

ACTUALIZACIÓN DEL MÓDULO DE SUJECIÓN DE UN ROBOT AUTÓNOMO SUBTERRÁNEO

J. Yagüez, S. Martínez, C. Balaguer

RoboticsLab, Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid,
Av. De la Universidad 30, 28911, Leganés, España;
joyaguea@pa.uc3m.es, scasa@ing.uc3m.es, balaguer@ing.uc3m.es

Resumen

Este artículo presenta las diversas mejoras realizadas en el módulo de sujeción del robot autónomo subterráneo BADGER, que permite la realización de canalizaciones para cables o tuberías sin necesidad de realizar una excavación a cielo abierto. Es importante tener una buena sujeción con el terreno para así poder realizar el empuje del robot y excavar; para ello se utiliza un módulo que ejerce una presión contra el terreno que rodea al robot mediante la expansión de una cámara de aire.

Palabras clave: Robot subterráneo, excavación, cámara de aire, canalizaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La perforación subterránea es un ámbito fundamental en las vidas de las personas ya que se depende de todo tipo de elementos instalados en el subsuelo tales como tuberías, cables o saneamientos para nuestro día a día. Además, teniendo en cuenta que se espera un crecimiento elevado de la población mundial en los años venideros, la demanda de estos servicios se verá aumentada [4].

Hoy en día, el método más utilizado para este tipo de excavaciones es la realización de una zanja a cielo abierto, esto conlleva diversos problemas como ruido, cortes de tráfico, contaminación, etc. Sin embargo, si se utiliza un método en el que no sea necesario la realización de una zanja, se conseguiría una solución mucho más sencilla para realizar todo tipo de instalación o reparación de elementos subterráneos.

El uso de sistemas robotizados es una gran mejora con respecto a los métodos clásicos, pero requieren de unas tecnologías complejas que permitan la realización del túnel [7]. Uno de los elementos más complejos es la locomoción del robot, para poder realizar el empuje y perforación del terreno debe de estar sujeto al subsuelo, para ello, se utiliza un módulo de sujeción que se analiza en este artículo de manera detallada.

2. EL SISTEMA ROBÓTICO BADGER

El robot BADGER está compuesto de cuatro módulos principales: el primero de ellos es la cabeza de perforación, cuya longitud es de 470 mm con un diámetro de 250 mm, en segundo lugar, se necesita un módulo de articulación (500 mm), un módulo de sujeción (775 mm) y por último un módulo de impresión 3D (400mm) que permite ir creando, a medida que se perfora, el soporte de las paredes del túnel (Figura 1) [3][5].

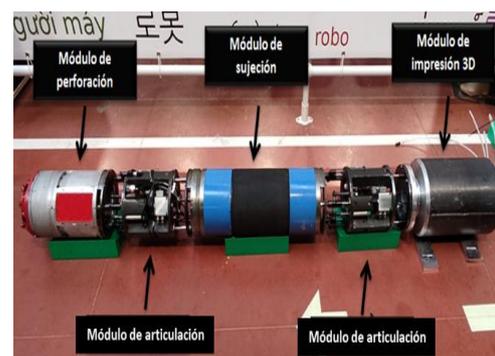


Figura 1 – Diseño general del sistema BADGER

El primer módulo, el de perforación, se encarga de generar el agujero del túnel mediante una cabeza de corte rotativa. Para evacuar la tierra que se va perforando se utiliza un tubo que mediante succión extrae todo a la superficie.

El módulo de articulación permite al robot tanto avanzar como maniobrar. Este módulo consta de 6 actuadores hidráulicos de los que tres de ellos se utilizan para la propulsión y los tres restantes permiten al robot realizar giros. Este módulo también consta de tres georradars (GPR, de sus siglas en inglés) para detectar objetos en el entorno subterráneo y evitar los obstáculos que se pueda ir encontrando el robot al perforar, tales como tuberías o cables.

El módulo de sujeción hace que el robot tenga la capacidad de anclarse a las paredes del túnel para que se pueda realizar el movimiento de propulsión y maniobra.

Para finalizar, el robot monta un sistema para crear de forma automática un soporte para el túnel perforado.

3. VERSIÓN INICIAL DEL MÓDULO DE SUJECCIÓN

El diseño inicial que se desarrolló para este módulo de sujeción era un cilindro con una sección que se inflase para realizar presión contra las paredes del túnel y así permitir la sujeción. Para ello se utilizaron siete cámaras de aire bajo una cubierta protectora, que se inflan de manera simultánea permitiendo la sujeción a las paredes del túnel que se iba generando (Figura 2). Para poder hinchar las cámaras de aire utilizadas se introducía aire a presión mediante un compresor con una presión máxima de 1bar.



Figura 2 – Modelo CAD (arriba) y sistema real (abajo) del módulo de sujeción

Para poder controlar el inflado de las cámaras se utilizaron 2 válvulas neumáticas (SMC VX230AGA) que permitían activar tanto el inflado como el desinflado en función de lo que se necesitase en cada momento [2]. Las válvulas de paso de aire tenían un diámetro de 5 mm para permitir un rápido inflado y desinflado gracias a un alto flujo de aire (Figura 3).



Figura 3 – Electroválvula utilizada para el control.

Para poder llevar un control de la presión que tuviese el sistema en cada momento se empleó un sensor de presión [1], concretamente el IPSL-M12 con un rango de medida de 0 a 100 kPa. A su vez, y para evitar posibles fallos tales como un inflado demasiado elevado de las cámaras de aire y posibles roturas de estas, se colocó en el circuito neumático una válvula de seguridad que se abría en caso de exceder la presión a la que se hubiese calibrado (Figura 4).

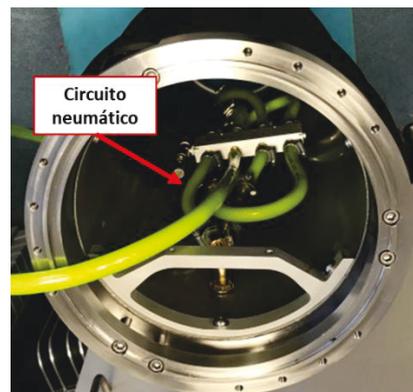
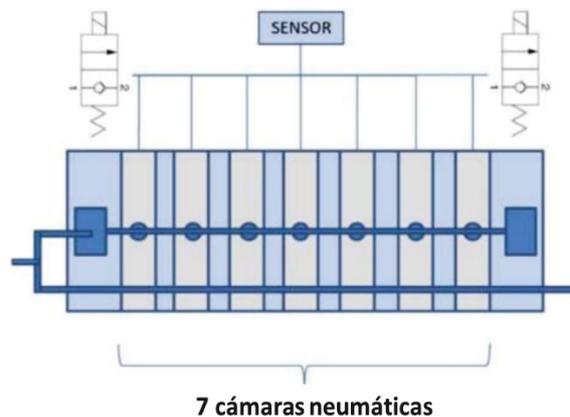


Figura 4 – Esquema neumático (arriba) y circuito neumático integrado (abajo) dentro del módulo de sujeción

Todo el sistema neumático se colocaba en el interior del módulo de sujeción, así como el PLC (Controlador Lógico Programable) que permitía tanto alimentar las electroválvulas como mandar las señales de control y además, tener la lectura en todo momento del sensor de presión e implementar la lógica.

La secuencia de inflado y desinflado era la siguiente: una vez que el usuario mandaba la señal de inflado o desinflado, se activaba la electroválvula correspondiente hasta que la medida del sensor de presión fuese la preestablecida, momento en el que se desactivaban (Figura 5).

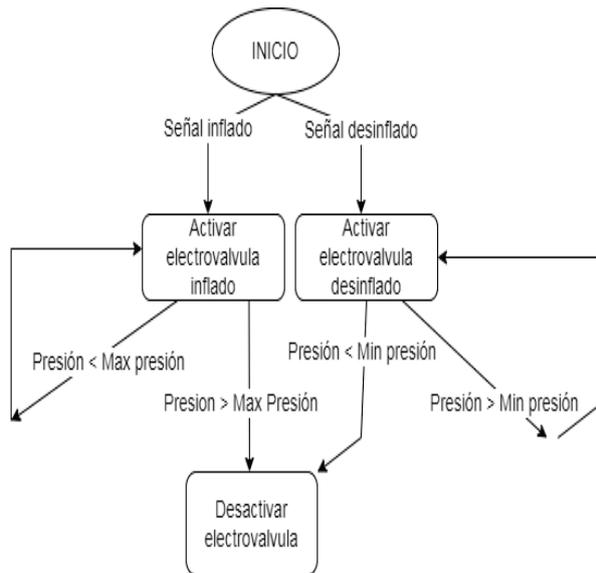


Figura 5 – Diagrama de flujo módulo de sujeción

Para analizar los resultados de este diseño se debía de medir la presión generada sobre el terreno, así como el tiempo que tardaba el sistema en inflarse y desinflarse ya que no debía ser muy elevado para no demorar el proceso. Para poder medir lo indicado se diseñó un sistema con galgas que rodease el módulo de sujeción (Figura 6) y se hicieron pruebas de inflado y desinflado con un compresor.

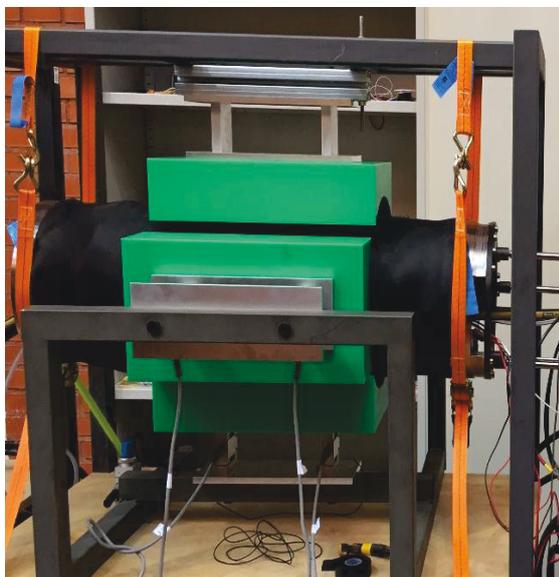


Figura 6 – Banco de pruebas del módulo de sujeción

Tal y como se puede observar en la Figura 7, el tiempo de inflado es de aproximadamente 10 segundos llegando a ejercer una presión de 40 kPa mientras que al desinflarse tarda alrededor de 10 a 15 segundos.

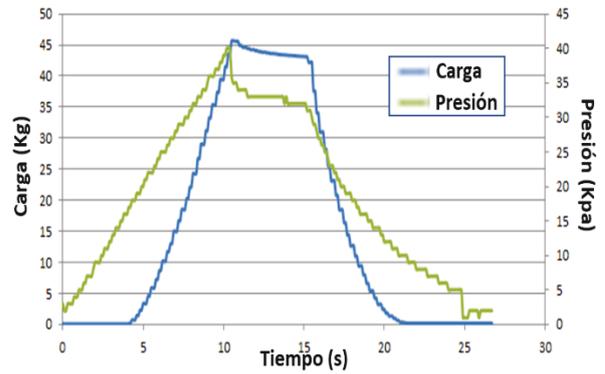


Figura 7 – Gráfica de inflado y desinflado

4. PROBLEMAS DEL MÓDULO DE SUJECIÓN

Este diseño conllevaba una serie de problemas que impedían su correcto uso, el primero de ellos es que, si el robot se encontraba en un entorno no confinado, es decir que no estaba rodeado de tierra, al ser activado el módulo de sujeción, las cámaras de aire comenzaban a hincharse y al no tener un terreno contra el que ejercer presión, el sensor de presión no alcanzaba nunca la presión deseada por el sistema y las cámaras seguían hinchándose hasta acabar rompiéndose (Figura 8).



Figura 8 – Rotura del módulo de sujeción

A su vez, si alguna de las cámaras de aire daba un fallo y se rompía, el sistema al completo dejaba de funcionar ya que, al estar alimentadas las 7 cámaras en conjunto, si se rompía una, el aire se perdía por esa y no se podían hinchar las demás, inhabilitando el sistema al completo.

Otro de los fallos que se observaron en este diseño es que, al avanzar por el subsuelo, la cubierta que engloba las cámaras neumáticas se desgarraba y se deteriora. Esto es debido a las intrusiones de materiales duros como piedras de cuarzo u otros objetos con aristas.

El último problema que destacar es la complejidad del circuito neumático que obligaba a aumentar el diámetro de las conducciones de aire y de las electroválvulas para asegurar una correcta respuesta temporal, dentro de unos márgenes para habilitar el avance y la perforación adecuada. Dado que todo el sistema debía estar ubicado en el interior del módulo de sujeción, la complejidad y el elevado tamaño limitaba el espacio para el resto de los sistemas necesarios para el funcionamiento del robot que debían ser instalados en el interior, como por ejemplo el autómatas de control.

La peor consecuencia del fallo del módulo de sujeción es la imposibilidad de propulsar el robot y su bloqueo en el entorno subterráneo, lo que conlleva la extracción del robot por métodos manuales.

Por otro lado, este diseño contaba con la ventaja de la ligereza, ya que solo pesaba alrededor de los 20 kilos.

5. VERSIÓN ACTUALIZADA DEL MÓDULO DE SUJECIÓN

Teniendo en cuenta los resultados y problemas obtenidos con el primer diseño del módulo de sujeción se pasó a realizar una nueva versión de este. En este nuevo diseño se optó por la utilización de una única cámara de aire que así redujese de manera significativa la complejidad del circuito neumático requerido.

Se crea un cilindro de acero de 775 mm de longitud total con una cámara de aire de 350 mm de longitud en el medio de este, dicha cámara mediante el inflado y desinflado realiza la presión contra las paredes del túnel y permite el empuje (Figura 8). El material de dicha cámara de aire es mucho más resistente que en la anterior versión, evitando así posibles roturas por roces con el terreno. Además, esta robustez permite la aplicación de mayores presiones y velocidad de inflado.



Figura 8 – Diseño final del módulo de sujeción

Además, este nuevo diseño del módulo de sujeción cuenta con una parte extensible en uno de los extremos que se extiende una vez que el neumático se hincha facilitando así el empuje del robot contra la superficie a tunelar ya que se alarga 30 mm.

Al tener un diseño neumático más sencillo y no necesitar hinchar diversas cámaras de aire de forma simultánea, se usan electroválvulas neumáticas (SMC VDW22PAA) con un diámetro más reducido, se pasa de 5 a 1 mm consiguiendo así que las válvulas sean de un tamaño menor, que era uno de los problemas del anterior diseño [6]. Se ha mantenido la utilización del sensor de presión y de la válvula de seguridad del anterior diseño, pero se ha podido integrar todo el circuito neumático en un diseño mucho más compacto tal y como se ve en la Figura 9.

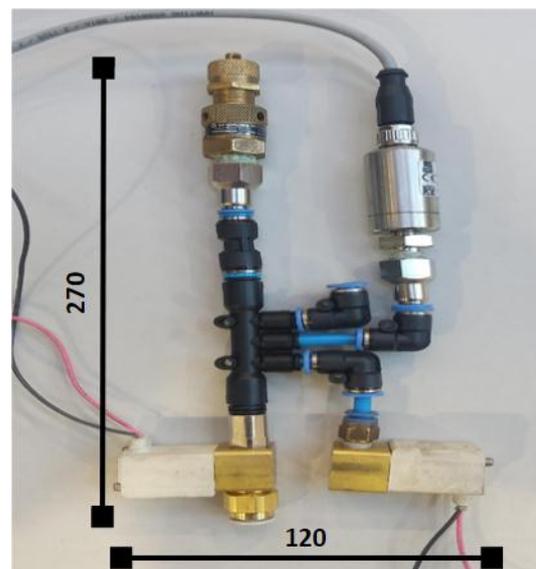


Figura 9 – Diseño simplificado del circuito neumático

Gracias a la utilización de este diseño, tal y como se ve en la Figura 10, se ha conseguido reducir el tiempo de inflado a 7.5 segundos y el de desinflado a 7 segundos, a la vez que se reduce de manera significativa el tamaño de la electroválvula y del circuito neumático entero. En cuanto a la presión ejercida contra el terreno se consigue una presión ligeramente inferior a la del anterior diseño, aspecto que no afecta al correcto funcionamiento del sistema ya que se comprobó que era suficiente presión para permitir al robot avanzar realizando el túnel. Otra de las ventajas es que al tener una cámara de aire más robusta no es necesario utilizar un protector para dicho módulo como se utilizaba en la primera versión.

El principal problema de este nuevo diseño es el aumento de peso que acarrea, se pasa de 20 a alrededor de 40 Kg, incrementando así el peso total del robot que ascendía hasta los 300 Kg.

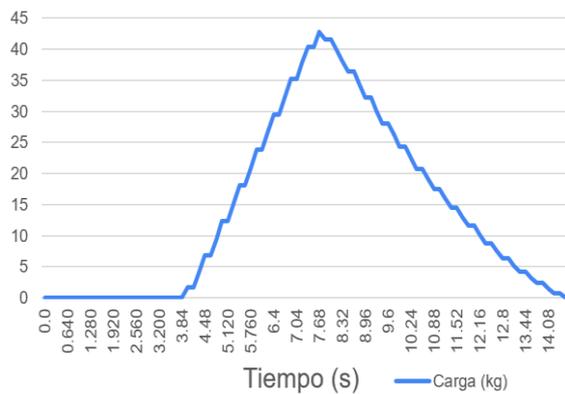


Figura 10 – Gráfica de inflado y desinflado versión mejorada

Dicho aumento de peso no afecta a la movilidad general del robot ya que el robot es capaz de ejercer una fuerza de empuje de 4000 N más que suficiente para perforar el terreno y avanzar.

De cara a trabajos futuros se quiere realizar el cambio de material a aluminio para así disminuir el peso total del módulo consiguiendo una velocidad de avance mayor.

Una de las preocupaciones existentes era el abombado de la cámara de aire pero al estar está en un entorno confinado se adapta a las paredes del túnel, no produciéndose dicho abombamiento.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado los módulos de sujeción utilizados en un robot autónomo subterráneo para la realización de túneles y canalizaciones. Se ha comprobado que el método de presión mediante una cámara de aire es muy eficaz ya que se consigue un agarre lo suficientemente fuerte para permitir el avance del robot.

Gracias a las mejoras realizadas en el módulo para la versión final del mismo se ha conseguido reducir el tamaño del sistema neumático de manera significativa, aumentar su robustez, así como conseguir reducir el tiempo que se requiere para realizar tanto la acción de hinchado como de deshinchado. También, gracias a la rápida acción se permite que el robot pueda perforar para una velocidad superior.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el proyecto RoboCity2030-DIH-CM, Madrid Robotics Digital Innovation Hub (Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. fase IV; S2018/NMT-4331), financiado por Programas de

Actividades I+D en la Comunidad de Madrid y cofinanciado por los Fondos Estructurales de la UE.

English summary

UPDATE OF THE CLAMPING MODULE OF AN UNDERGROUND AUTONOMOUS ROBOT

Abstract

This article presents the various improvements made to the clamping module of the badger underground autonomous robot, which allows the perforation of a tunnel for pipe or cabling installation without the need for open-pit excavation. It is important to have good support to the ground to allow robot movement and perforation; for this, a module is used that exerts pressure against the ground surrounding the robot by expanding an air chamber.

Keywords: Underground robot, excavation, air chamber, pipes.

Referencias

- [1] A. M. Almassri, W. Wan Hasan, S. A. Ahmad, A. J. Ishak, A. Ghazali, D. Talib, and C. Wada, "Pressure sensor: state of the art, design, and application for robotic hand," *J. Sens.*, vol. 2015, 2015.
- [2] E. Erzan, I. Yüksel, Z. Kaniş, Development of electro-pneumatic fast switching valve and investigation of its characteristics, *Mechatronics*, Volume 16, Issue 6, 2006, Pages 365-378, ISSN 0957-4158.
- [3] E. Menéndez, Robot and control detailed interface and architecture definitions and integration plan, Universidad Carlos III Madrid, Public Deliverables, 1.4, 2017.
- [4] I. Alloza. ¿Cuál será la población mundial en 2050?. *Geografía Infinita*.
- [5] K. Worrall, D. Thomson, E. McGookin, P. Harkness, T. Flessa, C. Houston, M. Cebecauer, "Design and Implementation of a Control System for a Tunneling Robot", 5th IEEE Smart World Congress, Leicester, UK, Aug 2019.
- [6] Ning, Fangwei, Y. Shi, M. Cai, Y Wang, and W. Xu. 2017. "Research Progress of Related Technologies of Electric-Pneumatic Pressure Proportional Valves" *Applied Sciences* 7, no. 10: 1074.
- [7] T. Gibbia, S.Howes. "Tunneling Robot", Worcester Polytechnic Institute, Final Report, 2020.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution ~~CC BY-NC-SA~~ 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).