

# Desarrollo de un sistema robótico aplicado a superficies verdes en edificaciones

## Development of a robotic system applied to green surfaces in buildings

Peña César Augusto, Riaño Jaimes Cristhian Ivan, Ramón Valencia Jacipt Alexander

### Resumen

**E**n este artículo se propone el uso de sistemas robotizados remotos para la plantación y mantenimiento de cultivos urbanos implementados en techos, azoteas, fachadas y paredes de edificaciones. El sistema robótico busca evitar el riesgo que puede conllevar el mantenimiento por parte de los operarios de estos cultivos al encontrarse a alturas considerables. De igual forma busca mejorar las condiciones de mantenimiento de los cultivos basándose en un control mixto que integra las tareas planeadas por el usuario y la información de humedad, luminosidad y temperatura captura por los sensores. El sistema robotizado cumple funciones de siembra, riego, fumigación, desyerbado y recolección de frutos. También se presenta un resumen del impacto ambiental que se genera al implementar este tipo de sistemas.

**Palabras clave:** Robótica, agricultura, urbano, impacto ambiental, teleoperación.

### Abstract

**T**he purpose of this paper is to present the implementation of a robotic system in order to plant and maintain crops in urban rooftops. The proposed system has the capability of not only performing automatic tasks based on atmospheric conditions (humidity, solar reflectance and temperature) affecting the crops, but also tasks programmed by the user (planting, watering and insects and pest control among others). This system seeks to reduce/avoid the risks involved with planting and performing maintenance duties at high elevations in farming rooftops. At the same time, this paper presents a summary of the environmental effects that the implementation of this system can generate.

**Key words:** Green technology, Urban Farming, Rooftop farming, Robotic system.

Recibido / Received: Marzo 21 de 2016 Aprobado / Approved: Mayo 02 de 2016

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de Investigación de Automatización y Control Universidad de Pamplona.

Autor para comunicaciones / Author communications: cesarpeña@unipamplona.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

## Introducción

Desde los primeros desarrollos de la robótica, hace más de 50 años, esta ha recorrido una asombrosa diversificación en el ámbito de la fabricación de diferentes sistemas industriales, dentro de los cuales se destaca el sector automotriz [1]. En la actualidad existen una gran cantidad de robots no solo a nivel estructural, sino funcional. Desde el punto de vista físico se encuentran las estructuras típicas de los robots seriales y los paralelos, estructuras que son flexibles, otras modulares e incluso algunas que cambian radicalmente su forma. A nivel energético se han creado robots con actuadores: eléctricos, neumáticos, hidráulicos, sónicos, magnéticos entre otros. Es importante destacar la relación que existe entre estos factores, dado que según los aspectos estructurales se debe acondicionar sus actuadores con el fin de alcanzar los objetivos de velocidad, versatilidad, autonomía entre otros. Adicionalmente el comportamiento de un robot, condicionan su adecuación para un campo determinado de aplicaciones y viceversa, a pesar de la versatilidad inherente al propio concepto de robot [2].

Los robots se clasifican de acuerdo su campo de aplicación en robots industriales y robots de servicios. Las aplicaciones industriales son muy diversas, sin embargo se destacan: el ensamble, el paletizado, la soldadura, corte, pintura, remoción de material.

Los robots de servicio son los robots que se utilizan fuera de las industrias manufactureras. La idea es utilizar este tipo de robots en labores repetitivas supliendo a los humanos de trabajos engorrosos e incluso nocivos. Sus aplicaciones van desde los robots domésticos, asistenciales, educacionales, búsqueda y rescate, limpieza, construcción, robots marinos, aéreos, caminantes, agrícolas, sociales, robots ayudantes en medicina, hasta sistemas espaciales, lo que evidencia su alto grado de aplicabilidad. Dada el alto grado de interacción de los robots de servicio con los humanos o su implementación en ambientes poco estructurados estos suelen tener un nivel de complejidad mucho mayor, sobre todo en cuanto a sus sistemas de control. Se caracterizan por contar con interfaces intuitivas hombre máquina, un alto grado de autonomía e incluso sistemas de inteligencia artificial que abordan temas como el procesamiento semántico, búsqueda y procesamiento de información, reconocimiento entre otros

En general, la aplicación de la robótica a sectores industriales esta comenzado a jugar un papel muy relevante. Con la generalización de este tipo de aplicaciones se están reduciendo drásticamente los precios de estos dispositivos, adicionalmente en algunos casos el alto costo pierde importancia frente a los beneficios obtenidos en cuanto al impacto social por superar problemáticas de actividades peligrosas para las personas, salvando incluso vidas.

El factor ambiental es uno de los ítems más examinados a la hora de plantear cualquier tipo de proyecto. La sociedad cada día toma con mayor responsabilidad sus acciones con respecto al impacto que puede producir o generar al medio ambiente. Este tema abarca desde la instalaciones industriales [3] educativas, hoteleras [4] hasta el diario vivir de los individuos de la sociedad. El sector de las obras civiles no es ajeno a estas iniciativas. De forma constante se buscan nuevos materiales que contribuyan de forma positiva con el medio ambiente, el diseño de las edificaciones pretende aprovechar las corrientes viento, la iluminación para evitar o disminuir el uso de aires acondicionados [5] Algunas edificaciones integran tecnologías de energías renovables como la solar y la eólica, otras involucran la captura y recolección de aguas lluvias o la recirculación del agua potable usada para fines secundarios [6, 7].

Este artículo se encuentra organizado de la siguiente forma: en la sección dos, se presentan los principales tipos de cultivos implementados en edificaciones urbanas, en la sección tres se hace una descripción de la arquitectura del sistema propuesto incluyendo los modos de operación y las configuraciones. En la sección 4 se realiza un análisis del impacto ambiental que conllevaría este tipo de sistemas y por último se presentan los resultados preliminares, conclusiones y referencias.

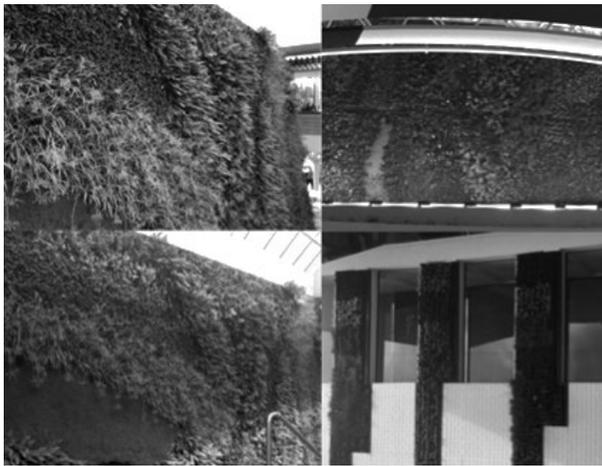
## Tipos de cultivos en edificaciones

Existen diversos tipos de cultivos en edificaciones, algunos de ellos juegan un papel de estética, otros para producción o los dos de forma simultánea. Lo más significativo es que este tipo de cultivo ayuda a reducir los índices de CO<sub>2</sub> en las ciudades [8].

Los tipos de cultivos más representativos son:

- Cultivos en los techos (horizontales y en caída).
- En las terrazas
- En los muros (en agujeros, colgantes, etc...)
- Jardines en ventanas (interiores y exteriores)
- Cultivos verticales en interiores (en la sala)
- Cultivos verticales en exteriores (fachadas, paredes, etc.)
- En materas
- Pequeños Jardines interiores y exteriores
- En patios
- Jardines flotantes

**Figura 1.** Mosaico de construcciones ambientales

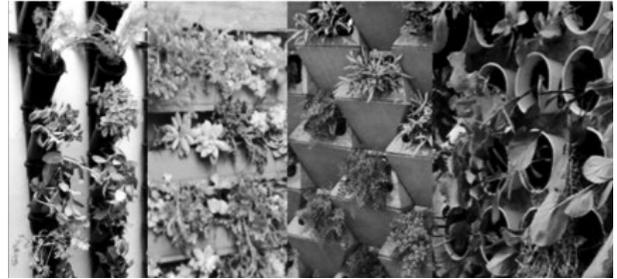


Fuente: Autores

En la Figura 1, se puede apreciar un mosaico con algunos tipos de construcciones ambientales urbanas en edificios, casas y exteriores. Los métodos empleados para este tipo cultivos, son muy variados, van desde tapetes que incluyen capas de sustratos, hidropónicos, Aeropónico hasta materas de diversas formas con y sin recirculación de fluidos. En la figura 2 se ilustra un mosaico de cultivos verticales en los que se utilizan materas de PVC, madera, cerámica y plástico respectivamente.

Como es bien conocido gran cantidad de edificaciones ambientales se caracterizan por localizar cultivos o zonas verdes en lugares idóneos desde un punto de vista estético, pero en algunos casos con un limitado acceso para su mantenimiento. Este es el caso de cultivos en fachadas de edificios, en techos, azoteas o los conocidos jardines colgantes.

**Figura 2.** Mosaico de cultivos verticales



Fuente: Autores

Las limitaciones que incurren en la localización de las zonas verdes de este tipo de estructuras puede acarrear grandes inconvenientes [9] como los son: los elevados costos de mantenimiento, el peligro al que se ven sometidos los operarios (pueden resbalar, golpearse, daños en la piel al estar expuestos al sol, etc) o en su defecto la falta de tratamiento adecuado de los propios cultivos, lo cual origina su deterioro.

En el sistema propuesto, el encargado de realizar las operaciones de siembra, riego, fumigación, desyerbado, entre otros es un dispositivo robótico. Este sistema se opera de forma remota lo cual permite disminuir los riesgos de los operarios al igual que mejorar el sostenimiento de las plantas.

## Arquitectura del sistema robótico

### Descripción general de las zonas de trabajo

El sistema propuesto está basado en la teleoperación de un robot antropomórfico de 5 grados de libertad como actuador principal. Al ser un dispositivo de operación remota, su sistema de control se dispone de dos zonas: la local y la remota.

En la figura 3, se pueden apreciar los elementos involucrados en las dos zonas. En la zona local se encuentran: el usuario quien se encarga de operar el robot o de generar las tareas que desea que el robot realice, el sistema de control es implementado en un computador personal, la interfaz gráfica por medio de la cual el usuario opera

el robot de forma intuitiva y realiza la planificación de tareas para un lapso de tiempo específico y el número de repeticiones, por último se encuentra el sistema de comunicaciones que permite enviar la información hasta la zona remota.

El sistema de comunicaciones puede ser alámbrico o inalámbrico, dependiendo de las necesidades del usuario y de los costos que esté dispuesto a realizar para adquirir el sistema. En el caso que se opte por la opción inalámbrica, esta se basa en una comunicación usando el protocolo universal de datagramas (UDP), por lo cual se podría operar desde un computador, tableta o dispositivo móvil.

Figura 3. Zonal local y remota del sistema



Fuente: Propia de los Autores

## Modos de operación

El sistema posee dos modos de trabajo: el teleoperado y el semiautónomo. El modo teleoperado es recomendado para la realización de tareas complejas o que requieren una mayor supervisión del operario, dentro de las cuales está la siembra, la poda y la recolección de frutos. En este modo de trabajo el usuario controla los movimientos del robot y sus funciones para realizar tareas no repetitivas, por el contrario en el modo semiautónomo el robot se encarga de realizar este tipo de tareas de acuerdo a la información preestablecida.

Dado que el usuario puede fijar la ejecución o programación de las tareas repetitivas el sistema cuenta con la opción de aplicar un control mixto basado en la información proveniente de los sensores. Por ejemplo: si el sensor de humedad indica que el sustrato se encuentra bastante hidratado (en el caso de lluvias) no se ejecutará el riego de plantas o lo hará de forma parcial. Caso contrario en días de verano debido a las altas temperaturas el sustrato puede estar demasiado seco, lo que indicará al sistema que se debe intensificar el riego. Adicionalmente por medio del sensor de humedad se puede determinar si es factible realizar una fumigación o no, dado que no se recomienda realizarla si está lloviendo.

El sensor de temperatura permite prevenir el riego de las plantas cuando su valor es muy bajo, previniendo quemaduras o daños por heladas. El sensor de luminosidad permite llevar un registro de la luz solar para calcular tiempos de riego de acuerdo a los cambios de estaciones o a la época del año. La cámara permite la verificación de la realización de las tareas por parte del operario y puede servir de apoyo en la recolección de frutos o inspección de las plantas.

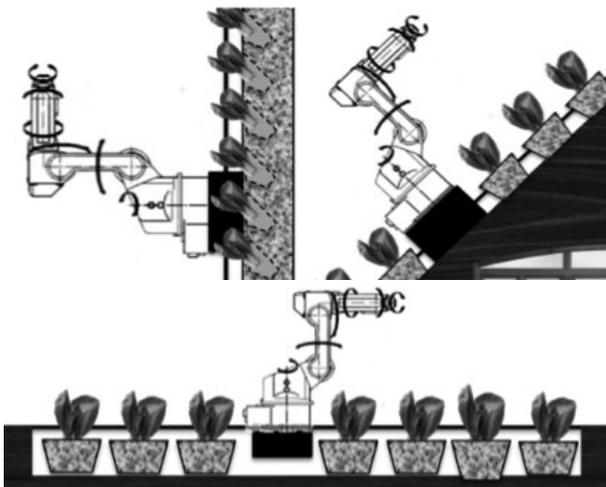
Las funciones que desarrolla el sistema robótico de forma semiautónoma o teleoperada son:

- Siembra
- Riego
- Fumigación
- Recolección
- Inspección
- Desyerbado
- Registro

## Configuraciones de implementación

Dado que existen diversos tipos de construcciones ambientales, el robot puede adoptar diversas posturas para su implementación. En la figura 4, se ilustra la configuración para techos inclinados (a), techos planos o azoteas (b) y fachadas (c). El robot cuenta con un riel que le permite su desplazamiento a lo largo del techo para atender todas las plantas del cultivo. Este tipo de construcciones ambientales generan un alto riesgo a los operarios por lo cual el robot juega un rol muy importante en temas de seguridad.

Figura 4. Cultivos en techos inclinados



Fuente: Propia de los Autores

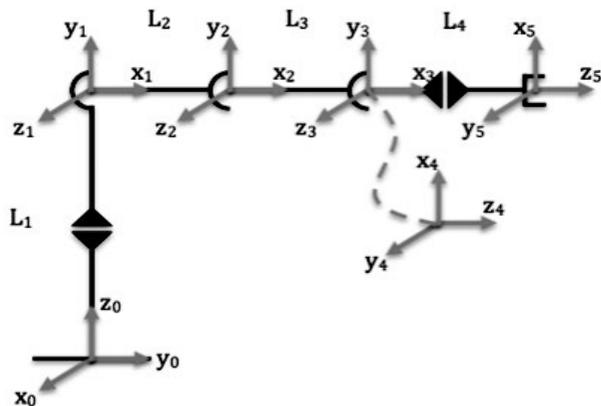
## Análisis cinemático

El análisis cinemático permite relacionar la posición del efector final con respecto a las coordenadas articulares y viceversa. A continuación se presenta el análisis para la estructura robótica.

## Cinemática directa

En la Figura 5 se muestra el diagrama esquemático del robot con los sistemas coordenados obtenidos mediante el algoritmo de Denavit y Hartenberg (DH). En la Tabla 1 los ilustran los parámetros DH que definen esta estructura.

Figura 5. Cultivos en techos inclinados



Fuente: Propia de los Autores

Tabla 1. Parámetros de Denavit-Hartenberg del robot de 5 GDL.

No	$\theta$	d	a	$\alpha$
1	$q_1+90$	$L_1$	0	90
2	$q_2$	0	$L_2$	0
3	$\theta_3$	0	$L_3$	0
4	$q_4+90$	0	0	90
5	$q_5$	$L_4$	0	0

De cada reglón de la tabla 1 de parámetros DH se obtiene la matriz, donde  ${}^{i-1}A_i$  es la articulación (ecuación 1)

(ecu. 1)

$${}^{i-1}A_i = \begin{pmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Al multiplicar todas las matrices consecutivamente se obtiene la matriz del efector final con respecto a la base del robot (Modelo cinemático directo), como se muestra en la ecuación 2:

(ecu. 2)

$${}^0A_5 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5$$

## Cinemática inversa

El modelo cinemático inverso del robot se encarga de calcular la posición de las cinco articulaciones partiendo de la posición y orientación del efector final. Para el caso de la estructura seleccionada el modelo cinemático inverso se puede representar a partir de la ecuación 3 de la siguiente forma:

Para la primera articulación

(ecu. 3)

$$q_1 = \text{atan2}(-P_{mx}, P_{my})$$

Donde  $P_m$  es el punto de intersección de los últimos dos grados de libertad (punto de la muñeca), definido por:

$$P_m = P_3 = P_4$$

y se puede calcular como:

$$P_m = P_5 - L_4 Z_5$$

Una vez obtenido  $P_m$  y  $q_1$ , se procede a calcular los ángulos de las articulaciones 3 y 4 utilizando la ecuación 4 de la siguiente forma:

(ecu. 4)

$$q_3 = \text{atan2}(\pm \sqrt{1 - (\cos(q_3))^2})$$

Dónde:

$$\cos(q_3) = \frac{(P_{mx}^2 + P_{my}^2 + (P_{mz} - L_1)^2 - L_2^2 - L_3^2)}{2L_2 - L_3}$$

y para la segunda articulación  $q_2$  se determinó por medio de la ecuación 5 de la siguiente forma:

(ecu. 5)

$$q_2 = \text{atan2}(P_{mz} - L_1, \sqrt{P_{mx}^2 + P_{my}^2}) - \text{atan2}(L_3 \sin(q_3), L_2 + L_3 \cos(q_3))$$

Para el cálculo de las dos últimas articulaciones (las correspondientes a la orientación del efector final), se comienza reemplazando  $q_1, q_2, q_3$  en las matrices  ${}^0A_1, {}^1A_2, {}^2A_3$  obteniéndose  ${}^0A_3$  (esta matriz contiene vectores unitarios correspondientes a los ejes coordenados del sistema tres). Conociendo  $z_4 = z_5$  y haciendo uso de la propiedad del producto punto de vectores unitarios, se puede obtener  $q_4$  por medio de la ecuación 6:

(ecu. 6)

$$q_4 = \text{atan2}(z_4 \cdot y_3, z_4 \cdot x_3)$$

Una vez obtenido  $q_4$  se calcula  ${}^0A_4$ , se utiliza la ecuación 7 con el fin de calcular  $q_5$  como:

(ecu. 7)

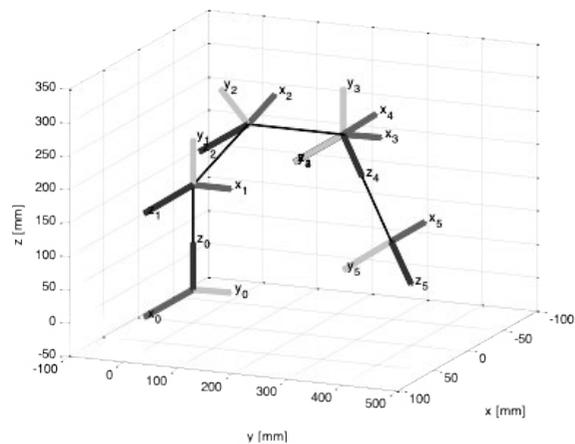
$$q_5 = \text{atan2}(z_4 \cdot x_3, z_4 \cdot x_5)$$

Quedando definido completamente el modelo cinemático inverso del robot.

En las figuras 6 se ilustra un ejemplo del simulador de trayectorias para cuando el robot se sitúa en las coordenadas articulares

$$q = \left[ 0, \frac{\pi}{4}, -\frac{\pi}{4}, -\frac{\pi}{3}, 0 \right]$$

Figura 6. Representación en alambres del robot para la posición



Fuente: Propia de los Autores

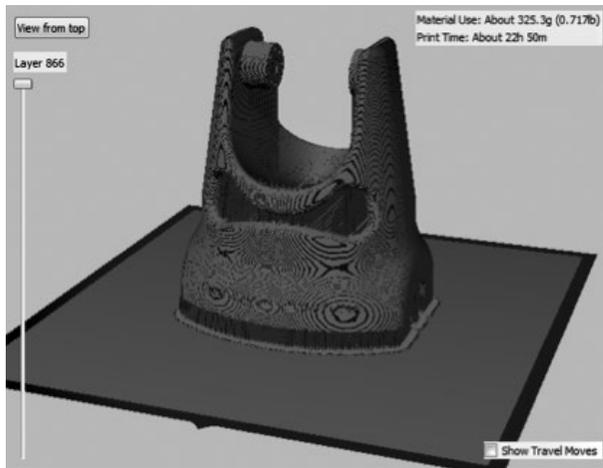
## Construcción de los eslabones del robot

Una vez se realizaron las pruebas pertinentes a la evaluación cinemática del robot en diferentes configuraciones con el fin de garantizar que el robot lograra sus acometidos sin causar colisiones internas se procedió a la implementación mecánica por medio de una impresora tridimensional.

En la figura 7 se ilustra los pasos para la construcción de los eslabones. En primer lugar se ingresan las geometrías exportadas del software CAD en un formato de estereolitografía, el cual se basa en métodos de triangulación. Posteriormente se crean las trayectorias de impresión para

la deposición del filamento fundido, al igual que la generación del material de soporte para evitar deformaciones.

**Figura 7.** Simulación de la construcción de las piezas



Fuente: Propia de los Autores

Por último se ejecuta la trayectoria total en la impresora para construir el prototipo de las piezas tal como se ilustra en la Figura 8.

**Figura 8.** Impresión tridimensional de las piezas



Fuente: Propia de los Autores

## Impacto ambiental

Los robots son comúnmente utilizados en la manufactura de productos de alimentación, pero aún son poco frecuentes en el campo abierto o en los invernaderos, contribuyendo en el ciclo productivo agrícola.

Sin embargo, la tecnología robótica aplicada a cultivos en edificaciones se encuentra en un estado de desarrollo avanzado, con algunas realizaciones ya plenamente comerciales y otras validadas a nivel de prototipo. La inminente necesidad de aumentar la producción sin aumentar los recursos y minimizando el impacto ambiental, demanda, tal vez de manera inexorable, dar el paso de la mecanización a la automatización de cultivos, en donde la robótica agrícola tendrá un protagonismo destacado.

Por otro lado, puede generar algunos impactos ambientales en la zona de implementación. Al cumplir con su ciclo de vida, los robots comúnmente son desechados, lo cual puede conllevar a la contaminación de los suelos y aguas, dado a que los robots se componen de varios elementos y varios de ellos tardan mucho en degradarse. Otro impacto que se genera comúnmente, se da en el proceso de construcción ya que necesitan fundir los materiales reciclables con los que se fabrican las piezas y lo que produce contaminación atmosférica. Para evitar estos impactos se debe plantear un plan de reutilización y reciclaje de los compuestos utilizados en estas máquinas, y para disminuir los gases contaminantes de la atmósfera se debe plantear otro tipo de combustible para las calderas que disminuya su producción.

El robot propuesto en su mayoría está construido con el material PLA que es un polímero biodegradable al 100%, derivado del ácido láctico. Su proceso de producción se basa en la extracción de los azúcares del almidón de la remolacha, el maíz o el trigo, para luego fermentarlo con ácido láctico. Este último se convierte en el lactide que se purifica y se polimeriza a ácido poli-láctico sin el uso de solventes.

## Resultados preliminares

En la figura 9 se ilustra el modelo asistido por computador (CAD) del robot. Por medio de este modelo se pudo hacer un análisis minucioso del comportamiento mecánico del robot, permitiendo verificar el espacio de trabajo, los límites de los movimientos articulares definidos por colisiones, las cavidades donde se alojan los motores además de las consideraciones de cableado, ensamble y desensamble

**Figura 9.** Modelo CAD del robot



Fuente: Propia de los Autores

Para la construcción de las piezas internas y externas del robot, se realizó el proceso de simulación del ensamble del mismo. Adicionalmente se incluyó la configuración de cada uno de los motores que contiene la definición de los parámetros PID de sus controladores, velocidades de comunicación, definición por firmware de los límites de las posiciones, el par máximo, los sistemas de alarma, errores y bloqueos entre otros.

En la figura 10 se muestra el robot completamente ensamblado. A este se le hicieron las pruebas de puesta a punto y se realizó la implementación de los planificadores de trayectorias que definen el comportamiento de los movimientos del robot.

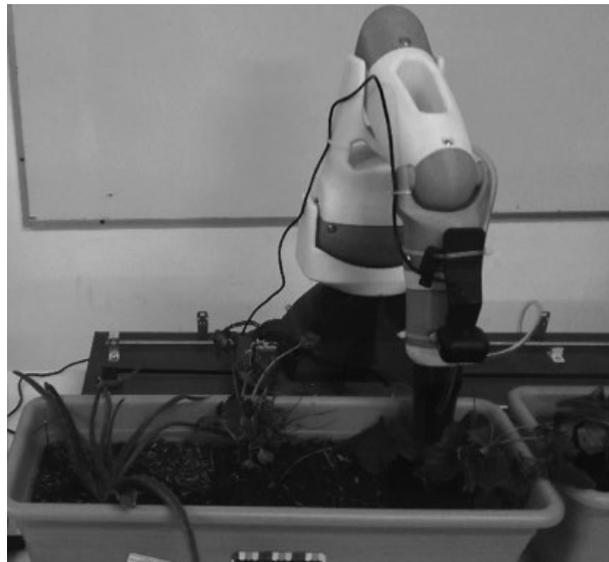
**Figura 10.** Robot antropomórfico ensamblado



Fuente: Propia de los Autores

En la figura 11 se ilustra el sistema robótico realizando algunas pruebas experimentales, donde se está realizando el seguimiento al cultivo de plantas de fresa y sábila. Se escogieron estos dos tipos de plantas para analizar su crecimiento teniendo en cuenta que la fresa requiere de altos niveles de agua y la sábila de pocos; problema que se resuelve gracias al sistema de dosificación de agua del robot. En esta figura también se puede apreciar el riel de desplazamiento del robot el cual le permite aumentar significativamente su espacio de trabajo y atender varias plantas en un cultivo, para este caso el robot cubre dos materas de 60 centímetros cada una.

**Figura 11.** Sistema robótico realizando pruebas experimentales



Fuente: Propia de los Autores

## Conclusiones

El uso de sistemas robotizados remotos para la plantación y mantenimiento de cultivos urbanos implementados en techos, azoteas, fachadas y paredes de edificaciones, se proponen como una herramienta eficiente para las construcciones ambientales y generan un impacto medioambiental positivo en cultivos ornamentales y de pequeñas producciones.

La propuesta del uso de sistemas robóticos remotos responde a soluciones en sectores en los cuales no es de fácil acceso como la plantación y mantenimiento de

cultivos urbanos en edificaciones suelen estar ubicados en sitios poco frecuentados o lugares a alturas considerables. De igual forma, reduciría los riegos de operación a los usuarios y permitirá un mantenimiento más efectivo, con una mayor optimización de los insumos, gracias a la sensoria implementada.

## Referencias

- [1] Aracil, R; Balaguer, C; Armada, M; “Robots de Servicio”, Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, Volume 5, Issue 2, Pages 6-13, 2008
- [2] Taner, W. R., Industrial robots. vol. 2, Applications. SME. 1979
- [3] Insu Kim; James, J.-A.; Crittenden, J., “The Energy-Efficient, Economical, and Environmental Impacts of Microturbines on Residential Customers,” Green Technologies Conference (GreenTech), 2015 Seventh Annual IEEE., pp.139,146, 15-17 Abril 2015.
- [4] Subbiah, K.; Kannan, S., “The eco-friendly management of hotel industry,” 2011 International Conference on Green Technology and Environmental Conservation (GTEC 2011), pp.285,290, 15-17 Diciembre. 2011.
- [5] Aboul-Zahab, E.M.; Ibrahim, A.M.; Abdel-Rehim, A.-F.M.; Omar, A.I., “Developing of energy credits in an Egyptian Green Building Rating System,” 2014 International Conference on Engineering and Technology (ICET), pp.1,6, 19-20 Abril 2014.
- [6] Wei Wenyuan; Cheng Guanwen; Xu Shan; Liang Ling; Lu Guodan; Fu Hongyuan, “Study on Water Requirements of Liuzhou Ecological City Construction,” 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), pp.2248,2251, 19-20 Febrero. 2011.
- [7] Yie-Ru Chiu; Chao-Hsien Liaw; Chih-Yang Hu; Yao-Lung Tsai; Hsueh-Hsien Chang, “Applying GIS-based rainwater harvesting design system in the water-energy conservation scheme for large cities,” 13th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2009, pp.722,727, 22-24 Abril 2009.
- [8] Xiangxiao Min, “A brief analysis on the construction of urban greenway network in Zhongshan — Based on the perspective of environmental protection,” 2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICIII), vol.2, pp.412,415, 23-24 Noviembre. 2013.
- [9] Xingzhou Lin; Yaowen Xie; Yuchu Xie; Chao Zhang; Xiangqian Wang, “Spatio-temporal processes and causes analysis of Jiayuguan oasis in China over a 23a period,” 2011 19th International Conference on Geoinformatics, pp.1,4, 24-26 Junio 2011.

---

## Los Autores



### Cesar Augusto Peña

---

Actualmente es profesor titular en el Departamento de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial de la Universidad de Pamplona, hace parte del grupo de investigación de Automatización y Control. Obtuvo el grado de doctor en automática y robótica en la Universidad Politécnica de Madrid en el 2006. El grado de magíster en ingeniería electrónica y de computadores en la Universidad de los Andes (Colombia) en el 2003 y su título profesional como ingeniero electromecánico en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en el 2001.



### Cristhian Ivan Riaño Jaimes

---

Recibió su Maestría en Controles Industriales de la Universidad de Pamplona, Colombia, en el año 2013. Especialista en Automatización Industrial por la Universidad Autónoma de Bucaramanga y formación como ingeniero Mecatrónico de la Universidad de Pamplona. Actualmente cursa Doctorado en Sistemas Mecatrónicos de la Universidad de Brasilia, con actividades de investigación sobre Inspección y Manufactura en Lazo cerrado. La experiencia profesional abarca áreas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica actuando principalmente en los siguientes tópicos: Robótica, Sistemas de Control, Diseño Mecatrónico y Manufactura Asistida por Computador



### Jacipt Alexander Ramón Valencia

---

Docente-investigador de tiempo completo asociado, adscrito al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura: director del programa de ingeniería ambiental (2006), Director del Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo GIAAS, director de la revista Ambiental Agua, Aire y Suelo y director de la maestría en Ingeniería Ambiental.

Par evaluador del Sistema de Aseguramiento de la Calidad en Educación Superior (SACES) y del Consejo Nacional de Acreditación (CNA) del Ministerio de Educación Nacional (MEN) (años 2008-2016), par evaluador de COLCIENCIAS y del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) desde el año 2010, coordinador de la semana Nacional de la Ciencia, Innovación y Tecnología 2010, 2012 y 2014.