Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 229-234, Oct 2017, Chihuahua, Chih. México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

MODELADO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ROBOT DIDACTICO DE SEIS GDL.

Rodríguez Uscanga Ricardo Alonso[1], García Andrade Roxana [1], Fernández Ramírez Arnoldo [1], Cuan Durón Enrique [2], Martínez Reyes Armando [1]
[1]Instituto Tecnológico de Nuevo León, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ave. Eloy Cavazos 2001 Col. Tolteca, Guadalupe, Nuevo León C.P. 67170 Tel: (81) 81570500.
[2]Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Czda. Cuauhtemóc s/n, Torreón, Coahuila. C.P. 27000 Tel (871) 7051313
e-mail: arnoldo_fr@yahoo.fr

RESUMEN.

En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un robot de 6 GDL en base a prototipos realizados en los últimos años en el Instituto Tecnológico de Nuevo León.
El diseño y construcción del robot se llevó a cabo con la ayuda del software SolidWorks, la representación gráfico o simulación con el software Matlab.
Para el robot de 6 GDL se ha implementado una interfaz gráfica que se basa en desarrollos previos, con esta interfaz se puede mostrar el diseño de los eslabones creados en SolidWorks.
El esquema cinemático se ha obtenido con los parámetros Denavit-Hartenberg modificados, para representar el robot en la interfaz gráfica en forma alternativa. La comunicación entre la interfaz y el robot se realiza a través del puerto de comunicación serial. Se generó una trayectoria simple mediante la manipulación de dos de las seis variables articulares, que corresponden a dos de los GDL del robot.
Palabras Clave: interfaz, trayectoria, robot didáctico, diseño, simulación.

ABSTRACT.

This work presents the design and development of a 6 GDL robot based on prototypes made in recent years at the Technological Institute of Nuevo León.
The design and construction of the robot was carried out with the help of SolidWorks software, graphic representation or simulation with Matlab software.
For the 6 GDL robot a graphical interface has been implemented that is based on previous developments, with this interface can show the design of the links created in SolidWorks.
The kinematic scheme was obtained with modified Denavit-Hartenberg parameters, to represent the robot in the graphical interface in alternative form. Communication between the interface and the robot is done through the serial communication port. A simple trajectory was generated by manipulating two of the six joint variables, which correspond to two of the GDLs of the robot.
Keywords: Interface, trajectory, didactic robot, design, simulation.

1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo desarrolla una interfaz gráfica para ejecución de trayectorias simples**,** que se utilizará para aplicaciones de dibujo.
Es necesario investigar que arquitectura será necesaria para diseñar el robot, esto incluye el diseño de los eslabones y la selección de los actuadores que proporcionaran el movimiento deseado cada uno de los eslabones. Este es controlado a través de una interface gráfica. Se desea que el robot ejecute tareas simples a los largo de líneas rectas y curvas definidas en el plano.
Anteriormente se realizaron prototipos de dedos robóticos, los cuales se mencionan a continuación:

En [1], se realizó utilizando la placa *arduino uno*, mediante programación de software arduino.
Además de proyectos sobre sistemas multirobots de prehension [2] y de manipulación [3].

El modelo de cinemática inversa [4] es usado generalmente para resolver el problema de dibujar caminos en un sistema de robot dibujador, pero hay algunos problemas como la solución de cinemáticas de inverso de robot, trayectorias no son en un plano. Este documento presenta un método de control de robot a base de comportamiento de dibujo de cepillo. El movimiento diferencial fue adoptado en vez de puntos en transversal. La simulación verifica la viabilidad de dibujo de robots a base de comportamiento. En robots de 6 grados de libertad la plataforma experimental, una orquídea fue dibujada montando algunos comportamientos complejos.

2. ANTECEDENTES.

En [5] la técnica original llamada Bifeng fue usada en la orquidea que el experimento dibuja, que muestra que el esquema de control a base de comportamiento puede ser aplicado al dibujo con robots.

Una instalación robótica que produce los dibujos de cara de observación de personas. Paul es un dibujador ingenuo: este no tiene alto nivel de conocimiento de las estructuras constitutivas de la cara humana (como la boca, la nariz, ojos), ni capacidad

de aprender la experiencia basada en la experiencias como un humano. Sin embargo, Paul es capaz de dibujar con la utilización del equivalente de la firma estilística de un artista basada en un numero de procesos, habilidades y técnicas, que juntos forman un ciclo de dibujo. Además, se presentan aquí los primeros esfuerzos en la realización de dos versiones diferentes de regeneración visual para permitir al robot iterativamente aumentar y mejorar un dibujo que al principio es construido de un proceso de recuperación de líneas saliente. La primera forma de regeneración visual computacional que se presenta como una representación puramente interna (a base de memoria) de regiones para dar vía del sombreado por el robot. La segunda versión implica el empleo de una cámara como 'un ojo' que toma los nuevos tiros repentinos del artefacto en curso. Esto entonces es analizado para tomar decisiones sobre dónde y cómo dar el sombreado después. Un punto principal que se acentúa con este trabajo es la publicación de encarnación de sistemas gráficos, en nuestro caso en una plataforma robótica. Se presentan nos argumentos a favor de tal posición para la comunidad de graficación. Finalmente, se hace énfasis que los dibujos producidos por Paul han sido considerados de interés por profesionales finos de arte en ferias recientes internacionales y exposiciones.

En la tecnología de manufactura los mecanismos de medición 3D y reconstrucción geométrica juegan un papel clave. En los últimos diez años las técnicas 3D son cada vez más populares, sin embargo el mercado demanda que dichas técnicas sean baratas, rápidas y fáciles de utilizar. El trabajo presentado en [6] es el diseño y la construcción de un brazo digitalizador para ser utilizado en la digitalización y reconstrucción 3D. Describe la relación entre el diseño ideal por computadora y las desviaciones naturales del proceso de construcción. Para la calibración cinemática del brazo se utilizan las funciones de transformación geométrica 3D. La calibración de forma se logra a través de un cuadro experimental de mediciones utilizando un patrón de calibracion FIM. Como resultado se muestra la digitalización de un objeto 2D en el espacio R3.

3. MODELADO.

3.1. Modelo cinemático.

El problema cinemático directo consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot.

3.2. Parametros D-H

A continuación, en la tabla 1 se muestra los parámetros de Denavit-Hartenberg para el robot.

Tabla 1. Parámetros de brazo robot 6 grados de libertad.

Eslabón	s	α_i(°)	d_i	θ_i	r_i
1	**0**	**0**	**0**	$\boldsymbol{\theta_1}$	**0**
2	**0**	**90**	$\mathbf{D_2}$	$\boldsymbol{\theta_2}$	**0**
3	**0**	**0**	$\mathbf{D_3}$	$\boldsymbol{\theta_3}$	**0**
4	**0**	**90**	$\mathbf{D_4}$	$\boldsymbol{\theta_4}$	$\mathbf{R_4}$
5	**0**	**-90**	**0**	$\boldsymbol{\theta_5}$	**0**
6	**0**	**90**	**0**	$\boldsymbol{\theta_6}$	**0**

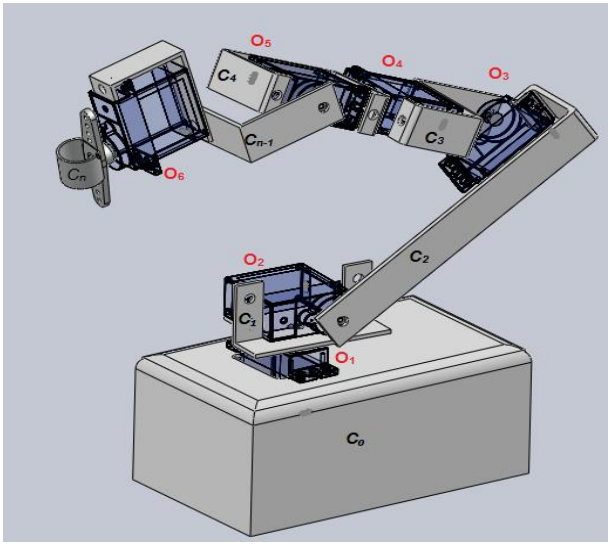


Fig. 1 Representación de articulaciones y eslabones.

3.3. Modelado directo de posición.

El modelo directo, es la relación que permite determinar la matriz columna x de coordenadas operacionales del robot correspondiente a una configuración dada q.
Este modelo se expresa como:

$$\mathbf{x} = \mathbf{f}\,(\mathbf{q}) \qquad (1)$$

El modelo geométrico directo de un robot se puede obtener a partir de la matriz de transformación homogénea del robot que define al marco *n* del eslabón terminal con respecto al marco 0 de la base del robot. En el caso de robots de estructura simple la matriz de transformación está dada por:

$$^{0}_{n}\boldsymbol{T} = {}^{0}_{1}\boldsymbol{T}\ {}^{1}_{2}\boldsymbol{T} \ldots {}^{n-1}_{n}\boldsymbol{T} \qquad (2)$$

Sustituyendo los datos para el eslabón 1 se obtiene la matriz $^{0}_{1}\boldsymbol{T}$

$$ {}^{1}_{2}\boldsymbol{T} = \begin{pmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & D_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3) $$

Con los del eslabón 2 se obtiene la matriz ${}^{1}_{2}\boldsymbol{T}$.

$$ {}^{1}_{2}\boldsymbol{T} = \begin{pmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & D_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4) $$

Sustituyendo los datos para el eslabón 3 se obtiene la matriz ${}^{2}_{3}\boldsymbol{T}$.

$$ {}^{2}_{3}\boldsymbol{T} = \begin{pmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & D_3 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5) $$

Y con los del eslabón 4 se obtiene la matriz ${}^{3}_{4}\boldsymbol{T}$.

$$ {}^{3}_{4}\boldsymbol{T} = \begin{pmatrix} C\theta_4 & -S\theta_4 & 0 & D_4 \\ 0 & 0 & -1 & R_4 \\ S\theta_4 & C\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6) $$

Sustituyendo los datos para el eslabón 5 se obtiene la matriz ${}^{4}_{5}\boldsymbol{T}$.

$$ {}^{4}_{5}\boldsymbol{T} = \begin{pmatrix} C\theta_5 & -S\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -S\theta_5 & -C\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7) $$

Y con los del eslabón 6 se obtiene la matriz ${}^{5}_{6}\boldsymbol{T}$.

$$ {}^{5}_{6}\boldsymbol{T} = \begin{pmatrix} C\theta_6 & -S\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S\theta_6 & C\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8) $$

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Mediante el software de diseño para modelado mecánico SolidWorks 2013 se elaboró cada uno de los eslabones mediante dibujos de línea con acotaciones con la finalidad de obtener un modelo a escala con medidas reales y se ensamblaron cada uno de ellos mediante relaciones de posición junto con su servomotor (articulación) para la construcción del ensamble final.

En la figura 2 podemos observar los componentes del robot, diseñados para el

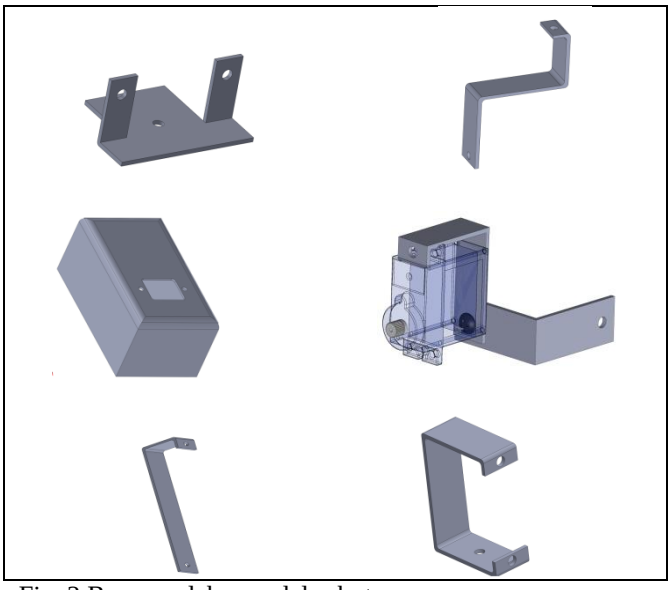


Fig. 2 Base y eslabones del robot.

Se diseñaron dos piezas para formar mediante un ensamble el efector final, mediante relaciones de posición concéntricas y coincidentes. El efector final, figura 3, está unido junto a la articulación Q_6.

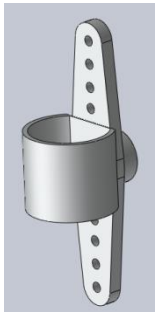


Fig.3 Efector final.

El ensamble final del robot prototipo se realizó con la herramienta ensamble de SolidWorks, se muestra en la figura 4.

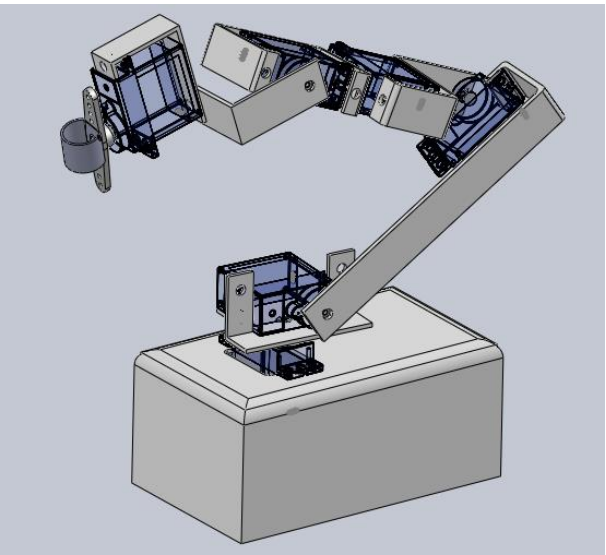


Fig. 4 Ensamble final del robot prototipo.

Una vez diseñados todos los eslabones mencionados en el apartado anterior, en la pestaña insertar componente nos dirigimos a la carpeta en la cual se guardaron los diseños, para después insertarlos uno por uno.

Luego de haber insertado todos los diseños (eslabones), lo siguiente es utilizar la herramienta relaciones de posición en donde nos ofrece varias opciones de relaciones tales como coincidente, paralela, perpendicular, tangente y concéntrica.

Según cual sea el tipo de relación que se requiere, en nuestro caso se utilizó los tipos de relación coincidente y concéntrica.

Coincidente para las relaciones de posición de alguna cara del eslabón en donde dicha cara pudiera sostener al servomotor y al mismo eslabón. Y concéntrica para aquellas relaciones de posición en donde se localizara una articulación la cual permitiría a al eslabón girar sobre el mismo eje de la relación concéntrica o para mantener el servomotor fijado al eslabón sin tener el problema que al momento de querer girar el eslabón este gire junto con el servomotor.

Las piezas o eslabones del prototipo de robot fueron hechos a base de aluminio con el cual se fabrican las ventanas en el hogar, dicho aluminio fue cortado con segueta, tomando a base las medidas antes establecidas para cada eslabón, así mismo se lijo cada una de las piezas y se realizaron cada uno de los orificios con un taladro en los cuales los servomotores se fijarían con sus tornillos viéndola en la figura 5.

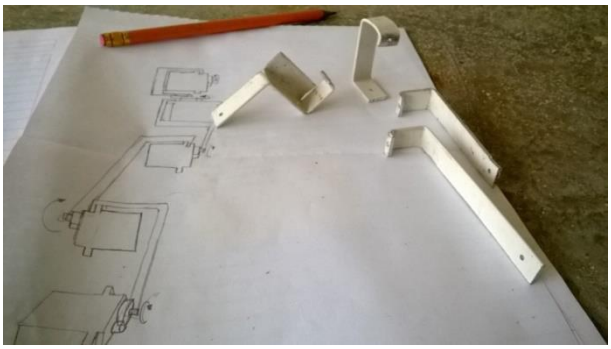


Fig. 5 Elaboración de los eslabones.

Una vez que se obtuvieron los eslabones, se procedió a ensamblar el robot didáctico de 6 grados de libertad. El resultado se muestra en la figura 6.

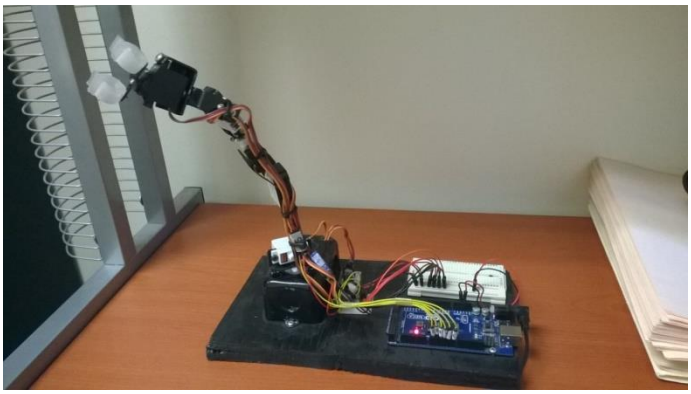


Fig. 6 El robot construido.

5. INTERFAZ GRAFICA

En [7] y [8] se presenta un simulador que se utiliza como herramienta pedagógica didáctica en la enseñanza del cálculo de la cinemática directa de robots manipuladores de 6 grados de libertad (GDL), en diferentes materias del área de robótica

En las materias de robótica se implementó una estrategia basada en el desarrollo de un simulador para ayudar a los estudiantes a transferir conceptos matemáticos, informáticos, científicos y tecnológicos aplicados al modelado matemático de robots manipuladores de 6 GDL.

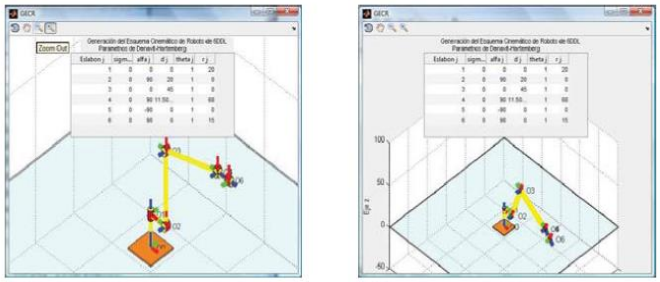


Fig.7 Modelo simplificado robot Motoman K6SB para configuración.

La interfaz gráfica diseñada para el robot de 6 grados de libertad (fig. 9) se basa en la interfaz usada para el robot Motoman K6SB mostrada en la figura 7, pero a diferencia de las interfaces previamente desarrolladas en [7] y [8], no solo muestra el esquema del robot si no que también muestra el diseño original de los eslabones creados para el robot (Fig. 8) importados mediante el complemento Simmechanics del software SolidWorks.

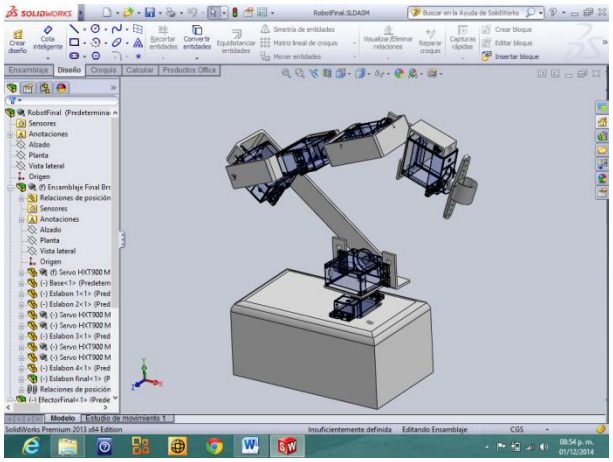
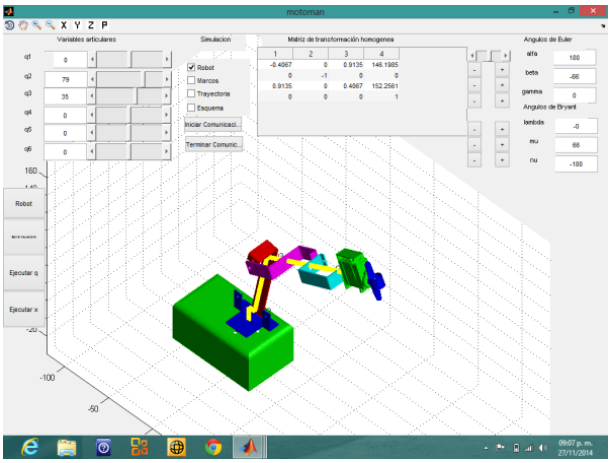


Fig. 8 Diseño del robot en SolidWorks.

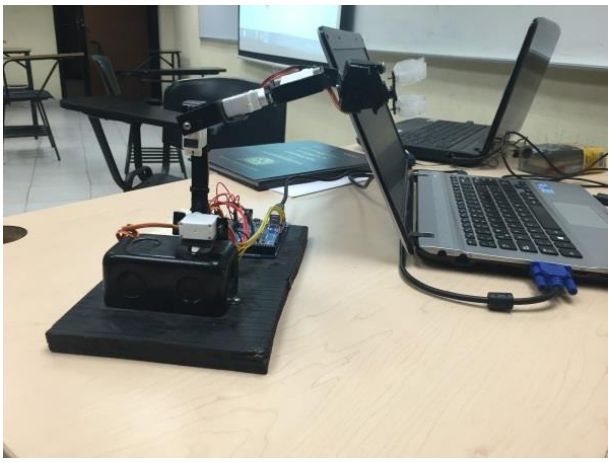
Para establecer la comunicación entre la interfaz y el robot se utiliza un puerto de comunicación serial, el cual se abre al darle click en el botón "*Iniciar Comunicación*".

En la figura 9a y 9b, se pueden observar tanto la interfaz gráfica como el robot al momento de establecer la comunicación.

Al realizar esta acción, el puerto serial al cual está conectada la placa Arduino Mega se abre, en ese momento, al dar click en las barras de deslizamiento, todos los cambios producidos en los valores de las variables articulares (q1, q2, q3, q4, q5, q6), se verán reflejados tanto en la interfaz gráfica como en el robot



a) La interfaz al momento de comunicarse con el robot.



b) Robot en la configuración conectado a la interfaz.
Fig. 9 Comunicación establecida entre la interfaz y el robot.

Enseguida en la tabla 2, se presenta el programa que se cargó en la placa Arduino Mega para que, mientras el puerto serial este abierto, se lee toda la información que se está escribiendo en el mismo y se transmite a cada uno de los servomotores del robot.

Tabla 2. Programa para que Arduino Mega lea el puerto serial

#include<Servo.h> *Servo servo[6];* *int pin[6]=* *{* *1,2,3,4,5,7,* *};* *void setup()*	*void loop()* *{* *if (Serial.available()){* *for (int i=0;i<6;i++)* *{* *grados=Serial.parseInt();*

```
{
  //servo[0].attach(3);
  for(int i=0;i<6;i++)
  {

servo[i].attach(pin[i]);
  }
  Serial.begin(9600);
}
int grados;
if(grados>0&&grados<180)
    {
      servo[i].write(grados);
      delay(15);
    }
  }
 }
}
```

6. TRAYECTORIA

La trayectoria que se generó es una trayectoria de tipo no lineal, para la cual se hicieron variar solamente los valores de q3 y q1 de la configuración inicial q = [0°, 90°, 0°, 0°, 0°, 0°]. A la variable articular q3, se le asignó el valor de 1°, y la variable q1 tomo valores del rango aproximado de -65° a 65° figura 10. En la siguiente figura, se muestra una secuencia de imágenes capturadas al momento en que el robot ejecuta la trayectoria.

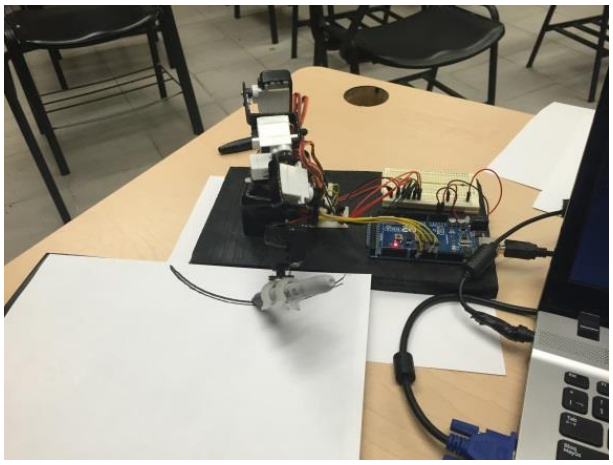


Fig. 10 Trayectoria no lineal, cuando q3 va de -65° a 65°.

La realización de este ejemplo permitió identificar las áreas de oportunidad existentes en el diseño de un robot, en la selección de los actuadores y en el ensamble del mismo.

7. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un robot didáctico de 6 grados de libertad.

El diseño de cada uno de sus eslabones fue hecho mediante SolidWorks, con la finalidad de simular el movimiento del conjunto de eslabones unidos mediante articulaciones. Esto con la finalidad de observar, en simulación, que no existiera algún impedimento producido por la geometría de los eslabones del robot.

Mediante relaciones de posición, en SolidWorks, se ensamblaron en forma virtual cada uno de los eslabones unidos por las articulaciones para formar el ensamble final del robot. Lo anterior nos permitió simular el movimiento producido por cada una de sus articulaciones.

Se desarrolló una GUI que utiliza las geometrías generadas en el diseño realizado en SolidWorks.

Se logró generar una trayectoria no lineal mediante los sliders q1 y q3 a través de la interfaz gráfica, lo cual el robot pudo dibujar un semicírculo sobre una hoja de papel

Cabe mencionar que, gracias a la adición de los botones de inicio y término de comunicación en la interfaz gráfica, se logró evitar problemas en la comunicación entre el robot y la interfaz, anteriormente se abría y se cerraba el puerto serial cada vez que se utilizaba, por ejemplo al darle click a las barras de deslizamiento y no daba tiempo suficiente para que reaccionara el robot.

8. REFERENCIAS

[1] J. Hernández Hernández, R. Garcia Andrade, A. Fernández Ramírez, and E. Cuan Duron, “Modelado, diseño y construcción de dedo robótico,” in *Memorias CIPITECH 2014*, ITCH, Ed. ITCH, 2014, pp. 720–726.

[2] R. De Leon Treviño, R. Garcia Andrade, A. Fernández Ramírez, E. Cuan Duron, and E. Urquizo Barraza, “Modelado, diseño y construcción de un sistema de prensión.,” in *Memorias Electro 2015 ISSN 1405-2172*, 2015, pp. 396–401.

[3] A. Cardenas Nieto, A. Fernandez Ramirez, R. Garcia Andrade, E. Cuan Duron, and E. Urquizo Urquizo, “MODELADO , DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO DE MANIPULACIÓN,” *Memorias Electro 2016 ISSN 1405-2172*, vol. 38, no. may, pp. 122–127, 2016.

[4] Y. Junyou, Q. Guilin, M. Le, B. Dianchun, and H. Xu, “Behavior-based control of brush drawing robot,” *Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), 2011 International Conference on*. pp. 1148–1151, 2011.

[5] P. Tresset and F. Fol Leymarie, “Portrait drawing by Paul the robot,” *Comput. Graph.*, vol. 37, no. 5, pp. 348–363, Aug. 2013.

[6] F. Eugenio, L. Guerrero, P. Nicolás, and G. Patrón, “Diseño y construcción de un brazo digitalizador para la captura de geometrías,” *Ingenierias ISSN 1405-0676*, vol. XVII, no. 63, pp. 45–57, 2014.

[7] E. Cuan Duron, A. Fernandez Ramirez, and E. Urquizo Barraza, “Desarrollo de un Recurso Educativo Digital de apoyo a la Materia de Robótica,” in *Tecnologías y Aprendizaje. Avances en Iberoamerica ISBN 978-607-96242-1-7*, 2013, pp. 270–275.

[8] E. Cuan Duron, A. Fernández Ramírez, and E. Urquizo Barraza, “Recurso Educativo Digital para la Determinación del Modelado de Robots de 6 GDL.,” in *Tecnologías y Aprendizaje. Innovaciones y Experiencias ISBN 978-0-9915776-1-3*, 2014, pp. 209–213.