

Control de Trayectoria en espacio de tareas para un robot paralelo de 2 GDL

Tracking task space control for 2DOF parallel robot

Orlando Urquijo, Luis Hernández Santana y Eduardo Izaguirre Castellanos

Abstract—In this paper, the scheme kinematic task space control is improvement in order to solve the trajectory following problem in an industrial 2DOF pneumatic parallel platform. The control system considers two loops in cascade, an internal loop solving the robot' joint control and an external loop implementing the task space control. For the solution of the trajectory following problem the wanted input is feed-forwarded, according the specific condition of the digital implementation of the kinematic task space control. In order to illustrate the performance of the proposed control scheme, experimental results obtained through various experiments with the parallel robot of 2 DOF SIMPRO are presented. Experimental results confirm the expected tracking response in the task space, with good time performance.

Key Words—Parallel Robots control, Tracking, Task space control.

I. INTRODUCCIÓN

En la robótica se puede definir como control de seguimiento de trayectoria, ya sea en el espacio articular o cartesiano, el seguimiento de una trayectoria variable en el tiempo dada $q_d(t)$ o $x_d(t)$ y sus sucesivas derivadas $\dot{q}_d(t)$ y $\dot{x}_d(t)$ y $\ddot{q}_d(t)$ o $\ddot{x}_d(t)$, las cuales describen la velocidad y aceleración deseadas respectivamente [1].

El control en el espacio articular tiene como característica que es necesario la solución de la cinemática inversa para obtener la posición de cada articulación a partir de la trayectoria deseada en el espacio de tareas, además de no tener la capacidad de compensar las incertidumbres del sistema. Por otra parte, su variante en el espacio de tareas, compensa las incertidumbres existentes pero se hace necesario la estimación o medición de las variables espaciales del robot.

Resulta conveniente controlar la trayectoria de un robot en el espacio de tareas puesto que asegura un estado de control *feedback* que conduce a una mejor precisión con respecto al control en el espacio articular [2].

En este artículo se propone una estrategia de control de trayectoria en espacio de tareas para un simulador de dos grados de libertad actuado por pistones neumáticos, con el objetivo de mejorar el desempeño del esquema de control cartesiano en espacio de tareas en aplicaciones de seguimiento de trayectoria.

II. ROBOT PARALELO DE DOS GRADOS DE LIBERTAD

La plataforma de simulación de dos grados de libertad (2GDL) que se muestra en la Figura 1, es fabricada por la

empresa SIMPRO que se dedica a la producción de simuladores industriales de movimiento para disímiles aplicaciones. Su diseño está fundamentalmente enfocado para ser utilizado como simulador de conducción para el adiestramiento de personal y entretenimiento.

A. Descripción de la plataforma de 2 GDL

Este simulador de conducción consta de una cabina con todos los mandos reales a los que se enfrenta un conductor en un vehículo y un monitor a través del cual se puede ver el mundo virtual por el que se mueve. La cabina pivotea sobre una columna central mediante una articulación universal (tipo cardan) y se estabiliza en un plano mediante la acción de dos cilindros neumáticos que ubicados en sus extremos perpendiculares, le imprimen al conductor las sensaciones de lado y cabeceo, simulando con ello las pendientes del mundo virtual en que se mueve.



Fig. 1. Simulador neumático de 2 GDL

Los datos mecánicos más importantes de la plataforma se muestran en la tabla número 1. El origen de las coordenadas cartesianas para las medidas de longitud y ubicación del centro de masa (CM) se establece en el pivote central como se muestra en la Figura 1.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LA PLATAFORMA DE 2 GDL

Descripción	Valor
Masa total de la cabina	500 kg
Posición del centro (x,y,z)	[0,0,700] mm

Ángulo de cabeceo	-13° a 19°
Ángulo de ladeo	13° a -19°
Distancia del origen a cada cilindro	560 mm

En este robot, cada articulación electro-neumática está formada por un cilindro FESTO DNC-100-320 de desplazamiento lineal, que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico, tecnología que se ha venido aplicando en los robots paralelos que requieren de un posicionamiento continuo, gobernado por una válvula proporcional de flujo FESTO MPYE-5-3/8, cuya elongación se mide con encoders lineales.

B. Modelado cinemático de la plataforma de 2 GDL

Las relaciones cinemáticas son de gran interés para el estudio de muchas importantes propiedades de las estructuras robóticas como la singularidad, dexteridad, espacio de trabajo, etc., así como también resultan de gran utilidad en la concepción de esquemas de control de posición y seguimiento de trayectorias [3]- [4]-[5].

Para el caso particular de la plataforma de 2 GDL, tenemos que la base fija está compuesta por el triángulo formado por los puntos A_1OA_2 dependiendo solamente de las longitudes a_1 y a_2 .

La plataforma móvil está conformada por el plano que forman los puntos B_1PB_2 , siendo única su geometría y solamente dependiente y definida por la longitud de sus bordes b_1 y b_2 como se muestra en la Figura 2.

Fig. 2. Notación de la plataforma de 2 GDL

La definición de los orígenes de coordenadas cartesianas en los sistemas de referencia fijo y móvil se realiza de acuerdo a [6]. En tal sentido se considera ubicar el sistema de referencia móvil coincidente con el centro del triángulo que conforma la plataforma superior (elemento terminal) la cual es la responsable de soportar la cabina de conducción. El sistema de referencia fijo se coloca en el centro de la base fija ubicada en la parte inferior de la base metálica que soporta toda la estructura de la plataforma, la cual va anclada al suelo (ver Figura 3).

La orientación en el espacio de la plataforma móvil estará determinada por los ángulos de rotación α y β . El ángulo α es el ángulo de rotación alrededor del eje x' del sistema $(x'y'z')$ de coordenadas móviles, el cual da la sensación de cabeceo,

mientras que β es el de rotación alrededor del eje y' , brindando la sensación de ladeo.

Las relaciones correspondientes a la cinemática inversa permiten calcular las coordenadas articulares a partir de conocer las variables espaciales del robot. En este caso, el modelo cinemático inverso adquiere la forma:

$$q_n = f(\alpha, \beta) \quad (1)$$

Para obtener las expresiones cinemáticas anteriores se procede a ubicar convenientemente el sistema de coordenadas fijo $Oxyz$ y móvil $Px'y'z'$, como se muestra en la Figura 2.

El cálculo del modelo cinemático directo consiste en calcular la posición y orientación de la base móvil a partir del conocimiento de las variables actuadas articulares del robot. Resulta ser más complejo en este tipo de arquitecturas ya que permite obtener analíticamente el vector de coordenadas de la base móvil y la matriz de rotación compatibles con las ecuaciones planteadas para cada cadena cinemática activa.

Así, si se han escogido coordenadas cartesianas y ángulos de Euler para representar la posición del elemento terminal del robot de 2 GDL, la solución al problema cinemático directo vendrá dada por la relación:

$$\alpha, \beta = f(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (2)$$

En la plataforma de conducción SIMPRO la solución de la cinemática tanto directa como inversa depende de la longitud del brazo articulado de cada cadena cinemática cerrada.

En el caso de la cinemática directa la longitud del brazo articulado es la variable conocida y las incógnitas son el ángulo α (rotación en el eje x') y el ángulo β (rotación en el eje y') que definen la orientación del elemento terminal, Figura 3.

En el caso de la cinemática inversa, la incógnita es el valor de la longitud del brazo actuado, quedando en función de los ángulos en que se quiere orientar el elemento terminal.

Tomando para el análisis una rotación en el eje y' como se muestra en la Figura 3 el segmento PB_2 describe una circunferencia de centro P .

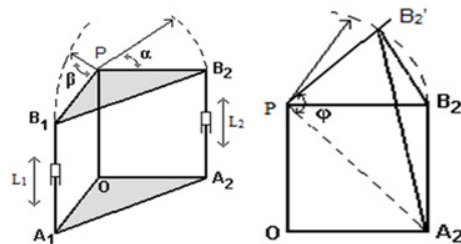


Fig. 3. Representación de alabeo y cabeceo y geometría de las rotaciones de la plataforma de 2 GDL

Considerando el triángulo formado por los vértices A_2PB_2' , donde $PB_2' = PB_2$ por ser brazo de la plataforma que no va varía en longitud, entonces se plantea la fórmula de los cosenos referida al ángulo ϕ , la cual queda:

$$L_2 = \overline{A_2B_2'}^2 = \overline{PA_2}^2 + \overline{PB_2'}^2 - 2\cos\varphi\overline{PA_2PB_2'} \quad (3)$$

La ecuación (3) representa la expresión de la cinemática inversa ya que permite conocer la longitud de la articulación A_2B_2' en función de la orientación del elemento terminal, en este caso, el ángulo de ladeo o cabeceo.

Del lado derecho de la igualdad todos los términos pueden ser conocidos con relativa facilidad como se muestra:

$$\overline{PB_2'}^2 = b_2 \quad (4)$$

$$\overline{PA_2} = \sqrt{\overline{OP}^2 + \overline{OA_2}^2} \quad (5)$$

El ángulo φ puede ser obtenido en la ecuación:

$$\varphi = \varphi_0 + \alpha \quad (6)$$

Donde φ_0 es el ángulo inicial comprendido entre PA_2 y PB_2 , y se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\varphi_0 = \tan^{-1}\left(\frac{\overline{OP}}{\overline{OA_2}}\right) \quad (7)$$

Para obtener la cinemática directa, se puede despejar de la ecuación (3) el término φ de la siguiente forma:

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{\overline{PA_2}^2 + \overline{PB_2'}^2 - \overline{A_2B_2'}^2}{2\overline{PA_2PB_2'}}\right) \quad (8)$$

Luego α puede ser obtenida mediante la ecuación (6). El análisis correspondiente al movimiento de ladeo se realiza de la misma forma, sólo que el ángulo α se cambia por β , φ por θ y el punto B_2' se sustituye por B_1' como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$L_1 = \overline{A_1B_1'}^2 = \overline{PA_1}^2 + \overline{PB_1'}^2 - 2\cos\theta\overline{PA_1PB_1'} \quad (9)$$

$$\overline{PB_1'}^2 = b_1 \quad (10)$$

$$\overline{PA_1} = \sqrt{\overline{OP}^2 + \overline{OA_1}^2} \quad (11)$$

$$\theta = \theta_0 + \beta \quad (12)$$

Dónde:

θ_0 : Ángulo inicial formado por PA_1 y PB_1 .

$$\theta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{\overline{OP}}{\overline{OA_1}}\right) \quad (13)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\overline{PA_1}^2 + \overline{PB_1'}^2 - \overline{A_1B_1'}^2}{2\overline{PA_1PB_1'}}\right) \quad (14)$$

C. Modelado y control de los actuadores neumáticos

Con el propósito de implementar estrategias de control el modelo dinámico de los robots paralelos es utilizado para el desarrollo del control por dinámica inversa (IDC), sin embargo, la precisión del control está estrechamente relacionada con la exactitud del modelo obtenido. Para evitar el alto costo computacional y la exactitud del modelo que demanda las estrategias de control basadas en IDC, el modelo del sistema electro-neumático es obtenido a través de identificación experimental [7]-[8]. La estrategia de control que se presenta basada en el modelo de los actuadores, no requiere el cálculo de la dinámica inversa, lo cual garantiza su fácil implementación en tiempo real con bajos tiempos de muestreo.

El modelo analítico del actuador lineal electro-neumático, considera el subdimensionamiento de la válvula y las constantes de tiempo del cilindro, de modo que describe con mayor exactitud la dinámica real del sistema [8]

Bajo estas condiciones la función transferencial del sistema electro-neumático, posición $Y(s)$ contra acción de control $U(s)$, se define por la expresión:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_e}{s(s^2 + 2\varphi\omega_n s + \omega_n^2)} = G_D(s) \quad (15)$$

La identificación se realiza alrededor del valor de posición central de cada cilindro que es donde se demuestra que el modelo que se obtiene es el que tiene los polos complejos conjugados más próximos al origen del plano del lugar de las raíces, por lo que, sin dudas, es la dinámica más exigente [9].

El modelo obtenido para ambas articulaciones actuadas se supone el mismo y está dado por la expresión:

$$G(s) = \frac{4928}{s(s^2 + 1.186s + 88.22)} \quad (16)$$

El regulador del lazo interno se diseña por el método de asignación de polos para obtener un par de polos dominantes de lazo cerrado con $\omega_n = 10 \text{ rad/s}$ y $\varphi = 0.7$, donde la estructura general del regulador propuesto en [10], se define por la expresión (17).

$$\frac{S(s)}{R(s)} = \frac{k_p(s + k_i)(s^2 + a_1s + a_0)}{s(s + \omega_a)^2} \quad (17)$$

III. PROBLEMA DE CONTROL

El objetivo del esquema de control es que haya un seguimiento de trayectoria en el espacio de tareas $X_d(t) = [\alpha(t) \beta(t)]^T$, de las variables de cabeceo y ladeo del centro de referencia móvil del elemento terminal, para controlar el estado deseado se define el error cartesiano $e_x(t)$, medido en el espacio de tareas.

$$e_x(t) = X_d(t) - X(t) = \begin{bmatrix} e_\alpha(t) \\ e_\beta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_d(t) \\ \beta_d(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha(t) \\ \beta(t) \end{bmatrix} \quad (18)$$

La señal de mando generada en cada instante de tiempo, ubica la pose de la plataforma móvil en dirección tal, que el error $e_x(t)$ tiende a cero, por consiguiente, la ley de control garantiza:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_x(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \end{bmatrix}^T = 0$$

En este caso en particular, se asume que para el problema de control de trayectoria, el error inicial se considera cero, o sea, lo suficientemente pequeño para que exista una configuración articular q_d para cada configuración en el espacio de tareas $X_d = X(q_d)$. Esta condición asegura que el problema de control pueda ser solucionado.

El esquema general consiste en un control por realimentación simple con compensación directa el cual es presentado en la Figura 4, donde A/B representa el modelo de la planta y C/D corresponde a la función de transferencia del regulador [11]. En el esquema la parte de realimentación directa es la encargada de la estabilidad de todo el sistema y se presenta como *control cinemático en espacio de tareas*. La compensación por adelanto de señal, calculada a partir del inverso de la planta, reduce el error de seguimiento de trayectoria. De manera general, la ley de control requiere generar una trayectoria deseada la cual se obtiene fácilmente a en un simulador desde el mundo virtual.

Fig. 4. Esquema general de control de Trayectoria en Espacio de Tareas

A. Control Cinemático en el espacio de tareas

El control cinemático en el espacio de tareas consiste en la combinación de un lazo de control articular en cascada con un lazo de control para garantizar el posicionamiento perfecto de las variables cartesianas del efector final del robot paralelo de dos grados de libertad. El mismo constituye el lazo de realimentación simple del esquema propuesto en la sección anterior. El esquema propuesto en [12] se muestra en la Figura 5.

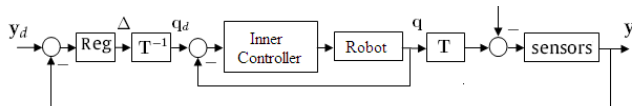


Fig. 5. Esquema de Control Cinemático en Espacio de Tareas

El problema de control es formulado como el diseño de un controlador que genere un mando Δ que provoque un movimiento del robot de forma tal que la posición deseada en

el espacio de tarea sea alcanzada, siguiendo un índice de funcionamiento deseado. La posición deseada de las articulaciones q_d no está disponible, no obstante, dicho valor se puede obtener como resultado de la señal de mando Δ y la solución del problema cinemático inverso, dado por la ecuación (1) [3].

El lazo de control articular constituye un lazo de arquitectura abierta en el cual se posible implementar cualquier tipo de regulador [7]. El efecto dinámico del lazo interior es independiente del externo; donde en condición estable de operación, el control de posición en el espacio articular satisface la condición:

$$q(t) = q_d(t) \cong 0, \quad (n \times 1) \quad \forall \quad t > 0 \quad (19)$$

En tal caso, el diseño digital del controlador externo se efectúa considerando que la dinámica del lazo interior puede ser aproximada por uno o dos instantes de muestreo del lazo exterior [13], por lo que la igualdad (19) se modifica por (20).

$$q(k) = q_d(k - 1) ; \quad \forall k > 0 \quad (20)$$

Bajo esta consideración, se plantea el sistema de control digital equivalente simplificado, que se muestra en la Figura 6 [7].

Fig. 6. Esquema de control simplificado

El controlador digital se selecciona para una ganancia de $K_I = 0.1$ ya que los valores de respuesta transitoria ante entrada paso son satisfactorios para esta ganancia y un periodo de muestreo de 60 ms, obteniéndose una respuesta sobreamortiguada. Las coordenadas en el espacio de tarea son obtenidas a través del cálculo de la cinemática directa.

B. Implementación de compensación por adelanto de señal

El esquema de control cinemático en espacio de tareas no es capaz de suprimir los errores en cuanto a seguimiento de trayectoria cuando el sistema es excitado con una señal sinusoidal. Para eliminar este error, es necesario implementar la compensación por adelanto de señal de la Figura 4. Esta parte se calcula a partir del inverso de la planta B/A .

Teniendo en cuenta la aproximación dinámica realizada del lazo interno de la cascada del esquema de control cartesiano en espacio de tareas, a un instante de muestreo del lazo externo, la función transferencial B/A correspondiente al esquema de control propuesto para eliminar los errores en seguimiento de trayectoria adquiere la forma:

$$\frac{B}{A} = \begin{bmatrix} \frac{z}{K_\alpha} & 0 \\ 0 & \frac{z}{K_\beta} \end{bmatrix} \quad (21)$$

Donde K_α y K_β son las ganancias resultantes de la solución de la cinemática directa para el cálculo de las variables del espacio de tareas. A partir de esto, el esquema de control para seguimiento de trayectoria queda de la forma que se presenta en la Figura 7.

Fig. 7. Esquema de control propuesto para seguimiento de trayectoria

El mando que proporciona la parte por adelantado de señal del esquema de control de la Figura 7 necesita generar la señal dada por $zY_d(z)$, lo cual resulta físicamente imposible de obtener ya que corresponde a una señal de un instante de muestreo futuro. Por otra parte si la señal de referencia de entrada es retardada un instante de muestreo Z^{-1} y la señal de lazo por adelantado de señal se toma antes del retardo como se muestra en la Figura 8, un efecto similar se obtiene y el esquema de control es totalmente realizable.

Fig. 8. Esquema de control implementado para seguimiento de trayectoria

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El esquema de control propuesto es implementado en la plataforma neumática de dos grados de libertad. Los lazos de control interno y externo, son implementados utilizando una computadora Pentium-D 3.00-GHz conectada al robot a través de una tarjeta de adquisición de datos Humusoft MF624.

La tarjeta se encarga de adquirir la lectura de los potenciómetros lineales, sensores encargados de transmitir la elongación de cada pistón, y a su vez, transmite a las electroválvulas del sistema neumático, con un período de muestreo de 1 ms, las señales de control que se generan en la PC. Las variables del espacio cartesiano son calculadas a partir de la solución del problema cinemático directo. En el lazo externo se resuelve el problema cinemático inverso para

generar las elongaciones deseadas de los pistones qd. Los algoritmos de control son implementados utilizando MATLAB/Simulink con Real-Time Windows Target.

Se desarrollan algunos experimentos en la plataforma real de acorde al esquema de control de la Figura 5 excitando el sistema con una señal sinusoidal en la variable de ladeo $\beta_d(t)$ y evaluado el desempeño de la variable estimada $\beta(t)$. El comportamiento del ladeo y del error con respecto a referencia se muestra en la Figura 9.

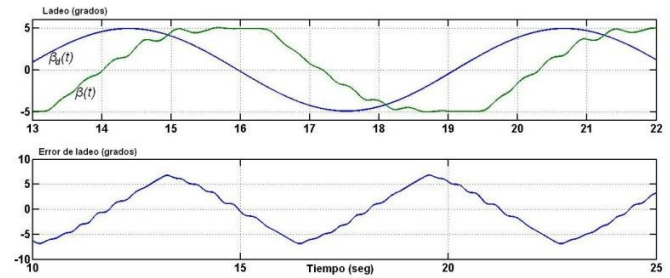


Fig. 9. Comportamiento del ladeo con esquema de control cartesiano en espacio de tareas.

El esquema de control cartesiano en espacio de tareas es incapaz de cumplir con requerimientos en aplicaciones de seguimiento de trayectoria cuando se excita el sistema con una entrada sinusoidal.

En la Figura 10, se muestra el comportamiento de la variable de ladeo nuevamente, en esta ocasión utilizando el esquema de control de trayectoria en espacio de tareas propuesto en la Figura 8. En la figura se evidencia una reducción considerable del error de seguimiento ante la misma entrada sinusoidal del experimento anterior.

La principal fuente de error está relacionada con la fricción de Coulomb, en el momento en que la velocidad del robot es cero, antes de que su velocidad cambie de dirección [13], además del efecto de la zona muerta que experimentan las válvulas de control de flujo utilizadas en el sistema electro-neumático [14].

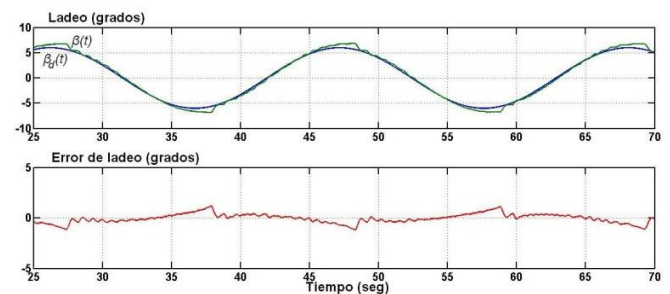


Fig. 10. Comportamiento del ladeo con esquema de control de trayectoria en espacio de tareas.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta la implementación de un esquema de control cinemático en espacio de tareas para un robot paralelo de dos grados de libertad. El esquema se estructura en dos lazos en cascada, donde el lazo interno es el encargado del control de las variables articulares del robot y el

lazo externo elimina los errores cartesianos en el espacio de tareas.

Con el objetivo de resolver el problema de seguimiento de trayectoria de este esquema, se realiza una compensación por adelanto de señal de la entrada de acuerdo a las especificaciones del control digital en la implementación del control cinemático en espacio de tareas. El efecto dinámico del lazo interno se aproxima a un retardo de tiempo del lazo externo debido a que el lazo de control interno se diseña más rápido que el externo.

En el artículo se muestran los resultados experimentales del esquema de control de trayectoria en espacio de tareas, contra los obtenidos con el esquema de control cinemático en espacio de tareas, evidenciando la disminución del error en seguimiento de camino.

REFERENCIAS

- [1] Siciliano, B., Khatib, O., 2008. Handbook of Robotics, 1st Edition. Springer, ISBN: 978-3-540-957-4.
- [2] Paccot, F., Andreff, N., Martinet, P., 2009. A Review on the Dynamic Control of Parallel Kinematics Machines: Theory and Experiments. International Journal of Robotics Research, 28 (3), 395–416.
- [3] D. Chalbat and S. Staicu, "Kinematics of a 3-PRP Planar Parallel Robot," U.P.B. Sci. Bull., Series D, vol. 71, (2), pp. 3-15, 2009.
- [4] D. Chablat, P. Wenger, F. Majou, and J. P. Merlet, "An Interval Analysis Based Study for the Design and the Comparison of 3 d.o.f Parallel Kinematic Machines," The International Journal of Robotics Research, vol. 23, (6), pp. 615-624, 2004.
- [5] E. Izaguirre, M. Mellado, L. Hernández, Á. Valera, and J. Guerra, "Modeling and Simulation of Parallel Robot of Three Degree of Freedom with Virtual Robot Simulator," in 13th International Convention and Fair, SIA-2009, International Convention Center, Havana, Cuba, 2009.
- [6] J. P. Merlet, "Jacobian, Manipulability, Condition Number, and Accuracy of Parallel Robots," Journal of Mechanical Design vol. 128, (1), pp. 199-207, 2006.
- [7] Izaguirre, E. "Control cinemático en el espacio de tareas de robot paralelo neumático en aplicación de simulador de movimiento," Tesis Doctoral, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2012.
- [8] Rubio, E., 2007. Modelación, Identificación y Control de Actuadores Lineales electro-neumáticos para Aplicaciones Industriales. Tesis Doctoral, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- [9] Varseveld, R. v. y Bone, G., "Accurate position control of a pneumatic actuator using on/off solenoid valves", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 2, 1997.
- [10] Rubio, E., Hernández, L., Aracil, R., Saltaren, R., Guerra, J., 2009. Implementation of Decoupled Model-Based Controller in a 2-DOF Pneumatic Platform used in Low-Cost Driving Simulators. En: Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference Cerna 2009-. Morelos, Mexico, pp. 338–343
- [11] Slotine, J. J. E. and W. Li (1989). Applied Nonlinear Control. Englewood Cliffs, New Jersey.
- [12] Izaguirre, E., Hernández, L., Rubio, E., Urquijo, O., 2011c. Cartesian Control of a 3-DOF Electro-pneumatic Actuated Motion Platform with Exteroceptive Pose Measurement. International Journal of Advanced Robotic Systems, 8 (4), 120–128.
- [13] Hernández, L., Izaguirre, E., Rubio, E., Urquijo, O., 2011. Kinematic Task Space Control Scheme for 3-DOF Pneumatic Parallel Robot. En: Intelligent Mechatronics: Chapter V. 1st Edition, InTech Education and Publishing, Vienna, Austria, ISBN: 978-953-307-300-2, pp. 67–84.
- [14] Prieto, P. "Control por modo deslizante basado en proxy de una plataforma con tres grados de libertad." Tesis de Maestría, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2013.

Orlando Urquijo Pascual. Graduado de Ingeniería en Automática en el año 2009. Ejerce como profesor del departamento de Automática y Sistemas Computacionales de la facultad de Ingeniería Eléctrica, de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Defiende la Maestría en el año 2013 con el trabajo "Control de trayectoria en espacio de tareas para robot paralelo de dos grados de libertad". Realiza investigaciones en el campo del modelado y control de robots paralelos. Se le otorga el premio nacional de la Academia de ciencias de Cuba en el año 2013 por

el trabajo "Esquema de control en el espacio de tarea de sistemas robóticos industriales".

Luis Hernández Santana. Recibe el título de Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas en el año 1994. Es profesor del departamento de Automática y Sistemas Computacionales y se desempeña como líder del Grupo de Automatización Robótica y Precepción (GARP). Su campo de investigación está basado en el modelado y control de vehículos autónomos y en la robótica.

Eduardo Izaguirre Castellanos. Recibe el título de Máster en Control Automático y el doctorado en ciencias técnicas en los años 1998 y 2012 respectivamente, en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Actualmente se desempeña como profesor del departamento de Automática y Sistemas Computacionales de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de dicha universidad. Es miembro del Grupo de investigación GARP. Su campo de investigación está enfocado en el modelado y control de robots paralelos.