

Diseño y Construcción de un Brazo Robótico Manipulador Móvil

¹Grupo de trabajo en robótica,
itrobotica@gmail.com
Instituto Tecnológico de Puebla

Jairo Pérez P.
jairo.perez@upaep.edu.mx
Instituto Tecnológico de Puebla, UPAEP-CIP

Resumen

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un brazo manipulador con fines didácticos, haciendo reingeniería en brazos robóticos conocidos como Kuka KR 5 sixx R650, PUMA, eligiendo las mejores características de cada uno de ellos y plasmándolas para tener un robot resistente. El trabajo se realizó a lo largo de la materia de robótica avanzada, en los cuales se dedicaron a tomar medidas, elegir motores y materiales adecuados para la construcción de nuestro brazo. Además se hicieron cotizaciones para tomar las mejores decisiones entre calidad y precio. Se hizo el diseño en Solidworks con la finalidad de poder tener una mejor idea de cómo funcionaría y como luciría al final. Lo que se obtuvo de este trabajo fue un brazo manipulador fácil de entender y fácil de manejar, con las características de brazos industriales pero con la ventaja de poder ser entendido y utilizado por cualquier persona.

Palabras Clave

Brazo robot, automatización, movimiento, diseño, construcción.

1. Introducción

Un brazo manipulador o brazo robótico se puede definir como el conjunto de elementos electromecánicos que propician el movimiento de un elemento terminal (gripper o herramienta).

La constitución física de la mayor parte de estos manipuladores guarda cierta similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano, por lo que, en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen al robot, se usan términos como: cintura, hombro, brazo, codo, muñeca, etc. Como se muestra en la imagen 1.

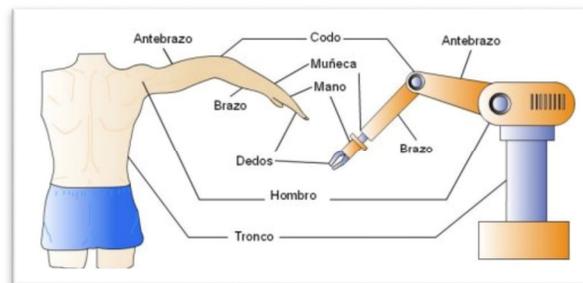


Imagen 1. Relación brazo robot y humano

Tomando en cuenta que la mayoría del equipo robótico dentro de un área académica y de investigación son de tipo industrial o comercial, los cuales ya están especificados y caracterizados, además en la literatura revisada son pocos los modelos de robots de diseño propio en los cuales se basan más a su control que a su modelado.

Grupo de trabajo en robótica: Meliton F. Santiago Maldonado, José A. Cerezo Vázquez, Juan C. Aguayo Barrientos, José C. García Tenorio, Jared González Escalante, Miguel A. Palacios Conde, Eber Pérez Gil, Rafael S. Zamora Cuatlayo. Aldair Galicia Aguilar.

Este proyecto surge de la necesidad de saber cuáles son los procedimientos a seguir para el diseño de brazos robóticos de principio a fin, conocer cuáles son los alcances de los conocimientos obtenidos en la materia de robótica, y no solo conformarse con los diseños comerciales conocidos como KUKA o ABB, sino hacer uno propio.

2. Robótica.

Robot proviene de la palabra checa robota que significa “trabajo forzado”. Fue aplicada por primera vez a las máquinas en los años 1920. Sin embargo, los robots que se mueven por sí mismos son mucho más viejos que eso. Alcanzaron la altura de la perfección en los autómatas relojeros del siglo XVIII, los cuales realizaban acciones complejas para la diversión de sus ricos propietarios, por ejemplo, escribir una frase completa. Estos primitivos robots eran enteramente movidos por complejos engranajes y palancas.

2.1. Brazo manipulador.

Un brazo robótico es un tipo de brazo mecánico, normalmente programable, con funciones parecidas a las de un brazo humano; este puede ser la suma total del mecanismo o puede ser parte de un robot más complejo. Las partes de estos manipuladores o brazos son interconectadas a través de articulaciones que permiten, tanto un movimiento rotacional (tales como los de un robot articulado), como un movimiento traslacional o desplazamiento lineal.



Imagen 2. Brazo manipulador Kuka.

2.1.1. Clasificación de los brazos manipuladores.

Existen varios tipos de clases de robots manipuladores, sin embargo, lo concerniente a control de manipulador se centra principalmente en la definición del Robot Institute of América, sobre robots inteligentes. La Tabla 2 muestra las diversas clasificaciones.

Tabla 1. Clasificación de los manipuladores

Tipología y descripción según la acepción europea y la RIA (1)	Clasificación según JIRA (2)	Clasificación según AFRI (3)
1) Manipulador simple Sistema mecánico poliarticulado y multifuncional concebido para ayudar al hombre y mandado directamente por este. Su nivel de automatización es muy pequeño o nulo.	A) Manipulador manual Manipulador operado directamente por el hombre.	A) Manipulador manual Dispositivo manipulador mandado por el hombre, con un mínimo de 4 grados de libertad. A1) Manipulador de asistencia manual. El mando se hace por acción directa sobre la carga o en su proximidad. A2) Tele manipulador El mando se hace a distancia por medio de palancas o pulsadores.

Grupo de trabajo en robótica.

<p>2) Manipulador secuencial Manipulador que realiza paso a paso de forma autónoma, tareas repetitivas en condiciones preestablecidas.</p> <p>2ª) Manipulador La de paso y las condiciones difícilmente variables.</p> <p>2b) Manipulador de secuencia variable. Tanto la secuencia como las condiciones pueden cambiarse con facilidad poseyendo cierta flexibilidad.</p>	<p>B) Manipulador secuenciales Manipulador cuyas etapas operan secuencialmente de acuerdo con el procedimiento preestablecido.</p> <p>B1) Robot de secuencia fija La información preestablecida no se puede cambiar fácilmente.</p> <p>B2) Robot de secuencia variable La información preestablecida se puede cambiar fácilmente.</p>	<p>B) Manipulador automático(MA) Dispositivo de manipulación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multieje ▪ No servocontrolado. ▪ De ciclo automático <p>B1) MA de secuencia fija Regulado mecánicamente mediante topes, levas..</p> <p>B2) MA de secuencia Variable Programable por el usuario mediante matrices de diodos , autómatas programables microprocesadores y en el que es ajustado mecánicamente por medio de topes o levas.</p>
<p>3) Robot de aprendizaje Manipulador que repite una secuencia que ha almacenado en su memoria y que con anterioridad ha aprendido mediante la enseñanza de un operador humano, existiendo diversas formas de realizarla</p>	<p>C) Robot de aprendizaje El operador enseña al manipulador la forma de trabajo, manejándolo directamente, para que el robot la memorice; a continuación puede repetir continuamente sus operaciones.</p>	<p>C) Robot programable de 3 o más ejes, servocontrolado con trayectoria continua o punto a punto. Programable por aprendizaje y/o lenguaje simbólico.</p> <p>C1) MA Con menos de de 5 ejes y servocontrolado con trayectoria continua o punto a punto.</p> <p>C2) MA con 5 o mas ejes y servocontrolado con trayectoria punto a punto.</p> <p>C3) MA con 5 o mas ejes, con trayectoria continua.</p>
<p>4) Robot con control numérico Manipulador que recibe las ordenes relativas a la secuencia y condiciones de trabajo directamente en forma numérica.</p>	<p>D) Robot con control numérico. El manipulador puede ejecutar la operación encomendada de acuerdo con la información almacenada cerca de la posición, secuencia y posición.</p>	<p>C1) MA Con menos de de 5 ejes y servocontrolado con trayectoria continua o punto a punto.</p> <p>C2) MA con 5 o mas ejes y servocontrolado con trayectoria punto a punto.</p> <p>C3) MA con 5 o mas ejes, con trayectoria continua.</p>
<p>5) Robot inteligente Manipulador dotado de un complejo sistema de control, comportando una cierta inteligencia artificial y dotado de un equipo de sensores que le permite examinar variaciones de su entorno y decidir en tiempo real, en la función del contexto, las acciones a realizar y las secuencias de trabajo. Robot con el máximo nivel de automatización posible,</p>	<p>E) Robot inteligente Robot que puede decidir su comportamiento a través de su capacidad sensorial y de reconocimiento.</p>	<p>D) Robot “Llamado Inteligente” MA servocontrolado capaz de analizar las modificaciones de su entorno y reaccionar de forma consecuente. Se excluyen a las modificaciones triviales provenientes de los captadores todo o nada.</p>

2.2. Robots móviles

Al brazo que se va a construir, se le incorporara un robot móvil tipo triciclo, por lo que tenemos que tener presentes, todo lo que conlleve un robot móvil. A continuación presentamos datos sobre dichos robots.

Dentro de la robótica se encuentra el campo de los robots manipuladores, que ha experimentado un alto desarrollo desde la década de los setenta, y la denominada robótica móvil, que ha cobrado una importancia creciente durante los años ochenta y noventa.

Los robots hoy en día son en su mayoría excesivamente caros y su función está muy especializada, por lo que, los estudios actuales se centran en conseguir que sean más generales y económicos, de tal manera que sean accesibles a todas las personas que quieran resolver algún problema en sus tareas cotidianas.

Debido a las avances tecnológicos actuales, construir un robot es posible y se lo viene realizando en Universidades y en compañías de juguete. Además, construir un pequeño robot se ha convertido en el pasatiempo de muchos estudiantes, motivados por los cursos que se realizan en diferentes lugares del mundo.

La principal filosofía es la movilidad, lo cual es muy ventajoso para realizar ciertas tareas y poder trabajar en equipo con otros robots o de manera aislada. Son útiles para realizar tareas en lugares peligrosos para los humanos, aburridos, sucios o difíciles. Tal es el caso de los robots móviles que envían a Marte, o los que utilizan para limpiar centrales nucleares.

Si bien los robots móviles por lo general son de reducidas dimensiones con un bajo grado de control (el control existente es para regular la velocidad de las ruedas de tracción, el grado de control no es alto comparado con el nivel de control que se emplea en robots articulados), adquieren un alto grado de complejidad cuando tienen que realizar tareas cooperativas.

El que un robot móvil realice autónomamente tareas de modo eficiente depende de la construcción mecánica y de la programación. La precisión en su desplazamiento se encuentra determinada por su sistema mecánico, mientras que la autonomía y la inteligencia se encuentran residentes en el programa que gobierna las acciones del robot.

2.2.1. Estructura general de un robot móvil.

Debido a que un robot móvil por lo general está destinado a simular el comportamiento de personas o animales con un nivel de eficiencia similar, la estructura del robot móvil es muy similar a la estructura de un ser vivo.

Se puede apreciar la estructura del robot móvil y del ser vivo en la imagen 2 en donde se puede observar de manera general la estructura, tanto como de un robot móvil como de un ser vivo.

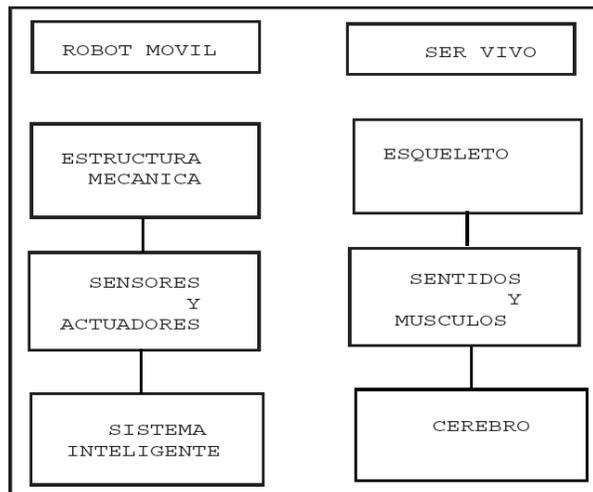


Imagen 3. Estructura de un robot móvil.

La estructura del robot móvil presentada, está conformada por diferentes subestructuras, tales como:

- Estructura mecánica: estructuras con ruedas, patas y orugas.
- Actuadores :motores, luces, ruedas y en definitiva cualquier elemento que permita interactuar con el entorno
- Sensores: láser, cámaras, y cualquier elemento que nos proporcione información del entorno.
- Inteligencia: métodos, algoritmos, etc. Estos van a permitir, a partir de la información de los sensores, interactuar con el entorno.

3. Descripción del diseño

Nuestra propuesta plantea la construcción de un brazo manipulador de 6 grados de libertad, que en un inicio servirá para impartir puntos básicos sobre Robótica y sean comprendidos fácilmente por los estudiantes de esta materia. Más adelante mencionaremos la futura aplicación de nuestro brazo robótico móvil.

El materia que se decidió utilizar fue el aluminio, por su bajo peso y bajo costo de mantenimiento, Los motores seleccionados fueron motores de CD de 12V y motores a pasos de 12V y servomotores de 15 y 35 kg.

En cuanto al control, será mediante un Arduino ADK y el software LABVIEW, se eligieron por su interfaz amigable y su fácil manejo.

4 Metodología.

Mediante el programa **SolidWorks** se diseñaron dos diferentes opciones. Se tomaron en cuenta las limitaciones y alcances de cada diseño. En la imagen 4 y 5 se muestran los dos diferentes diseños.

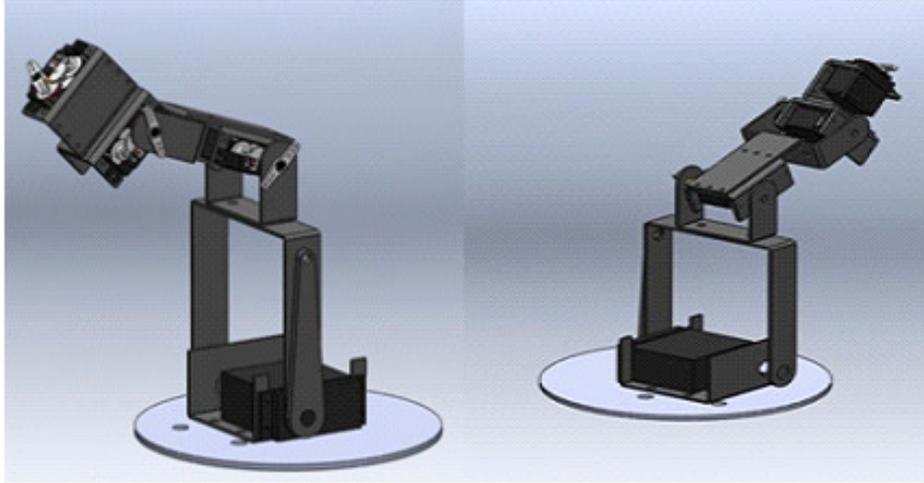


Imagen 4. Primer diseño.

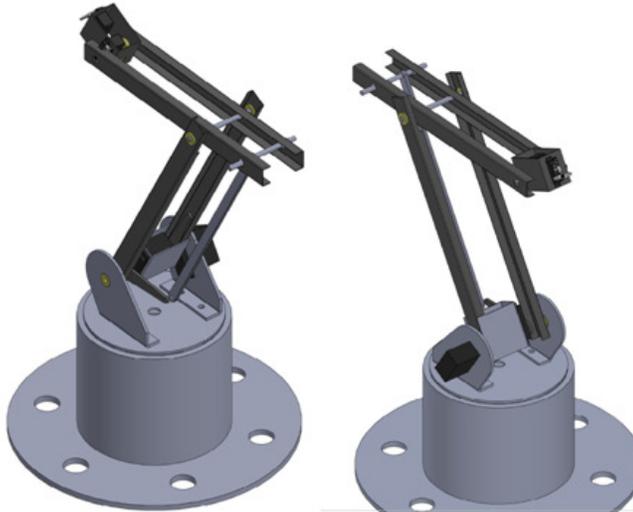


Imagen 5. Segundo diseño

Después de evaluar cada diseño, se optó por realizar el segundo, ya que por su alcance y sus eslabones más fuertes, es ideal ya sea para trabajos sencillos pero de precisión. Además es fácil identificar los eslabones que lo componen y por ende será más fácil de explicar aspectos básicos de un brazo a los alumnos.

Posteriormente de hacer el diseño, lo correcto sería mandar a hacer las piezas en una impresora 3D, pero como no contamos con esta máquina, el proceso se hizo completamente manual, con solera de aluminio, tratando de que cada pieza quedara lo más exacta posible.

Para darnos una mejor idea de que tanta movilidad tiene nuestro brazo, a continuación se muestra que tanto se puede mover cada eslabón.

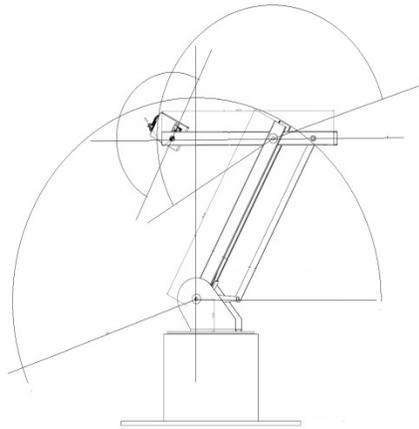


Imagen 6. Libertad de movimiento de eslabones del brazo

Como menciona el título, este brazo tendrá la característica de poder moverse, para esto se utilizó una base con ruedas tipo triciclo, esta servirá para desplazar el brazo y así tener más aplicaciones. En la imagen 7 se muestra la base que se utilizó.

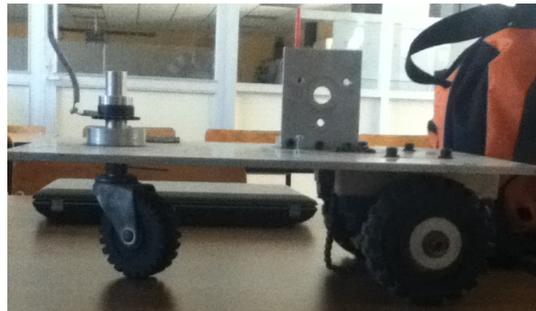


Imagen 7. Base estilo triciclo para el brazo manipulador.

4.1. Cinemática.

Después de tener establecido un modelo y sus especificaciones se puede proceder a obtener su cinemática para completar con esta su modelado.

Para el cálculo de la matriz de transformación de la cinemática directa del robot se asignaron los siguientes ejes a cada articulación; los cuales se asignaron siguiendo el algoritmo D-H. Como se puede apreciar en la imagen 8.

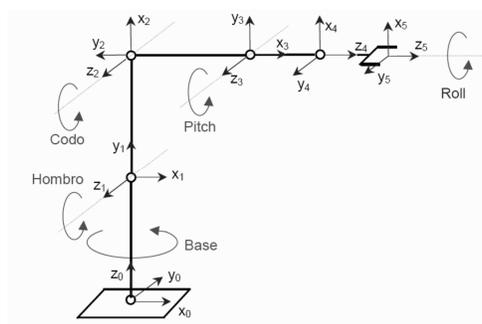


Imagen 8. Asignación de ejes.

Considerando las medidas de las articulaciones que se pueden ver en la imagen 4.2 y la asignación de ejes se procedió a llenar la tabla de parámetros del robot (Tabla 4) para el cálculo de la cinemática directa.

Tabla 2. Parámetros del robot.

Articulación	e	d	α	a
1	e_1	7.55	90°	0
2	e_2	0	0°	48.10
3	e_3	0	0°	43.57
4	e_4	6.24	90°	0
5	e_5	7.10	0°	0

Usando estos parámetros se puede obtener la ecuación del brazo (modelo cinemático directo) la cual mapea el sistema coordinado L5 de la punta de la herramienta, con respecto al sistema coordinado L0 de la base, esta ecuación resulta,

$$T_0^5(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5) = \begin{bmatrix} N & D & A & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde N es el vector normal.

$$N = \begin{bmatrix} C_1 C_{234} C_5 + S_1 S_5 \\ S_1 C_{234} C_5 - C_1 S_5 \\ S_{234} C_5 \end{bmatrix} \quad (2)$$

D es el vector de desplazamiento.

$$D = \begin{bmatrix} -C_1 C_{234} S_5 + S_1 C_5 \\ -S_1 C_{234} S_5 - C_1 C_5 \\ -S_{234} S_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

A es el vector de aproximación.

$$A = \begin{bmatrix} C_1 S_{234} \\ S_1 S_{234} \\ -C_{234} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Y P es el vector de posición.

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{8} C_1 (30 S_{234} + 25 C_{234} + 36 C_{23} + 54 C_2) \\ \frac{1}{8} S_1 (30 S_{234} + 25 C_{234} + 36 C_{23} + 54 C_2) \\ \frac{25}{8} - \frac{15}{4} C_{234} + \frac{25}{8} S_{234} + \frac{9}{2} S_{23} + \frac{27}{4} S_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Debido a que la base también va a ser controlada junto con el brazo, se toman en cuenta sus características en cuanto a cinemática.

Los diferentes tipos de ruedas (tracción y dirección) tienen diferentes propiedades cinemáticas, por ejemplo un robot móvil normalmente tiene 3 grados de libertad respecto a una referencia: posición en el plano (X,Y) y orientación (Θ). Idealmente, independientemente de donde inicie, el robot debe poder moverse a cualquier posición y orientación (X, Y, Θ).

De forma análoga se pueden encontrar las ecuaciones para el triciclo.

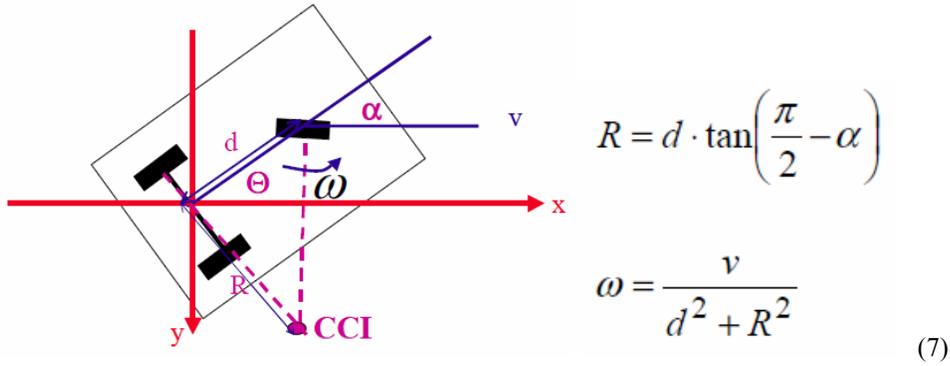


Imagen 9. Cinemática del triciclo.

Dónde:

ω :Velocidad Angular;

R : Radio de Giro;

d :Distancia entre las Ruedas;

v :Velocidad Rueda

α : Angulo de Giro

4.2 Montaje

Se procedió al moteje de piezas. En las siguientes imágenes podemos observar el proceso que se llevó a cabo desde el principio hasta el final.



a)



b)



c)

Imagen 10; a) Fase inicial, b) Fase intermedia y c) Fase final.

En las imágenes podemos observar el avance que se tuvo a lo largo de el ensamblado de manera resumida, en el transcurso del ensamblado surgieron pequeños cambios que eran necesarios para el buen funcionamiento de nuestro diseño.

5. Detalle de la implementación.

Si bien nuestro robot está encaminado al área de la enseñanza, no se limitara en un futuro solo a eso, puesto que podrá ser utilizado en un invernadero para la cosecha y cuidado de plantas. Las características de nuestro robot le permiten tener aplicaciones variadas.

Su aplicación en un invernadero es viable gracias a su movimiento y su manejo mediante vicion, lo que haría un buen asistente en el cuidado de plantas.

6. Resultados.

Este proyecto nació de la necesidad de parte de los alumnos y profesor de tener un mejor entendimiento de los robots, pero a lo largo de la realización, surgieron nuevos enfoques a los cuales llevar nuestro brazo. Aunque sin muchos recursos se logro nuestro objetivo, el cual era hacer un robot para aclarar dudas sobre la operación de un robot. Se obtuvo un modelo sencillo y fácil de entender que era lo que buscábamos.

7. Conclusión.

Después de terminar el diseño y en espacial la fabricación de nuestro brazo manipulador, y tomando en cuenta todo el proceso que se llevo a cabo podemos mencionar lo siguiente.

1. Con nuestro diseño, se pueden llevar a cabo explicaciones sencillas y concisas sobre servomotores, control de motores de DC, partes de un brazo, así como la definición de eslabón, grados de libertad. Además de dar una idea de cómo programar un robot.
2. Por sus características, su implementación no es solo didáctica, además se puede dar uso en otras aéreas , ya sea de producción o de monitoreo.
3. El costo de realización de nuestro brazo es mucho menor al de muchos otros comerciales. Además de tener la ventaja de que se pueden cambiar partes que se rompan o averíen , pues en el caso de robots comerciales, las refacciones y composturas son relativamente caras.

Referencias

Hernández E. A.(2009). Modelado estático, cinemático, dinámico y análisis de movilidad de un robot manipulador con referencia móvil. Tesis no publicada, UNAM, DF, México.

<http://es.wikibooks.org/wiki/Rob%C3%B3tica>. Robótica. Wikipedia. 15 de marzo de 2013

http://es.wikipedia.org/wiki/Brazo_rob%C3%B3tico Brazo robótico. Wikipedia. 15 de marzo de 2013

Jabonero J.(2010). Modelado y análisis de un brazo mecánico. Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior

K.S.Fu, R.C Gonzalez, C.S.G. Lee. (1988). ROBOTICA control, visión e inteligencia. Mc Graw Hill

Martínez A. Gloria M., Jáquez O. Sonia A., Rivera M. José y Sandoval R. Rafael. (2008). “Diseño propio y Construcción de un Brazo Robótico de 5 GDL”. RIEE&C, REVISTA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN, Vol. 4 No. 1, JULIO 2008.