

## MODELADO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PRENSIÓN.

De León Treviño Ricardo <sup>1</sup>, García Andrade Roxana <sup>1</sup>, Fernández Ramírez Arnoldo <sup>2</sup>,  
Cuan Durón Enrique <sup>3</sup>, Urquiza Barraza Elisa <sup>3</sup>.

Instituto Tecnológico de Nuevo León

Instituto Tecnológico de la Laguna

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

<sup>3</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación

<sup>2</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación

Ave. Eloy Cavazos 2001 Col. Tolteca,  
Guadalupe, Nuevo León C.P. 67170

Blvd. Revolución y Czada. Cuauhtémoc s/n  
Torreón, Coahuila.C.P. 27000.

Tel: (81) 81570500

Tel (871) 7051313

rikyl451881@gmail.com,

[kcuan@gmail.com](mailto:kcuan@gmail.com), [elisaurquiza@gmail.com](mailto:elisaurquiza@gmail.com)

[roxana\\_garciaandrade@yahoo.com](mailto:roxana_garciaandrade@yahoo.com),

[arnoldo028@gmail.com](mailto:arnoldo028@gmail.com)

### RESUMEN.

En este trabajo se presenta un sistema de prensión construido con 2 mini-robots, con el objetivo final de poder realizar prensiones o agarres de objetos mediante la utilización del par de dedos robóticos.

Para la construcción de los dedos robóticos se ha tomado como base, los diseños presentados en [5] y [6].

La obtención de los modelos matemáticos para la cinemática directa utilizados en la Interfaz Gráfica del Usuario (GUI) se realizó mediante la utilización de MATLAB.

El objetivo central del trabajo es de mostrar la factibilidad, por una parte, del uso de los mini robots previamente diseñados y por otra parte la extensión de la GUI.

Para proporcionar movimiento a cada articulación se utilizan servomotores. Cada mini-robot cuenta con 4 grados de libertad, se tienen cuatro servomotores cada dedo. La GUI nos proporciona los elementos necesarios para poder enviar consignas de movimiento a cada uno de los 8 grados de libertad del sistema.

**Palabras Clave:** Sistema de prensión, modelado, diseño, interfaz, simulación.

### ABSTRACT.

In this development a prehension system is presented, it is built with 2 mini-robots, a goal is to execute object grasps by using a couple of robotic fingers.

For building robotic fingers, a procedure proposed in [5] and [6] has been employed.

MATLAB has been used to get mathematical models of the direct kinematics of the finger. Graphical User Interface (GUI) is also programmed in MATLAB.

Main goal of this development is showing feasibility on one hand use of robotic fingers designed earlier and on the other hand, customizing GUI developed for single mini-robot.

To provide movement to joints, servomotors have been used. Considering that every mini-robots is composed by combination of 4 degrees of freedom, one finger has 4 servomotors to actuate every one of them. Graphical user interface is built with all components needed to command every single servomotor of whole system.

**Keywords:** Prehension system, modeling, design, interface, simulation.

### INTRODUCCIÓN

Con el respaldo de trabajos previos en el Instituto Tecnológico de Nuevo León, sobre un “mini-robots” donde se ha trabajado esta temática, se busca obtener sistemas más complejos con una buena relación entre versatilidad, complejidad mecánica, costos y facilidad de uso, entre otros aspectos afines.

El presente desarrollo es sobre un sistema de prensión. Se ha propuesto el diseño de un prototipo que imita los movimientos de prensión o agarre con 2 dedos de la mano humana. Es un tema interesante, para complementar la formación, el desarrollo del proyecto se realizó en el Instituto Tecnológico de Nuevo León con el fin de contribuir más adelante al diseño de una mano robótica. El sistema de prensión propuesto es un sistema multi robótico. Se cuenta con 4 servomotores en cada dedo, para lograr los movimientos de de los dedos humanos.

Este prototipo ha sido diseñado de tal manera que posee movimientos individuales y en forma conjunta del sistema, lo que nos permite una variedad de aplicaciones.

En la realización de este proyecto, se ha efectuado el estudio de la cinemática directa e inversa. Esta última, permite conocer las trayectorias de cada dedo robótico, lo que no da la posibilidad realizar la simulación y el comando del sistema.

El sistema de prensión, conformado por 2 dedos antropomórficos, los cuales son comandados por medio de la interfaz gráfica del usuario diseñada con el software MATLAB. La utilización de los dedos robóticos previamente diseñados en [5] y [6] permite que el movimiento obtenido sea antropomórfico, es decir que se los mini-robots del sistema de prensión se muevan como los dedos humanos.

El objetivo del presente trabajo es mostrar que se pueden obtener sistemas robóticos complejos a partir de un robot anteriormente diseñado.

### ANTECEDENTES

En primer lugar en [1] se presenta la construcción de un brazo robótico de tres gdl (Grados de libertad) tipo PUMA (Programmable Universal Manipulator for Assembly).

Se desarrollan las ecuaciones tanto del modelo cinemático directo como del modelo cinemático inverso. Utilizando las ecuaciones del movimiento de Lagrange, se desarrollan las ecuaciones del modelo dinámico.

En la arquitectura de este robot se observa que hay par de articulaciones con ejes paralelos.

Enseguida en los trabajos desarrollados en [2], se menciona que se ha intentado reproducir algunas extremidades del ser humano ya sea para fines médicos o para la industria. Especialmente la mano, esta al ser de suma importancia para las actividades cotidianas se ha vuelto tema de investigación, se han construido manos robots pero hasta el día de hoy no se ha conseguido imitar su destreza.

En [3] se muestra el modelo cinemático directo, la representación geométrica de los elementos de la cadena cinemática del efector respecto a un sistema de referencia fijo, empleando la metodología de Denavit-Hartenberg. Se modela un robot de 4 gdl.

En la parte de la cinemática inversa, es fundamental transformar las especificaciones de movimiento asignadas al robot en su espacio de operación, en los movimientos articulares que permitan dicho movimiento.

La solución de la cinemática inversa se reduce a un movimiento planar con 3 gdl, el cual presenta una redundancia de grados de movilidad con respecto a la posición del punto final del robot, debido a que la orientación final no es considerada.

Si se considera la existencia de al menos un elemento que especifique la orientación del robot es posible buscar una solución de forma cerrada a partir de un análisis geométrico del robot.

En el trabajo presentado en [4] se habla de un proyecto que comprende el diseño, construcción y control de un brazo manipulador de 4 grados de libertad. El proyecto está dividido en 3 etapas, la primera es el diseño y construcción mecánica del robot manipulador, la segunda es la instrumentación e implementación del sistema de control y la tercera corresponde a la adaptación del brazo manipulador a un robot móvil para tener un robot de exploración y seguridad.

### 3 MODELADO.

#### 3.1 Cinemático directo de posición.

En el modelado cinemático de posición de un robot manipulador se establecen las relaciones existentes entre el espacio operacional (en el cual la localización del órgano terminal está definida) y el espacio articular del robot (en el cual la configuración está definida).

El modelo directo, es la relación que permite determinar el vector  $\mathbf{x}$  de coordenadas operacionales del robot correspondiente a una configuración dada  $\mathbf{q}$ .

Este modelo se expresa como:

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

#### 3.2 Modelado cinemático directo de los dedos robóticos.

A continuación se muestran las tablas de parámetros de Denavit-Hartenberg modificados para los dedos 1 y 2, los cuales constituyen el sistema de prensión.

Tabla 1 Parámetros D-H modificados para dedo 1

Eslabón	$\alpha_i(^{\circ})$	$d_i(\text{cm})$	$\theta_i(^{\circ})$	$r_i(\text{cm})$
1	0	0	$\theta_1$	0
2	90	0	$\theta_2$	0
3	0	3.6	$\theta_3$	0
4	0	3.5	$\theta_4$	0
5	0	1.5	0	0

Tabla 2 Parámetros D-H modificados para dedo 2

Eslabón	$\alpha_i(^{\circ})$	$d_i(\text{cm})$	$\theta_i(^{\circ})$	$r_i(\text{cm})$
1	0	0	$\theta_1$	0
2	90	0	$\theta_2$	0
3	0	3.6	$\theta_3$	0
4	0	3.5	$\theta_4$	0
5	0	1.5	0	0

Estos parámetros de cada eslabón  $i$ , se sustituyen en la siguiente fórmula:

$${}^{i-1}\mathbf{T}_i = \mathbf{Rot}(\mathbf{x}, \alpha_i) \mathbf{Trans}(\mathbf{x}, d_i) \mathbf{Rot}(\mathbf{z}, \theta_i) \mathbf{Trans}(\mathbf{z}, r_i)$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & d_i \\ C\alpha_i S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -r_i S\alpha_i \\ S\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i C\theta_i & C\theta_i & r_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde S es la función seno y C la función coseno.

El prototipo del sistema de prensión se muestra en la Figura 1.

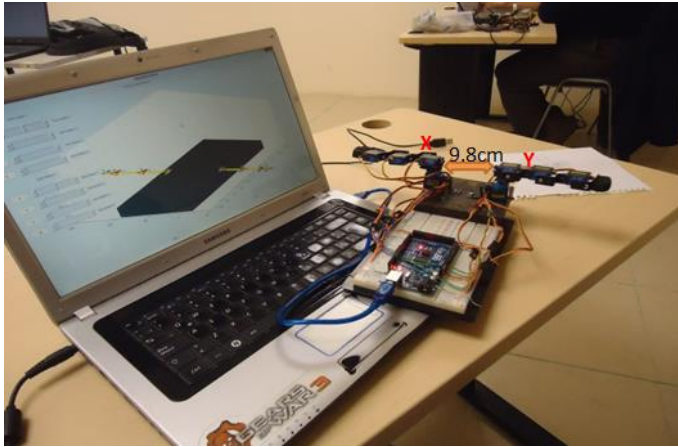


Figura 1 Distancias entre cada dedo.

Matrices de transformación en forma numérica, se muestran a continuación:

Para el dedo 1 con  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = 0$ .

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^1T_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^2T_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 3.6 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^3T_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 3.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^4T_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Las matrices de transformación homogénea en forma numérica, del dedo 2 con  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = 0$ , son:

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^1T_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^2T_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 3.6 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^3T_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 3.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### 3.3 Modelo cinemático inverso de posición.

Para obtener la solución del problema de la cinemática inversa de posición, en este trabajo, se usa un enfoque geométrico. Se utiliza una relación fija para considerar la dependencia o acoplamiento de la tercera y cuarta articulación, como se menciona en [2], la relación que se utilizó es la siguiente:

$$\theta_4 = \left(\frac{2}{3}\right) \theta_3 \quad (3)$$

Esto nos permitió reducir el problema de la cinemática inversa, al cálculo de las intersecciones entre 2 pares de circunferencias.

## 3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

Se realizó el modelado del mini-robot utilizando el software de diseño CAD SolidWorks en 3D. En la Figura 2, se muestran los diferentes elementos o componentes que fueron utilizados para ensamblar el sistema de prensión en el entorno de SolidWorks. Para realizar el ensamble final de cada mini-robot se utilizaron falanges de aluminio, ya que este material resulta ser ligero y fácil de darle forma. La base sobre la cual se construye el sistema fue realizada de madera.

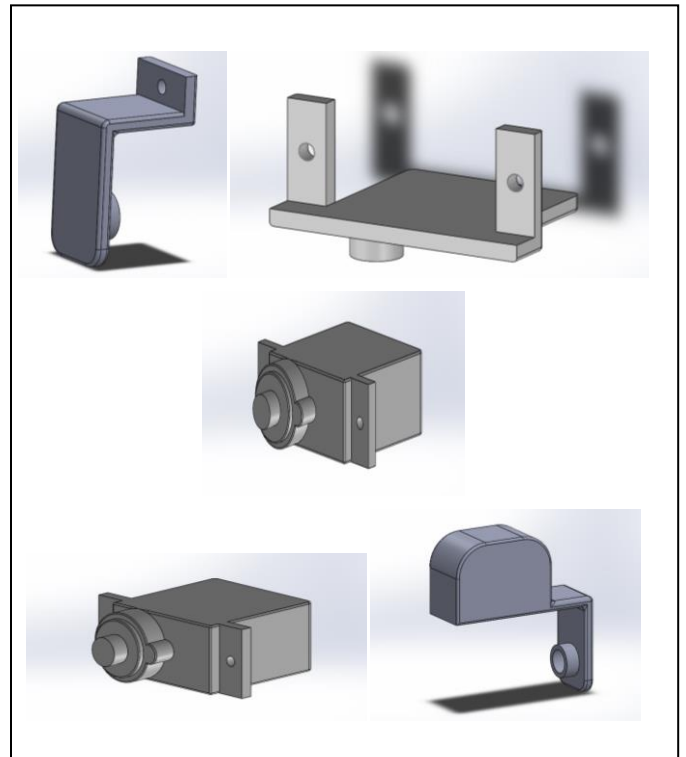


Figura 2 Componentes para ensamble del sistema de prensión.

Una vez construido cada uno de los dedos robóticos se procedió a ensamblar el sistema de prensión, a continuación en las Figuras 3 y 4, se muestra el sistema diseñado en algunas configuraciones.

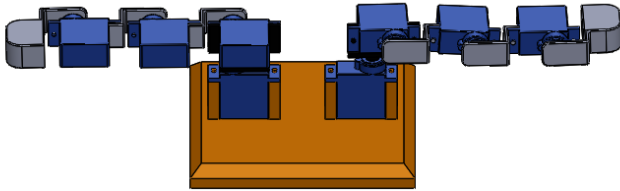


Figura 3 Configuración Inicial  $\mathbf{q} = [0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$  para cada uno de los 2 dedos.

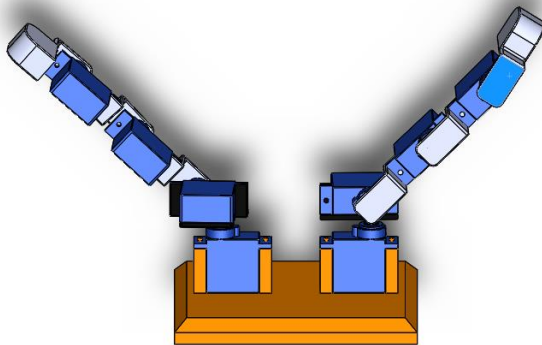


Figura 4 Configuración  $\mathbf{q} = [0^\circ, 45^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$  para cada uno de los 2 dedos.

## 5 INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica se programó utilizando el software MATLAB. Para cada uno de los dedos robóticos se utilizaron líneas para representar cada una de las falanges y cilindros para cada una de las articulaciones.

Con la finalidad de poder interactuar con la interfaz se utilizaron barras de deslizamiento, las cuales se puede hacer variar cada una de las variables articulares de cada uno de los dedos. Al accionar alguna de las barras de deslizamiento, se observa de forma gráfica en la simulación el cambio obtenido. De igual manera, el valor actualizado de cada variable articular lo podremos ver en la caja de edición correspondiente.

También se puede interactuar a través de las cajas de edición, aquí se actualiza, por un lado la configuración del dedo

correspondiente y por otro lado la posición de la barra de deslizamiento.

Además se cuenta con cajas de edición para visualizar de forma numérica, la posición del extremo de cada dedo robótico, utilizando coordenadas cartesianas.

La interfaz cuenta con botones "+" y "-", los cuales nos permiten resolver el problema de la cinemática inversa.

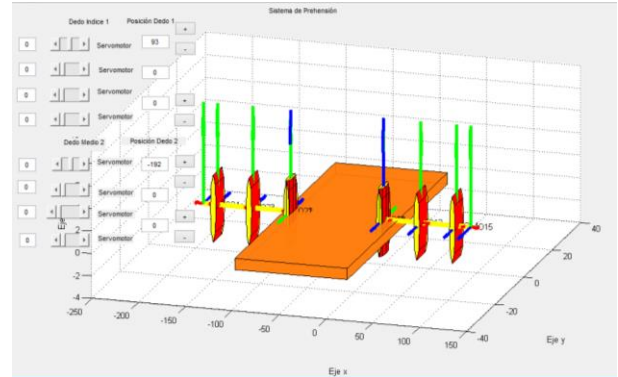


Figura 5 Interfaz gráfica para una configuración  $\mathbf{q} = [0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$  para cada dedo.

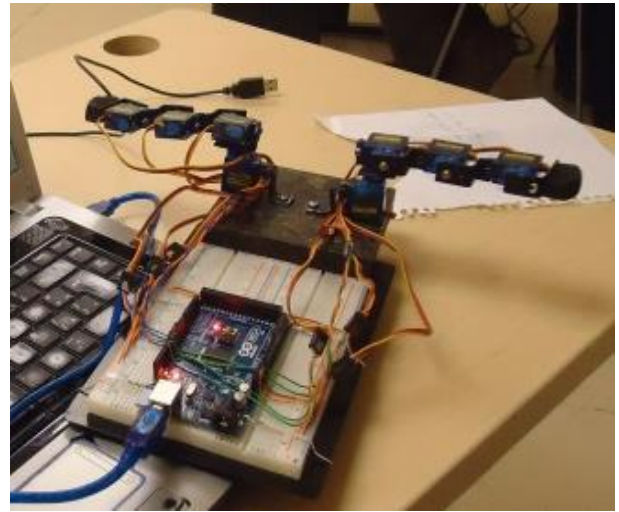


Figura 6 Vista superior del sistema de manipulación con configuración  $\mathbf{q} = [0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$  para cada dedo.



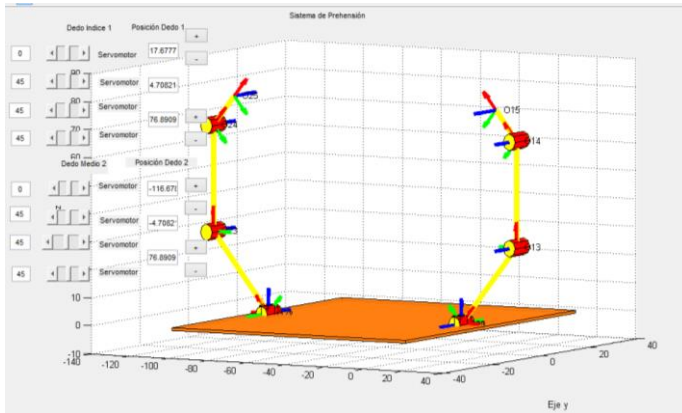


Figura 7 Interfaz gráfica para una configuración  $q = [0^\circ, 45^\circ, 45^\circ, 45^\circ]$  para cada dedo.

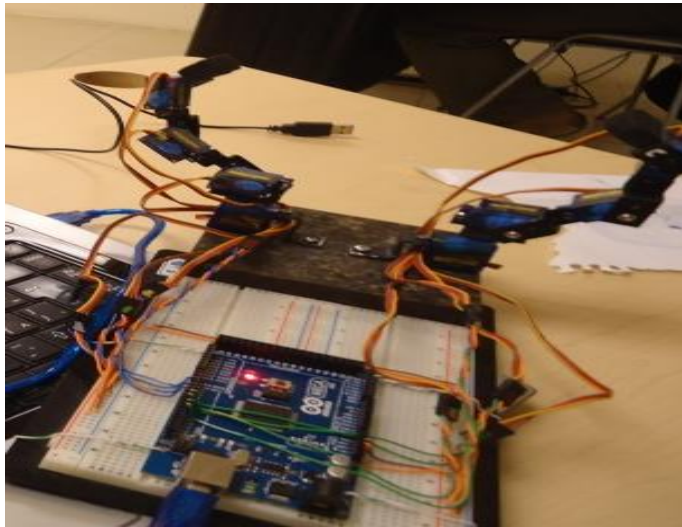


Figura 8 Vista superior del sistema de manipulación con configuración  $q = [0^\circ, 45^\circ, 45^\circ, 45^\circ]$  para cada dedo.

### 5.1 Programación

Código utilizado en Arduino Mega para el funcionamiento del sistema de prensión.

```
#include <Servo.h>
Servo servo[8];
int pin[8]={
    2,3,4,5,
    6,7,8,9};
void setup(){
    //servo[0].attach(3);
    for (int i=0;i<8;i++){
        servo[i].attach(pin[i]);
    }
    Serial.begin(9600);
}
int grados;
```

```
void loop(){
```

```
    if (Serial.available()){
        for (int i=0;i<8;i++){
            grados = Serial.parseInt();
            if(grados>0 && grados < 180){
                servo[i].write(grados);
                delay(50);
            }
        }
    }
}
```

### 5.2 Algoritmo.

En seguida se presenta el pseudocódigo de la aplicación desarrollada en MATLAB, esto para ilustrar el funcionamiento de la misma de forma breve.

- 01 **Inicio de la aplicación**
- 02 Configuración inicial  $q_i = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$
- 03 **Actualización** de la representación gráfica y resolución de la cinemática directa
- 04 **Apertura** del puerto serial
- 05 **Escritura** de la configuración inicial en el puerto serial
- 06 **Cierre** del puerto serial
- 07 **Esperar** acción del usuario
- 08 **Si** cambio en valor de **variable articular** (Barra deslizadora o caja de edición)
- 09 **Entonces** actualizar representación gráfica y resolución de la cinemática directa
- 10 **Apertura** del puerto serial
- 11 **Escritura** de la configuración actual en el puerto serial
- 12 **Cierre** del puerto serial
- 13 **Si** click en botón “+” o “-”
- 14 **Entonces** resolución de la cinemática inversa
- 15 **Verificación** de la validez de la solución y actualizar representación gráfica
- 16 **Apertura** del puerto serial
- 17 **Escritura** de la configuración actual en el puerto serial
- 18 **Cierre** del puerto serial

En la etapa de desarrollo actual, se utiliza un sistema de control en lazo abierto. Esto es debido a que no se han implementado sensores o algún método de visión para estar en medida de cuantificar el error y teniendo en cuenta esto último, no existe retroalimentación. El diagrama a bloques para cada motor se presenta en la Figura 9.

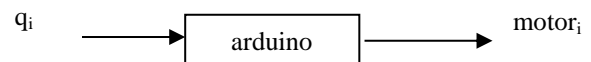


Figura 9 Diagrama a bloques de cada motor.

## 6 CONCLUSIONES.

Un sistema de Prensión fue diseñado y construido en el Instituto Tecnológico de Nuevo León. Se ha realizado una breve descripción de los objetivos perseguido en su diseño, y de los detalles más relevantes de su estructura física, de la parte mecánica, de la parte eléctrica y electrónica, del software desarrollado para su manejo.

Este proyecto se ha desarrollado en el campo de la electrónica y robótica, además integrando los conocimientos y saber hacer en programación de Arduino Mega y de MATLAB. La interfaz gráfica del usuario nos permite mostrar en simulación y en forma real la cinemática directa e inversa de cada uno de los mini-robots que componen el sistema.

Se ha cumplido el objetivo de poder integrar un sistema más complejo a partir de los mini-robots previamente diseñados en [5] y [6]. Se ha duplicado el número de grados de libertad manipulables, se ha modificado la interfaz gráfica del usuario para este fin. Los mini-robots del sistema de prensión se mueven de forma antropomórfica.

Como resultados tangibles del trabajo realizado se pueden enumerar una tesis, un prototipo del sistema de prensión, además de la interfaz gráfica desarrollada.

Los resultados nos permiten dirigirnos hacia el desarrollo de sistemas multi robots más complejos y el diseño de minirobots con diferentes arquitecturas.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Jiménez Villalobos D., Ramírez de la Cruz J., "Construcción de un brazo robótico de tres gdl. y su control mediante el núcleo híbrido de transición de estados", Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Cenidet,
- [2] Cimadevilla Lajud H., Herrera Pérez J., "Diseño de un sistema articulado emulando el movimiento de una mano", Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico, Cenidet, Junio 2006.
- [3] Aguilar Acevedo F., Ruiz González R., "Redundancia cinemática en un dedo antropomórfico de 4 gdl.", Memorias del xvii congreso internacional anual de la SOMIM, ISBN: 978-607-95309-5-2, Septiembre, 2011, págs. 1037-1042
- [4] Cuevas Ramírez L., Ramírez Vargas I., Cruz Hernández F., "Análisis y construcción de un manipulador de cuatro grados de libertad", Memorias del xviii congreso internacional anual de la SOMIM, ISBN 978-607-95309-6-9, Septiembre, 2012, págs. 1046-1056.
- [5] Hernández Hernández J, García Andrade R., Fernández Ramírez A., "Experimentos con un dedo robótico y simulación.", X Semana Nacional de Ingeniería Electrónica, "*Pistas Educativas*" ISSN 1405-1249., 2014, 1073-1083.
- [6] Hernández Hernández J, García Andrade R., Fernández Ramírez A., Cuan Duron E., "Modelado, diseño y construcción de dedo robótico.", CIPITECH 2014, ISBN: 978-607-8262-06-9, Pp 720-726.