



## Conference Paper

# Modeling and simulation of an algorithm for the control of a robotic arm

Javier J. Gavilanes<sup>1</sup>, Miguel Pérez<sup>1</sup>, Irma Villa<sup>2</sup>, and Douglas Plaza<sup>3</sup><sup>1</sup>Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba, Ecuador<sup>2</sup>Instituto de Postgrado y Educación Continua, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba, Ecuador<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo - km. 30.5 vía perimetral, Guayaquil, Ecuador

## Abstract

In this paper, we present the development of a kinematic model, for controlling and simulating through computer, a Kawasaki RS 003N robotic arm, which is located at ESPOCH in the Mechanical Engineering Faculty. For this purpose, it has been developed a CAD modeling for the robotic arm using SolidWorks, later on this modeling was imported to Simulink. The 3D modeling of the robotic arm in Simulink has been defined with the aid of a tool called SimMechanics, then the controlling algorithm has been developed to insert trajectories to the manipulator, and finally it has been performed the simulation and control tests for Robotic arm movement using Matlab and Simulink. Within the results of the present research we can emphasize that Dnavith Hatemberg algorithm allows the correct movement of the robotic arm. The graphic interface of both the line diagram and the 3D Simulink Robot correctly shows the positioning and orientation of the robot according to the command emitted by the user in the control panels, being able to visualize the positions of each one of the robot's links and the opening and closing of the robotic clamp.

**Keywords:** Robot, automatic control, simulator, SimMechanics, SolidWorks, MATLAB.

## 1. Introducción

La creciente aparición de robots; mecanismos controlados por elementos eléctricos y electrónicos, capaces de desarrollar tareas industriales previamente dispuestas por el ser humano mediante un lenguaje de programación; requiere que se implementen sistemas de control que accionen y controlen la ejecución de dichas tareas. La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, registra dentro de sus equipos a KAWASAKI RS 003N, un brazo robótico de la industria japonesa Kawasaki Robotics, al cual hasta el momento no se ha dado movimiento, por ello se pretende

Corresponding Author:

Javier J. Gavilanes

javier.gavilanes@esPOCH.edu.ec

Received: 28 July 2017

Accepted: 5 September 2017

Published: 30 January 2018

Publishing services provided by  
Knowledge E

© Javier J. Gavilanes et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the SIIPRIN Conference Committee.



buscar una alternativa para su manipulación y control. La implementación de un sistema de control para un robot resulta ser un problema complejo, debido a que las propiedades cinemáticas y dinámicas de robot varían de acuerdo a la posición. Actualmente, gracias al avance tecnológico existen una serie de herramientas de hardware y software que permiten el modelamiento y control automático de sistemas en tiempo real. En este trabajo se presenta, la realización del modelamiento y simulación de un algoritmo de control para el robot KAWASAKI RS 003N, para cuyo propósito se pretende la utilización de Solid Works, Matlab y Simulink.

## 2. Estado del Arte

### 2.1. Antecedentes de Investigación

La tesis denominada "MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN ALGORITMO DE CONTROL PARA EL BRAZO ROBÓTICO", realizada por el Egresado de Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, David Alejandro Jaramillo Rojas; concluye que es comprobada la practicidad del uso de Simulink - SimMechanics para el estudio de la cinemática y dinámica de mecanismos; y, que las rutinas creadas para la simulación pueden ser aplicadas para la construcción de un prototipo controlado con la plataforma Matlab en tiempo real. Por otro lado, el trabajo de investigación: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL CONTROL DE UN ROBOT MODULAR TIPO CADENA", elaborado por Rodrigo Moreno García, Maestrante de la Universidad Nacional de Colombia; presentó una estrategia híbrida de control para un robot modular tipo cadena. El modelo se basa en la combinación de dos técnicas bioinspiradas como son los CPG y la comunicación por medio de mensajes inspirados en hormonas. La estrategia de control se guía bajo el paradigma de formar comportamientos globales complejos a partir de interacciones locales simples, es así como se utiliza un modelo de osciladores de fase con amplitud controlada para generar movimientos coordinados en una estructura. Se recalca la utilidad de la estrategia de control empleada.

De la tesis titulada: "MODELADO, IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE UN ROBOT MANIPULADOR DE DOS GRADOS DE LIBERTAD", realizada por Ernesto Javier Moreno Valenzuela, Egresado del Instituto Politécnico Nacional de México; en la que se trata el problema de modelado, identificación y control de un robot manipulador experimental de dos grados de libertad; se observa que la identificación de los parámetros del robot es llevada a cabo usando el modelo dinámico de la regresión filtrado y los métodos de mínimos cuadrados ponderado y mínimos cuadrados recursivo. Se presentan resultados

experimentales del control de seguimiento de trayectorias con el robot manipulador, utilizando diferentes esquemas de control basados en el modelo, validando de esta manera la técnica aplicada.

La investigación titulada: "MODELADO DINÁMICO Y SIMULACIÓN DEL ROBOT INDUSTRIAL STÄUBLI TX90", desarrollada por Fernando Mazo Espiau, Egresado de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona; parte de una aproximación mediante técnicas CAD con el programa Solid Works y luego se aplican dos técnicas de identificación directa, evaluando las ecuaciones del movimiento con datos obtenidos directamente del robot. Se ha implementado un programa en C que permite generar trayectorias parametrizadas como series de Fourier finitas. Para realizar el modelo dinámico se probaron los métodos Lagrange y Newton-Euler, observando que los dos llegan al mismo resultado, sin embargo, las ecuaciones de Newton-Euler comprenden menos términos y por

lo tanto con su aplicación se minimiza el tiempo de cómputo con relación a Lagrange. Se recomienda el uso de Solid Works para el modelado CAD.

El trabajo de investigación: "DISEÑO DE UN SIMULADOR 3D PARA ROBOTS MANIPULADORES DE 3 GRADOS DE LIBERTAD", realizado por Bravo Hernández Paola, Reyes Cortes Fernando, Vergara Limón Sergio y Ríos Silva Eduardo; de la Universidad Autónoma de Puebla; muestra el desarrollo del software SimRoMa (Simulador de Robots Manipuladores), bajo el entorno de Windows, realizando el programa con el compilador de Visual C++. Finalmente, la tesis denominada: "DESARROLLO DE ESTRATEGIA DE CONTROL PARA UN BRAZO MECÁNICO REPARADOR DE TUBERÍAS HIDROSANITARIAS, efectuada por Julián David Pareja Garzón, de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia; evidencia que se puede hacer un control mediante Gain Scheduling, teniendo especial cuidado con el método que se utiliza para hacer el control en cada punto de trayectoria, pues si el método usado para calcular el control no genera valores de K uniformes, se tendrán problemas de interpolación causando que el control LPV sea inestable. Además recomienda primero modelar el robot en el programa Solid Works y luego mediante la herramienta Sim Mechanics pasarlo al entorno de

MATLAB.

De los antecedentes de investigación se puede concluir que es conveniente y válido:

- Solid Works para el desarrollo de piezas, ensamblajes y planos de gran variedad de sistemas y mecanismos.

- Matlab para realizar cálculos técnicos científicos, pues integra operaciones de cálculo, visualización, programación y permite la interacción con el usuario.
- Simulink para construir y simular modelos de sistemas físicos y sistemas de control.
- SimMechanics para representar las piezas del sistema, articulaciones y elementos actuantes, también para la importación de modelos CAD 3D ya desarrollados.
- El algoritmo Denavith - Hatemberg para establecer de manera sistemática un sistema de coordenadas.

Por lo expresado, en la presente investigación se considera el uso de Solid Works para el modelado CAD del robot; SimMechanics de Simulink para la simulación de los movimientos y el Algoritmo Denavith Hatemberg para el control automático de los mismos.

## 2.2. Definiciones

**Robot.** La British Robot Association manifiesta que robot industrial es: “un dispositivo reprogramable destinado tanto a manipular piezas, herramientas o útiles específicos de fabricación mediante movimientos variables susceptibles de ser programados, para realizar operaciones de fabricación determinadas”; (González, Pineda, & Soberanes, 2007) [1]

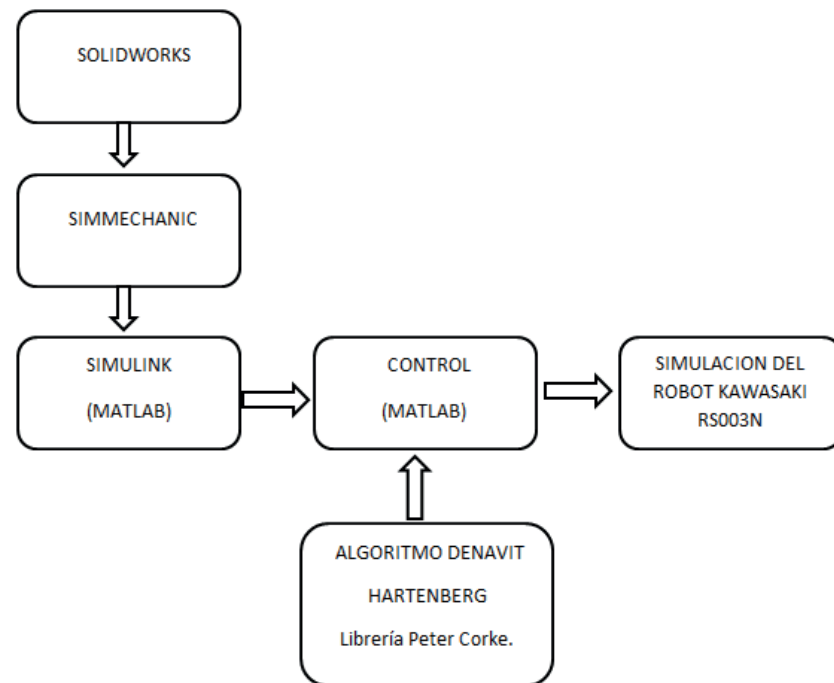
**El sistema robótico kawasaki RS 003N.** El robot KAWASAKI RS 003N, es un Robot industrial de 6GL, con un diseño compacto ideal para una amplia gama de aplicaciones (manipulación, ensamble, manejo de materiales, etc.), soporta una carga máxima de 3kg, posee un radio de acción de 620 mm. (Kawasaki, 2016) [2]

## 3. Modelamiento simulación y control del brazo robótico

### 3.1. Especificaciones del Robot Kawasaki RS003N

De acuerdo con las especificaciones técnicas del robot, el eje (JT1) tiene un giro de 320°, el eje (JT2) tiene un ángulo de 150°, el eje (JT3) tiene 150° de giro, el eje (JT4) posee 360° de movimiento, el eje (JT5) cuenta con 360° de giro y finalmente el eje (JT6) posee ángulo de abertura de 60°.

### 3.2. Diagrama de Conexión del Modelo



**Figura 1:** Diagrama de conexión del modelo, con cada uno de las fases desarrolladas para el desarrollo del proyecto.

En primera instancia se procede al modelado del brazo robótico en Solidworks, luego se importa dicho modelado a Simulink. Para el control se emplea la librería de Peter Corke y el Algoritmo Denavit – Hartenberg. Finalmente se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento como se puede evidenciar en la Fig. 1.

### 3.3. Modelado del Brazo Robótico utilizando Solidworks de CAD

Creando un nuevo documento de Solidworks, seleccionando la opción “una representación en 3D de un único componente de diseño”, con lo cual se apertura una nueva área de trabajo y seleccionando la opción croquis podemos tener acceso a las diferentes formas o figuras base para el diseño de cada una de las piezas que conformaran el brazo robótico como se muestra en la Fig. 2.

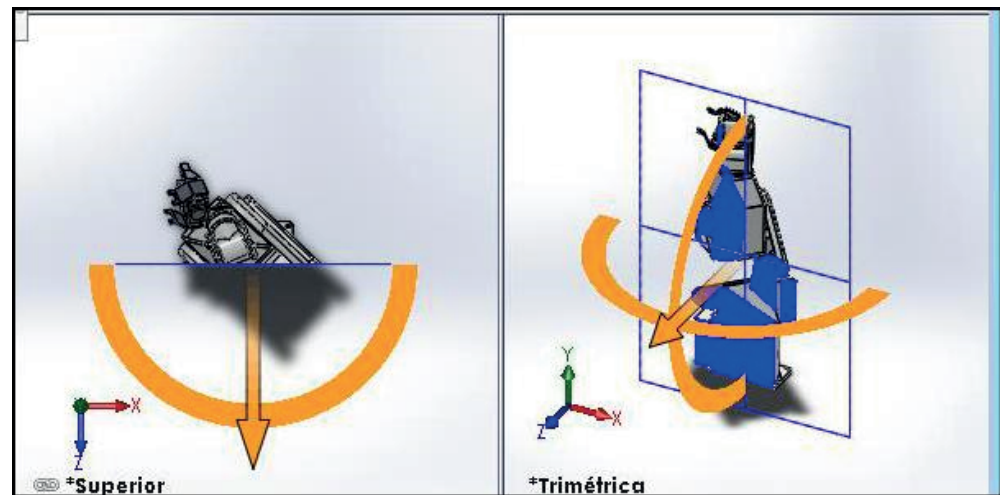


Figura 2: Vista en modo 3D del brazo robótico en diferentes ángulos desde SolidWorks.

### 3.4. Diseño de la Estructura del brazo robótico en Simulink por medio de la herramienta SimMechanics

La mecánica del robot Kawasaki RS 003N, guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano. El movimiento entre las articulaciones es de rotación. Éste movimiento está limitado a los  $180^\circ$  de rotación de los servomotores utilizados. Al poseer seis grados de libertad (GDL), dentro de las configuraciones más frecuentes en robots industriales podemos clasificarlo como robot angular o antropomórfico.

### 3.5. Exportación de SolidWorks a Simulink

Para el proceso de exportación de los objetos 3D de SolidWorks 2016 a SimMechanics, se realiza en primer lugar la instalación SimMechanics Link, una herramienta The MathWorks Inc, compatible con MATLAB 2016 a y con SimMechanics. Ya generados los archivos del ensamblaje se procede a importarlos a MATLAB, inmediatamente se abre una ventana de Simulink y con ello da inicio el proceso de importación. El procedimiento finaliza con el modelamiento en 3D en Simulink, de las piezas del robot Kawasaki RS 003N, con bloques de SimMechanics, análogo al modelo exportado. Una vez realizado estos procedimientos, el modelo del brazo robótico se genera en Simulink de manera automática.

Se genera un archivo considerando los topes en los vectores de cada uno de los cuerpos y articulaciones, asignando los valores de las salidas de puerto y las posiciones originales de los vectores (x) y (y). Esto crea la posibilidad de mediante un clic en la

pantalla, mover el robot y mostrar una posición adecuada que permita visualizar el movimiento de cada una de las piezas del Kawasaki RS 003N.

### 3.6. Modelado del Sistema de Control

Se realizó el modelamiento del sistema de control de los ángulos del Robot Kawasaki RS 003N con las barras que mueven cada uno de los ejes y la pinza como se muestra en la Fig. 3.

Los valores asignados a los ángulos tope de las juntas se establecieron en base a la hoja o catálogo de datos del robot, considerando vectores (x) y (y), estableciendo posiciones máximas y mínimas de cada una de las juntas en Matlab.

Una vez definidas las posiciones máximas y mínimas de cada junta, es preciso observar en la pantalla de Matlab el robot y las diferentes juntas, de forma manual se pueden deslizar la barra de posición de cada junta.

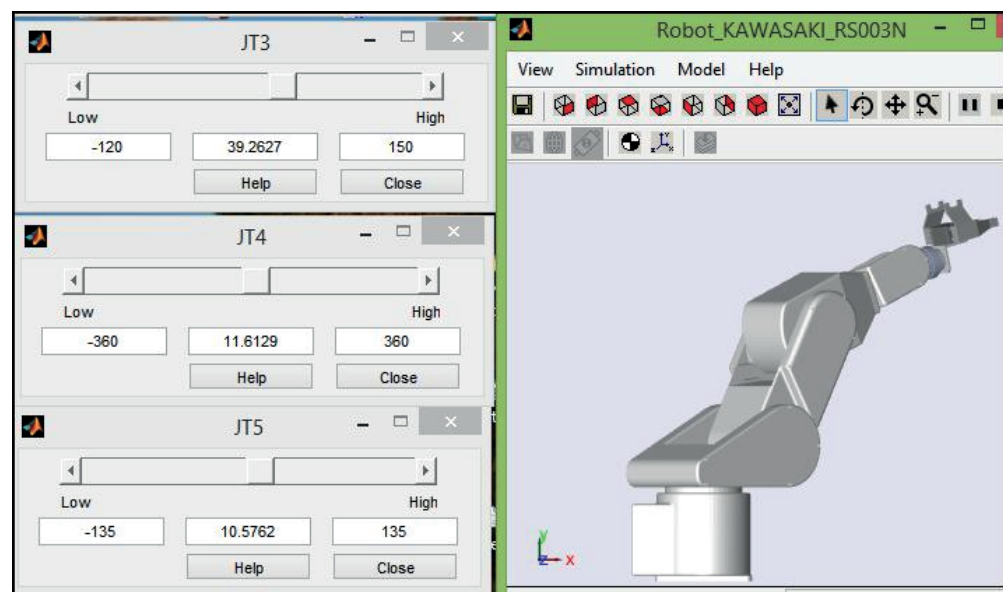


Figura 3: Modelado del sistema de control de los ángulos del robot ingresados en forma manual.

### 3.7. Control del movimiento del robot mediante el algoritmo Denavit Hartenberg

Para el control automático de los movimientos del Kawasaki RS 003N se ha utilizado el algoritmo Denavit Hartenberg, un algoritmo que proporciona el control al usuario sobre los movimientos de los diferentes ejes del robot. En el sistema establecido el usuario podrá

ejecutar acciones de control, el programa las recibe, representa en pantalla la nueva posición y orientación del robot misma que se muestra al usuario. Lo cual permite que el usuario pueda operar el robot en 3D visualizándolo en el simulador.

**Ubicación de la variables articulares.** Se define la ubicación de la variables articulares para el robot Kawasaki RS 003N. Para la obtención de los giros como se muestra en la Fig. 4. se ha aplicado la regla de mano derecha,

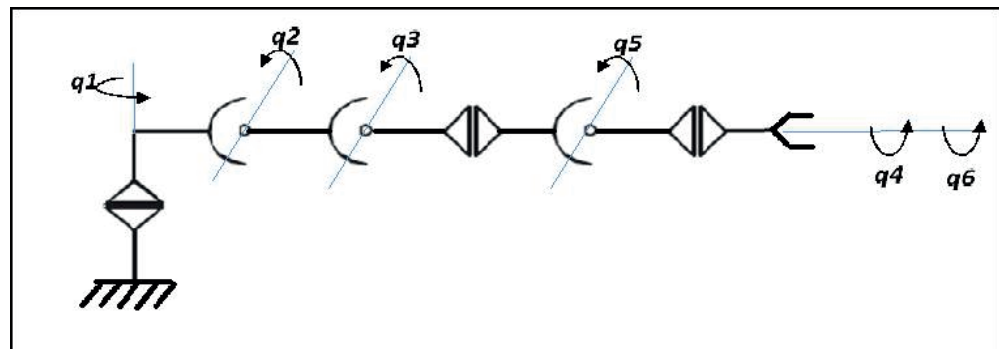


Figura 4: Variables articulares del robot Kawasaki RS 003N.

### 3.8. Control del movimiento del robot a través de cinemática directa

Se realizó el ingreso de los valores máximos y mínimos de las juntas ( $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ,  $p_z$ ), a fin de establecer los rangos de movimiento del robot, posteriormente, se ha procedido a declarar en Matlab las variables de las articulaciones como globales, se visualizaron los valores de los sliders y se los asignó a cada variable, transformando así a radianes los valores establecidos en grados. Con estos datos se calculan los valores de los ejes ( $x$ ), ( $y$ ) y ( $z$ ).

### 3.9. Control del movimiento del robot a través de cinemática inversa

Para la cinemática inversa se realizó el ingreso de los valores de los ejes ( $x$ ), ( $y$ ) y ( $z$ ), para obtener los valores de las juntas ( $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ,  $p_z$ ).

En la Fig. 6 se muestra cómo se va ingresando los valores para los cálculos de cinemática inversa o directa para la simulación del robot



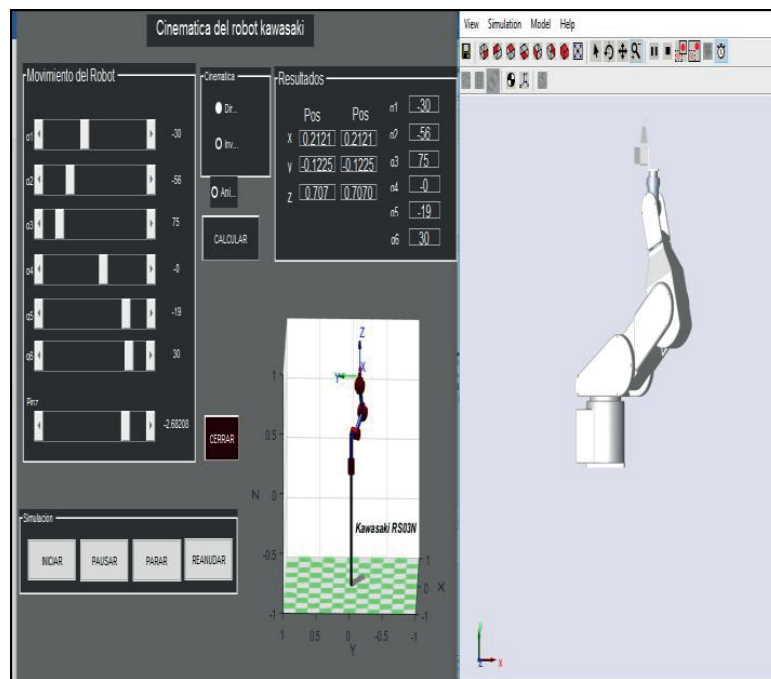


Figura 5: Modelo cinemática directa del movimiento del robot y su visualización en diagrama de líneas.

## 4. Pruebas de posicionamiento

Con el propósito de comprobar el adecuado funcionamiento del algoritmo de control se realizaron pruebas de posicionamiento del robot físico, en las que el usuario inserta varios ángulos de posición por cada junta (Q1... Q6) y el robot físico las ejecuta. Se generaron en la práctica ocho posiciones que se detallan en la tabla 1, en donde los puntos ingresados en el teach pendat del robot físico son los mismos puntos ingresados en el simulador

TABLA 1: Cuadro de posiciones ejecutadas con la planta física.

Juntas	Posición 1 (grados)	Posición 2 (grados)	Posición 3 (grados)	Posición 4 (grados)	Posición 5 (grados)	Posición 6 (grados)	Posición 7 (grados)	Posición 8 (grados)
Q1	-0.2	-1.3	-0.2	-22.6	121.4	121.4	3	3
Q2	-0.9	57.9	57.9	57.9	57.9	57.9	57.9	-80.7
Q3	1,5	1.5	-114.6	-114.6	-79.5	33.9	33.9	101.4
Q4	0	0	0	0	0	0	0	0
Q5	-0.099	-0.099	-0.099	-89.19	-89.19	-89.19	-89.19	-10.89
Q6	0	0	0	72	72	72	72	187.2

En la Fig. 6 muestra una de las posiciones que se realizó con la planta física y el simulador ingresando los mismos valores, cual se demostró que el robot físico con el simulador llega a una misma posición deseada en un 90%.

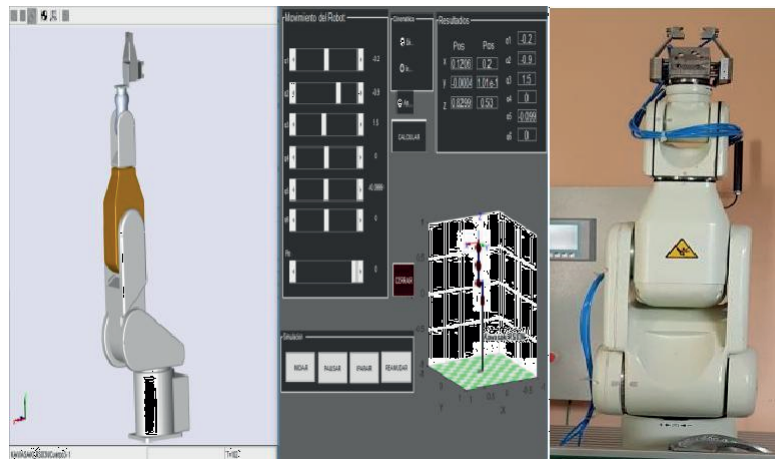


Figura 6: Posicionamiento del robot físico y en 3D (posición 0).

## 5. Conclusiones

- El modelado del Brazo Robótico KAWASAKI RS 003N, utilizando la herramienta SolidWorks, permite obtener un modelo esperado, considerando las medidas ya optimizadas realizadas por medio de cálculos de Matlab y los parámetros de las figuras base de acuerdo con el diseño físico del robot.
- El algoritmo Denavit – Hartenberg fue empleado para el control de los movimientos de robot. La librería Peter Corke, permite modelar mediante hilos un manipulador robótico, así como calcular su cinemática directa e inversa.
- Con los movimientos generados en el manipulador se verificó el movimiento de los ejes del robot en 3D, de acuerdo con la órdenes de posicionamiento emitidas por el usuario, visualizándose en tiempo real, el movimiento de cada una de las piezas del robot, así como la posición de origen del robot, el radio de trabajo y la posición de la pinza.

## 6. Recomendaciones

- Se recomienda la utilización de Solidworks, pues se trata de una herramienta amigable y efectiva para obtener un adecuado modelamiento de las piezas de robot, para lo cual se deberá realizar previamente una adecuada y precisa medición de cada uno de los eslabones de acuerdo con el diseño físico del robot
- Con la prueba de funcionamiento realizada se recomienda la utilización del algoritmo Denavit – Hartenberg para el control de los movimientos de robot y la librería Peter Corke, para el cálculo de la cinemática directa e inversa.

- Comprobados los movimientos del robot en tiempo real, se considera que los elementos y las características de este estudio son adecuados para ser orientar futuras investigaciones sobre el control cinemático de los movimientos de un robot y en particular del brazo robótico Kawasaki RS003N.

## 7. Trabajo futuro

El modelo de control que se expone en el presente trabajo de investigación constituye la cimiento para futuras investigaciones sobre el control dinámico y de trayectorias.

## Referencias

- [1] González, P., Pineda, M., & Soberanes, D. (2007). *Seguimiento Adaptativo de Trayectorias con convergencia en tiempo finito de un Robot Antropomórfico de Tres grados de Libertad*. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- [2] Kawasaki, R. (23 de 05 de 2016). *Kawasaki Robotics Home*. Recuperado el 23 de 05 de 2016, de <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/small-medium-payloads/RS003N/>

## Bibliografía

- Almeida, G. (2009). *Fundamentos Generales de Robótica*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Arechavaleta, Y. (2014). *Introducción a la Simulación*. Madrid.
- Barrientos, A., Peñín, L., & Balaguer, R. (1995). *Fundamentos de Robótica*. MacGraw Hill.
- Bonilla, A. (2003). *Guía Tecnopyme. Fase II. Herramientas de Diseño e Ingeniería*. Zamudio.
- Gómez, O. (2005). *Representación visual de modelos robóticos para aplicaciones didácticas*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- González, P., & Jimenez, M. (2008). *Robótica Industrial*. Madrid: Instituto de Robótica Industrial.
- Infante, J., & Ortiz, U. (2004). *Metodología científica*. México Distrito Federal: Compañía Editorial Continental.
- MathWorks. (23 de 05 de 2016). *Accelerating the pace of engineering and science*.

Recuperado el 23 de 05 de 2016, de <http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/modeling-complex-mechanical-structures-with-simmechanics.html>

Matlab. (23 de 05 de 2016). *Math Works*. Recuperado el 23 de 05 de 2016, de <http://es.mathworks.com/products/matlab/>

REA, R. A. (2000). *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid: Real Academia Española.

Senplades. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017*. Quito.