



## **INFORME DE RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL / REPORT PhD**

**Apellidos y nombre del doctorando:**

**Juan González Gómez**

**Título de la tesis doctoral:**

**Robótica Modular y Locomoción: Aplicación a Robots Ápodos.**

**Indicar si ha habido presentación o exposición oral de la tesis y cómo se ha realizado:**

*El doctorando ha realizado la presentación oral de la tesis, en la que ha resumido correctamente el trabajo realizado, en una exposición clara, bien estructurada, precisa y amena.*

**Resultados y valoración:**

### **ANTECEDENTES DE LA CUESTIÓN Y OBJETIVOS PROPUESTOS**

La abundante documentación aportada como referencia, enmarca el trabajo en el estado de arte actual de las investigaciones en robótica y debido al gran número de posibilidades que ofrece el tema, se particulariza en una línea de investigación muy concreta: robots modulares reconfigurables y su locomoción sin ruedas, ni patas.

El objetivo principal de esta tesis es estudiar el problema de la locomoción de los robots ápodos modulares con topología de una dimensión de cualquier longitud, en una y dos dimensiones. Por tanto, se busca caracterizar los posibles modos de caminar y establecer como se debe coordinar sus articulaciones para lograrlo. Se pretende obtener los límites inferiores del número de módulos para que el robot se pueda mover y resumir todos los resultados en una serie de principios de locomoción que permitan a los ingenieros de aplicaciones o a otros investigadores la puesta en marcha de los robots ápodos.

### **DESARROLLO DEL TRABAJO Y METODOLOGÍA**

En cuanto a la planificación, metodología y bibliografía, la tesis está bien organizada, aunque la memoria resulte con un número excesivo de páginas. La redacción de la memoria es clara y fácil de seguir.

Todo el trabajo se ha realizado de manera sistemática y abarca tanto el desarrollo matemático para los modelos de locomoción de robots apodos en una y dos dimensiones, como la creación de herramientas para su simulación y finalmente, la validación experimental con la realización de un prototipo de robot modular.

## **APORTACIONES DE CARÁCTER GENÉRICO O EXPERIMENTAL**

La creación de los modelos matemáticos para los robots modulares ha facilitado el estudio y se han obtenido numerosas aportaciones de esta tesis al estudio de la locomoción en robots apodos, destacando las siguientes:

- Se ha comprobado la viabilidad de los generadores sinusoidales como controladores para la locomoción en una y dos dimensiones de los robots ápodos modulares.
- Se han encontrado tres modos de caminar novedosos, que no habían sido previamente estudiado por otros investigadores ni realizados en ningún robot ápodo.
- Se ha planteado el problema de las configuraciones mínimas y se ha demostrado que robots de dos y tres módulos son capaces de moverse en una y dos dimensiones respectivamente.

Como conclusión se ha resumido el conocimiento sobre la locomoción de los robots ápodos obteniendo los principios fundamentales aplicables, diferenciando la locomoción en una dimensión, el desplazamiento en un plano, y las posibilidades de locomoción de las configuraciones mínimas.

Adicionalmente y como parte del trabajo experimental se ha conseguido:

- El desarrollo de un entorno software de simulación para la evaluación de las soluciones propuestas.
- El diseño de un módulo para la construcción de robots modulares de los grupos de estudio.
- La construcción de prototipos de robots modulares para la realización de los experimentos y la validación de las soluciones en robots reales.

## **PUBLICACIONES A QUE HAYA DADO LUGAR**

La tesis ha dado lugar a 7 publicaciones internacionales, 4 nacionales y 3 premios, destacando como principales aportaciones “Locomotion Principles of 1D Topology Pitch and Pitch-Yaw-Connecting Modular Robots” y “Motion of Minimal Configurations of a Modular Robot: Sinusoidal, Lateral Rolling and Lateral Shift” que ha obtenido el premio “Industrial Robot Highly Commended Award” por ser uno de los siete mejores artículos presentados en el congreso Clawar (Londres).

### **Publicaciones Internacionales**

- 1.- J. Gonzalez-Gomez, Houxiang Zhang and Eduardo Boemo, Chapter 24: Locomotion Principles of 1D Topology Pitch and Pitch-Yaw-Connecting Modular Robots. In Book: Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots. Advanced Robotics Systems International and I-Tech Education and Publishing, pages 403-428, Vienna, Austria. September 2007. ISBN 978-3-902613-15-8.
- 2.- J. Gonzalez-Gomez, I Gonzalez, F. Gomez-Arribas, and E. Boemo. Evaluation of a Locomotion Algorithm for Worm-Like Robots on FPGA-Embedded Processors. In Lecture Notes in Computer Science, volume 3985, pages 24-29. Springer Berlin / Heidelberg, March 2006. ISBN 3-540-36708-X.
- 3.- J. Gonzalez-Gomez, H. Zhang, E. Boemo, and J. Zhang. Locomotion capabilities of a Modular Robot with Eighth Pitch-Yaw-Connecting Modules. In Proc. of the Int. Conf. on Climbing and Walking machines, pages 150-157, September 2006.
- 4.- J. Gonzalez-Gomez and E. Boemo. Motion of Minimal Configurations of a Modular Robot: Sinusoidal, Lateral Rolling and Lateral shift. In Proc. of the Int. Conf. on Climbing and Walking Robots, pages 667-674, Springer Berlin / Heidelberg, September 2005. ISBN 978-3-540-26413-2.
- 5.- J. Gonzalez-Gomez, E. Aguayo and E. Boemo. Locomotion of a Modular Worm-like Robot Using a FPGA-based Embedded MicroBlaze Soft-processor. In Proc. of the Int. Conf on Climbing and Walking Robots, pages 869-878, Springer Berlin Heidelberg, September 2004. ISBN 978-3-540-22992-6.
- 6.- H. Zhang, J. Gonzalez-Gomez, S. Chen, W. Wang, R. Lin, D Li, and J. Zhang. A Novel Modular Climbing Caterpillar Using Low-Frequency Vibrating Passive Suckers. In Proc. of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pages 1-6, ETH Zurich, Switzerland, September 2007. ISBN 978-1-4244-1264-8.
- 7.- H. Zhang, J. Gonzalez-Gomez, Z. Xie, S. Cheng, and J. Zhang. Development of a Low-cost Flexible Modular Robot GZ-I. In Proc. of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pages 223-228, Xian, China, June 2008. ISBN: 978-1-4244-2494-8.

Publicaciones nacionales

- 1.- J. Gonzalez-Gomez, I. Gonzalez, FJ. Gomez-Arribas y E. Boemo, Evaluación de un Algoritmo de Locomoción de Robots Ápodos en Diferentes Procesadores Embebidos en FPGA, V Jornadas de Computacion Reconfigurable y Aplicaciones, pp. 109-116, Granada, Septiembre 2005. ISBN: 84-9732-439-0.
- 2.- J. González-Gómez, y A. Prieto-Moreno Torres, Hardware libre: la Tarjeta Skypic, una Entrenadora para Microcontroladores PIC, Actas del I Congreso de Tecnologías de Software Libre, pp. 57-66, A Coruña. Julio 2005.
- 3.- J. González-Gómez, E. Aguayo y E. Boemo, Locomoción de un Robot Ápodo Modular con el Procesador MicroBlaze, IV Jornadas sobre Computación Reconfigurable y Aplicaciones, pp. 675-682, Barcelona, Septiembre 2004.
- 4.- J. González, I. González, E. Boemo, Alternativas Hardware para la Locomoción de un Robot Ápodo, Actas de las III Jornadas sobre Computación Reconfigurable y Aplicaciones, pp. 327-334, Madrid, Septiembre 2003. ISBN: 84-60099-28-8.

Premios

- \* Premio al mejor artículo finalista, titulado "A Novel Modular Climbing Caterpillar Using Low-Frequency Vibrating Passive Suckers". Zurich, Septiembre 2007.
- \* Premio "Industrial Robot Highly Commended Award" al mejor artículo finalista titulado: "Motion of Minimal Configurations of a Modular Robot: Sinusoidal, Lateral Rolling and Lateral shift". Londres. Septiembre 2005.
- \* Premio al segundo clasificado en la prueba libre del concurso nacional de robótica HISPABOT, por el robot Cube Revolution. Madrid. Mayo 2004.

**VALORACIÓN GLOBAL ( indicando la conformidad o no del Departamento )**

La valoración global es muy favorable y por tanto se notifica la conformidad para que pueda procederse a la defensa de la tesis, ya que el trabajo desarrollado en su conjunto es ampliamente satisfactorio y los resultados experimentales cumplen con el imprescindible requisito de originalidad.

Madrid, 10 de OCTUBRE de 2008

FIRMA DEL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO

Fdo.: Xavier Alamán Roldán