Plataforma Stewart utilizada para la descarga de contenedores (Extraído del MasterThesis by Anders Lohmann and Soren Giessing, Aalborg Universitet, Denmark)

#### 4. Conclusiones

Se ha descrito lo que se conoce como plataforma Stewart, un aparato electromecánico sumamente útil para ser utilizado en ámbitos tan distintos como industrias, universidades o centros de formación y que permite generar o simular movimientos en el espacio con seis grados de libertad. Las aplicaciones prácticas de estos mecanismos son múltiples y variadas. En este artículo, que no pretende ser exhaustivo en ningún aspecto, simplemente se han comentado sus principales características y, por encima de todo, se ha querido exponer su enorme capacidad para generar simulaciones experimentales de carácter científico-tecnológico que pueden aportar nuevos y avanzados métodos en el área del control automático de sistemas.

#### 5. Referencias bibliográficas

[1] D. Stewart, "A platform with six degrees of freedom", Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering, Vol. 180 (5), Part 1, pp. 371-386, 1965.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA**



- [2] S. Pedrammehr, M. Mahboubkhah, and N. Khani, "A study on vibration of Stewart platform-based machine tool table", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 65 (5-8), pp. 991-1007, 2013.
- [3] L. Bruzzone, R. Molfino, and R. Razzoli, "Modelling and design of parallel robot for laser cutting applications", Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control, Innsbruck, Austria, February 2002, pp. 518-522.
- [4] S. Lessard, P. Bigras, I. Bonev, S. Briot, and V. Arakelian, "Optimum static balancing of the parallel robot for medical 3D-ultrasound imaging", Proceedings of the 12th IFToMM World Congress, Besançon, France, June 2007, pp. 1-6.
- [5] M. Wapler, V. Urban, T. Weisener, J. Stallkamp, M. Durr, and A. Hiller, "A Stewart platform for precision surgery", Transactions of the Institute of Measurement and Control, Vol. 25 (4), pp. 329-334, 2003.
- [6] E. Bances, B. Barriga, and D. Elías, "Simulador de marcha del tipo pie plataforma para rehabilitación de la marcha humana", Actas del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines (CONIMERA), Lima, Perú, 2011, pp. 1-10.
- [7] A.I. Aureles-Cabrera and H. Aguilar-Sierra, "Diseño y modelado de un robot paralelo tipo Stewart para diagnóstico y rehabilitación de tobillo", Memorias del XLI Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica (SOMIB), León, Guanajuato, México, 2018, pp. 386-389.
- [8] J. Jáuregui, E. Hernández, M. Ceccarelli, C. López-Cajún, and A. García, "Kinematic calibration of precise 6-DOF Stewart platform-type positioning systems for radio telescope applications", Frontiers of Mechanical Engineering, Vol. 8 (3), pp. 252-260, 2013.
- [9] Y. Sam, N. Suib, and J. Osman, "Proportional integral sliding mode control for the half-car active suspension system with hydraulic actuator", Proceedings of the 8th

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA**



WSEAS International Conference on Robotics, Control and Manufacturing Technology, Hangzhou, China, April 2008, pp. 52-57.

[10] B. Luo, W. Li, and H. Huang, "Experimental study of active vibration control for flexible beam by using a Stewart platform manipulator", Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing, China, August 2011, pp. 1465-1470.

[11] J.M. Rossell, F. Palacios-Quinonero, J. Rubió-Massegú, and J. Vicente-Rodrigo, "Tracking control for a Stewart platform prototype", Proceedings of the International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA), Surabaya, Indonesia, October 2015, pp. 58-63.

[12] M. Horoub, M. Hassan, and M. Hawwa, "Workspace analysis of a Gough-Stewart type cable marine platform subjected to harmonic water waves", Mechanism and Machine Theory, Vol. 120, pp. 314-325, 2018.

[13] B. Dasgupta and T. Mruthyunjaya, "The Stewart platform manipulator: A review", Mechanism and Machine Theory, Vol. 35, pp. 15-40, 2000.

[14] J. Borràs and F. Thomas, "On the primal and dual forms of the Stewart platform pure condition", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 28 (5), pp. 1205-1215, 2012.

[15] H. Zhuang, J. Yan, and O. Masory, "Calibration of Stewart platforms and other parallel manipulators by minimizing inverse kinematic residuals", Journal of Robotics Systems, Vol. 15 (7), pp. 395-405, 1998.

[16] Y. Hao, L. Changchun, L. Xiaodong, and Z. Jinying, "Calibration of Stewart platform based on coordinate measurement", Proceedings of International Conference on Modelling, Identification and Control, Shanghai, China, June 2011, pp. 469-474.

[17] N. Andreff, A. Marchadier, and P. Martinet, "Vision-based control of a Gough-Stewart parallel mechanism using legs observation", Proceedings of the IEEE

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA**



International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, April 2005, pp. 2535-2539.

[18] A. Zuo, Q. Wu, and W. Gruver, "Stereo vision guided control of a Stewart platform", Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2002, pp. 125-130.

[19] J.M. Rossell, J. Vicente, J. Rubió-Massegú, and V. Barcons, "An effective strategy of real-time vision-based control for a Stewart platform", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Lyon, France, 2018, pp. 75-80.

**Agradecimientos:**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España con el proyecto DPI2015-64170-R (MINECO/FEDER)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)