



Tarjeta para controlar 3 grados de libertad de robots vía wifi

Card to control 3 degrees of freedom of robots via wifi

Moya Mora José de Jesús, Vergara Limón Sergio , Reyes Cortes José Fernando 

Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Edif. 109A Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

Autor de correspondencia: José de Jesús Moya Mora, Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Edif. 109A Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México. E-mail: moyamora@me.com

Recibido: 01 de Julio del 2018 **Aceptado:** 05 de Noviembre del 2018 **Publicado:** 10 de Mayo del 2019

Resumen. - *El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema para controlar un robot de tres grados de libertad utilizando un sistema embebido, la transferencia de información se realiza mediante el protocolo de comunicación WIFI. El robot que se utiliza es el tipo cartesiano. Se hace una descripción del diseño mecánico del robot, así como la obtención del modelo cinemático y dinámico. Se detalla el diseño de un sistema de adquisición, desarrollando un sistema embebido basado en FPGA de la marca altera de la familia Cyclone III el cual cuenta con un controlador interno, así como la interpretación del manejo de las señales del robot y comunicación WIFI, se explica el desarrollo del firmware que realiza el control y como se establece la comunicación. El controlador seleccionado es el de tangente hiperbólica. Dicho controlador es implementado en el firmware con el fin de controlar y analizar el comportamiento del sistema.*

Palabras clave: FPGA; Protocolo de Comunicación WIFI; Control Tangente Hiperbólico.

Abstract. - *The present work describes the development of a control system for a three D.O.F Cartesian robot using an embedded system where the information transfer is done by the WIFI communication protocol. A description of the mechanical design of the robot is given, as well as the kinematic and dynamic model. It details the design of an acquisition system, developed in FPGA based embedded system of the Altera Cyclone III family, and also the interpretation of the robot signal handling and WIFI communication. In addition, it shows the development of the firmware responsible of the control and communication. Regarding the control, a hyperbolic tangent controller is selected for preliminary results and with these, the Cartesian robot can be analyzed and regulated.*

Keywords: FPGA; WIFI Communication Protocol; Hyperbolic Tangent Control.



1. Introducción

La instrumentación es una disciplina de alto impacto en diferentes aplicaciones, tales como la física, el control, por mencionar algunas. Es el control una disciplina que a su vez interviene en un sin fin de aplicaciones, como la robótica; Entonces se presenta que diferentes disciplinas interactúan de diferentes maneras para lograr un mismo fin. [1]

El desarrollo tecnológico o diseño de dispositivos que como en este trabajo se abordará el diseño de una tarjeta de adquisición de datos y control es de una gran complejidad, y prueba de ello es que este tipo de desarrollo es realizado por compañías transnacionales, por lo que el desarrollo tecnológico en países como México es limitado, puesto que partir de una idea o una función determinada que se quiera que realice el dispositivo a diseñar hasta obtener un primer prototipo es una tarea bastante compleja a realizar, debido a que en ciertas áreas de la ciencia la bibliografía o referencias especializadas en determinados temas es amplia y en ocasiones bastante rebuscada de manera que no cualquier lector podría deducir como es que funciona algún tema en específico que desee leer, comprender e interpretar, en el caso de desarrollos tecnológicos el acceso a bibliografía o referencias es limitada, debido a que esta información es generada por compañías las cuales comercializan estos desarrollos y que invirtieron en recursos humanos e infraestructura para poder generar estos diseños, es por ello que solo es público un manual de uso o guía de usuario para poder utilizar sus diseños comercializados, pero nunca habrá información

que permita a terceras personas realizar un producto similar o basado en su diseño.

Se aborda la problemática de diseño de un sistema de adquisición de datos y control para un robot cartesiano de tres grados de libertad, se analizan las señales que interactúan en el sistema de control del robot, de esta forma se seleccionó los dispositivos electrónicos adecuados para el tratamiento y emisión de estos, además del firmware necesario para el tratamiento, decodificación y emisión de las señales necesarias en el sistema de control. El diseño de tarjetas de adquisición de datos y control tiene una amplia complejidad, por lo que en su mayoría son desarrollados por compañías transnacionales en las cuales un equipo multidisciplinario realiza los diseños, por esta razón el desarrollar diseños de tarjetas de adquisición de datos en el país permite crear dispositivos que satisfagan las necesidades y técnicas para una aplicación de control, por ello esta tarjeta es de arquitectura abierta y con una comunicación inalámbrica con la PC, lo cual permite la transmisión de datos vía wifi. La creación de una pantalla de usuario utilizando LabView permite la combinación de procesamiento de la PC con la tarjeta diseñada. La tecnología avanza a grandes pasos, por lo que la investigación de dispositivos de última generación se vuelve de vital importancia, es por ello que se presenta la investigación de instrumentación de dispositivos en los FPGA de ALTERA de última generación.

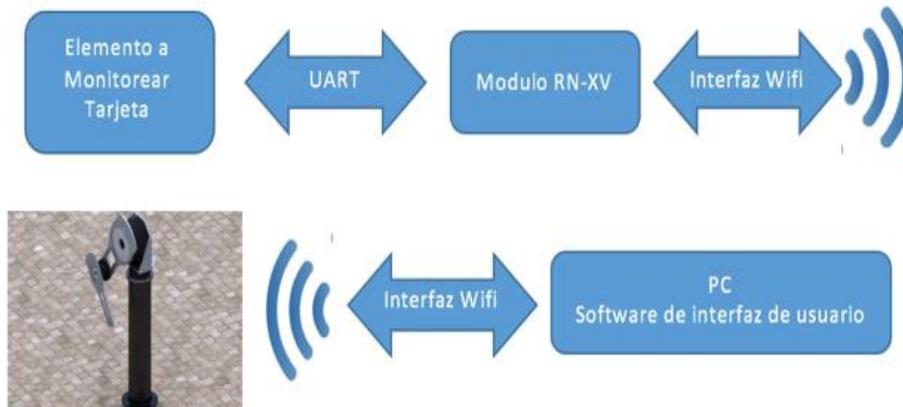


Figura 1. Diagrama general del sistema embebido.

2. Metodología

1.1. Diagrama general del sistema embebido

El sistema embebido desarrollado le permitirá al usuario manipular el robot como el desea mediante un monitoreo de manera inalámbrica vía WIFI. El sistema en general está compuesto por hardware, firmware y software los cuales se describirán a continuación.

Del diagrama anterior, el elemento a monitorear es la articulación del robot, se obtienen los valores correspondientes a la posición actual y par aplicado, en base al tiempo y a la posición deseada, se calcula el error de posición a lo largo del funcionamiento del sistema. Estos datos son leídos a través de la FPGA y son enviados a un módulo WIFI mediante el protocolo UART de sus siglas en inglés Universal Asynchronous Receiver Transmitter.

El módulo WIFI es el RN-XV, este dispositivo realizará la tarea de conversión de WIFI a serial y de serial a WIFI. Esta comunicación es bastante atractiva para el usuario ya que se hace compatible con computadoras de escritorio o computadoras portátiles de manera inalámbrica. [2]

La interfaz de usuario se realizará mediante la ayuda del software labview en la cual el usuario tendrá el control del sistema, El sistema tendrá la tarea de interpretar los datos del encoder, inicializar el algoritmo de control, transmitir la posición actual y par aplicado.

La ventaja de este sistema, es que, el algoritmo de control se encuentra dentro de la FPGA mediante firmware, aumentando el tiempo de ejecución del algoritmo de control tomando así datos en tiempo real, puesto que es un hardware dedicado a realizar esa tarea específica.

2.1. Diseño del robot cartesiano

Para poder realizar un control apropiado para nuestro robot, es necesario tener en cuenta el modelo dinámico del mismo, esto nos servirá para analizar su comportamiento, al utilizar diferentes algoritmos de control y de esta manera poder utilizar el presente un mejor desempeño.

El modelo dinámico de nuestro robot, se emplea la metodología de Euler-Lagrange, la cual está ampliamente documentada.

Para ello se muestra la representación geométrica del robot cartesiano de 3 grados de libertad, la



cual nos ayuda a visualizar el comportamiento del manipulador.

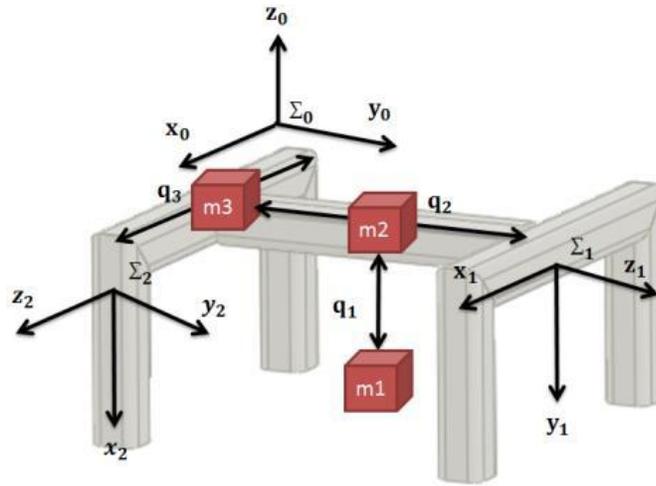


Figura 2. Representación del robot cartesiano de 3 grados de libertad.

Por lo tanto, el modelo dinámico cartesiano está dado por:

$$f_x = \begin{bmatrix} m_1 + m_2 + m_3 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 + m_3 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{bmatrix} + g \begin{bmatrix} m_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & 0 \\ 0 & 0 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{c1} & 0 & 0 \\ 0 & f_{c2} & 0 \\ 0 & 0 & f_{c3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{signo}(\dot{q}_1) \\ \text{signo}(\dot{q}_2) \\ \text{signo}(\dot{q}_3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{e1}[1-\text{signo}(\dot{q}_1)] \\ f_{e2}[1-\text{signo}(\dot{q}_2)] \\ f_{e3}[1-\text{signo}(\dot{q}_3)] \end{bmatrix}$$

En nuestro caso no se cuenta con la matriz de fuerzas centrípetas y de Coriolis, ya que es igual a cero, con respecto a la matriz de inercia cartesiana nosotros contamos con una matriz de masas, mencionada con anterioridad.

Se presenta el robot cartesiano integrado completamente.

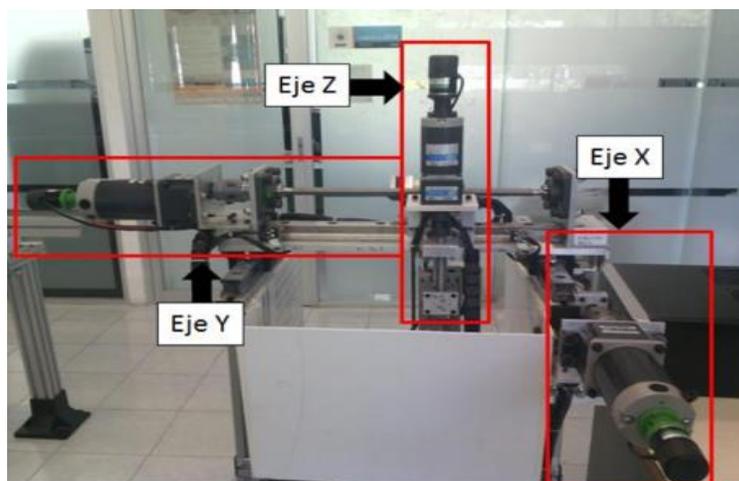


Figura 3. Representación del robot cartesiano de 3 grados de libertad.



2.3 Diseño de la interfaz gráfica para manipular el robot cartesiano de 3 grados de libertad.

Se hará una descripción concreta del software de control de posición, el cual se realizó con el

programa de LabView, que es una herramienta que nos permite tener acceso de forma sencilla al protocolo de comunicación WIFI, permitiéndonos visualizar los datos que se escriben desde la computadora hasta la tarjeta de adquisición de datos.

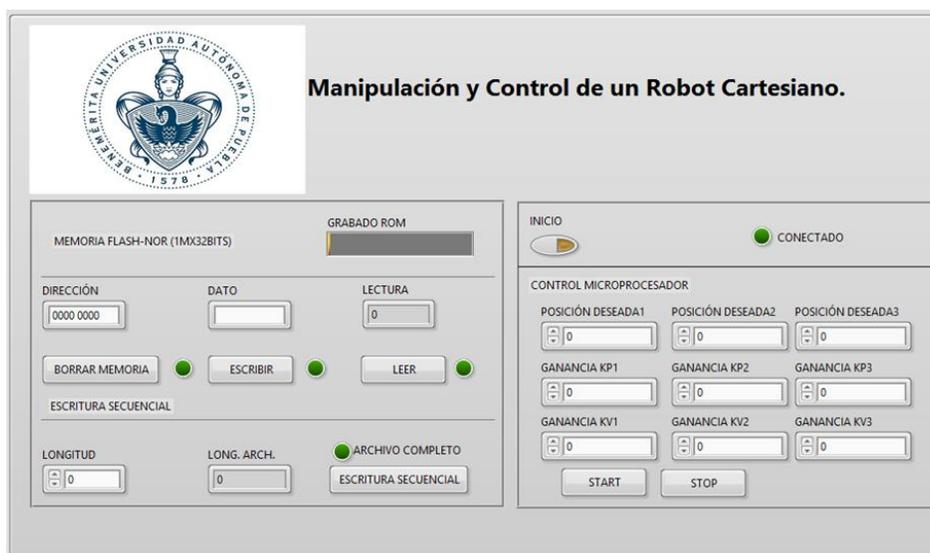


Figura 4. Representación del robot cartesiano de 3 grados de libertad.

En esta pantalla nosotros podemos visualizar las posiciones deseadas, la ganancia proporcional y derivativa, para cada eje.

Desde esta interfaz podemos inicializar nuestro sistema, cargar un archivo de texto “.txt”, el cual cuenta con el algoritmo de control necesario para poder tener una manipulación de nuestro robot de forma óptima, nos permite ingresar la posición deseada, en la cual nuestro robot llegara a esta posición de forma precisa, la precisión de llegar al punto deseado varía dependiendo de la ley de control que se le aplique al robo.

3. Resultados

Se realizó la caracterización de los motores de dc, para convertirlos en pseudo-servomotores de transmisión directa. Siguiendo la siguiente metodología, primero se determina el voltaje nominal de cada motor, en nuestro caso fue de 12v; Después se hace la búsqueda de la frecuencia de trabajo de cada motor, la cual nos proporciona la mitad del torque máximo con un ciclo de trabajo de 50%, una vez localizada esta frecuencia se hace un barrido cambiando el porcentaje de ciclo de trabajo para poder analizar su comportamiento, que tiene que ser muy cercano al lineal. De este proceso se obtuvieron los siguientes resultados:



Tabla 1. Datos adquiridos del primer motor a una frecuencia de 2.45Khz.

% Ciclo de trabajo del PWM	Torque (Nm)
0	0
10	2.8616
12	3.9494
14	4.3708
16	5.2528
18	5.9976
20	6.4288
22	7.595
24	8.1144
28	9.555
34	10.8192
36	12.348

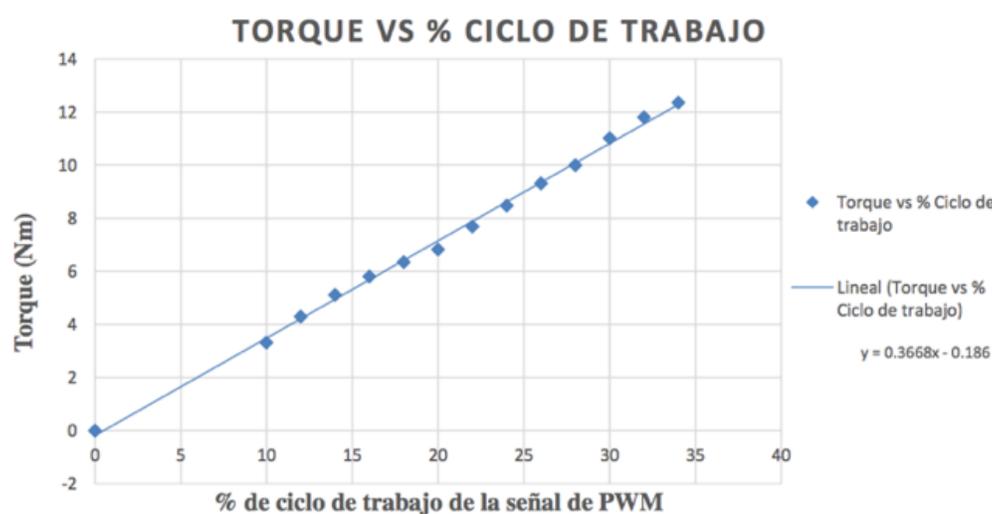


Figura 5. Gráfica de resultados del primer motor, se puede observar la linealidad del motor.

Se caracterizó hasta el 36% del ciclo de trabajo, ya que el servomotor nos proporciona el torque necesario para nuestra aplicación.

Para el segundo motor se obtuvieron los siguientes resultados a una frecuencia de 2.



Tabla 2. Datos adquiridos del segundo motor a una frecuencia de 2.5Khz.

%Ciclo de trabajo del PWM	Torque (Nm)
0	0
10	3.3124
12	4.2924
14	5.1058
16	5.8016
18	6.3406
20	6.8208
22	7.68208
24	8.477
26	9.31
28	9.996
31	11.0152
33	11.7992
36	12.348

Finalmente, para el tercer motor se encontró que la mejor frecuencia de trabajo fue de 75Hz, obteniendo los siguientes resultados:

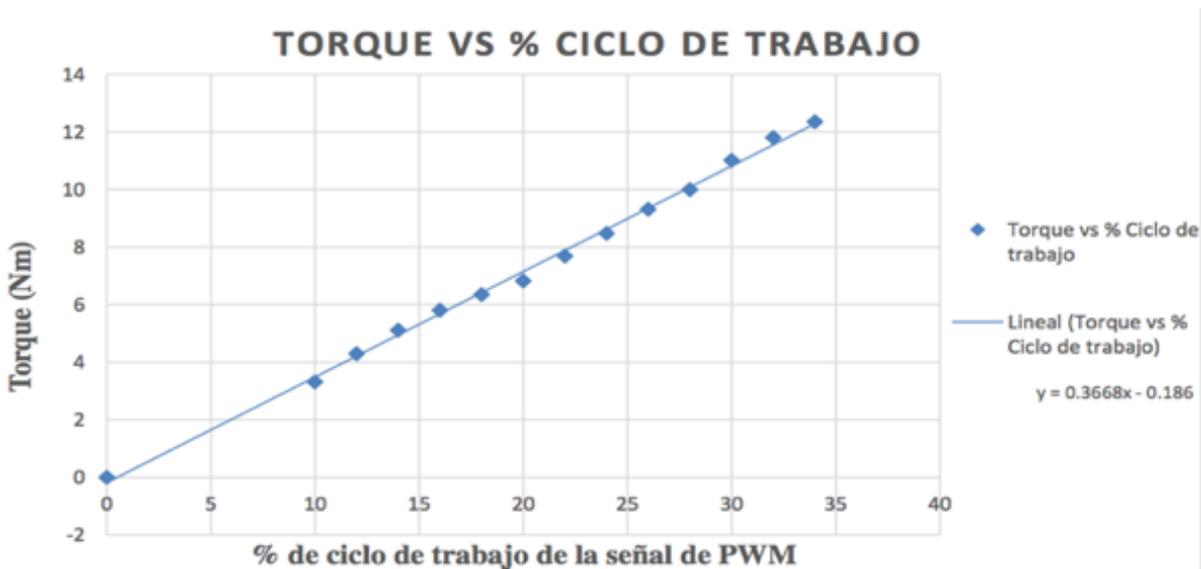


Figura 6. Grafica de resultados del segundo motor, se puede observar la linealidad del motor.



Tabla 3. Datos adquiridos del tercer motor.

%Ciclo de trabajo del PWM	Torque (Nm)
0	0
10	0.0616077
20	0.3435096
30	0.6571488
40	0.840105
50	1.250823
60	1.437513
70	1.8930366
80	2.072259
90	2.5688544

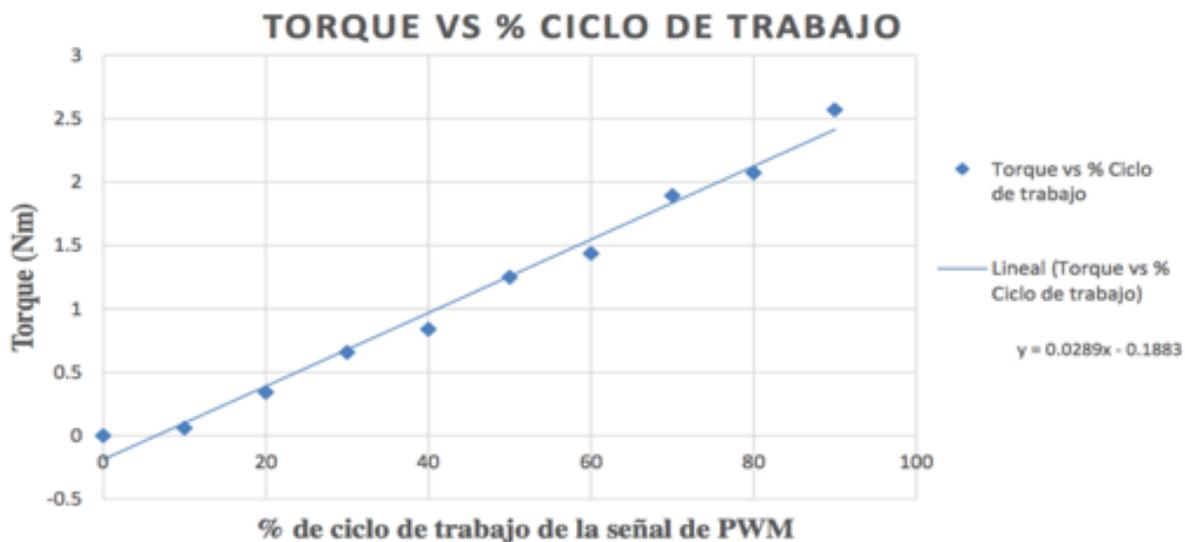


Figura 7. Grafica de resultados del tercer motor, se puede observar la linealidad del motor.

4. Conclusiones

A diferencia de los robots cartesianos comerciales, este manipulador utiliza una comunicación inalámbrica como interfaz, por medio de una tarjeta de adquisición de datos, la cual es una FPGA. Esto le proporciona grandes beneficios como velocidad de procesamiento de 100MHz, arquitectura abierta por mencionar algunos, en comparación con algunos sistemas empotrados como Arduino mega que maneja una velocidad de reloj de 16MHz. Además, la programación en FPGA es muy versátil y nos

permite realizar varios procesos de control en tiempo real, que es muy importante para cualquier aplicación.

Al emplear el software de labview, nuestro programa fue más sencillo de realizar mediante el protocolo de comunicación Wifi, sin embargo, cabe destacar que hay que tener cuidado con las direcciones que se ocupan y la información que se envían porque podemos causar problemas con el sistema. Este programa nos permite modificar



de manera sencilla el algoritmo de control y visualizar los datos que deseamos monitorear.

Referencias

- [1] D. Bernstein and L. Bushnell, "The History of Control: From Idea to Technology", *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 22(2), pp. 21-23, April 2002. <https://doi.org/10.1109/MCS.2002.993310>
- [2] J. Carballar, *Wi-Fi Instalación, Seguridad y Aplicaciones*, (Vol. 1). México, México, México: Alfaomega, 2007. https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=23215&shelfbrowse_itemnumber=30782
- [3] R. Kelly y V. Santivañez, *Control de Movimiento de Robots Manipuladores*, Prentice Hall, 2003. http://amca.mx/memorias/amca2009/articulos/amca2009_42.pdf
- [4] D. Rojas-Balbuena, "Diseño, construcción e instrumentación de un robot cartesiano pick and place de 4 GDL", Tesis de maestría FCE, BUAP, Puebla, Puebla, junio del 2011. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/2563/757816T.pdf?sequence=1>
- [5] F. Reyes-Cortes, *Robótica control de robots manipuladores*, Ed. alfa omega, 1er edición. <https://www.alfaomega.com.mx/default/catalogo/profesional/robotica-control-de-robots-manipuladores.html>
- [6] J. Balcells y J.L. Romera, *Autómatas Programables*, Ed. Marcombo, 1997. <https://books.google.com.mx/books?id=xfSjADge70C&siteec=reviews>
- [7] J. Vargas-Valencia, I. Ramírez-Velázquez, y S. Pérez-Walton, *Física mecánica conceptos básicos y problemas*, Ed. ITM, 1a edición diciembre del 2008. <https://fondoeditorial.itm.edu.co/libros-impresos/fisica-mecanica/detalle-libro.html>
- [8] A. Barrientos, L.F. Peñín, C. Balaguer y R. Aracil. *Fundamentos de robótica*, Ed. Mc Graw Hill, 1997. <https://eltrasteroloco.files.wordpress.com/2017/03/267380685-fundamentos-de-robotica.pdf>
- [9] A. Ollero Baturone. *Robótica Manipuladores y robots móviles*, Ed Alfaomega, julio de 2008. <http://el.uy/doc/robotica/Ollero%20Baturone,%20An%C3%ADbal.%202001.%20Rob%C3%B3tica,%20manipuladores%20y%20robots%20m%C3%B3viles.pdf>
- [10] S. Kumar Saha. *Introducción a la Robótica*, Ed. Mc Graw Hill, 2008. <http://biblio.upmx.mx/library/index.php?title=301750&lang=en&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@autor=SAHA.%20SUBIR%20KUMAR%20@mode=&recnum=1&mode=>
- [11] Robot cartesiano de 3 g.d.l. Lexium, disponible en: http://www.alumotion.eu/portfolio_item/urcaps-uring/ 2015.
- [12] Guía aplicada del robot cartesiano, Schneider electric, 11 de diciembre del 2008, versión 1.3.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)