

Prototipo de una incubadora para el almacenamiento y maduración del café

Gabriel Triana Osorio¹
Melissa Paternina Jiménez²

Abstract: This article presents the development of an anthropomorphic robotic arm, programmed to extract the coffee package that are stored in an incubator, in which the maturation process of the latter is carried out, in order to later be transported to a hopper which communicates to the rest of the process by means of conveyor belts.

Keywords: Robot, conveyor belt, anthropomorphic.

Resumen: Este artículo presenta el desarrollo de un brazo robótico antropomórfico, programado para extraer el paquete de café que se almacena en una incubadora, en el que se lleva a cabo el proceso de maduración de este último, para luego ser transportado a una tolva que se comunica con el resto del proceso por medio de cintas transportadoras.

Palabras clave: Robot, antropomórfico, banda transportadora.

1. INTRODUCCIÓN

Para empezar a hablar de robots primero se ha de hacer un repaso por medio de la historia de esta, de forma que se pueda comprender como funcionan actualmente, puesto que estos empezaron a aparecer hace más o menos 4000 años, y en el siglo XIX se produjo un avance en todas las ramas de la ingeniería, y en 1942 Asimov hace público tres leyes de la robótica, a la vez que surge la robótica moderna, que con ayuda de la aparición de la computadora y los avances de esta se introdujeron más funciones, empezándose a usar ya en la industria, mejorando así los tiempos de fabricación en las empresas, caso que se puede ver por ejemplo en empresas que manejan sistemas de máquinas envasadoras multipack y rovema, en las cuales los operarios pueden sufrir problemas ergonómicos a causa del constante traslado de las conchas llenas de material [1], disminuyendo los riesgos que podrían sufrir los empleados en trabajos peligrosos o de ambientes muy hostiles para el ser humano, eso sin mencionar que en ambientes industriales se pueden encontrar trabajos repetitivos como lo sería el

¹ Universidad de Pamplona. Facultad de ingenierías y arquitecturas. Programa de ingeniería mecatrónica. Grupo de Investigación A&C, Semillero de investigación SIARC. Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: gabriel triana osorio@gmail.com

² Universidad de Pamplona. Facultad de ingenierías y arquitecturas. Programa de ingeniería mecatrónica. Grupo de Investigación A&C, Semillero de investigación SIARC. Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: meli-pater@hotmail.com

posicionar objetos sobre una banda transportadora. Este tipo de labores de cierta forma le quitan el valor que tiene una persona a realizar tareas de mayor complejidad [2].

En las últimas décadas la robótica se ha posicionado como una de las herramientas de mayor importancia dentro de la industria, permitiendo las producciones a gran escala y la automatización de los procesos. Dentro de la robótica actual, los brazos, cumplen tareas por lo general repetitivas en muchas aplicaciones diferentes, y dependiendo de dichas aplicaciones, existen cuatro configuraciones de brazos comúnmente utilizados.

Un aspecto importante que resaltar es que un robot puede operar constantemente sufriendo únicamente desgaste mecánico, aumentándose los periodos de producción en los que se puede trabajar, además de que los errores humanos se verían corregidos gracias a la ayuda de esta herramienta, evitando incluso accidentes laborales generados por descuidos humanos o agotamiento.

Para el control de los brazos robóticos, se requiere del cálculo de la cinemática inversa y directa, al no haber un método estandarizado aplicable a todos los robots, se recurre a técnicas de trigonometría que se aplican de diferentes formas dependiendo de la configuración del brazo [3]).

En el 2003 en la Universidad de Pamplona hicieron el diseño e implementación de un robot SCARA, el cual posee 3 grados de libertad con aplicación en procesos de manufactura flexible por medio de un sistema SCADA. [4]

En la actualidad existen varios estudios para el control de seguimiento de robots manipuladores de robots industriales, en los que se presenta derivación de una salida plana para el robot de seis grados de libertad desacoplándose mediante sus variables en función de una salida plana y un número finito de sus derivadas. [5]

Para el caso del presente proyecto se utiliza un brazo antropomórfico de cinco grados de libertad.

2. RUTINA

El brazo robótico tomará una caja situada en el interior de la cámara de secado de la incubadora, para posteriormente trasladarla a la tolva donde se irán almacenando. Realizará este proceso hasta que hasta que se estime oportuno abrir la tolva de tal modo que deje caer las cajas sobre unas bandas transportadoras que comunicarán con el resto de la planta.

En la figura 1 se aprecia el diagrama de flujo correspondiente al proceso.

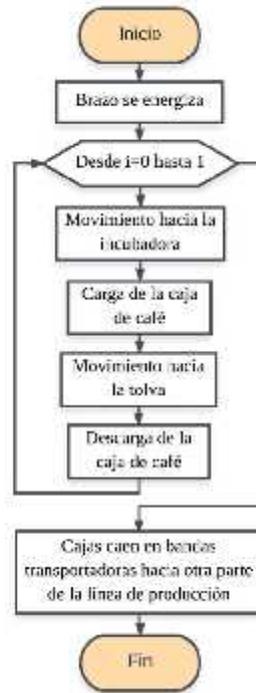


Figura 1. Diagrama de flujo

3. DISEÑO MECÁNICO

Se empleó el uso de la matriz QFD (Desarrollo de la Función de la Calidad por sus siglas en inglés) para tener una mejor proyección de los materiales requeridos para realizar el proyecto. Estas se muestran en la figura 2 y 3. [6]

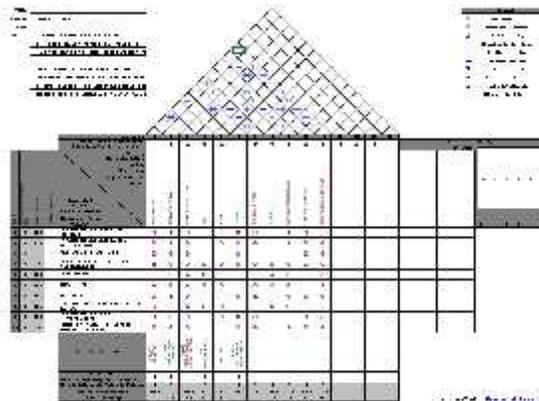


Figura 2. Primera matriz QFD

A continuación en la figura 3, se muestra el diseño mecánico del brazo robótico, realizado en Solidworks, así como las demás partes que conforman el proceso.



Figura 3. CAD del brazo.

2.1 Partes y características

Robot antropomórfico: 5 GDL.

Materia de la estructura: Madera, tornillos M12.

Efector final: Pinza.

Actuadores: Servomotores.

5 Hitec HS-422; para las articulaciones.

2 TowerPro SG90; pinza y muñeca.

La pinza mostrada en la figura 4 utiliza un sistema de engranes que se acciona por medio de un servomotor produciendo un movimiento de cierre o apertura, permitiendo así, que se puedan agarrar las cajas o bultos para que sean transportadas a la tolva.



Figura 4. CAD del efector final. [7]

En la figura 5 se muestra el diseño del CAD de las bandas transportadoras utilizadas en el proceso.

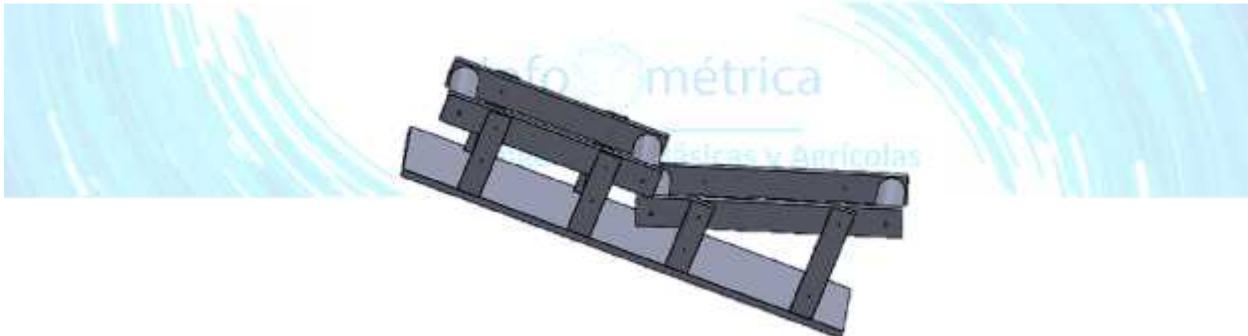


Figura 5. CAD de las bandas transportadoras.

En la construcción de las bandas transportadoras se tuvo en cuenta el tamaño éstas, y se decidió implementarlas para facilitar el transporte del producto a otra zona de producción, con el fin de reducir esfuerzos y recursos, minimizando así los tiempos de transporte. Las bandas transportadoras realizadas se muestran en la figura 6.

Además, se empleó como material de construcción la madera MDF debido a su reducido costo, y la facilidad de ésta para trabajarse. Para las cintas se utilizó cuerina para tener un buen coeficiente de fricción entre los rodillos accionados por el motor y la cinta, además de unos motores DC que son los que generarán el movimiento de las bandas transportadoras.



Figura 6. Bandas transportadoras.

En la figura 7 se muestra el CAD de la tolva que se implementó en el proceso.



Figura 7. CAD de la tolva

La tolva se hizo en MDF, además se usaron dos cilindros de madera de 5cm de alto y radio de 2.5cm, ésta se muestra en la figura 8.



Figura 8. Tolva.

En la figura 9 se muestra el CAD de la incubadora de café que se implementó en el proceso.

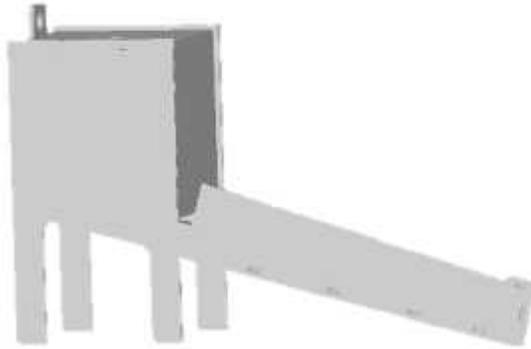


Figura 9. CAD de la incubadora.

Para la incubadora como base material se usó MDF, una lámina de zinc y una tapa de vidrio para conservar el calor, así como una resistencia de nicromo, por medio de la cual se genera el calor suficiente para mantener seco y a una temperatura constante el café. En la figura 10 se muestra la incubadora realizada.



Figura 10. Incubadora.

4. DISEÑO ELECTRÓNICO

Para el diseño electrónico se realizó el cálculo matemático para el control de los motores DC, y se utilizó un microcontrolador Arduino Nano que permitirá la realización del control de los servomotores, cabe aclarar que los motores más reconocidos son los Maxon Motors, pero por cuestiones de presupuesto se usaron de otro tipo [8].

Se utilizó, además, una tarjeta embebida Arduino Mega para hacer el control de la incubadora de café.

4.1 Cálculo para el control de los motores de las bandas transportadoras

En la tabla 1, se muestran los datos iniciales de los componentes electrónicos utilizados.

Tabla 1. Datos de los componentes.

Componentes	Voltaje (V)	Corriente (A)
Resistencia	24	3.5
Ventiladores	12	0.7
Transformador	24	5
VRRM (SCR106D)	400	---
Motor 1	12	800
Motor 2	12	300
Rotor 1 Rotor 2 (MOSFET)	3.05	---
Rotor 1 Rotor 2 (MOSFET)	3.5	---
V _{CC}	12	---

Se realizan las mediciones de corriente que se consumirá, así como de las características de los componentes a usar, analizando como funcionarán de acuerdo a los parámetros que se midieron.

$$\begin{aligned} &\text{MOSFET} \\ &K_N = 0.905 \\ &R_{DON} = 0.65 \Omega \end{aligned}$$

Cálculos

Para la realización de estos cálculos se basó en la teoría de circuitos [9]. Inicialmente se busca la manera de que el MOSFET opere en la zona óhmica.

El valor mínimo de VDS en 0V, por lo tanto:

Para asegurarse de que el mosfet trabaje de esta manera ha de cumplirse los siguientes rangos.

$$\begin{aligned} 0V < V_{DD} - V_{MT} < V_{OH} - V_{TH} \\ V_M < V_{DD} < V_{MT} + V_{OH} - V_{TH} \end{aligned}$$

Rango para forzar al MOSFET a trabajar en zona Óhmica

Una vez asegurado el rango de operación se calcula el voltaje necesario para accionar el motor, y se compra con el generado por la compuerta.

Para este caso $V_{OH} = 5V$ dato medido de la compuerta del circuito integrado HD74LS08

Como $V_{OH} < V_{OH(ara)}$ el motor arranca

Una vez se ha comprobado que los componentes seleccionados son capaces de funcionar acorde a las mediciones y el rango de operación esperado, se realiza el análisis térmico de estos, con la finalidad de que puedan operar de manera correcta en el entorno seleccionado.

Análisis térmico del IRF510

Los siguientes datos se sacaron de la hoja técnica del componente [10].

$$\begin{aligned} T_{jmax} &: 175^{\circ}\text{C} \\ R_{\theta jc} &: 3,5^{\circ}\text{C/W} \\ R_{\theta cd} &: 0,5^{\circ}\text{C/W} \\ R_{\theta ja} &: 62^{\circ}\text{C/W} \\ PD_{max} [@T_c=25^{\circ}\text{C}] &: 43\text{W} \\ PD_{max} [@T_a=25^{\circ}\text{C}] &: 2\text{W} \quad /// \\ VSD (sat) &: 2,5\text{V} \\ I_A (\text{Corriente de arranque del motor}) &= 1,1\text{A} \\ \text{Temperatura máxima del lugar} &: 33^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Cálculos

Para estos cálculos se tomó como base el libro de Maloney de *electrónica industrial moderna* [11].

$$\begin{aligned} T_a &= 33^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C} = 38^{\circ}\text{C} \\ P_d &= (VSD (sat)) * (I_a) = (2,5\text{v}) * (1,1\text{A}) = 2,75 \text{ W} \\ PD_{max} [@T_a=25^{\circ}\text{C}] * R_{\theta ja} &= T_{jmax} - T_a \\ T_j - T_a &= P_d * R_{\theta ja} \\ T_j &= (2,75\text{W}) * (62^{\circ}\text{C/W}) + 38^{\circ}\text{C} = 208,5^{\circ}\text{C} \\ K &= \frac{T_j}{T_{jmax}} = \frac{208,5^{\circ}\text{C}}{175^{\circ}\text{C}} = 1,19 \end{aligned}$$

Después de realizar el respectivo análisis se concluyó que para trabajar de manera óptima hay que implementarle un disipador ya que k dio mayor a 0,5, para ello se analiza la temperatura del ambiente, a la vez que las temperaturas internas y externas de funcionamiento del componente a usar.

Cálculo para el disipador

En esta sección se tomó como base lo investigado en varios artículos [12] y [13].

$$T_{jd} - T_a = P_d [R_{\theta jc} + [R_{\theta ca} // (R_{\theta cd} + R_{\theta da})]]$$

$$R_{\theta ca} = R_{\theta ja} - R_{\theta jc} = 63^\circ \frac{C}{W} - 3,5^\circ \frac{C}{W} = 59,5^\circ \frac{C}{W}$$

Ya con el valor de la resistencia térmica está calculado y se ve que es necesario el uso de un disipador, es necesario buscar el tipo de disipador acorde a nuestros requerimientos.

Tomando $K_d = 0,6$

Una vez escogido el valor de seguridad se recalcula el valor de la resistencia térmica.

$$T_{jd} = k_d * T_{jmax} = 0,6 * 175^\circ C = 105^\circ C$$

$$\frac{T_{jd} - T_a}{P_d} - R_{\theta jc} = \frac{R_{\theta ca} * (R_{\theta cd} + R_{\theta da})}{R_{\theta ca} + R_{\theta cd} + R_{\theta da}}$$

Se despeja $R_{\theta da}$:

$$\frac{105^\circ C - 38^\circ C}{5,5W} - 3,5^\circ C/W = \frac{59,5^\circ C/W * (0,5^\circ C/W + R_{\theta da})}{59,5^\circ C/W + 0,5^\circ C/W + R_{\theta da}}$$

$$\left(59,5^\circ \frac{C}{W} + 0,5^\circ \frac{C}{W} + R_{\theta da}\right) * 8,68^\circ \frac{C}{W} = 59,5^\circ C/W * (0,5^\circ C/W + R_{\theta da})$$

$$\left(520,8^\circ \left(\frac{C}{W}\right)^2\right) + \left(R_{\theta da} * 8,68^\circ \frac{C}{W}\right) = 59,5^\circ \frac{C}{W} * (R_{\theta da}) + 29,75^\circ \left(\frac{C}{W}\right)^2$$

$$\left(520,8^\circ \left(\frac{C}{W}\right)^2\right) - 29,75^\circ \left(\frac{C}{W}\right)^2 = \left(-8,68^\circ \frac{C}{W} + 59,5^\circ \frac{C}{W}\right) * (R_{\theta da})$$

$$491,05 \left(\frac{C}{W}\right)^2 = 50,82^\circ \frac{C}{W} * (R_{\theta da})$$

$$\frac{491,05 \left(\frac{C}{W}\right)^2}{50,82^\circ \frac{C}{W}} = (R_{\theta da})$$

$$9,66^\circ \frac{C}{W} = (R_{\theta da})$$

Ya por medio de los caculos que se realizaron se puede saber el valor de resistencia térmica necesario en el montaje, y con este buscar entre los disponibles en el mercado.

4.2 Componentes y características

Se usó cloruro férrico para la fabricación de los circuitos impresos.

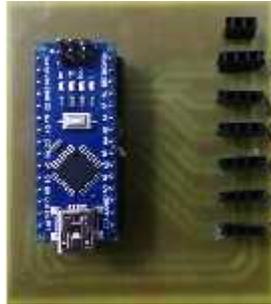


Figura 11. PCB para las conexiones del brazo a la Arduino nano.

En la figura 11, se puede observar la conexión del Arduino nano a la placa impresa, esto con el fin de tener un mejor orden en las conexiones, evitando posibles errores al momento de realizar el montaje, además de una mayor facilidad de traslado.

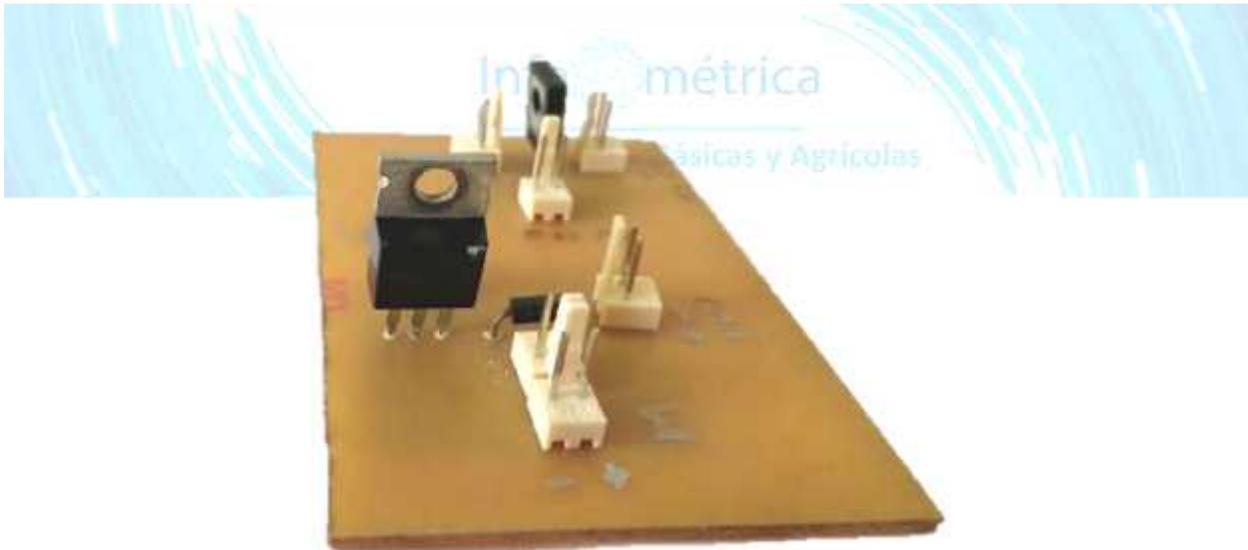


Figura 12. PCB del circuito electrónico de potencia para el control de los motores DC.

En la figura 12, se muestra el circuito mediante el cual se realizará el control de los motores DC de las bandas transportadoras y el encendido de la resistencia de nicromo presente en la incubadora.



Figura 13. Motor DC.

El motor de la figura 13 es uno de que se emplearon para las bandas transportadoras, uno posee una corriente de arranque de 800mA, mientras que el otro presenta una corriente de 300mA.

5. ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL ROBOT ANTROPOMÓRFICO

5.1 Cinemática directa

En la figura 14 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de la cinemática directa del brazo.

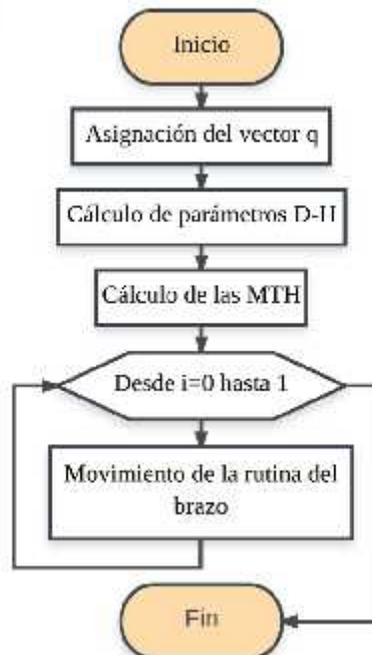


Figura 14. Diagrama de flujo cinemática directa

Para la cinemática directa, inicialmente se usan los parámetros de Denavit-Hartenberg, con el fin de obtener la matriz de transformación homogénea del sistema 5 respecto al 0.

Primeramente se empieza situando los ejes siguiendo los pasos de Denavit-Hartenberg, a lo que quedará de la forma mostrada en la figura 15.

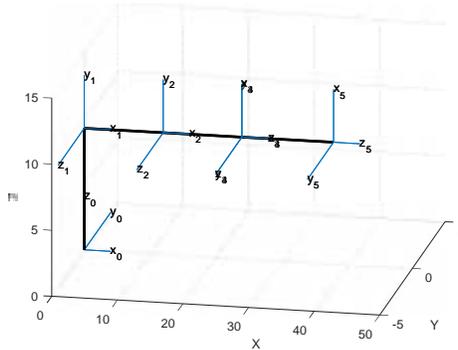


Figura 15. Esquema de alambres de robot antropomórfico de cinco grados de libertad.

Una vez situados los ejes coordenados se procede a rellenar la tabla de parámetros de Denavit-Hartenberg. [14]

Tabla 2. Parámetros de Denavit-Hartenberg

	θ	d	A	α
0-1	q_1	L_1	0	90
1-2	q_2	0	L_2	0
2-3	q_3	0	L_3	0
3-4	$90^\circ + q_4$	0	0	90
4-5	q_5	L_4	0	0

Por medio de la tabla 2, se calculan las matrices de transformación de cada articulación, puesto que por medio de la multiplicación de estas se conocerá luego la matriz del sistema cinco respecto al origen.

En el cálculo de cada una de estas matrices se utilizará como guía la siguiente matriz:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Una vez calculados ${}^0A_1, {}^1A_2, {}^2A_3, {}^3A_4, {}^4A_5$.

Se multiplican entre ellas de tal forma que:

$${}^0A_5 = {}^0A_1 * {}^1A_2 * {}^2A_3 * {}^3A_4 * {}^4A_5.$$

Hasta obtener una matriz con la siguiente forma:

$$A_5^0 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & a_{41} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & a_{42} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_{43} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

En este caso se obtiene:

$$A_5^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 38 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 9.2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz anteriormente obtenida es para cuando las articulaciones del brazo robótico están en cero.

5.2 Cinemática inversa

En la figura 16 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de la cinemática inversa del robot.

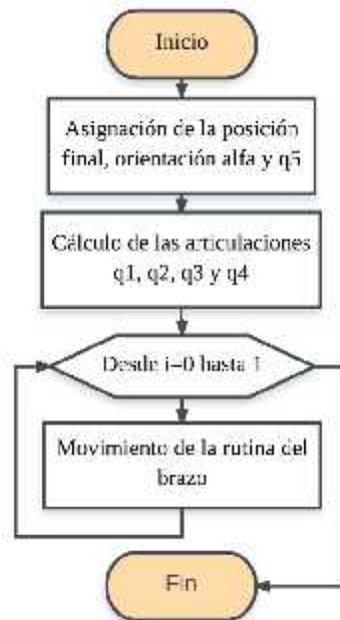


Figura 16. Diagrama de flujo cinemática inversa

Para el cálculo de la cinemática inversa es preciso empezar por observar el robot en sentido opuesto al eje Z_0 , y girándolo un ángulo comprendido entre 0° y 90° de tal forma que se puedan ver las distancias en X y Y del efector final con respecto al eje 0, tal como se muestra en la figura 17.

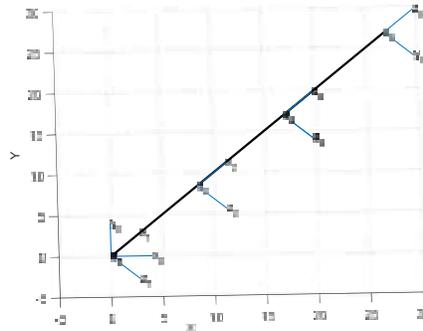


Figura 17. Esquema de alambres del robot antropomórfico a 45° .

En este modelo coinciden tres ejes de rotación en una misma articulación, por lo que se puede dividir en dos partes el robot, a este punto de cruce de los ejes se le denominará punto de la muñeca (Pm). De esta forma se presenta en la figura 18 el esquema del robot desde el origen hasta el punto de la muñeca.

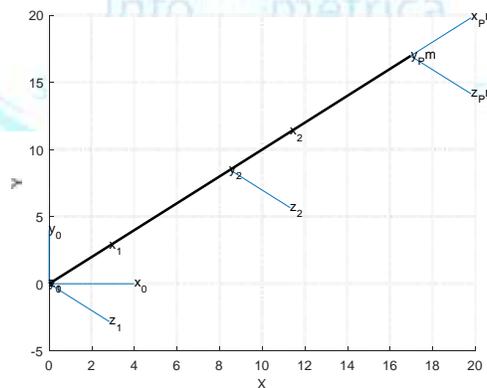


Figura 18. Esquema de alambres del robot desde el origen al punto de muñeca.

Las coordenadas del punto de la muñeca son:

$$Pm = Pmx \hat{i} + Pmy \hat{j} + Pmz \hat{k}$$

Al conocer las distancias X_0 y Y_0 puede calcularse el ángulo $q(1)$ por medio de identidades trigonométricas.

$$q_1 = \text{atan}_2(Pm_y, Pm_x)$$

q_1 es el ángulo comprendido entre el eje X_0 y el brazo, la magnitud (D) obtenida por medio del teorema de Pitágoras se usará más adelante, al momento de calcular los demás ángulos.

$$D^2 = P_{mx}^2 + P_{my}^2$$

Al momento de calcular los ángulos q_2 y q_3 se observa el robot en la dirección del eje Y_0 , como se muestra en la figura 19.

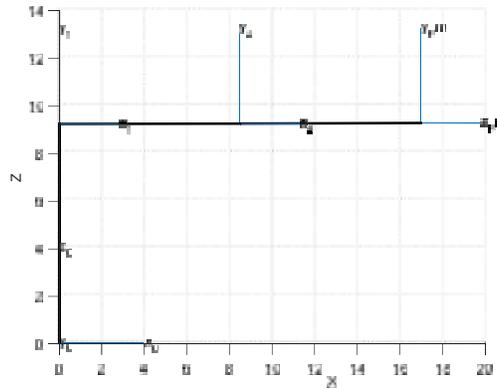


Figura 19. Esquema de alambres del robot desde el origen al punto de muñeca visto desde el eje Y_0 .

Seguidamente, se gira en sentido horario las articulaciones q_2 y q_3 , con el propósito de usar Pitágoras, y obtener como resultado la hipotenusa que relaciona los eslabones de longitudes L_2 y L_3 .

$$J^2 = (p_{mz} + l_1)^2 + D^2$$

Utilizando el teorema del coseno:

$$J^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2\cos q_3$$

Despejando el coseno:

$$\cos q_3 = \frac{J^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2}$$

$$\sin^2 q_3 + \cos^2 q_3 = 1$$

Despejando el seno, se tiene:

$$\sin q_3 = \text{codo} \sqrt{1 - \cos^2 q_3}$$

Donde la variable codo se tiene en cuenta debido a la dualidad en cuanto a la respuesta de una raíz cuadrada, siendo positiva en la configuración de codo abajo, y negativo en configuración de codo arriba:

$$\text{codo} = \pm 1$$

Para este caso se usará la configuración de codo abajo, mostrada en la figura 20.

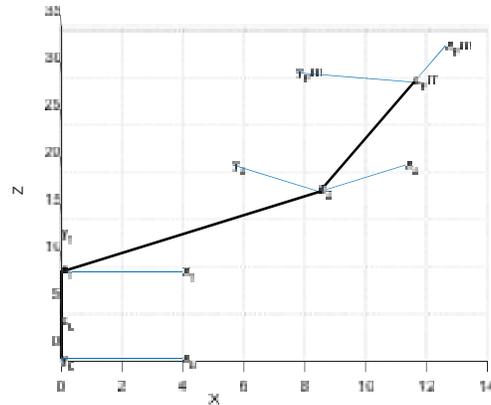


Figura 20. Esquema de alambres de robot en configuración de codo abajo.

Se obtiene por medio de la definición del arco-tangente que:

$$q_3 = \text{atan2}(\text{sen}q_3, \text{Cos}q_3)$$

q_2 es el ángulo comprendido entre la orientación de la articulación 2, y 3.

Al momento de hallar q_2 se utilizan dos variables auxiliares (α_2, β_2), donde:

$$\alpha_2 = \text{atan2}(p_{mz} - l_1, D)$$

α_2 es el ángulo que se encuentra entre el eje X_1 y la hipotenusa j.

$$\beta_2 = \text{atan2}(L_3 \text{sen}q_3, L_2 + L_3 \text{cos}q_3)$$

β_2 es el ángulo que se encuentra entre el eslabón L_2 y la hipotenusa J.

Al despejar se obtiene el ángulo q_2 :

$$q_2 = \alpha_2 - \beta_2$$

Cuando ya se han calculado todos los ángulos de la primera parte del robot este se observa en dirección opuesta al eje rotacional situado en la segunda mitad del brazo, así como se muestra en la figura 21.

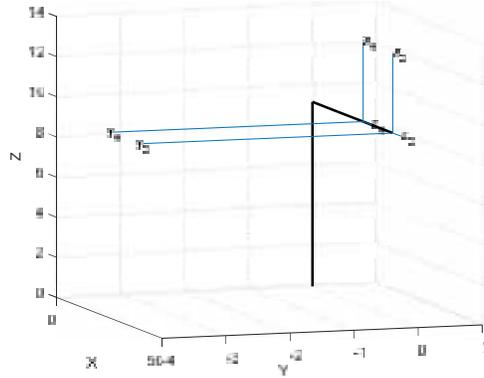


Figura 21. Esquema de alambres, vista en dirección opuesta al eje Z₅.

Utilizando la definición de producto punto, y rotando el eje quinto un ángulo comprendido entre 0° y 90°:

$$\hat{X}_3 \cdot \hat{Z}_4 = \text{sen}q_4$$

$$\hat{Y}_3 \cdot \hat{Z}_4 = -\text{cos}q_4$$

$$\hat{X}_4 \cdot \hat{X}_5 = \text{cos}q_5$$

$$\hat{X}_5 \cdot \hat{Y}_4 = \text{sen}q_5$$

Se obtiene que:

$$q_4 = \text{atan2}(\hat{X}_3 \cdot \hat{Z}_4, -\hat{Y}_3 \cdot \hat{Z}_4)$$

$$q_5 = \text{atan2}(\hat{X}_5 \cdot \hat{Y}_4, \hat{X}_4 \cdot \hat{X}_5)$$

Info métrica
Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas

4. RESULTADOS



Figura 22. Diseño final del brazo antropomórfico.

El robot presentó algunos problemas de locomoción siendo ésta en ocasiones intermitente, y al usar la cinemática inversa y directa se facilitó la programación.

A la hora de analizar el producto se ve que es más práctico que el robot descargue el material vaciando la caja, que en lugar de depositarla en la tolva.



Figura 23. Robot realizando el proceso.

5. CONCLUSIONES

El proyecto bien implementado en una empresa ya sea café u otro producto que pueda moverse de manera similar, al reducir los tiempos de descarga de la recámara genera grandes ganancias, puesto que se podrá obtener un mayor flujo del material.

A la hora de realizar la programación del brazo robótico si esta se hace de forma experimental tomará demasiado tiempo y será más larga, pues esta se basa en ensayo y error, mientras que al realizarse por cinemática inversa o directa, se observará una gran reducción de código y se tardará mucho menos, además de que el mismo modelo podrá ser reemplazado de forma más sencilla para futuras correcciones o cambios de posición.

Es muy importante seleccionar bien el efector final, que este sea acorde con la aplicación que se desea realizar puesto que de no ser la indicada se pueden ocasionar accidentes o daños en el producto que se desea manejar.

REFERENCIAS

M. C. Ospina, J. A. Angulo, A. M. Suarez, A. Suarez, "improvement of the supply system in multipack and rovema packaging machines to reduce ergonomic risk and improper operating times in a manufacturing company", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, no. 29, 5 Dic 2016

Historia de la robótica: de Arquitas de Tarento al robot Da Vinci (Parte I) *Actas Urológicas Españolas*, Volume 31, Issue 2, 2007 , Pages 69-76 F.M. Sánchez Martín, , F. Millán Rodríguez, , J. Salvador Bayarri, , J. Palou Redorta, , F. Rodríguez Escovar, , S. Esquena Fernández, , H.

Villavicencio Mavrich,

BARRIENTOS, A.; PEÑIN, L.; BALAGUER, C. & ARACIL, R., (2007): Fundamentos de Robótica. McGraw Hill. Madrid.

A. Pardo, I. Torres, E. Suarez, "Diseño e implementación de robot SCARA didáctico", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, no. 2, 2003

Lionel B, Thomas S. A statistical review of industrial robotic grippers. Elsevier., Volumen 87 , enero de 2017, páginas 226-236

Mesa Mesa, L., Barrera Lombana, N. (2013). La robótica educativa como instrumento didáctico alternativo en educación básica. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.

Sanchez Dams, R. (2013), Estado del arte del desarrollo de sistemas embebidos desde una perspectiva integrada entre el hardware y software. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.

Torres, C., Archila, J., Tronco, M., Becker, M., Viera Porto, A (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.

E. A. Rodríguez, E. J. Cortés, C. A. Peña, "application of the qfd methodology in the development of a 3d printer", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, no. 28, 11 May 2016

© 2016 GrabCAD, a STRATASYS solution <https://grabcad.com/library/a-robotic-arm-1>

"Franka: A Robot Arm That's Safe, Low Cost, and Can Replicate Itself - IEEE Spectrum". <http://spectrum.ieee.org/robotics/industrial-robots/franka-a-robot-arm-thats-safe-low-cost-and-can-replicate-itself>. (Abril 23, 2017).

ELECTRÓNICA TEORÍA DE CIRCUITOS. Robert Boylestad, Louis Nashelsky. Editorial Prentice Hall. 5ª edición Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos.

Datasheet IRF510 <http://www.futurlec.com/Transistors/IRF510.shtml>

Electrónica industrial moderna. Maloney, Timothy. Editorial Prentice Hall. 5ª edición.

MicroHop,"Cálculo de disipadores", última revisión en Febrero de 2003, disponible en; <http://microhop.net/articulos/articulos-electronica-general/calculo-dedisipadores/>

Universidad Politécnica de Catalunya,” Disipadores térmicos para dispositivos electrónicos”, realizado por; Alfonso Méndez, revisión en Enero de 2016 disponible en; http://iebsrv1.upc.es/gieb/tecnicas/pdf/disipadores_termicos.pdf

M. C. Duque, D. M. Rodríguez, S. I. Quintero, O. M. Duque, “proposal of a formal methodology for the design of kinematic and dynamic control systems in serial industrial handlers”, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, no. 27, 27 Oct 2015

