



Received: 24-05-2018
Accepted: 28-07-2018

Anales de Edificación
Vol. 4, Nº 2, 69-74 (2018)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2018.3781

Nuevos sistemas robóticos de inspección e intervención en rehabilitación de fachadas. New robotic systems of inspection and intervention in façade rehabilitation.

J. Riobó, J. Espelosin, L. Montano, J. Mené, D. Diez, J. Lalana

Instituto Tecnológico de Aragón (jriobo@itainnova.es; jespelosin@itainnova.es; lmontano@itainnova.es; jmene@itainnova.es; ddiez@itainnova.es; jlalana@itainnova.es)

Resumen— La construcción de edificios cada vez más altos, la puesta en marcha de la ITV de edificios de más de 50 años y los avances tecnológicos son tres factores que hacen cada vez más interesante, e incluso necesario, el desarrollo de nuevos sistemas de inspección que faciliten dichas actuaciones. La robotización en estas tareas debe dar lugar a una optimización de los procesos (menor tiempo, menor coste), disminución de riesgos laborales, así como la minimización de las afecciones en el tráfico y las molestias a los viandantes en torno al edificio. Este artículo, generado dentro del proyecto ROBIM financiado por Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial en la Convocatoria CIEN 2016, presenta los avances tecnológicos producidos en los últimos años en las labores de inspección de fachadas yendo desde los procesos más manuales y costosos en tiempo y dinero hasta las últimas novedades existentes donde la automatización del proceso de inspección empieza a cobrar peso. En especial, el estudio se focaliza en analizar los diferentes robots existentes en el panorama internacional en tareas de inspección de superficies verticales, el conocer que tecnologías de fijación utilizan y cómo se trasladan a lo largo de la fachada.

Palabras clave— Inspección, robot, rehabilitación, fachada.

Abstract- The construction of increasingly higher buildings, the implementation of the ITV of buildings over 50 years and technological advances are three factors that make it increasingly interesting, and even necessary, the development of new inspection systems that facilitate said actions. The robotization in these tasks must lead to an optimization of the processes (less time, lower cost), reduction of occupational risks, as well as the minimization of traffic conditions and the inconvenience to pedestrians around the building. This article, generated within the ROBIM project funded by the Center for Industrial Technological Development in the CIEN 2016 Call, presents the technological advances produced in recent years in the inspection of facades from the most manual and costly processes in time and money to the latest news where the automation of the inspection process begins to gain weight. In particular, the study focuses on analyzing the different existing robots in the international landscape in vertical surface inspection tasks, knowing which fixing technologies they use and how they move along the façade.

Index Terms— Concrete, repair, corrosion, monitoring, electrochemical techniques.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de robots escaladores de estructuras verticales está adquiriendo en los últimos tiempos una gran relevancia en tareas de mantenimiento, de inspección y propias de la construcción. La construcción de edificios cada vez más altos, la Inspección Técnica de Edificios y los avances tecnológicos son tres de los factores que hacen más que interesante, e incluso necesario, el desarrollo de nuevos robots.

La robotización de estas tareas debe dar lugar a una optimización de los procesos (menor tiempo, menor coste), disminución de riesgos laborales, así como la minimización de las afecciones en el tráfico y las molestias a los viandantes en torno al edificio.

En sus inicios, el uso de robots de inspección se circunscribía a entornos peligrosos donde la operativa conllevaba graves peligros para su salud e integridad de los trabajadores. Ejemplo de ello son las operaciones que tienen lugar en industrias como la nuclear o la química en labores de inspección de tanques y tuberías para la detección de pérdidas, determinación del estado de los cordones de soldadura, espesores de paredes, etc.

En la actualidad, y con la evolución tecnológica existente, el campo de aplicación de este tipo de robots aumenta y no sólo a actuaciones industriales de alta peligrosidad como las citadas sino a otros ámbitos de supervisión y mantenimiento como pueden ser la construcción, el sector eléctrico (torres de alta tensión, aerogeneradores, etc.), forestal y un largo etcétera. El objetivo no es otro que facilitar la labor de los trabajadores minimizando riesgos y tiempos.

En el sector de la construcción se ha producido en las últimas décadas un incremento destacable en la edificación de grandes edificios y conjuntos estructurales peculiares. Edificios que bajo las técnicas clásicas hacen difícil, caro, y en ciertas ocasiones peligroso, el acceso a superficie para abordar tareas de inspección y mantenimiento (Nansai & Mohan, 2016).

La incorporación de sistemas robotizados autónomos en tareas de inspección y mantenimiento de fachadas se presenta como un reto tecnológico en sí. Reto que en primer lugar debe solventar cómo se sustenta el sistema en fachada y cómo se desplaza a lo largo de la misma. Adicionalmente, el sistema debe disponer de un sistema de detección de posibles obstáculos para poder definir la trayectoria a seguir hasta el/los puntos de inspección.

II. SISTEMAS DE SUSTENTACIÓN EN SUPERFICIES VERTICALES

Se define sistema de sustentación como el medio que utiliza el dispositivo de inspección/mantenimiento para poder realizar las funciones para las que ha sido diseñado.

Atendiendo a la definición de sustentación realizada pueden

realizarse dos grandes grupos: aquellos dispositivos que requieren de una estructura externa para llevar a cabo las funciones de traslación y sustentación a lo largo de la fachada y aquellos otros que acceden al punto de análisis de manera autónoma.

A. Sistemas de sustentación dependiente de estructura externa

Los sistemas de inspección a día de hoy se circunscriben principalmente a estructuras fijas como pueden ser plataformas de cremallera fijadas a la fachada o plataformas colgantes mediante cables con anclaje en la cornisa del edificio (figura 1) o en el caso más habitual y simplificado, el uso de andamios. En cualquiera de estos tres casos se requiere en mayor o menor medida instalación de estructuras en el entorno del edificio lo que implica algún tipo de afección además del coste adicional derivado de la propia instalación.



Fig. 1. Plataforma de limpieza colgante desde cornisa (Fuente: <http://www.ipceagle.com>).

Otra de las posibilidades a la hora de realizar inspecciones de edificios o estructuras de cierta altura, y que también es práctica habitual, es el uso de plataformas móviles con soporte sobre el terreno como por ejemplo podrían ser las plataformas elevadoras de tijera o las plataformas de brazo articulado. En este caso, este tipo de plataformas poseen una mayor versatilidad en cuanto a posicionamiento al permitir mover la plataforma a la zona de fachada que se desee analizar, pero por el contrario el operario debe actuar en altura para proceder a la supervisión técnica del edificio.

B. Sistemas de sustentación autónomos

El uso de robots autónomos se utiliza en un reducido número de aplicaciones donde los desafíos de traslación y sustentación han sido ya resueltos como posteriormente se explicará. En entornos de la construcción el desarrollo de un robot autónomo que pueda ser usado tanto en grandes construcciones como en pequeños edificios sigue siendo un desafío todavía por

solventar.

Profundizando en la clasificación de sistemas de inspección/mantenimiento sin estructura soporte, o autónomos hay que decir que puede a su vez ser subdividido en: vehículos aéreos y vehículos sobre superficie.

Dentro de la subcategoría de aéreos se encontrarían los vehículos aéreos no tripulados o drones que en los últimos tiempos han adquirido un peso importante en tareas multisectoriales como supervisión de infraestructuras energéticas, control parcelario, manipulación de materiales nocivos, logística, etc. Atendiendo al sector de la construcción, los drones están siendo usados principalmente en tareas de inspección ya sea de obras de desmonte y terraplén como realizando inspecciones de grandes construcciones (puentes, viaductos, etc.) mediante captación de imágenes y uso de cámaras termográficas. Su proliferación tanto con fines profesionales como lúdicos ha desembocado en un cambio normativo traduciéndose en un endurecimiento de la legislación.

La importancia de los drones en el campo de la inspección, más que en la del mantenimiento, reside en la gran versatilidad que tiene para acceder a cualquier punto de la construcción a analizar y que puede ser dirigida la actuación si correr ningún peligro el técnico de operativa. La incorporación de cámaras de inspección que alta resolución y bajo peso ha permitido que su expansión no deje de crecer.

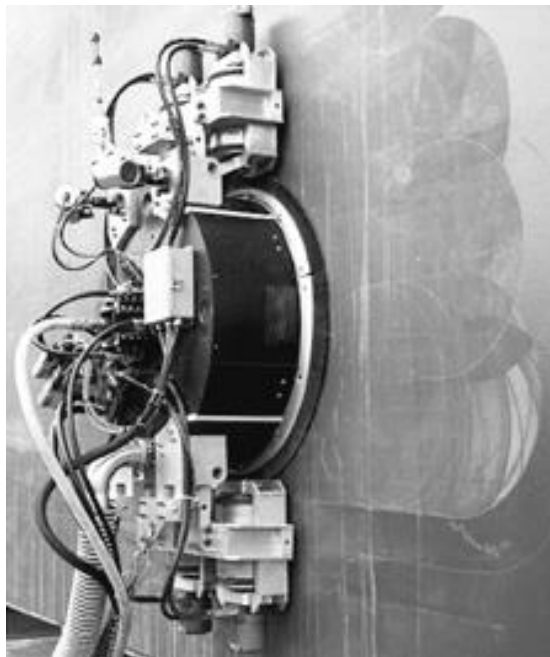


Fig. 2. Robot de mantenimiento de cascos de barco mediante sustentación magnética y traslación por ruedas. (Fuente: <https://spinoff.nasa.gov/>).

En cuanto a los sistemas de sustentación autónomos terrestres han sido detectados los siguientes: magnéticos, neumáticos, mecánicos, electrostáticos y químicos (Schmidt &

Berns, 2013). Varios de estos sistemas de sustentación están siendo utilizados con robots prototipos por no encontrarse en una fase de desarrollo suficiente para ser utilizados en el ámbito industrial mientras que otros sistemas ya son utilizados en robots de inspección y mantenimiento a nivel industrial. Ejemplo de ello son los robots que utilizan sistemas de sustentación magnéticos (figura 2). Evidentemente su uso se circunscribe a estructuras de análisis fabricadas con materiales ferromagnéticos donde el desafío de la sustentación se ve resuelto mediante la incorporación al robot de potentes imanes permanentes (véase niobio) o mediante electroimanes.

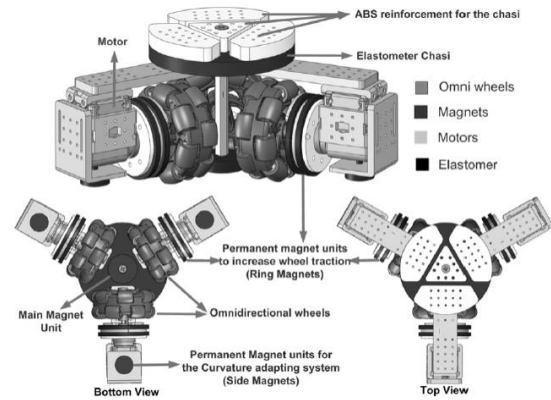


Fig. 3. Robot con sustentación magnética y traslación a través de ruedas omnidireccionales. (Fuente: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.05.005>).

El sistema de traslación, en la mayoría de los robots existentes en el mercado, se basa en el uso de elementos rodantes, ya sean ruedas omnidireccionales (figura 3) (Tavakoli et al., 2013), ruedas de oruga, ruedas fijas y ruedas orientables. En algunos casos, son las propias ruedas las que tienen insertados los imanes (figura 4) desempeñando en este caso la doble función de sustentación y traslación.



Fig. 4. Robot con sustentación magnética con imanes de niobio en las ruedas. (Fuente: <https://www.engineering.com>).

El principal desafío de esta tecnología es conseguir el compromiso perfecto entre la fuerza necesaria para sustentar el peso del robot en todo momento con la capacidad de permitir el

movimiento del robot a lo largo de la superficie sin un consumo extra de recursos energéticos. Una vez resuelto el desafío, la sustentación magnética se postula como una tecnología que confiere al robot la capacidad de transportar altas cargas útiles (hasta 200 kg – NREC-UltraStrip), alta seguridad y alta movilidad. Por el contrario, su usabilidad, como bien se ha dicho, se limita a estructuras ferromagnéticas.



Fig. 5. Robot con sustentación por presión negativa activa producida por varios motores de succión y traslación por ruedas (Fuente: <https://agrosy.informatik.uni-kl.de/roboter/cromsci/>).

A modo de ejemplos decir que estos robots están siendo utilizados en tareas de supervisión en aerogeneradores, cascos de grandes embarcaciones y depósitos dentro del sector industrial además de utilizarse en casos concretos como herramientas de mantenimiento en tareas de decapado de pintura y óxido o en procesos de soldadura (Ross et al., 2003).

Continuando con los sistemas que se desplazan por edificios con alta movilidad se encuentran aquellos robots que se sustentan mediante neumática o presión negativa. Destacar que los sistemas neumáticos pueden ser clasificados a su vez en tres subcategorías atendiendo a los modos de generación del efecto absorción (Hillenbrand et al., 2008):

- Por presión negativa pasiva mediante ventosas. La acción de una fuerza sobre la ventosa es la encargada de generar una depresión entre la pared y la ventosa, produciéndose un efecto sustentación. Es una buena opción cuando la rugosidad es muy baja.
- Por presión negativa activa producida por varios motores de succión generando depresión en varias cámaras dispuestas en la base de contacto robot/pared. En cómo se controla el número de cámaras y el área de succión que cada una de estas cámaras aporta a la sustentación reside la dificultad del sistema. El citado compromiso sustentación/traslación debe estar optimizado (figura 5).
- Por presión negativa activa aplicada sobre ventosas siendo generada la depresión desde un sistema externo al robot (figura 6).

La opción del uso de la neumática en robots escaladores es la más recurrida cuando la superficie a atacar no posee

propiedades ferromagnéticas por su capacidad de adaptación a diferentes niveles de rugosidad de la pared si bien es cierto que esta adaptación va directamente relacionada con un correcto diseño de los elementos de sustentación. El control de las pérdidas de presión (vacío) que se genera entre robot y pared es crítico resultando vital el realizar un diseño optimizado de las ventosas (forma, materiales, etc.), de la geometría del impeler (ángulo de los álabes) y de tener en cuenta las condiciones del aire del entorno (densidad, presión, etc.) para dicho control.

La traslación utilizada en los robots neumáticos es muy diversa pudiendo ir desde un robot que se desplaza con estructuras con movimientos cartesianos (fácil control, alta carga útil, baja velocidad de traslación), sistemas de traslación basados en extremidades (gran adaptabilidad, complejo control, baja carga útil y muy lento en desplazamiento), pasando por ruedas de oruga que contienen las ventosas (menos adaptativo pero más rápido y con suficiente capacidad de carga como para transportar sensores o herramientas) así como también el uso de ruedas omnidireccionales (Alta movilidad y velocidad de más de 8m/min).

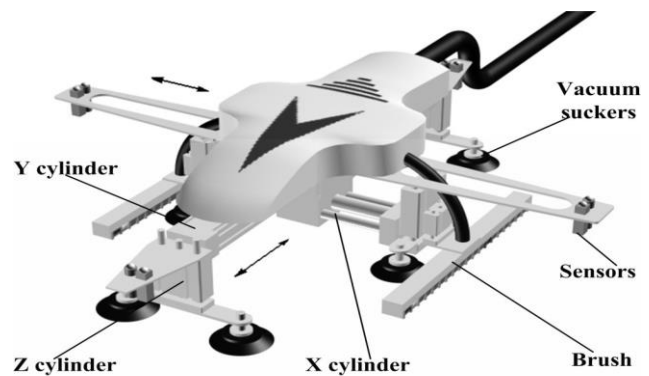


Fig. 6. Robot con sustentación por presión negativa activa aplicada sobre ventosas y traslación por extremidades con movimientos cartesianos (Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1598051/figures>).

La gran mayoría de los sistemas existentes con actuaciones de carácter industrial son prototipos que por el momento no se comercializan, pero sí es cierto que existen pequeños robots de limpieza de cristales cuyo uso se circunscribe al ámbito residencial (figura 7). La baja rugosidad que presenta el vidrio de una ventana unido al mínimo peso de este tipo de robots por carecer de grandes sistemas para ejecutar la operativa hace posible la sustentación del mismo.

Al principio del apartado se han descrito los diferentes sistemas no autónomos que mediante estructuras ancladas al edificio daban soporte mecánico para poder realizar las tareas de inspección y mantenimiento en la actualidad. En cuanto a robots autónomos con sustentación mecánica se deben destacar dos maneras de llevar ésta a cabo: mediante una adhesión basada en el uso de garras y púas o mediante un sistema de agarre o sujeción (figura 8) (Kim et al., 2005; Spenko et al.,

2008). En el primero de los casos la sustentación puede tener lugar cuando la rugosidad de la superficie de actuación del robot es alta y permite suficientes puntos de agarre. En el segundo de los casos, la superficie debe tener protuberancias que permitan anclar el robot mediante el sistema de agarre (véase superficie de ladrillo).

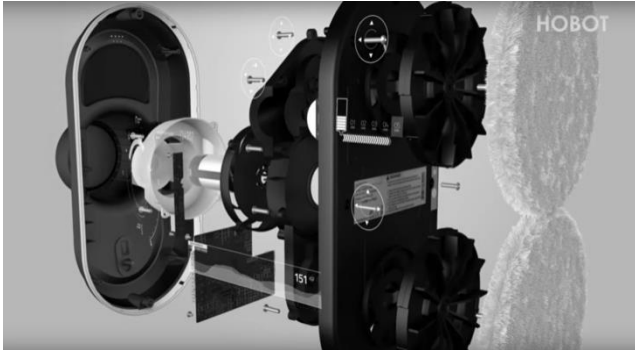


Fig. 7. Robot comercial de limpieza de ventanas con sustentación por presión negativa activa producida por varios motores de succión (Fuente: <http://www.hobot.com.tw/>).

Básicamente este tipo de sustentación va acompañado de un sistema de traslación mediante extremidades lo que conlleva una gran adaptabilidad a la geometría que posee la fachada pero por el contrario posee varias desventajas: difícil control de la traslación resultando ésta lenta y baja carga útil limitando la posibilidad de transportar sistemas de inspección y mantenimiento pesados.

La biología y la química han servido en el campo de la tecnología para generar conceptos de sustentación en robots. Este es el caso de la siguiente tecnología de adherencia: la electrostática o fuerzas de Van der Waals. Los robots que aplican la electrostática para la sustentación incorporan un conjunto de electrodos en los puntos de contacto

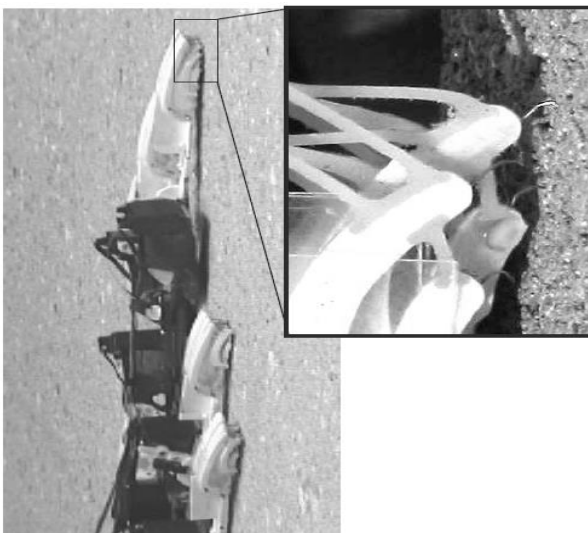


Fig. 8. Robot con sustentación por garras y traslación con extremidades (Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1507470/>).

robot/superficie que hacen posible la misma (figura 9).

Una de las ventajas que aporta esta tecnología es su capacidad para poder ser utilizada indistintamente de la superficie de ascensión si bien es cierto que con diferentes fuerzas de adhesión. En concreto, en bibliografía se pueden encontrar valores estimativos sobre la fuerza de adhesión en función del material. Este tipo de electroadhesión además de su versatilidad en diferentes tipos de superficies, es energéticamente eficiente y segura. Por el contrario, es una tecnología que todavía se encuentra en fase de desarrollo y que a día de hoy puede soportar poca carga útil en comparación con el propio peso del robot y las dimensiones del mismo.



Fig. 9. Robot con sustentación electrostática (Fuente: <https://www.sri.com/>).

Otro tipo de electroadhesión existente, y que se basa directamente en conceptos existentes en la zoología, es la denominada adhesión seca o pasiva basada en el fenómeno físico que se produce en las extremidades de los geckos (figura 10). Las fuerzas de adherencia en este caso se generan a nivel microscópico utilizándose microfilamentos en la superficie de contacto del robot/pared pudiendo alcanzarse fuerzas de adherencia de hasta 10 N/cm^2 .

La traslación de los robots sustentados bajo electroadhesión se realiza tanto mediante extremidades como a través de rodadura tipo oruga.

Otra de las posibilidades que se incorporan al estado del arte de robots trepadores son aquéllos que basan su sustentación en el uso de adhesivos químicos. Aunque no es una tecnología utilizada habitualmente, principalmente por el compromiso que tiene que existir entre sustentación y traslación, sí que existen ciertos robots a nivel prueba de concepto que utilizan los adhesivos para ascender por superficies.

La principal ventaja de los robots que utilizan adhesivos es su bajo/nulo consumo energético a la hora de mantenerse en

estático si bien es cierto que en el arranque del robot el mismo efecto produce un consumo extra de energía.



Fig. 10. Robot con traslación con extremidades “tipo gecko”
(Fuente: <http://bdml.stanford.edu>).

El uso de adhesivos que modifican sus propiedades ante estímulos externos puede ser una solución interesante a incorporar en los robots. Ejemplo de ello son los adhesivos térmicos que cambian sus propiedades físico-químicas en función de la temperatura o los magnetoreológicos cuyo comportamiento químico depende del campo magnético al que se le someta.

Uno de los principales problemas reside en la capacidad que tienen los adhesivos para poder soportar cargas útiles medias permitiendo a su vez la traslación del dispositivo. En la actualidad, aunque existen los citados adhesivos con cambio de propiedades, estos cambios no son tan importantes como para poder conseguir un gran poder de sustentación y cambiar sus propiedades en la cuantía suficiente para facilitar la traslación del robot.

III. CONCLUSIONES

El artículo recoge el estado del arte en sistemas robotizados para ascenso por fachada con la finalidad de poder realizar tareas de mantenimiento e inspección de una manera optimizada y con el menor impacto posible en torno a dicha inspección. Se estudian los sistemas existentes de traslación por fachada y sustentación/adherencia que aplican a los robots trepadores.

Descartados los sistemas de sustentación dependiente de estructura externa de inicio por considerarlos como sistemas de alto impacto en el entorno de la inspección (viandantes,

residentes, tráfico, etc.) se apuesta por el desarrollo de un robot autónomo. Dentro de los sistemas de sustentación presentados y atendiendo a que mayoritariamente los materiales de las fachadas a inspeccionar no son materiales ferromagnéticos queda descartada dicha opción aún siendo ésta la que solventa satisfactoriamente el compromiso entre la sustentación y la traslación del robot. El resto de opciones quedan en fase de investigación aunque inicialmente las soluciones neumáticas son las que se posicionan como soluciones con mayor potencial de éxito a priori.

REFERENCIAS

- Hillenbrand, C., Schmidt, D., Berns, K. (2008). CROMSCI – A climbing robot with multiple sucking chambers for inspection tasks. En Proceedings of the Eleventh International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines. Advances in Mobile Robotics (pp. 311-318). Coimbra, University of Coimbra.
- Kim, S., Asbeck, A.T., Cutkosky, M.R., Provancher, W.R. (2005). Spinybot II: climbing hard walls with compliant microspines, in: Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Robotics, ICAR, Sousse, Tunisia, 2005, pp. 601-606.
- Nansai, S., Mohan, R. (2016). A Survey of Wall Climbing Robots: Recent Advances and Challenges. Robotics, Volume 5, Issue 3. Doi: 10.3390/robotics5030014
- Ross, B., Bares, J., Fromme, M. (2003). A Semi-Autonomous Robot for Stripping Paint from Large Vessels. The International Journal of Robotics Research Vol.22, N°7-8, 617-626.
- Schmidt, D., Berns, K. (2013). Climbing robots for maintenance and inspections of vertical structures – A survey of design aspects and technologies. Robotics and Autonomous System 61, 1288-1305. Doi: 10.1016/j.robot.2013.09.002
- Spenko, M.J., Haynes, G.C., Sanders, J.A., Cutkosky, M.R., Rizzi, A., Full, R.J., Koditschek, D.E. (2008). Biologically Inspired Climbing with a Hexapedal Robot. Journal of Field Robotics, Volume 25, Issue 4-5, April 2008, pages 223-242. Doi: 10.1002/rob.20238.
- Tavakoli, M., Viegas, C., Marques, L., Pires, N., de Almeida, A. (2013). OmniClimbers: Omni-directional magnetic wheeled climbing robots. Robotics and Autonomous System 61, 997-1007. Doi: 10.1016/j.robot.2013.05.005



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.