



Desarrollo de un sistema mecatrónico para robot humanoide que permita emular el movimiento del cuello de los seres humanos

Development of a mechatronic system for humanoid robot that allows to emulate the movement of the neck of human beings

López Cortés Francisco José ¹, Vergara Limón Sergio ¹, Vargas Treviño María Aurora Diozcora ¹, Palomino Merino Amparo Dora ¹, Pinto Avedaño David Eduardo ², Vilariño Ayala Darnes ²

¹Facultad 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. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Puebla, México.

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Puebla, México.

Autor de correspondencia: Francisco José López Cortés, 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. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Puebla, México. E-mail: lopcorp.z@gmail.com. ORCID: 0000-0002-7427-1386.

Recibido: 01 de Julio del 2018 **Aceptado:** 20 de Diciembre del 2018 **Publicado:** 10 de Febrero del 2019

Resumen. - *En el presente trabajo se muestra el diseño de un sistema mecatrónico, el cual emula los movimientos del cuello humano, ya que sostendrá la cabeza de un robot humanoide (Arthur) desarrollado por la empresa Hanson Robotics. El diseño mecánico se basa en un robot esférico de 3 grados de libertad (3-GDL), se desarrolla el modelo dinámico a través de las ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange. La etapa de control es una tarjeta de desarrollo FPGA (arreglos de compuertas programables en campo) de la familia Cyclone IV, la etapa de potencia se basa en transistores BJT, se implementa el controlador Tangente hiperbólico y una interfaz de comunicación WiFi para configurar el robot desde una PC con ayuda del software Labview. Como resultado se muestra la integración del sistema mecatrónico, la interfaz desarrollada junto con la comunicación FPGA-PC y control de posición. El trabajo futuro será la implementación del sistema en el robot humanoide.*

Palabras clave: Sistema Mecatrónico; Robot Humanoide; Modelo Dinámico; FPGA; WiFi.

Abstract. - *The present work shows the design of a mechatronic system, which emulates the movements of the human neck, as it will support the head of a humanoid robot (Arthur) developed by Hanson Robotics. The mechanical design is based on a spherical robot of 3 degrees of freedom (3-GDL), the dynamic model is developed through the Euler-Lagrange equations of motion. The control stage is a FPGA (Field Programmable Gate Arrays) development board, the power stage is based on BJT transistors, the hyperbolic tangent controller and a WiFi communication interface are implemented to configure the robot From a PC with the help of Labview software. As a result, the integration of the mechatronic system, the interface developed together with the FPGA-PC communication and position control, is shown. Future work will be the implementation of the system in the humanoid robot.*

Keywords: Mechatronic System; Humanoid Robot; Dynamic Model; FPGA; WiFi.



1. Introducción

Los avances de la robótica en la actualidad no se limitan a entornos industriales, también se han revolucionado los semblantes y las funciones de los robots, logrando introducirlos a un entorno social, dando pie a los robots de servicio, denominados humanoides por su apariencia, los cuales realizarán tareas en beneficio de la sociedad, labores cotidianas o con fines terapéuticos, por ejemplo, la rehabilitación de niños con problemas de lenguaje, la detección de desórdenes de comportamiento en jóvenes y en terapia ocupacional geriátrica. Se han desarrollado robots humanoides capaces de replicar las expresiones faciales del ser humano y lograr entablar una conversación, tal es el caso de Arthur, desarrollado por la empresa Hanson Robotics [1].

Uno de los aspectos importantes para que la interacción robot-humano sea de forma natural, se da en los movimientos o acciones que producimos al hablar. El cuello es una de las áreas más complejas del cuerpo humano, puede realizar un gran número de movimientos, los más básicos son flexión, extensión, inclinación y rotación, cada uno implica la participación de estructuras diferentes, que facilitan, controlan y limitan el movimiento [2].

2. Metodología

El sistema mecatrónico presentado en este trabajo se conforma de una interfaz desarrollada en el software Labview, donde se utiliza la comunicación WiFi para la programación, inicio-paro y extracción de datos del sistema mecatrónico generados por la acción de control del robot esférico de 3 GDL. El sistema digital está basado en un microprocesador implementado en un FPGA Cyclone IV de la familia Altera, el cual se desarrolló en la facultad de ciencias de la electrónica (FCE) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), tiene la función de obtener los datos de posición de cada grado de libertad, con ayuda de los sensores del sistema

mecatrónico (encoders de cuadratura), posteriormente realiza la acción de control a través del controlador tangente hiperbólico y genera la señal para los actuadores del sistema (motores CD), que en este caso es una señal PWM, el sistema digital también cuenta con una interfaz WiFi. La etapa de potencia está formada por trespunte H, basados en transistores BJT, los cuales entregan la potencia requerida por los actuadores para generar los movimientos del sistema. Se muestra en la figura 1 el diagrama general del sistema mecatrónico.

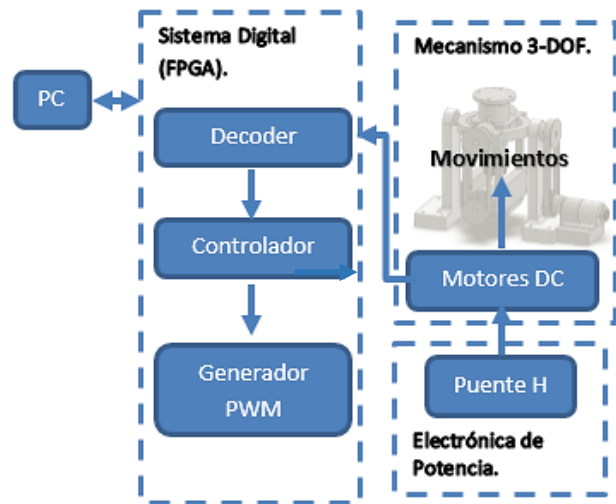


Figura 1. Diagrama general del sistema mecatrónico.

3. Diseño Mecánico

El diseño mecánico que se muestra en la figura 2 se basa en un robot esférico de 3 grados de libertad (3-GDL) provisto con contrapesos para reducir la distancia del centro de masa de la cabeza al punto de rotación del mecanismo, esto minimiza el torque demandado por los actuadores ya que las fuerzas centrípetas y de coriolis tienden a cero cuando el centro de masa se encuentra sobre el punto donde se intersectan los ejes de rotación.

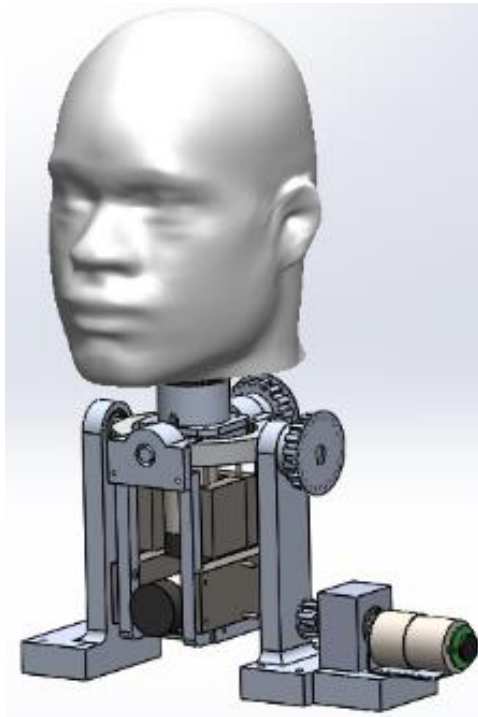


Figura 2. Ensamble de la estructura mecánica acoplada con la cabeza del robot humanoide.

4. Modelo Dinámico

Para desarrollar el modelo dinámico se utilizaron las ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange, por tanto, se definen los parámetros Denavit-Hartenberg como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros D-H.

Eslabón	l_i	α_i	d_i/β_i	q_i
1	l_1	90°	0	q_1
2	l_2	0	0	q_2
2a	0	0	0	90°
2b	0	90°	0	0
2c	0	0	β_1	0
3	0	0	β_2	q_3
3a	0	0	0	90°
4	l_3	0	0	0

La ecuación (1) expresa el modelo dinámico del robot esférico de 3 GDL en su forma compacta y con notación utilizada en el área de robótica [3].

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q)$$

Donde:

τ = Vector de par aplicado.

$q \in \mathbb{R}^n$ = Vector de coordenadas generalizadas

$\dot{q} \in \mathbb{R}^n$ = Vector de velocidades articulares.

$\ddot{q} \in \mathbb{R}^n$ = Vector de aceleraciones articulares.

$M(q) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ = Matriz de inercia.

$C(q, \dot{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ = Matriz de fuerzas centrípetas y de coriolis.

$g(q) \in \mathbb{R}^n$ = Vector de par gravitacional.

5. Electrónica de Control y Potencia

La etapa de control consta de un microprocesador, donde se realiza la programación en lenguaje ensamblador de la acción de control, el código de programa se almacena en una memoria ROM y también se cuenta con una memoria RAM para almacenar variables y datos calculados por el mismo, además cuenta con periféricos de entrada, que son decodificadores para la adquisición de datos de los encoders de cuadratura, y registros donde se almacenan los datos enviados desde la interfaz gráfica de la PC, tanto la programación como la comunicación de datos es realizada mediante un módulo externo WiFi, los periféricos de salida son generadores de señal PWM, lo anterior fue implementado en un FPGA Cyclone 4 y se realizó el firmware en lenguaje AHDL. Se diseñó un puente H para la etapa de potencia de cada motor, las señales de control solo pueden entregar hasta 1mA a 3.3v, por este motivo se requiere un circuito con transistores BJT en configuración Darlington.

6. Resultados

Se observa en la figura 3 la interfaz gráfica desarrollada en el software Labview, en la cual se cargó el programa del microprocesador y se proporcionó la posición y ganancias para cada grado de libertad, el módulo WiFi genera una conexión punto a punto con la PC, fue necesario que la comunicación se realizara por protocolo TCP/IP desde la interfaz gráfica.



Figura 3. Interfaz gráfica de control, la cual se encarga de programar el micro controlador, enviar los parámetros deseados y adquirir los datos calculados.

En la figura 4 se muestra la integración del sistema mecatrónico, donde se observa la estructura mecánica, etapa de control y la etapa de potencia, conectadas entre sí mediante un arnés de 12 cables. La etapa de control y potencia se integraron en un clúster, así, la electrónica utilizada se presenta de manera compacta.

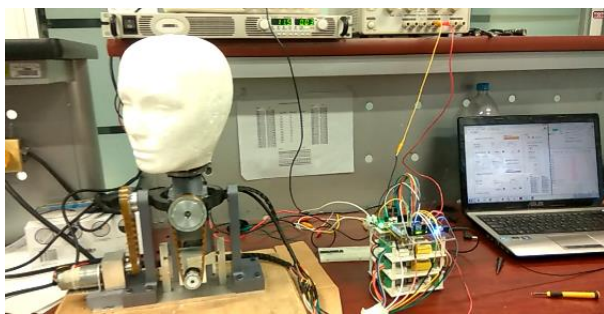


Figura 4. Integración del sistema mecatrónico, conectado y en comunicación con la PC.

El control de posición se llevó a cabo con un controlador tangente hiperbólico. En la figura 5 se ilustra la respuesta del controlador al simular el modelo dinámico obtenido previamente, las posiciones articulares son: 20° , 10° y 10° (grados) para q_1 , q_2 y q_3 respectivamente, utilizando ganancias proporcional (K_p) de 0.45 y derivativa (K_v) de 0.35, cabe resaltar que este sistema debe de compensar el peso de 3.32 kg de la cabeza del robot humanoide, por tanto se observó que el comportamiento del torque calculado se determinaba por el par gravitacional en su mayoría, además se propone una aproximación de los parámetros físicos del robot para lograr realizar la simulación. Por tanto, se tiene un error

de posición para q_1 de 20.59° grados, para q_2 y q_3 se encontró un error de posición de 0.11° grados, en un tiempo de 1.5seg. de simulación.

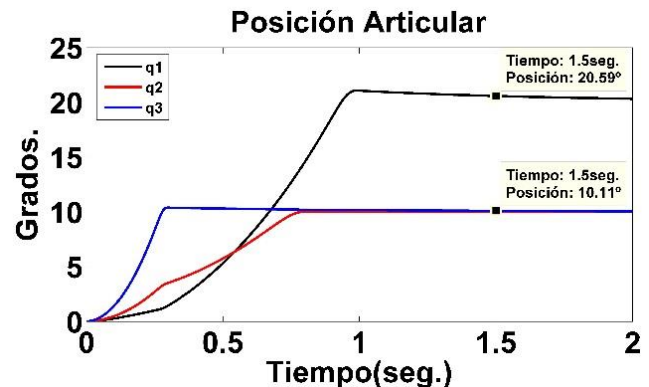


Figura 5. Simulación en Matlab del controlador tangente hiperbólico, con parámetros físicos aproximados.

Para realizar el experimento de control en el sistema físico, se emulo la cabeza del robot humanoide con un peso de 3.32kg, se consideraron los parámetros físicos propuestos en la simulación para efectos de comparación. Se obtuvieron los datos calculados y se graficaron en el software Matlab, como se muestra en la figura 6, encontrando que, para las mismas posiciones deseadas y ganancias propuestas en la simulación, para q_1 en el tiempo 1.5seg se observa un error de 0.337° grados, para q_2 se tiene un error de posición de 0.162° grados y para q_3 el error de posición es de 0.3348° grados. Se aprecia que el comportamiento de q_1 es diferente a la simulación, debido a la estimación de los parámetros físicos, en este caso la acción de la fuerza de gravedad es mayor en esta articulación, y las ganancias propuestas necesitan ser mayores para que la acción de control se presente de manera suave y no genere el sobre impulso que se muestra en la gráfica. Se aprecia que los errores de posición son pequeños, pero tomando en cuenta la resolución de los encoders del sistema que es de 0.04285° grados, se tiene que el error de lectura en valor incremental del encoder para q_1 es de 7.864, para q_2 es de 3.78 y para q_3 se tiene un error de 7.813. Por tanto, se debe de realizar una prueba de estimación paramétrica, como lo puede ser mínimos cuadrados, para conocer de forma exacta los parámetros físicos del robot.

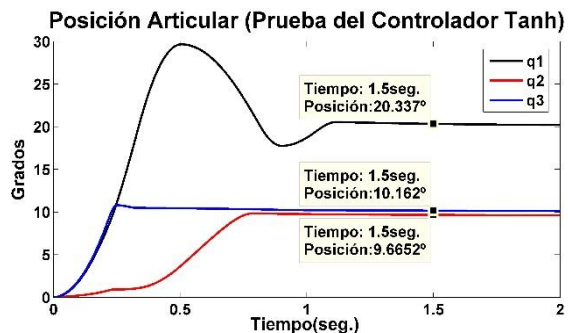


Figura 6. Control de posición del sistema mecatrónico, implementando en software un controlador tangente hiperbólico.

7. Conclusiones

Se logró diseñar una estructura mecánica que emule los movimientos del cuello de los seres humanos, que es de gran importancia para la interacción robot-humano. Se desarrolló una interfaz gráfica, la cual se comunica por protocolo WiFi a una computadora donde el usuario programa el micro controlador, proporciona la posición deseada y las ganancias para cada actuador, por último se realiza una comparación entre una simulación en Matlab y el control de posición del sistema, ambos con un controlador tangente hiperbólico, concluyendo que el modelo dinámico obtenido es de gran ayuda para el control del sistema real, ya que, por medio de este se obtuvo el par gravitacional, es decir, la

compensación de gravedad, aunque los parámetros físicos fueron aproximados, es una base sólida para obtener los parámetros reales con ayuda un algoritmo de identificación paramétrica. Como trabajo futuro se implementará el sistema mecatrónico en el robot humanoide.

Referencias

- [1] Hanson Robotics. (2016, 15 Marzo). Meet Arthur a Humanoid Robot (Hanson Robotic News). [Página web]. Disponible en: <http://hansonrobotics.com/slate-fr-blogger-meets-arthur-dld-conference/>
- [2] J. L. Guerra, Manual de fisioterapia (2a. ed.). Editorial El Manual Moderno, 2018. https://tienda.manualmoderno.com/manual-de-fisioterapia-9786074487107-9786074487190.html?SID=38b00ea117d111154a7fd6fe32c80c75&store%5B_data%5D%5Bstore_id%5D=2&store%5B_data%5D%5Bcode%5D=manual_moderno_mexico_mxn&store%5B_data%5D%5Bwebsite_id%5D=2&store%5B_data%5D%5Bgroup_id%5D=2&store%5B_data%5D%5Bname%5D=Manual+Moderno+M%C3%A9xico&store%5B_data%5D%5Bsort_order%5D=0&store%5B_data%5D%5Bis_active%5D=1
- [3] F. Cortés, “Robótica: Control de Robots Manipuladores”, Alfaomega Grupo Editor, 1era. Edición, México, 2011. <https://www.alfaomega.com.mx/default/robotica-control-de-robots-manipuladores-4645.html>



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 —transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del lic

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