

Sistema de Co-Simulación de un Robot Industrial para Control

GUDIÑO-LAU, Jorge*[†], CHÁVEZ-MONTEJANO, Fidel, MÉNDEZ, Alan y HERNÁNDEZ, Adrian.

Recibido Octubre 28, 2016; Aceptado Diciembre 16, 2016

Resumen

Este trabajo presenta la co-simulación como una herramienta de apoyo para simulación y control de robots manipuladores. Se diseña un robot industrial KUKA KR 5 sixx 850 con el apoyo de los softwares Solidwork y Matlab-SimMechanics. El empleo de Solidwork permite hacer un análisis y validación del modelo cinemático y dinámico del manipulador y para resolver el problema de control del robot se utiliza Matlab y SimMechanics. Se eligieron estos programas debido a que son más comerciales y casi en todas las Universidades lo tienen. Además, se describe como se aplicada la co-simulación para hacer un ambiente virtual, y como se unen los eslabones y las articulaciones hasta forma el robot manipulador, por lo anterior, la co-simulación ayuda al diseño de robots y a al control, ya que se necesitan validar los algoritmos de control en co-simulación antes de llevarlos a la validación experimental y no dañar el equipo experimental.

Cosimulación, diseño mecánico, robots industriales, modelado de robots y control

Abstract

This paper presents the co-simulation as a support tool for simulation and control of robot manipulators. An industrial robot KUKA KR 5 sixx 850 is designed with the software of Solidwork and Matlab-SimMechanics. The use of Solidwork allows analysis and validation of kinematic and dynamic model of the manipulator robot and to solve the problem of robot control is used SimMechanics and Simulink of Matlab. These programs are used because are more commercial and almost all Universities have it elected. In addition, it described as the co-simulation is applied to a virtual environment, and as the links and the joints are joined to form the manipulator robot, in consequence, the co-simulation helps the robot design and control, and needed to validate control algorithms in co-simulation before taking them to the experimental validation and not to damage the experimental equipment.

Cosimulation, mechanics design, industrial robots, robot modeling and control

Citación: GUDIÑO-LAU, Jorge, CHÁVEZ-MONTEJANO, Fidel, MÉNDEZ, Alan y HERNÁNDEZ, Adrian. Sistema de Co-Simulación de un Robot Industrial para Control. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2016, 2-6: 22-29

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jglau@ucol.mx)

[†] Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La co-simulación también es conocida como simulación cooperativa, es una metodología de simulación que permite a los componentes individuales para simular en ambientes virtuales y que se ejecutan simultáneamente, por lo que se tiene intercambio de información de manera colaborativa.

Este trabajo presenta el desarrollo de un software que une al menos dos programas (co-simulación) para el control de posición de un robot manipulador industrial de seis grados de libertad (g.d.l.) Kuka KR5 sixxR850.

Uno de los primeros pasos es realizar el modelo del robot en forma virtual, es decir hacer el diseño mecánico, como son los eslabones y articulaciones en Solidworks. Como segundo paso, consiste en convertir en modelo del robot manipulador realizado en Solidworks a SimMechanics/Matlab, donde se le asignan los sensores (encoders) y actuadores (motores) a cada una de las articulaciones, así como las restricciones del robot. Y como parte final se hace un control de posición para manipular el robot en Matlab/Simulink donde se hace la co-simulación.

Software

Para la cosimulación se necesitan dos software como es SolidWorks y SimsMechanics de Matlab.

SolidWorks

Es un programa de diseño mecánico asistido por computadora para modelar mecanismos y es desarrollado por SolidWorks Corporation. El programa permite modelar piezas como eslabones, juntas, robots completos y permite extraer tanto planos como otro tipo de información necesaria para el análisis mecánico. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD.

El proceso consiste en cambiar la idea del diseñador mecánico al sistema CAD, construyendo virtualmente la pieza o conjunto. Fernández López (2014)

SimMechanics

Es una herramienta numérica que se usa para modelar y simular sistemas mecánicos de forma muy fácil y eficiente en el ambiente de Simulink/Matlab, además permite realizar el estudio y análisis del sistema sin la necesidad de escribir complejas ecuaciones y modelos matemáticos. El estudio de los sistemas mecánicos puede ser realizado desde la interfaz gráfica de Simulink. SimMechanics trabaja con diagramas de bloques para simular el movimiento de sistemas mecánicos y medir el movimiento generado por la actuación mecánica. Lo que permite diseñar el robot manipulador. Milanese (2009) y Rudra (2010)

Modelado del robot manipulador

Kuka KR5 sixxR850

El robot Kuka KR 5 sixx R850 es un robot de brazo articulado industrial con 6 ejes fabricado en fundición de metal ligero. La Figura 1 muestra el robot manipulador con sus especificaciones técnicas.

Cinemática directa del KUKA KR5 sixx 850

Para obtener la cinemática directa del robot KUKA KR5 Sixx 850 se establecen los sistemas de coordenadas de cada articulación, como se observa en la Figura 2

Una vez establecidos los ejes de todas las articulaciones se obtienen los parámetros de acuerdo con el método de Denavit-Hartenberg, como se muestra en la Tabla 1. Fu(1987)

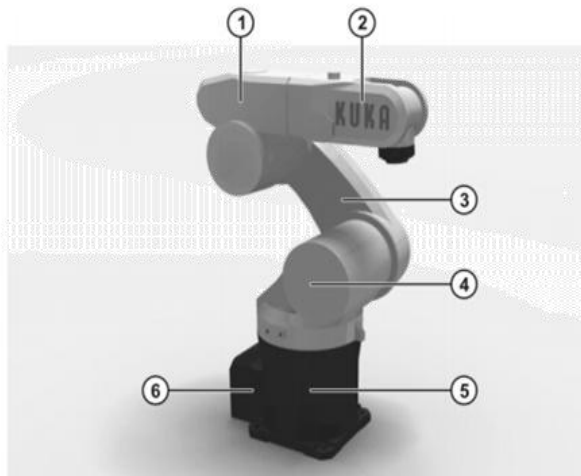


Figura 1 Robot manipulador KUKA KR5

1. Muñeca central.
2. Brazo.
3. Brazo de oscilación.
4. Columna giratoria.
5. Base del robot.
6. Instalación eléctrica.

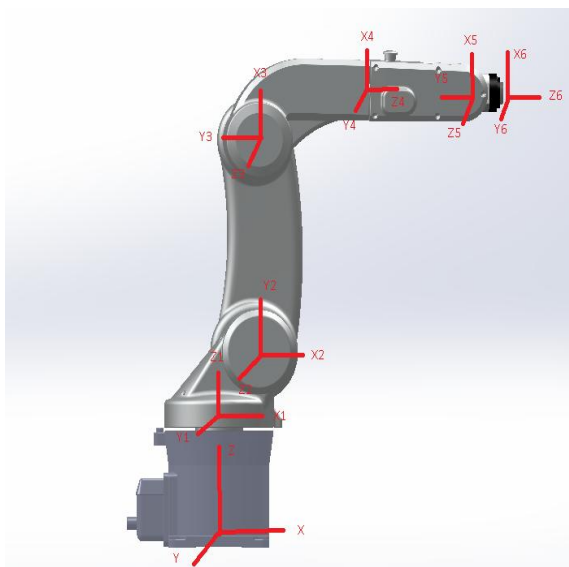


Figura 2 Sistemas de coordenadas

Art	α_i	θ_i	d_i	a_i
1	90	θ_1	335[mm]	75[mm]
2	0	$\theta_2 + 90$	0	365[mm]
3	90	θ_3	0	90[mm]
4	-90	θ_4	405[mm]	0
5	90	θ_5	0	0
6	0	θ_6	80[mm]	0

Tabla 1 Parámetros de Denavit-Hartenberg

Con los parámetros de la Tabla 1, se obtienen las matrices de transformación para cada eslabón:

$$\begin{aligned}
 {}^0A_1 &= \begin{pmatrix} \cos(q_1) & -\sin(q_1) & 0 & 335\cos(q_1) \\ \sin(q_1) & \cos(q_1) & 0 & 335\sin(q_1) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & {}^1A_2 &= \begin{pmatrix} \cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & 365\cos(q_2) \\ \sin(q_2) & \cos(q_2) & 0 & 365\sin(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 {}^2A_3 &= \begin{pmatrix} \cos(q_3) & 0 & \sin(q_3) & 90\cos(q_3) \\ \sin(q_3) & 0 & -\cos(q_3) & 90\sin(q_3) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & {}^3A_4 &= \begin{pmatrix} \cos(q_4) & 0 & -\sin(q_4) & 0 \\ \sin(q_4) & 0 & \cos(q_4) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 405 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 {}^4A_5 &= \begin{pmatrix} \cos(q_5) & 0 & \sin(q_5) & 0 \\ \sin(q_5) & 0 & -\cos(q_5) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & {}^5A_6 &= \begin{pmatrix} \cos(q_6) & -\sin(q_6) & 0 & 0 \\ \sin(q_6) & \cos(q_6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Modelo dinámico de la KUKA KR5 sixx 850

Para el modelado dinámico del robot se desarrolla por el método de Euler-Lagrange, por lo cual partimos de la siguiente Eq. (1). Fu(1987)

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau \quad (1)$$

Donde:

q, \dot{q}, \ddot{q} = posición, vel. y aceleración.

$H(q)$ = Matriz de inercia.

$C(q, \dot{q})$ = Matriz de Coriolis.

$g(q)$ = fuerzas gravitacionales.

τ = torque.

KUKA KR5 sixx R850 en Solidwork

En la Figura 3 se muestra el diseño del robot manipulador industrial realizado en solidwork, donde se observan los eslabones y articulaciones. Martínez (2008)

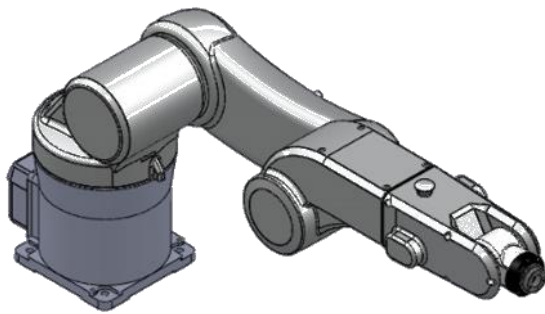


Figura 3 Kuka kr5 sixx850 en SolidWorks

El modelo del Robot KUKA KR5 realizado en Solidwork es exportado a Simulink/Matlab, y aparece en diagramas de bloques en SimsMechanics, tal como se observa en la Figura 4.

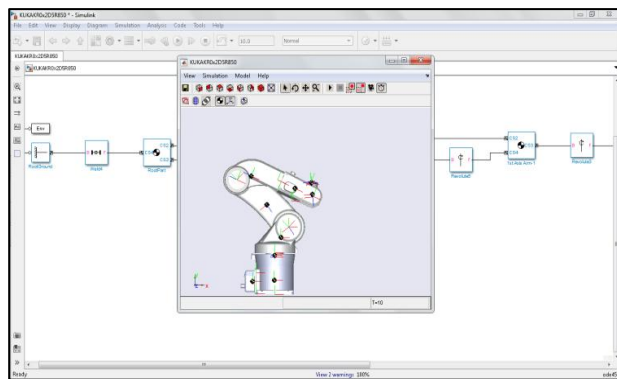


Figura 4 Modelo dinámico en simmechanics.

Simulación del modelo dinámico

Para realizar la simulación en Matlab del modelo dinámico, se parte de la ecuación (1) ya bien conocida por todos y se despeja la aceleración angular como se observa en la ecuación (2).

$$\ddot{\phi} = H^{-1}(q) \{ \tau - C(q, \dot{\phi}) \dot{\phi} - g(q) \} \quad (2)$$

Y la simulación del modelo en Matlab es mostrado en la Figura 5, con las ecuaciones matemáticas obtenidas. Esto con la finalidad de comparar el modelo obtenido matemáticamente con el realizado en SolidWork.

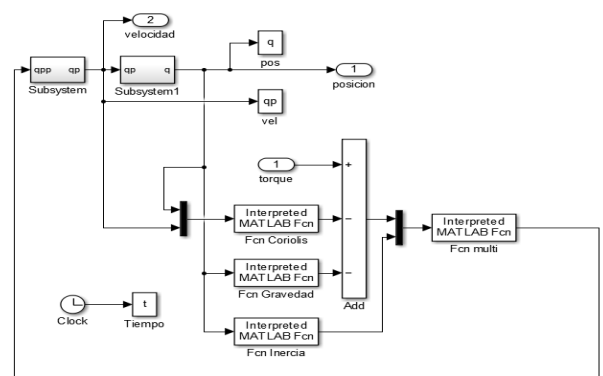


Figura 5 Kuka kr5 en Simulink

En la Figura 6 se puede observar el modelo del sistema completo para llevar a cabo la co-simulación, el modelo consta de tres bloques generales uno que es la planta del KUKA KR5 sixx850, otro que corresponde al controlador y el último pertenece a las posiciones deseadas. Gómez(2008)

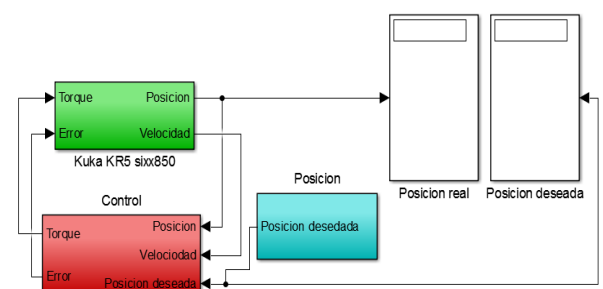


Figura 6. Modelo en Simulink.

En el subsistema de la Figura 6 referente a KUKA KR5 sixx850 se tiene como entradas los torques y el error, y de salida las posiciones y velocidades angulares de las articulaciones, como se observa la Figura 7. Dentro del subsistema se tiene los bloques que importo SimMechanics, ya con la configuración los sensores y actuadores.

En el subsistema de la Figura 6 descrito como control se tiene como entradas las posiciones reales y deseadas de las articulaciones y sus velocidades angulares, y se tiene como salida los torques y el error de posición de las articulaciones angulares, son mostrados en la Figura 8.

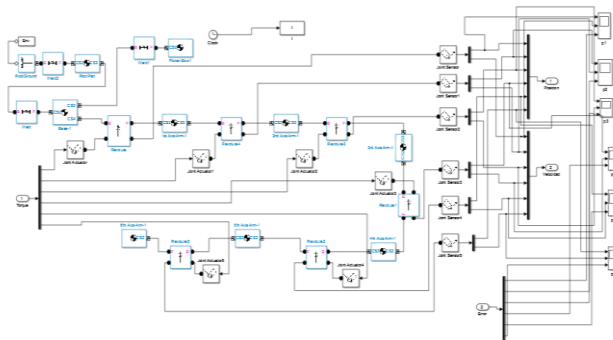


Figura 7 Subsistema Kuka kr5 sixx850.

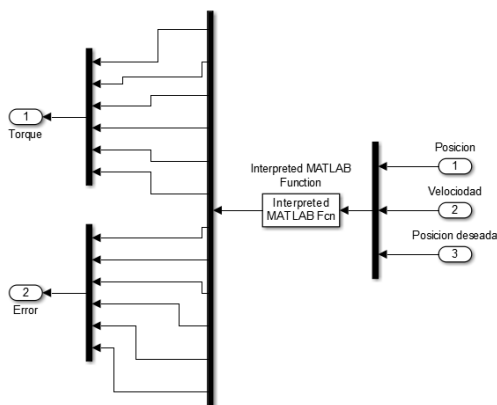


Figura 8 Subsistema control

La Tabla 2 muestra las ganancias del controlador k_p y k_d que fueron asignados a cada una de las articulaciones.

Articulación	K_p	K_d
1	180	20
2	985	25
3	440	30
4	2.22	0.025
5	4.45	0.075
6	0.015	0.001

Tabla 2 Valores de k_p y k_d .

En el subsistema de la Figura 6 referente a la Posición sólo se tiene como salida las posiciones deseadas de las articulaciones en angulares, las cuales son modificadas mediante una constante, como se observa en la Figura 9.

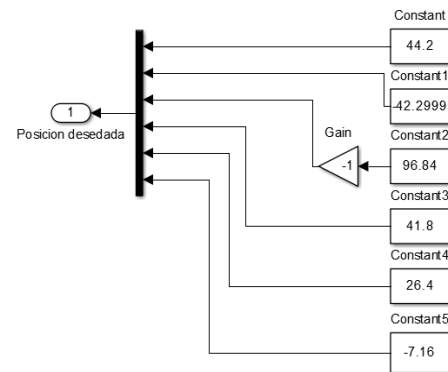


Figura 9 Subsistema posiciones deseadas.

Resultados experimentales

Los resultados experimentales consisten en aplicar un controlador PD para que los errores de posiciones angulares de las articulaciones de la KUKA KR5 sixx850 tienda a cero, aplicando la co-simulación.

El primer experimento en la co-simulación consiste en seguir las trayectorias deseadas mostradas en la Tabla 3. Es decir mantener el robot en su posición de inicio (HOME).

Articulación	θ
1	0
2	-90
3	90
4	0
5	0
6	0

Tabla 3 Valores del primer experimento θ

En la Figura 10 se observa la co-simulación aplicada al robot KUKA KR5 sixx850, el manipulador debe estar en su posición inicial (HOME) y en la Figura 11 se observa las posiciones que llego el robot en co-simulación.

Lo que se observa que tiene una buena respuesta. Los errores tienen a cero conforme el tiempo avanza.

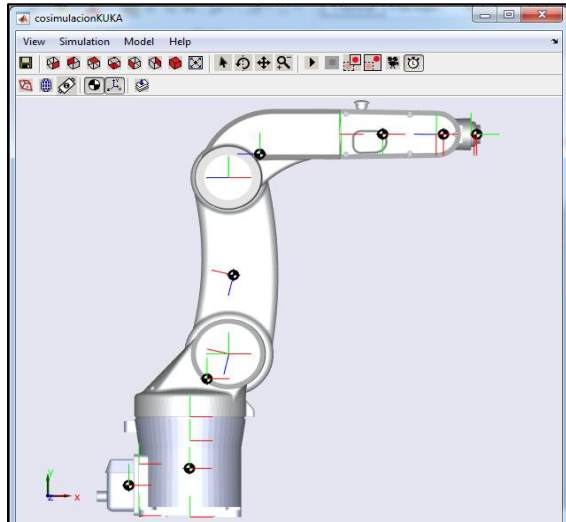


Figura 10 Primera co-simulación posición inicial

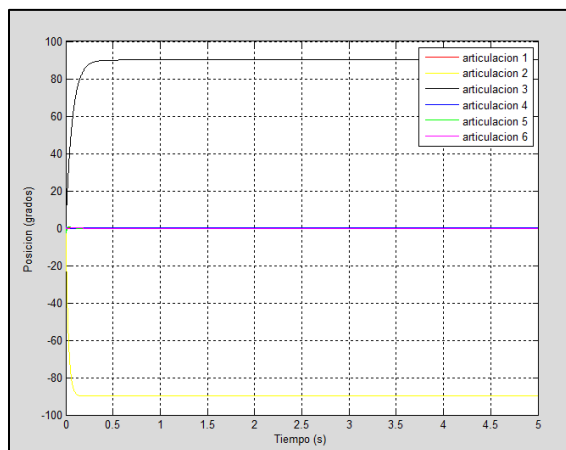


Figura 11 Posición real por articulación

En la Figura 12 se muestran los errores de las primeras 3 articulaciones de la co-simulación, como se puede observar los errores angulares son muy pequeños.

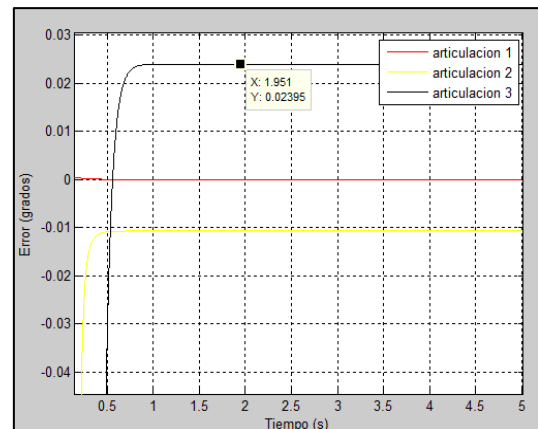


Figura 12 Error de las tres primeras articulaciones

En la Figura 13 se muestran los errores de las últimas 3 articulaciones de la co-simulación, como se puede observar los errores angulares son más pequeños. Debido a que no tiene los efectos de gravedad.

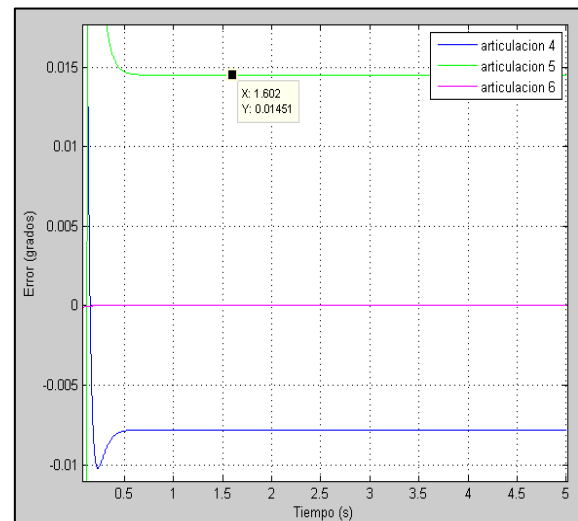


Figura 13 Error de las últimas tres articulaciones

Un segundo experimento se realiza en la co-simulación, el cual consiste en seguir las trayectorias deseadas mostradas en la Tabla 4.

En la Figura 14 se observa la co-simulación aplicada al robot y en la Figura 15 se observa las posiciones que llegó el robot en co-simulación. Lo que se observa que tiene una buena respuesta. Los errores tienen a cero conforme el tiempo avanza, igual que el primer experimento.

Articulación	θ
1	-90
2	-70
3	-50
4	70
5	-80
6	-40

Tabla 4 Valores del segundo experimento θ

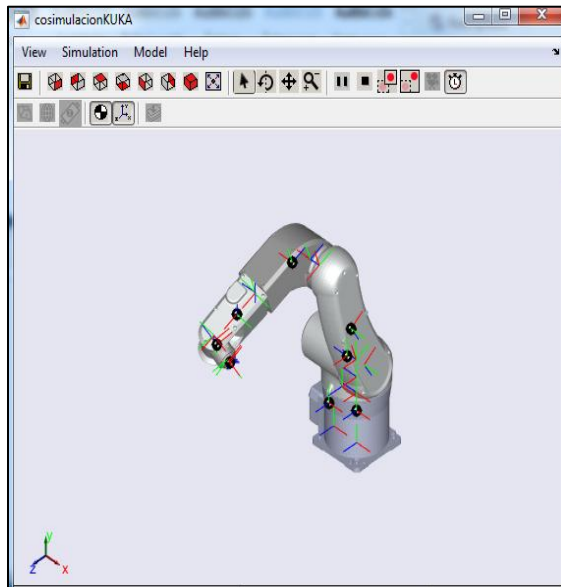


Figura 14 Segunda co-simulación posición inicial

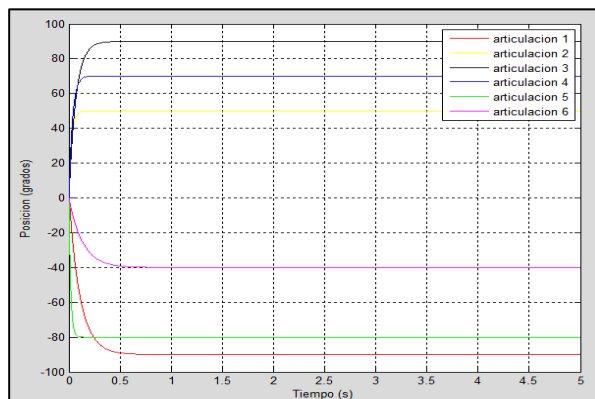


Figura 15 Posición real por articulación

Como se puede observar en las Figuras 16 y 17 se muestran los errores de las primeras 3 articulaciones de la co-simulación, y las tres últimas articulaciones, respectivamente, los errores angulares son muy pequeños.

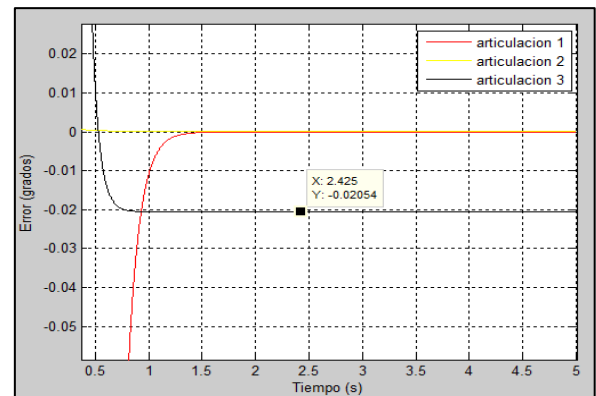


Figura 16 Error de las tres primeras articulaciones

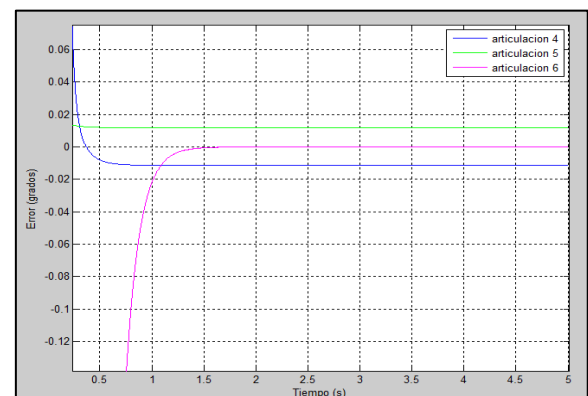


Figura 17 Error de las últimas tres articulaciones

Conclusiones

Este trabajo muestra el diseño de un robot virtual a través de la co-simulación entre dos software SolidWork y Matlab, en el primer software se diseña el modelo completo del robot a medidas reales otorgadas por KUKA, y en el segundo se utiliza para importar el modelo del robot, en Matlab se hace toda la parte virtual del robot, es decir se asignan los sensores y actuadores. Para validar que el modelo del robot industrial en co-simulación funciona correctamente se emplea un control con resultados satisfactorios. Por lo que se concluye que la co-simulación fue un éxito.

Referencias

Fernández López, J. J. y Del Castillo Rodríguez, F. D. (2014). "Manual de Prácticas de CAD Utilizando el Programa SolidWorks 2014", UNAM.

Fu, K.S.; González, R.C. y Lee, C.S.G. (1987) *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*. McGraw-Hill. 1987.

Martínez A. G. M.; Jáquez O. S. A.; Rivera M. J. y Sandoval R. R. (2008) “Diseño propio y Construcción de un Brazo Robótico de 5. Página de internet. http://antiguo.itson.mx/rieandc/vol4p1_archivos/Ar2Junio08.pdf

Gómez Garay, Vicente (2008) “Acciones Básicas de Control”, Dpto. de ingeniería de sistemas y automática. Página de internet. <http://dea.unsj.edu.ar/control1/apuntes/acciondesdecontrol.pdf>

Milanese, A. Franco (2009). “Introducción a MatLab”, Universidad católica de la santísima concepción, Departamento de Matemáticas y Física Aplicada.

Rudra Pratap (2010). “Getting Started with MatLab 2009”, Department of Engineering Indian Institute of science, Bangalore New York, Oxford University Press.