

Diseño e Implementación de un Brazo Robótico para el Corte de Poliestireno Expandido.Enrique Villamizar¹

Resumen- La vida cotidiana presenta día a día procesos que requieren ser tratados, que surgen de nuevas necesidades o de necesidades ya existentes; estos procesos en muchos ámbitos son asumidos como retos, para darles una respuesta o solución a la necesidad que este conlleva. Desde que surgió la robótica la meta fue clara, asumir procesos para la solución de necesidades humanas; desde aquí se forja el camino para el empleo de la robótica y el auge que tiene hoy en día, siendo uno de los procesos más empleados en los campos de la automatización de procesos.

Es trabajo se basa en el empleo de la robótica, para facilitar trabajos que por lo común son de índole artesanal, como lo es el corte de piezas en poliestireno expandido, que es un material plástico espumo muy usado en procesos de ornamentación, publicidad, señalización y en otros campos de la cotidianidad. Se trata básicamente de construir un brazo articular, que manipule una herramienta de corte, está entrando en contacto con el material y siguiendo los algoritmos de control establecidos, defina físicamente una figura establecida desde un modelo CAD. El movimiento del efector estará determinado por los diferentes movimientos de los motores que componen las articulaciones del brazo, a partir del modelado cinemático del robot, que junto con el diseño mecánico se establecieron las relaciones que nos brindaran la determinación del mayor área de trabajo posible. Así mismo establecer un punto de partida para futuras investigaciones hacia tareas de corte más avanzadas para distintos materiales.

Palabras clave- Robótica, automatización, corte, poliestireno.

Abstract-The daily life presents everyday processes that need to be addressed, needs arising from new or existing needs; these processes in many areas are assumed as challenges, to give you an answer or solution to the need that this entails. Since the goal came robotics was clear, assume processes to solve human needs, from here is forged the way for the use of robotics and the boom that has today, being one of the processes employed in the fields of process automation.

It's work is based on the use of robotics to facilitate jobs are usually handmade nature, such as cutting pieces of expanded polystyrene, which is a foamed plastic material widely used in ornamentation processes, advertising, signage and in other areas of everyday life. It is basically to build a joint arm, handling a cutting tool is contacting with the material and following the established control algorithms, physically define a figure set from a CAD model. Effector movement is determined by the different movements of the motors that make the joints of the arm, from the kinematic modeling of the robot, together with the mechanical design established relationships that provide us with the determination of more workspace possible. Also establish a starting point for future research into more advanced tasks for cutting different materials.

Keywords- Robotics, automation, cutting, polystyrene.

¹ Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Mecánica e Industrial. Programa de Ingeniería Mecatrónica. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: vmlenrique@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN.

Cuando se trata del mecanizado de materias, surgen ciertos tipos de inconveniente que obedecen al tratamiento desde la mano del hombre; con los sistemas de automatización para estos procesos su busca erradicar dicho inconvenientes y obtener mejores resultados tanto en apariencia y función de las piezas mecanizadas. En el corte de piezas los problemas están asociados a precisión y acabado del corte, la velocidad, el consumo de energía, el desperdicio de material, entre otras.

El desarrollo de la robótica a nivel mundial ha dado para miles de aplicaciones; los robot que hacen trabajo de corte son empleados cuando las condiciones no son seguras para que las ejecute un ser humano [1]; además de atender a criterios de automatización para procesos industriales, en pocas palabras simplicidad y seguridad [5].

Hay procesos en los que se requieren realizar cortes de materiales que por naturaleza son bastante duros, otros que pueden presentar grados de radiación[3]; no solo se trata de los materiales en sí, las herramientas de corte pueden generar complicaciones, por ejemplo las que utilizan gases de gran combustión para generar la llama de corte. Existen lugares donde se hacen desacoples de equipos que contienen materiales nucleares o radiactivos, que utilizan brazos robóticos para realizar cortes seguros y prevenir riesgos de contaminación. Hoy en día se han desarrollado nuevas técnicas por ejemplo para la soldadura y acabados que emplean manipuladores que logran obtener una mejor precisión que se ha de reflejar visualmente[3]; este tipos de robot idealizado como tal para la manufactura cuentan con gran variedad de funcionalidades según los elementos que le acompañen, por ejemplo un manipulador que cuentan con camaras es capaz de escanear un objeto para luego reproducirlo en algún material selecto[7]; este tipo de aplicaciones corroboran la importancia de la robótica en campos industriales.

En campos como en el de la salud es común encontrarnos manipuladores que son capaces de realizar cortes de hueso o de tejidos blandos [6], al momento de realizar una cirugía, utilizados en gran parte por la seguridad que brindan [8]. Así como en la industria alimenticia mecanismos que realizan cortes según parámetros especiales para reducir la cantidad de desperdicios o la selección según los criterios que se establezcan

Gracias a las herramientas que son aplicables a la robótica como la visión artificial y los métodos de control hacen posible la aplicación en esta infinidad de campos, convirtiéndose en objetos cada vez más cotidianos, indispensables y necesarios.

Este trabajo se divide en tres etapas de desarrollo; empezando por el diseño mecánico y la construcción, buscando la mejor adaptación del sistema para cubrir mejor el espacio de trabajo, es escogió un modelo tipo antropomórfico que nos brinda gran flexibilidad para el movimiento. La siguiente etapa se basa en la aplicación de la cinemática para el control total del robot, desde sus articulaciones y la herramienta de corte o efector final; y por último el desarrollo de algoritmos que permitan la funcionalidad del robot, es decir, establecer los métodos que nos permitan que el robot haga el corte según el modelo CAD que le sea indicado.

Podemos decir que se ha optado por el empleo de un manipular robótico, a un trabajo que eficaz mente lo puede realizar una máquina de control numérico, debido a que el costo puede llegar a ser extremadamente menor, al utilizar un brazo robótico tenemos una mayor flexibilidad y el espacio que este puede ocupar es mucho menor, al ocupado por la máquina. A demás de los beneficios que este indicaría en cuanto a mantenimiento y consumo de energía.

II. DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA

A. Diseño Mecánico

Para el diseño del robot es preciso identifica un software que nos permita además de la creación del diseño en sí, aplicar un análisis básico ingenieril para especificar algunas características físicas y tener una idea sobre su desempeño, tales características serán dimensiones, tipo de materiales, simulaciones para establecer comportamientos de movilidad entre eslabones, restricciones de movimiento, entre otras. El software implementado en este trabajo fue Solidworks, gracias a que el software s un modelador de sólidos perimétrico, se pueden montar el ensamble de las piezas y tener una impresión inicial del funcionamiento físico del robot.



Figura 1 .Diseño Mecánico

Una vez realizado el diseño se hizo la discusión de qué tipo de material se iba a emplear para las piezas que componen el robot, atendiendo a criterios de economía, facilidad de manejo, popularidad y disponibilidad; se optó por escoger acrílico de 2mm de espesor, se determinó que contaba con la rigidez suficiente para el soporte de las demás piezas, es fácil de manipular y mecanizar, además de que nos brinda una estética visual agradable.

El corte se realizó en una máquina de control numérico laser, con lo que obtuvimos una mejor precisión y acabado en las piezas, para atender a los criterios de concordancia de las piezas que nos determinaran una mejor estabilidad.

El diseño se elaboró en base a un robot antropomórfico de cuatro grados de libertad, todas la articulaciones son de tipo giratorias en diferente disposición; los eslabones son binarios pues conectan en sus extremos con el siguiente formando las articulaciones, dos piezas conforman cada eslabón, y están unidas por medio de tornillos.



Figura 2. Estructura física.

B. Descripción del Sistema.

Inicialmente se encuentra en la base un servo motor que nos permitirá el movimiento giratorio del manipulador; las demás articulación también presentan servomotores con movimiento giratorio pero serán utilizadas para la ubicación geométrica del efector final en el espacio. El efector final se compone de una aguja acoplada con hilo de ferroníquel; este material al ponerse en tensión eléctrica se calienta lo sufriente para realizar los cortes sobre el poliestireno. El espacio de trabajo está determinado hasta una lámina de 30 * 30 centímetros.

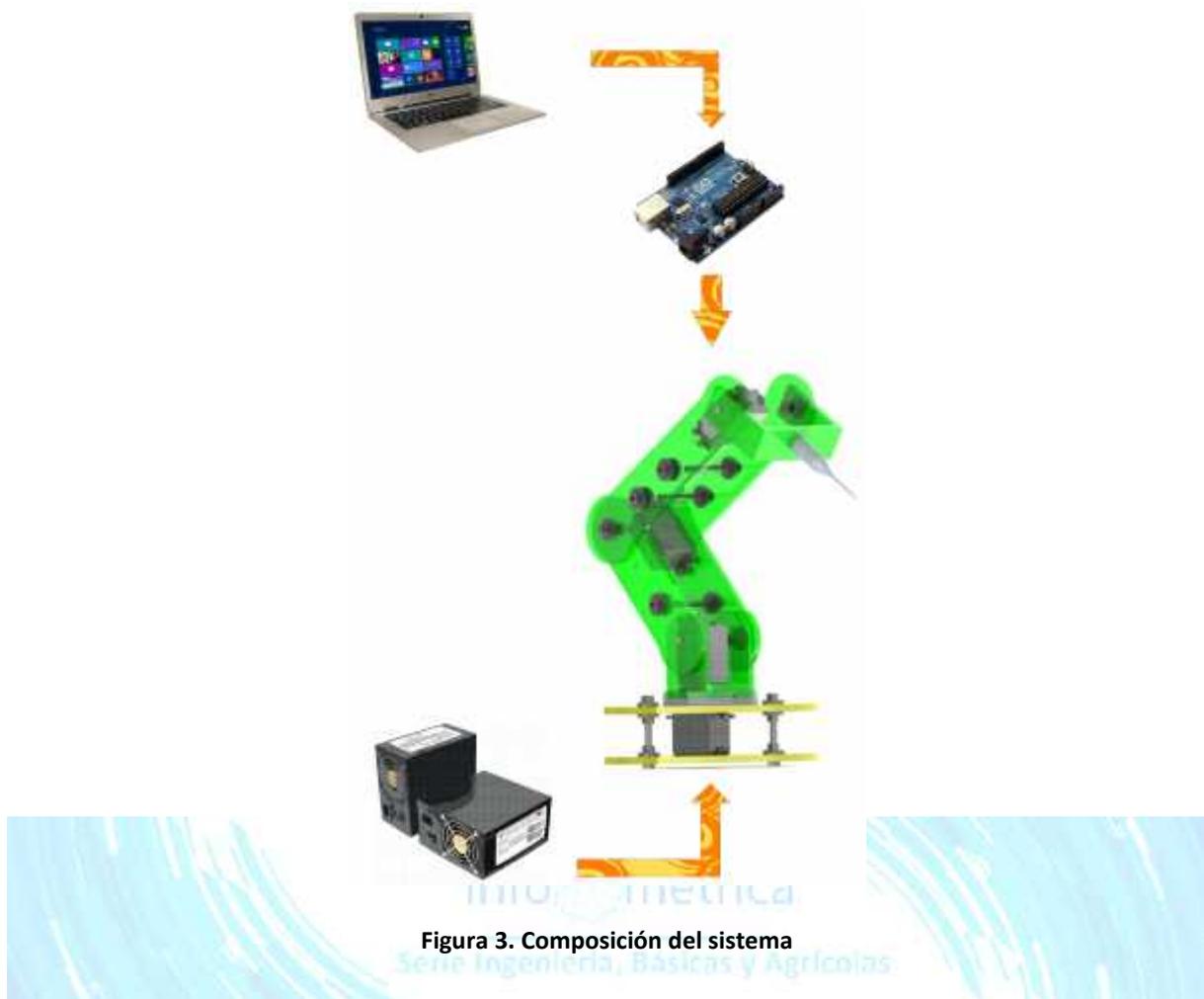


Figura 3. Composición del sistema

C. Control

El control del robot utiliza una tarjeta de desarrollo arduino, que presenta múltiples ventajas con respecto a realizar el control en base a microcontroladores u otros métodos. Dicha tarjeta está basada en software y hardware libre, lo que representa grandes ventajas pues no genera costo económico utilizar el lenguaje; Wiring es el lenguaje de base de la tarjeta, un lenguaje atractivo y fácil de usar. Además de las características físicas de la tarjeta la convierte en ideal para nuestra aplicación.

Al mismo tiempo se logró establecer una interfaz de comunicación, entre la tarjeta arduino y el programa MATLAB, el trabajo en Matlab gracias a que es su especialidad el desarrollo matemático para control, nos permiten crear los algoritmos de funcionalidad del robot, además de hacer los respectivos análisis desde posición, localización coordinada espacial, velocidad y aceleración de cada una de las articulaciones y del efector final. Además de ello nos permitirá visualizar la simulación del control virtual del robot.

D. Celda de Trabajo



Figura 4. Celda de trabajo

Además del manipulador como tal, la celda está compuesta por una base donde se ensambla el manipulador y la tarjeta de control; y el escenario de trabajo compuesto por una estructura adecuada para la inserción de las láminas de corte de 30*30 centímetros; debido a que la herramienta de corte trabaja a muy altas temperaturas se adecuo un interruptor de encendido y apagado de la herramienta por seguridad

III. ANÁLISIS CINEMÁTICO.

A partir del análisis cinemático se lograran crear los algoritmos de control, para las rutinas que desarrollara el sistema; con la cinemática directa se establecerá la posición y la orientación del efector final, si se conocen los ángulos de variación da cada articulación. Con la cinemática inversa se logra establecer el valor de cambio de las articulaciones se se conoce la posición y orientación del efector final.

A. Cinemática Directa.

Para la realización del modelo cinemático se optó por la ubicación de una posición más cómoda para el análisis que se representa esquemáticamente de la siguiente manera:

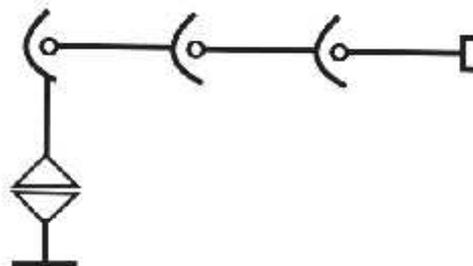


Figura 5. Vista esquemática.

Utilizando el método del algoritmo Denavit-Hartenberg para obtener los parámetros referentes a cada articulación; se debió establecer la cantidad de articulaciones, los eslabones fijos y móviles del sistema, y los ejes de movimiento. Obteniendo así la representación de los sistemas de referencia para cada movimiento y los parámetros de Denavit-Hartenberg.

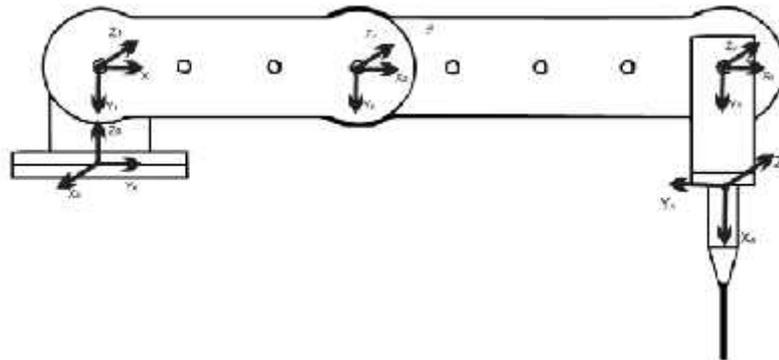


Figura 6. Ubicación de los ejes de referencia.

	Θ	d	a	α
1	$90+q_1$	L_1	0	-90
2	q_2	0	L_2	0
3	q_3	0	L_3	0
4	q_4	0	L_4	0

Tabla 1. Parámetros Denavit-Hartenberg

Con la obtención de estos parámetros se pueden establecer las matrices de referencia de un sistema con respecto a otro, así como las matrices de cada sistema con respecto a la inicial. Estas matrices contienen los datos en los cuales se puede representar la posición y orientación de cada sistema para el movimiento de cada articulación.

$${}^{i-1}A_i = Rotz(\Theta_i)T(0,0,d_i)T(a_i,0,0)Rotz(\alpha_i) \quad (1)$$

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

Ecuación 2. Matriz Denavit-Hartenberg

B. Cinemática Inversa.

Mediante métodos geométricos establecemos configuraciones para nuestro sistema con los cuales podemos obtener los ángulos de las articulaciones.

Para la obtención de q_1 correspondiente a la primera articulación se toma una vista superior del sistema y se hace una variación del ángulo respecto a la posición original.

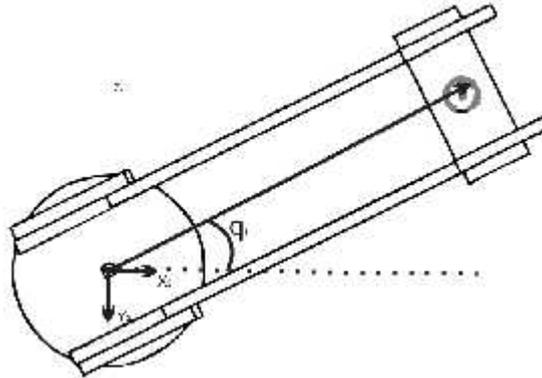


Figura 7. Vista Superior.

Debido a que el sistema tiene mas de tres grados de libertad, tenemos que hacer un desacoplo cinemático, el cual consiste en encontrar un punto para el análisis de las tres primeras articulaciones, dicho punto se conoce como punto muñeca o pm, se conoce la **posición y orientación** del efector se encuentra así la relación para obtener q_1 .

$$pm = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = x_3 l_3 \quad (3)$$

$$q_1 = \text{atan2}(-Pmx, Pmy)$$

Ecuación 4. Obtención q_1 y Agrícolas

Para obtener q_2 y q_3 se toma una vista frontal donde se denotan las variaciones de ambos ángulos. Se crea un vector J que une el punto inicial del eslabón 2 y 3, que relaciona los ángulos q_2 y q_3 . A partir de esta relación se obtiene la expresión que representa a q_3 . Se apoyan en los ángulos α y β , para obtener la expresión de q_2 .

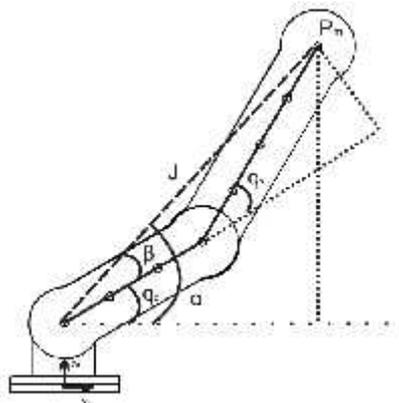


Figura 8. Vista frontal

Mediante procedimientos geométricos utilizando trigonometría se determinan los parámetros para hallar q_2 y q_3 .

$$\cos q_3 = \frac{l^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \quad (5)$$

$$\sin^2 q_3 + \cos^2 q_3 = 1 \quad (6)$$

$$\sin^2 q_3 = \sqrt{1 - \cos^2 q_3} \quad (7)$$

$$q_3 = \text{atan2}(\sin q_3, \cos q_3)$$

Ecuación 8. Obtención q_3

$$\alpha = \text{atan2}((Pmz - L_1), Pmy) \quad (9)$$

$$\beta = (L_3 \sin q_3, L_2 + L_3 \cos q_3) \quad (10)$$

$$q_2 = \alpha - \beta$$

Ecuación 11. Obtención q_2

Para obtener el ultimo ángulo q_4 , se hace mediante una relación de sus vectores unitarios; debido a que se conoce la matriz de transformación homogénea del efector final, se obtienen los vectores unitarios de la orientación de este; como ya se calculó q_3 , se aplica los parámetros de Denavit-Hartenberg para este ángulo y se obtienen los vectores unitarios del mismo con lo que se pueden relacionar de la siguiente manera.

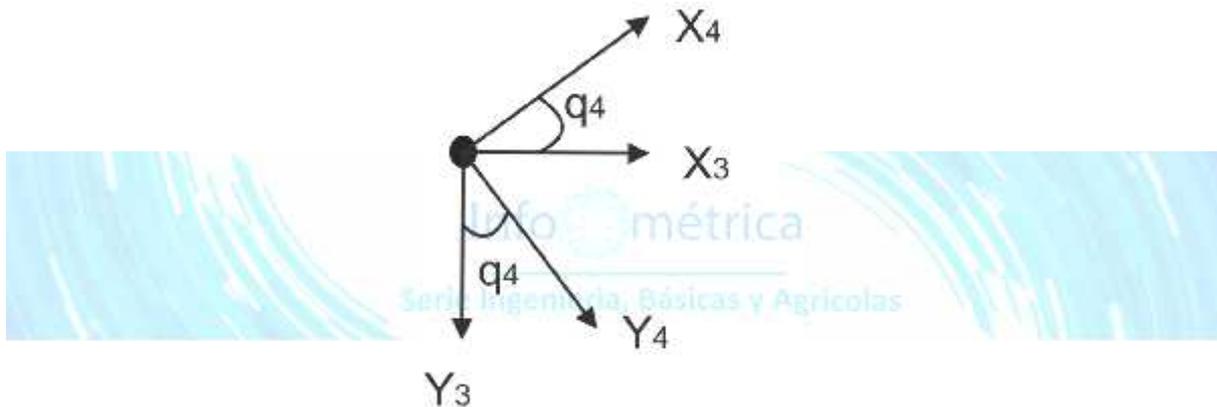


Figura 9. Relación de vectores Unitarios.

Mediante la definición del producto punto de los vectores y de identidades trigonométricas se obtienen las relaciones para conocer el valor de q_4 .

$$X_4 \cdot X_3 = \cos q_4 \quad (11)$$

$$X_4 \cdot Y_3 = -\sin q_4 \quad (10)$$

$$q_4 = \text{atan2}(-\sin q_4, \cos q_4)$$

Ecuación 13. Obtención q_4

Así se obtienen los valores de las articulaciones del robot, lo cual permite ejercer el control de la posición para una aplicación determinada.

IV. DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL.

A. Descripción de la rutina.

Inicialmente se establece una posición inicial o de partida, se carga el programa que contiene la rutina a ejecutar para el corte de una figura determinada; se debe encender la herramienta de corte que tiene una fase de tensión aparte de los motores debido a que maneja altas temperaturas y a criterios de seguridad se realiza un control aislado. Se ejecuta el programa y el sistema realizara el corte de la figura establecida; una vez finalizado el corte se procede a desactivar la herramienta de corte y el robot regresara a su posición inicial.

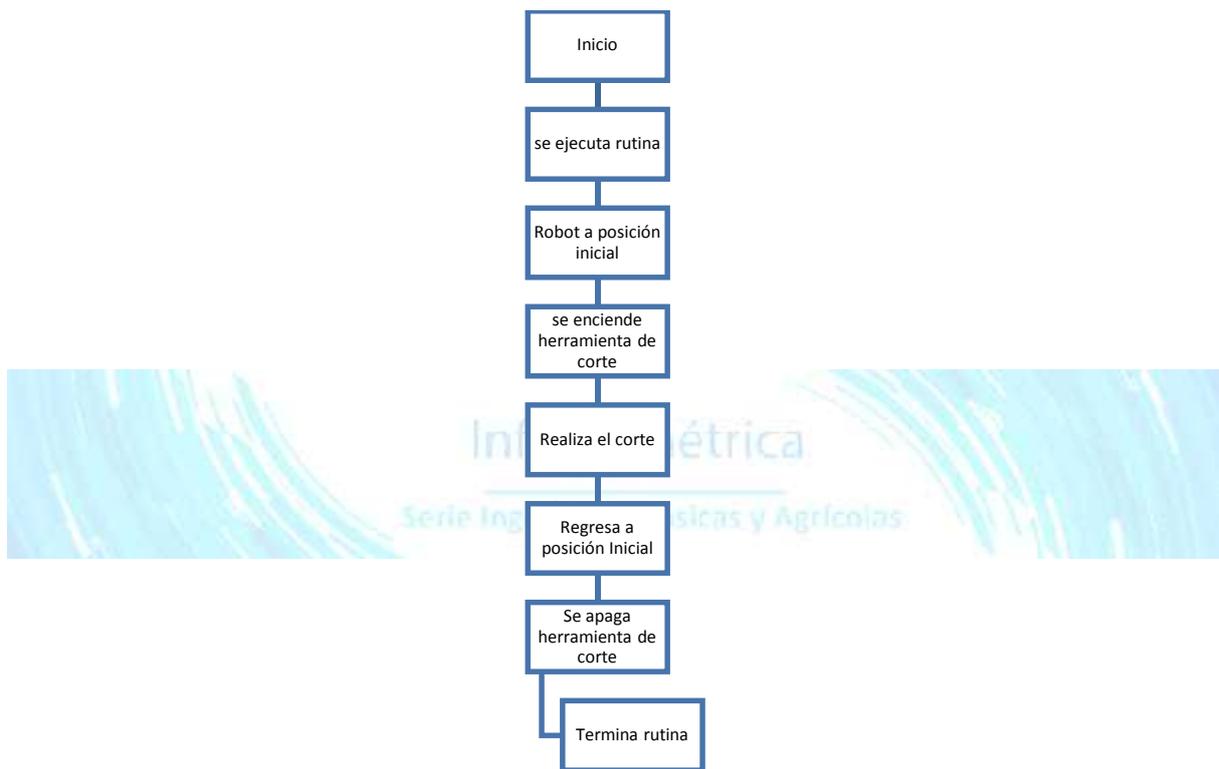


Figura 10. Flujo grama de la Rutina.

V. RESULTADOS.

Con el desarrollo del modelado cinemático se obtienen herramientas para el control del robot físicamente, contamos con el software Matlab, donde se escribe el código que establece el modelado cinemático, que facilitara la solución de cálculos para trabajo en tiempo real; la flexibilidad de este programa permite hacer una simulación mediante los archivos generados por el CAD del diseño para tener una muy cercana aproximación del desempeño del sistema real.

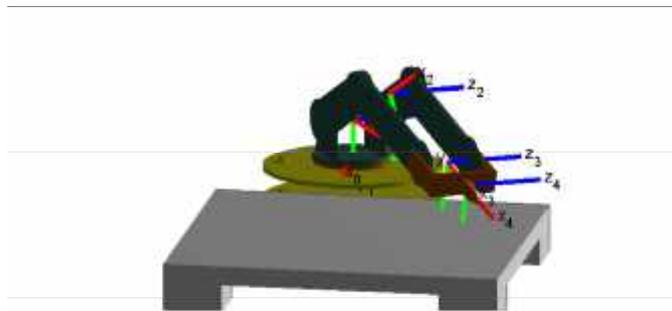


Figura 11. Simulación en Matlab

Gracias a la versatilidad del programa se obtiene en tiempo real tanto la simulación de la rutina como el trabajo en tiempo real; además de ello se logra establecer una reducción en tiempos de movilidad de los motores del robot, con lo que se logra una mejor estabilidad en el trabajo del mismo; se establecen planeadores de trayectorias con lo que se obtiene un listado amplio de los valores de los ángulos de las articulación entre dos puntos en el espacio.

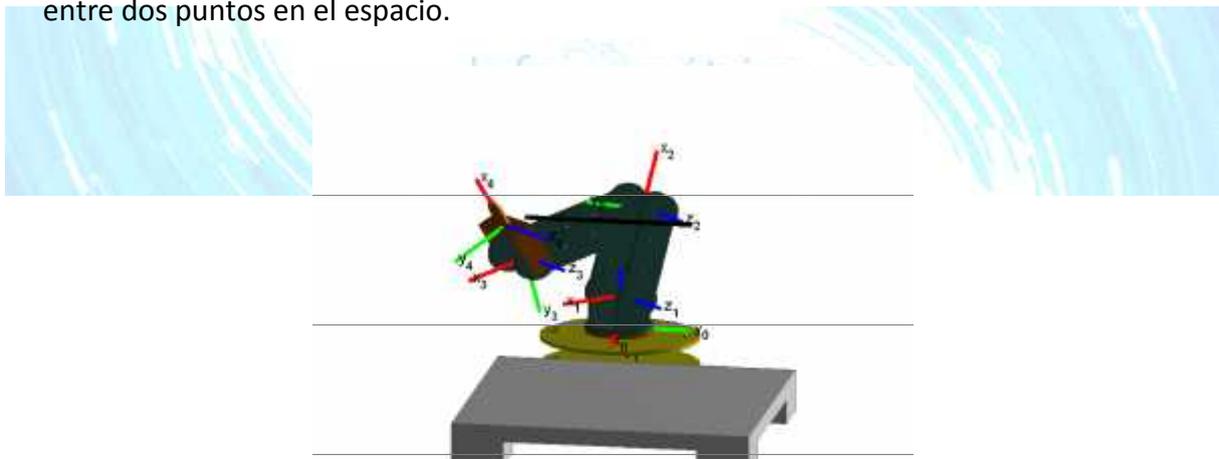


Figura 12. Trayectoria en el Espacio.

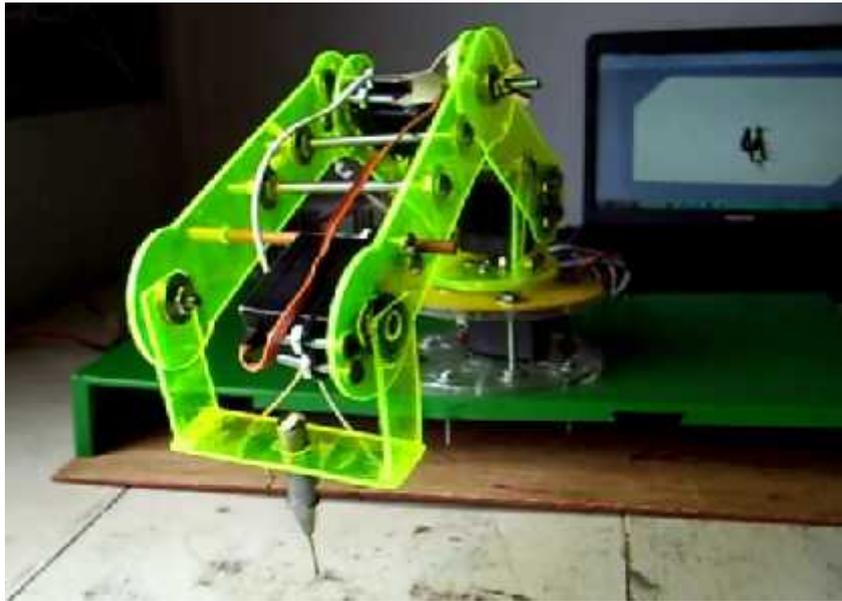


Figura 13. Ejecución en Tiempo Real.

Gracias a que se obtienen los tiempos de ejecución, y se tiene un dominio absoluto sobre la movilidad del sistema se aplican herramientas computacionales y analíticas para obtener las reacciones estáticas y dinámicas del sistema; como velocidades, aceleraciones, relaciones de fuerzas, entre otras; con lo que se logra tener un mejor dominio del sistema, para hacer simulaciones más aproximadas a la realidad o para el desarrollo de controladores que le brinden una mejor estabilidad al sistema, reflejada en la eficacia del mismo.

En la fase de desarrollo actual se establecen figuras básicas como cuadros, rectángulos, triángulos y círculos; en la cual para cada una se crean una rutina determinada donde se establecen los puntos límites para las esquinas o radios y diámetros para las circulares, además de las posiciones espaciales. En la próxima etapa de este proyecto se estima que se puedan cortar figuras desde un archivo base como un CAD de cualquier tipo de forma; por ahora es un aproximado mediante modelado cinemático básico.

VI. CONCLUSIONES

Los métodos de corte para este tipo de materiales suelen ser artesanales o manuales, con lo que se tiene una mala precisión del mismo. Cuando se emplean máquinas estas suelen ser de alto costo con lo que se limita un poco el empleo de las mismas para usuarios de bajo perfil o artesanos; se propone una herramienta de costo moderado con la que se puedan obtener formas precisas de una manera fácil y práctica.

A partir del modelado cinemático obtenemos una buena aproximación del objetivo final, que acompañados de procesos aplicables en la robótica y en el control se espera tener una herramienta útil y funcional.

Este tipo de aplicaciones a procesos que pueden ser simples o mas complejos tienen una gran acogida, pues logran hacer parte de los métodos para la investigación; que a largo plazo contribuyen al desarrollo del país.

REFERENCIAS

KiSung Yoo; HwangRyol Ryu; Chintae Choi, "Control Architecture Design for an Gas Cutting Robot," *Future Generation Communication and Networking Symposia, 2008. FGCNS '08. Second International Conference on*, vol.4, no., pp.66,71, 13-15 Dec. 2008 doi: 10.1109/FGCNS.2008.130.

Chunfu Gao; Zhiyong Luo; Xinsheng He, "Study on the auto-searching line mobile robot for cutting steel plate based on CCD vision," *Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010 International Conference on*, vol.3, no., pp.127,130, 24-26 Aug. 2010 doi: 10.1109/CMCE.2010.5610377

Zaeh, Michael F.; Hatwig, Jens; Musiol, Jan; Roesch, Oliver; Reinhart, Gunther, "Analysis of the Accuracy of Industrial Robots and Laser Scanners for Remote Laser BeamWelding and Cutting," *Robotics (ISR), 2010 41st International Symposium on and 2010 6th German Conference on Robotics (ROBOTIK)*, vol., no., pp.1,8, 7-9 June 2010

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.

Mitsubishi, M.; Warisawa, S.; Sugita, N.; Suzuki, N.; Suzuki, M.; Moriya, H.; Fujiwara, K.; Abe, N.; Nishida, K.; Hashizume, H.; Inoue, H.; Inoue, T.; Kuramoto, K.; Nakashima, Y., "Development of a bone cutting robot for total knee arthroplasty," *Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*, vol.4, no., pp.3302,3308 vol.4, 28 Sept.-2 Oct. 2004 doi: 10.1109/IROS.2004.1389926

Haoting Liu; Wei Wang; Xinfeng Li; Fan Li, "Defect segmentation of fiber splicing on an industrial robot system using GMM and graph cut," *Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2012 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.1968,1972, 11-14 Dec. 2012 doi: 10.1109/ROBIO.2012.6491256

Fan Mingyue; Xiao Juliang; Wang Gang, "Optimum Path Planning for Multi-robot H-beam Cutting System," *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2011 Third International Conference on*, vol.2, no., pp.823,826, 6-7 Jan. 2011 doi: 10.1109/ICMTMA.2011.489

Fleck, S.; Busch, F.; Biber, P.; Strasser, W.; Andreasson, H., "Omnidirectional 3D Modeling on a Mobile Robot using Graph Cuts," *Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005*.

Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on, vol., no., pp.1748,1754, 18-22 April 2005
doi: 10.1109/ROBOT.2005.1570366

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.

Debao Zhou; Claffee, M.R.; Kok-Meng Lee; McMurray, G.V., "Cutting, 'by pressing and slicing', applied to the robotic cut of bio-materials. II. Force during slicing and pressing cuts," *Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.2256,2261, 15-19 May 2006
doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642039

Santafé, Y., Chaparro, B., Franco, J. (2013). Detección de patrones característicos con transformadas wavelet en señales electromiográficas del cuádriceps. Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.

Zhenbang Gong; Min Li; Yanan Zhang, "An inspecting micro robotic system for cutting through the narrow slits," *Mechatronics and Automation, 2005 IEEE International Conference*, vol.4, no., pp.1867,1871 Vol. 4, 29 July-1 Aug. 2005
doi: 10.1109/ICMA.2005.1626846

Masood, Jawad; Zoppi, Matteo; Molfino, Rezia, "Application of Pseudo-Elastic Wire for Hybrid Cutting Robotic Tool," *Robotics (ISR), 2010 41st International Symposium on and 2010 6th German Conference on Robotics (ROBOTIK)*, vol., no., pp.1,8, 7-9 June 2010