

# Avances en el desarrollo de un prototipo de Robot Asistencial para personas con limitaciones de movilidad

Para citar este artículo /  
To reference this article /  
Para citar este artigo.

Márquez, P., Alfredo, J., & Peña, C., Cesar, A., & Hernández, S., Javier, A. (2013). Avances en el desarrollo de un prototipo de robot asistencial para personas con limitaciones de movilidad. *Ingenio Magno*. Vol 4, pp. 53-60.

## A. Márquez

Miembro del semillero de Investigación de Automatización, Robótica y Control perteneciente al grupo de Automatización y Control de la Universidad de Pamplona, Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. alfredojose115@hotmail.com

## J. Hernández

Miembro del semillero de Investigación de Automatización, Robótica y Control perteneciente al grupo de Automatización y Control de la Universidad de Pamplona, Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. javer\_7@hotmail.com

## C. Peña

Profesor Asociado del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Pamplona, Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Grupo de investigación de Automatización y Control. cesarapc@unipamplona.edu.co

Recepción: 2013 - 02 - 11 | Aceptación: 2013 - 03 - 18

**Resumen** — Este artículo presenta la metodología utilizada para modelar y construir un prototipo de un brazo robótico asistencial el cual es capaz de ayudar a personas con limitaciones de movilidad en sus tareas cotidianas como la alimentación y cepillado de dientes. También se presentan los avances en el desarrollo de un algoritmo de control el cual permite la operación del robot mediante comandos de voz, basado en codificadores LPC (codificación predictiva lineal).

**Palabras Clave** — Control, diseño, LPC, robótica asistencial y voz.

**Abstract** — This article describes the methodology to model and build a prototype of assistive robotic arm which is able to help people with mobility limitations in daily tasks such as eating and brushing teeth. Also the article presents advances in the development of an algorithm of control which allows the robot operation by voice command, based on LPC coding (linear predictive coding).

**Key Words** — Assistive robotics and voice, Control, Design, LPC.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los robots desde sus inicios se han construido para realizar tareas hechas inicialmente de forma manual. Esta finalidad ha llevado a menudo a construirlos con una estructura antropomórfica, guardando cierta semejanza con el brazo humano. Todo ello hace que esta tecnología sea traspasable al campo de la rehabilitación de forma relativamente simple, concretamente para construir elementos prostéticos, ortéticos o mecanismos que acompañen en labores diarias. Este tipo de “mecanismos acompañantes” son denominados Robots asistenciales. Estos robots están dirigidos al acompañamiento y ayuda de seres humanos en condiciones de discapacidad, enfermedad, rehabilitación entre otras. Debido al número de personas con discapacidad y la complejidad de las necesidades que ellos y sus familias experimentan se hace necesario la investigación e implementación de este tipo de robots [1].

Los robots de asistencia son una de las aplicaciones más importantes e interesantes que existen en el mercado actualmente, sin embargo su avance es lento debido a la gran cantidad de acciones que estos robots deben realizar, ya saben, la versatilidad no es el fuerte de las máquinas, sino su especialización.

La investigación “Implementación de Prototipo de un Robot Asistencial para Personas con Limitaciones de Movilidad” de ahora en adelante denominado RAPLIM es el desarrollo de un brazo robótico de estructura seria o antropomórfica de 4 grados de libertad, modelado en 3D por software CAD y llevado a su implementación gracias a la tecnología de impresión 3D. El brazo robótico está controlado por comandos de voz los cuales llaman a cada una de las tareas básicas que desarrolla el brazo cumpliendo adecuada y satisfactoriamente con el concepto de robot asistencial.

Para el desarrollo del prototipo se realizó una profunda indagación del estado del arte de los robots asistenciales con el fin captar aspectos sustanciales en el diseño del mismo, intentado mejorar aspectos como el tamaño, apariencia, estructura, funcionalidad, costos entre otros. Dentro de los robots más relevantes se encontraron: Manus [2], Handy [3], Movaid [4], Asimov [5], Asibot [6], Winsford Feeder [7], My Spoon [8] y Jaco [9].

## 2. MODELO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO RAPLIM

Mediante el software de diseño Asistido por Computado SolidWorks se modeló paso a paso el brazo robótico (ver figura 1); Este software es una solución de diseño tridimensional completa que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelo de piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar, gestionar y comunicar proyectos de forma rápida, precisa y fiable.

La estructura robótica seleccionada para el desarrollo del robot fue del tipo antropomórfico, teniendo en cuenta que va suplir tareas cotidianas que realiza un humano y este

tipo de estructura precisamente fue inspirada en la forma de un brazo humano. El robot cuenta con 4 grados de libertad (GDL) debido a que este es el número mínimo para realizar las tareas propuestas (3 se encargan de posicionar el efector final y el cuarto de cambiar su orientación). Las dimensiones se obtuvieron teniendo en cuenta el las posiciones del objetos que tiene que manipular (plato, vaso, portaherramientas) y la posición de la boca del usuario (análisis ergonómico) con respecto a la mesa de trabajo.

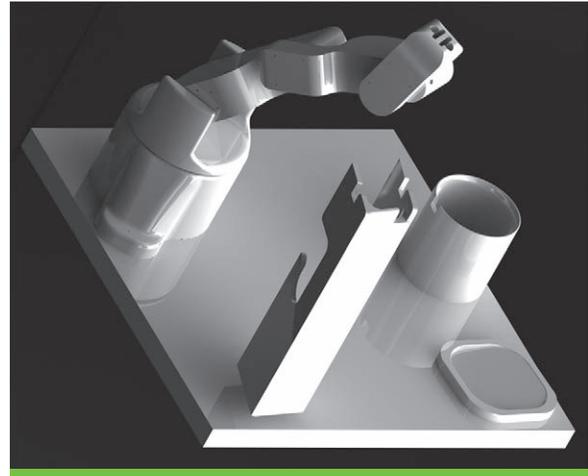


Figura 1. Eslabones y Base de Brazo Robótico RAPLIM

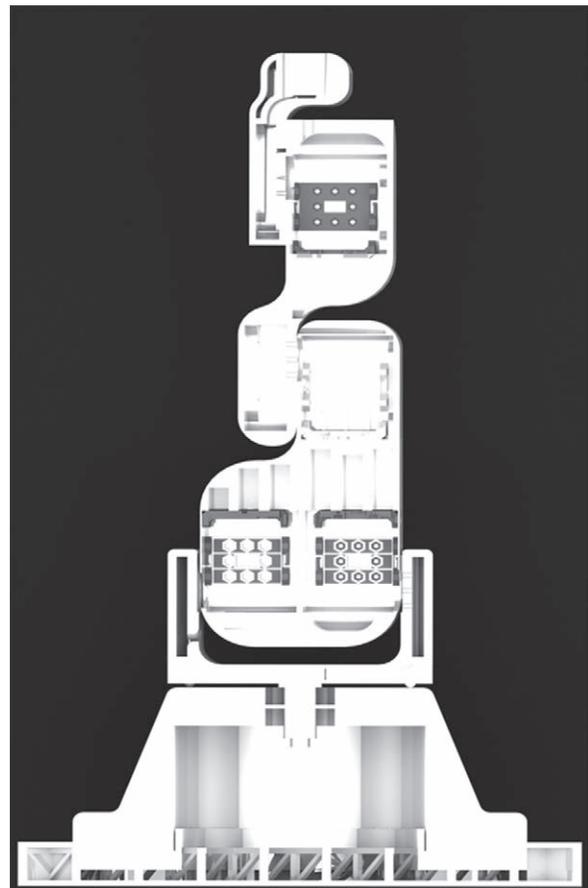


Figura 2. Vista Interna del Brazo Robótico

Aprovechando las grandes ventajas que ofrece este excelente software y con un previo estudio de la estructura del brazo robótico, se inicia con la construcción del modelo CAD de los eslabones, las bases fija y móviles. Durante el proceso se realizaron cambios a los eslabones sobre todo es su estructura interna para disminuir el peso y así disminuir el torque necesario para aplicar un movimiento. También se tuvo en cuenta el cableado interno de la estructura del brazo robótico y se realizaron laberintos que van desde un extremo del brazo hasta el otro como se observa en la Figura 2, cumpliendo con la adecuada ubicación de los robot-servos Dynamixel AX-12, logrando proporcionar el torque máximo que arroja el modelo dinámico del brazo robótico.

El brazo robótico está compuesto por 39 piezas que incluyen los eslabones, bases fija y móvil, tapas, uniones, soportes y área de trabajo sin incluir los efectores finales ni los robot-servos Dynamixel. En una vista explosiónada del brazo robótico completo se puede apreciar detalladamente cada una de ellas como se ve en la figura 3.

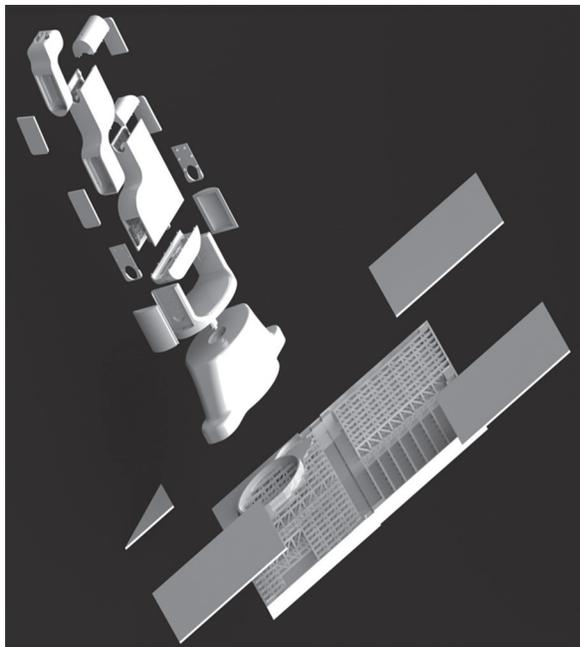


Figura 3. Vista Explosionada del Brazo Robótico RAPLIM

Mediante la impresora 3D Dimensión Elite 1200 se realizó este prototipo de brazo robótico, la cual utiliza como material base el Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS el cual es un plástico muy resistente al impacto, tiene una densidad de 1.05 gramos por centímetro cuadrado lo cual es una ventaja para la construcción de modelos CAD, adicionalmente utiliza un materiales de apoyo que viene en cartuchos cerrados. Dentro de la impresora 3D, el filamento de plástico viaja a través de un tubo a la cabeza de impresión, donde se calienta a un estado semi-líquido y se aplica en capas delgadas y precisas. El termoplástico es de calidad industrial que le brinda al modelo la capacidad de rendir exactamente igual que las piezas de producción en pruebas funcionales reales.

Utilizando la Impresora 3D Dimensión Elite 1200 y el material base ABS termoplástico para la construcción

del modelo, se inició el proceso con la impresión de los eslabones 1 y 2 del brazo robótico RAPLIM y pequeñas piezas (figura 4), que acompañan a los mismos como son tapas y pasadores.

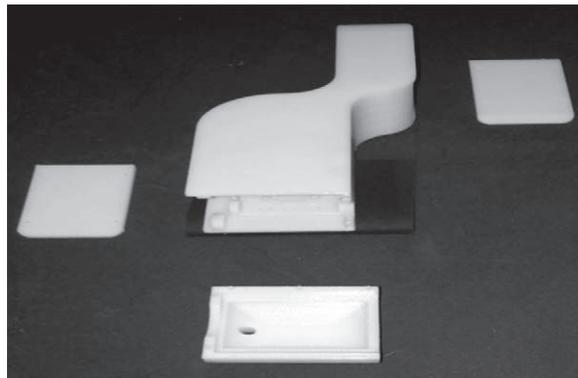


Figura 4. Eslabón 1 y 2 brazo robótico.

La parte del modelamiento que más requirió de tiempo en el diseño CAD, es la parte interna del brazo robótico, ya que implicó el desarrollo de numerosas piezas para sujetar los robot-servos, orificios y ductos entre los eslabones por donde se aloja el cableado entre otras formas. En la figura 5 podemos observar la ubicación de robot-servo Dynamixel AX-12 sujetado por tornillos milimétricos con su respectiva tuerca, todo esto gracias a la excelente tolerancia al momento de la fabricación en la impresora 3D.

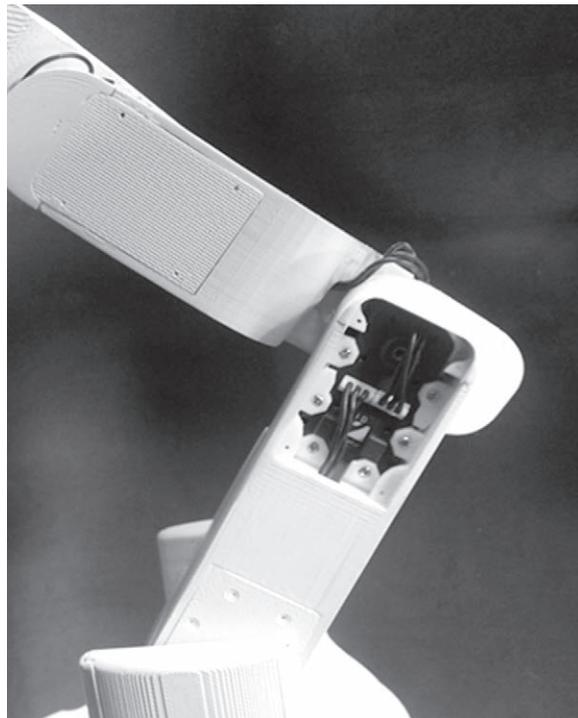


Fig. 5. Ejemplo de la sujeción de los robot-servos.

Entre la base fija (figura 6) y la base móvil (figura 7), existe un movimiento rotacional accionado por un robot-servo Dynamixel AX-12, pudiendo decir que tiene un movimiento muy parecido al del hombro del ser humano; esto con el fin de posicionar el efector final en cada uno de los cuatro cuadrantes del plano xy desde una vista superior.

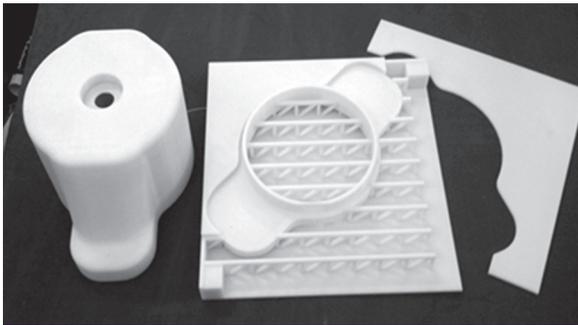


Figura 6. Base fija del brazo robótico RAPLIM

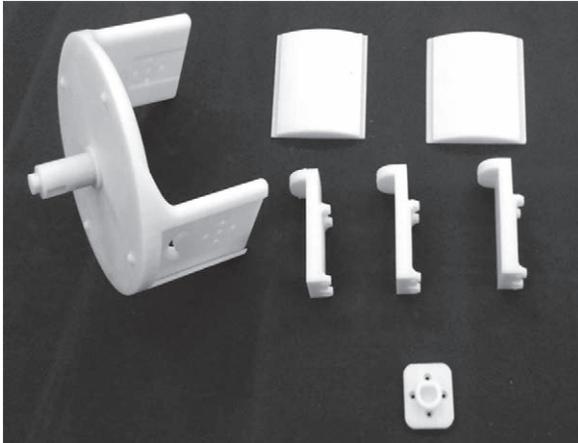


Figura 7. Base móvil del brazo robótico RAPLIM

Uno de los puntos "críticos" del brazo robótico se encuentra entre la base móvil y el eslabón 1 (figura 8). En ese punto se presenta un movimiento rotacional que requiere de un alto torque, por lo que implementaron dos robot-servos Dynamixel AX-12 que se encuentran por dentro del eslabón 1.



Figura 8. Eslabón 1 y base móvil

El área de trabajo de brazo robótico RAPLIM está diseñada por 4 secciones como se ve en la figura 9, cada sección tiene una medida de 20cm por 20cm y en una de ellas es donde se posiciona el brazo robótico.

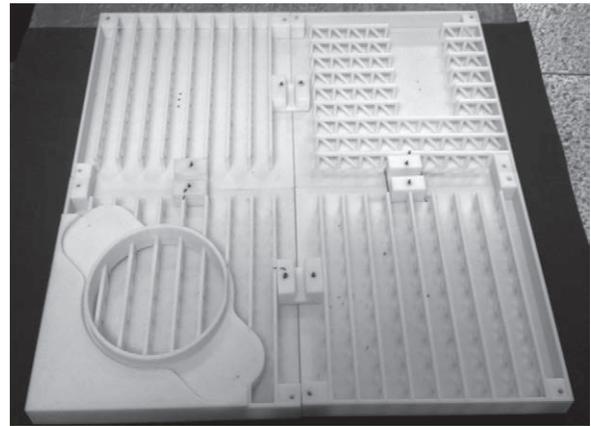


Figura 9. Área de trabajo del brazo robótico RAPLIM

Se diseñó una serie de efectores finales los cuales están compuestos por una cuchara un cepillo de dientes y un porta vaso. Cada uno de estos efectores cuenta con un agarre como se ve en cada uno de los extremos (figura 10) para poder ser sujetado por el eslabón final de brazo.

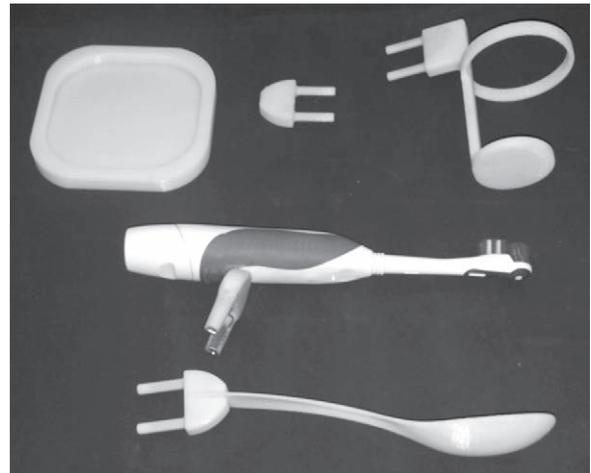


Figura 10. Efectores finales

Estos agarres están cubiertos por unas láminas metálicas las cuales son atraídas por unos imanes que se encuentra por dentro del eslabón 3. El fin de colocar estos imanes en este eslabón es la ayuda que da al brazo de tomar los efectores cada vez que es necesario hacer un cambio. La fuerza de atracción del imán hace que haya una alineación entre el efector y el eslabón 3 del brazo robótico. Como se ve en figura 11.

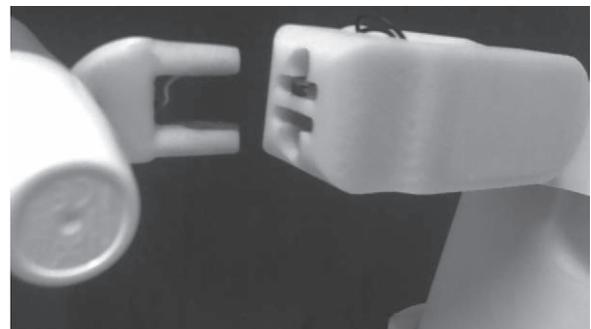


Figura 11. Eslabón 3 con imanes

En la figura 12 se puede observar el ensamble de todas las piezas que forma el sistema RAPLIM.

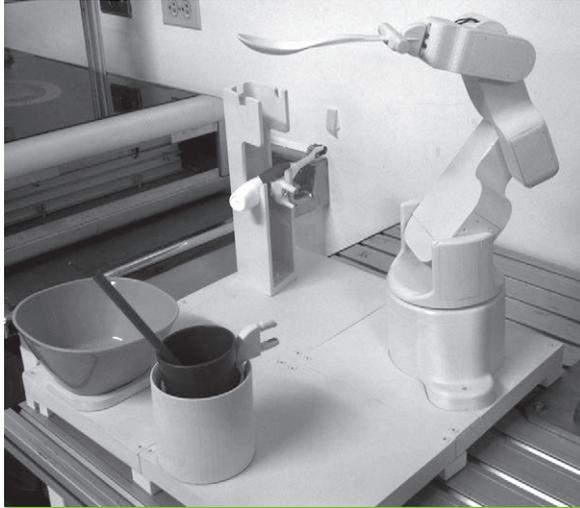


Figura 12. Sistema RAPLIM.

### 3. ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO

#### A. Cinemática directa

La cinemática directa permite determinar la orientación y posición del extremo final del robot, con respecto a su sistema inicial de coordenadas de referencia, la cual fue desarrollada por el método Denavit-Hartenberg [1].

En la tabla 1 se puede apreciar los parámetros de Denavit-Hartenberg correspondiente al robot. Cada una de las filas de esta matriz tiene asociada una matriz de transformación homogénea ( $i-1A_i$ ) denominada matriz D-H, que relaciona un sistema coordenado ( $S_i$ ) con respecto al inmediatamente anterior ( $S_{i-1}$ ).

TABLA I. Parámetros de Denavit-Hartenberg

Articulación	Q	D	A	Alfa
1	$Q1$	$L1$	0	$\pi/2$
2	$Q2$	0	$L2$	0
3	$Q3$	0	$L3$	0
4	$Q4$	0	$L4$	0

Fuente: Autor

Al multiplicar todas matrices de transformación homogéneas se obtiene el modelo cinemático directo del robot, tal como se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$${}^0T_4 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 \quad (1)$$

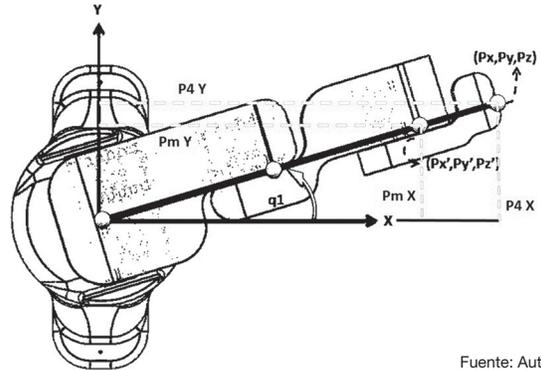
Donde los tres primeros elementos de la cuarta columna corresponden son las componentes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  de la posición del efector final con respecto al sistema inicial del robot. Las cuales son:

$$\begin{aligned} Px &= \cos(q1)(L3 \cos(q2+q3)+L2\cos(q2)+L4 \cos(q2+q3+q4)) \\ Py &= \sin(q1)(L3 \cos(q2+q3)+L2*\cos(q2)+L4 \cos(q2+q3+q4)) \\ Pz &= L1+L3 \sin(q2+q3)+L2 \sin(q2)+L4 \sin(q2+q3+q4) \end{aligned} \quad (2)$$

Dónde:  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  y  $L4$  son las longitudes de los 4 eslabones del robot y  $q1$ ,  $q2$ ,  $q3$ ,  $q4$  son las coordenadas articulares.

#### B. Cinemática inversa

La cinemática inversa permite determinar las coordenadas articulares que debe tomar el robot para alcanzar una posición y orientación del extremo conocidas [1].



Fuente: Autor

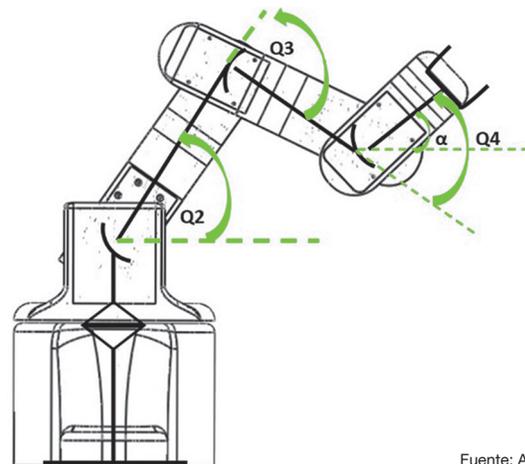
Figura 13. Obtención del punto ( $Px'$ ,  $Py'$ ) a partir del punto ( $Px$ ,  $Py$ )

A partir de la figura 13 se puede deducir que la coordenada articular  $q1$  se puede calcular a partir de las componentes  $x$ ,  $y$  del punto  $P$  (efector final), tal como lo describe la siguiente ecuación:

$$q1 = \text{atan2}(Py, Px) \quad (3)$$

Para el cálculo de las coordenadas articulares  $q2$  y  $q3$  se hace uso de la técnica de desacople cinemático. Para esto se calcula el punto  $P'$  (coloquialmente llamado punto de la muñeca del robot – ver figura 13) basándose en la inclinación  $\alpha$  del último eslabón con respecto al plano  $x$ ,  $y$  y del sistema de referencia inicial del robot (ver figura 14), de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} Px' &= Px - L4 \cos(\alpha) \cos(q1) \\ Py' &= Py - L4 \cos(\alpha) \sin(q1) \\ Pz' &= Pz - L4 \sin(\alpha) \end{aligned} \quad (4)$$



Fuente: Autor

Figura 14. Diagrama del robot que ilustra la relación entre las coordenadas articular  $q2, q3$ ,  $q4$  y el ángulo  $\alpha$

Conociendo el punto P', se puede calcular utilizando la ley de cosenos:

$$\cos(q3) = \frac{((Px'^2 + Py'^2) + (Pz' - L1)^2 - L2^2 - L3^2)}{2(L2L3)}$$

Por lo cual, la coordenada articular q3 se puede calcular como:

$$q3 = \text{atan2}(\pm \sqrt{1 - \cos(q3)}, \cos(q3))$$

Conocido q3, se puede obtener fácilmente por trigonometría q2 de la siguiente forma:

$$q2 = \text{atan2}\left(Pz' - L1, \sqrt{Px'^2 + Py'^2}\right) - \text{atan2}(L3 \sin(q3), L3 \cos(q3))$$

Por último el valor de la coordenada articular q4, se obtiene como:

$$q4 = a - q2 - q3$$

### C. Dinámica

La dinámica del robot trata de la formulación matemática de las ecuaciones del movimiento del brazo robótico teniendo en cuenta las fuerzas que intervienen sobre el mismo. Este modelo permitió el cálculo de los máximos pares requeridos en cada una de las articulaciones para poder realizar la correcta selección de los motores.

Se utilizó el método recursivo de Lagrange-Euler para determinar los valores de las matrices de Inercia (**D**), fuerzas centrípetas (**H**) y efectos de la gravedad (**C**), determinando el siguiente modelo dinámico, donde  $\tau$  es el vector de pares del robot:

$$\tau = D\ddot{q} + H + C$$

La ecuación anterior corresponde a la ecuación de la dinámica de un robot donde D es la matriz de inercias, H son los coeficientes de coriolis y C es la fuerza de gravedad [1].

A continuación se con detalle cada uno de los términos que componen la ecuación de la dinámica.

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix}$$

Dónde:

$$D11 = -38088\sin(q2)^2 + 32832\cos(2q2+q3) + 20480\cos(2q2) + (9525\cos(2q2+2q3+2q4))/4 + (263569\cos(2q2+2q3))/20 + 6720\cos(2q2+q3+q4) + 6720\cos(q3+q4) + 32832\cos(q3) + (9933\cos(q4))/2 + (9933\cos(2q2+2q3+q4))/2 + 743277/10$$

$$D12 = 0; D13 = 0; D14 = 0; D21 = 0$$

$$D22 = 13440\cos(q3+q4) + 65664\cos(q3) + 9933\cos(q4) + 110167$$

$$D23 = 6720\cos(q3+q4) + 32832\cos(q3) + 9933\cos(q4) + 31119.4$$

$$D24 = 6720\cos(q3+q4) + (9933\cos(q4))/2 + 4762.5$$

$$D31 = 0$$

$$D32 = 6720\cos(q3+q4) + 32832\cos(q3) + 9933\cos(q4) + 31119$$

$$D33 = 9933\cos(q4) + 31119.4$$

$$D34 = (9933\cos(q4))/2 + 4762.5$$

$$D41 = 0$$

$$D42 = 6720\cos(q3+q4) + (9933\cos(q4))/2 + 4762.5$$

$$D43 = (9933\cos(q4))/2 + 4762.5$$

A continuación se ilustra con detalle cada uno de los términos que componen el vector H = [H1, H2, H3, H4]T:

$$H1 = -\dot{q}1\dot{q}3(16416\sin(2q2+q3) + (9525\sin(2q2+2q3+2q4))/4 + (263569\sin(2q2+2q3))/20 + 3360\sin(2q2+q3+q4) + 3360\sin(q3+q4) + 16416\sin(q3) + (9933\sin(2q2+2q3+q4))/2) + 39524\sin(2q2) - q1pq2(32832\sin(2q2+q3) + (9525\sin(2q2+2q3+2q4))/4 + (263569\sin(2q2+2q3))/20 + 6720\sin(2q2+q3+q4) + (9933\sin(2q2+2q3+q4))/2) - \dot{q}1\dot{q}4((9525\sin(2q2+2q3+2q4))/4 + 3360\sin(2q2+q3+q4) + 3360\sin(q3+q4) + (9933\sin(q4))/4 + (9933\sin(2q2+2q3+q4))/4)$$

$$H2 = -\dot{q}2\dot{q}3(6720\sin(q3+q4) + 32832\sin(q3)) - \dot{q}2\dot{q}4(6720\sin(q3+q4) + (9933\sin(q4))/2)$$

$$H3 = -(9933\dot{q}3\dot{q}4\sin(q4))/2$$

$$H4 = 0$$

A continuación se da con detalle cada uno de los términos que componen a C=[C1, C2, C3, C4]T:

$$C1 = 0$$

$$C2 = (127491\cos(q2+q3+q4))/40 + (4638711\cos(q2+q3))/200 + (1461243\cos(q2))/25$$

$$C3 = (127491\cos(q2+q3+q4))/40 + (4638711\cos(q2+q3))/200$$

$$C4 = (127491\cos(q2+q3+q4))/40$$

#### 4. GENERALIDADES DEL ALGORITMO DE CONTROL

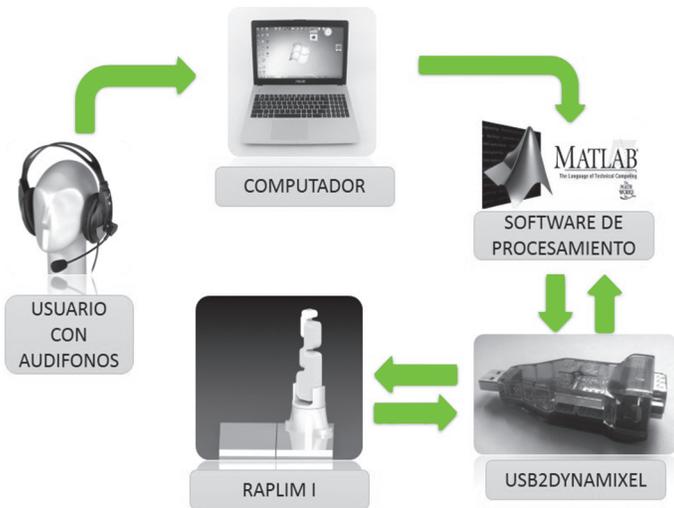


Figura 15. Diagrama de operación del sistema RAPLIM

En la figura 15 se puede apreciar un diagrama, el cual ilustra el funcionamiento de RAPLIM, principalmente se tiene un usuario el cual envía comandos de voz a través de un micrófono que está conectado a la computadora, la cual clasifica y procesa estos comandos con el fin de planificar la trayectoria que debe desarrollar el robot para cumplir con la tarea solicitada. Cada una de las referencias correspondientes a la trayectoria (evolución de posiciones y velocidades de cada uno de los motores a través del tiempo) son enviadas a la red de control de los actuadores por medio un conversor denominado USB2DYNAMIXEL, que es el encargado de convertir las órdenes dadas, en señales TTL reconocibles por los motores Dynamixel AX-12A.

El proceso de identificación de comandos de voz fue implementado usando algoritmos de síntesis mediante predicción lineal (Linear Predictive Coding o LPC) la cual es una técnica desarrollada en la búsqueda de métodos de codificación, transmisión y recepción del habla. La técnica de LPC trata de estimar el espectro de un sonido en términos de los coeficientes del filtro que podrían necesitarse para sintetizarlo a partir de una fuente de excitación, ya sea ruido (para los sonidos producido sin vibración de las cuerdas vocales), o un pulso de banda limitada (en la que todos los armónicos son de igual amplitud) [10]. La técnica PLC se caracteriza ya que reduce el error de predicción en el sentido de mínimos cuadrados [11].

#### 5. RESULTADOS

Para la corroboración del funcionamiento del sistema RAPLIM, se creó un simulador que se encarga de capturar las señales de audio del usuario con el fin de identificar los comandos emitidos por el mismo. Dentro de estos comandos se tiene: el cepillado de dientes, comer (alcanza alimentos servidos en un plato), beber (suministra líquidos contenidos en un vaso). En la figura [16] se puede observar la señal de audio generada por el usuario y que corresponde con el comando dientes (Cepillado).

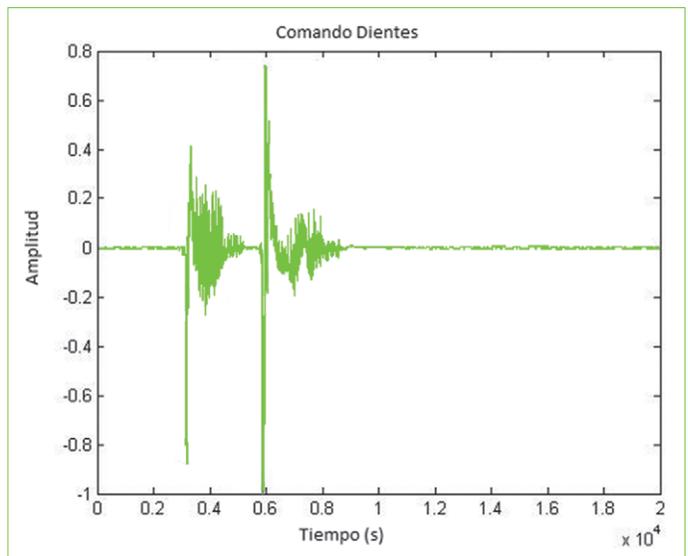


Figura 16. Señal de audio correspondiente al comando dientes (cepillado de dientes)

Una vez se identifica el comando usando la técnica de LPC, se procede a la simulación de la trayectoria planteada para el robot, donde se corrobora su correcto análisis cinemático.

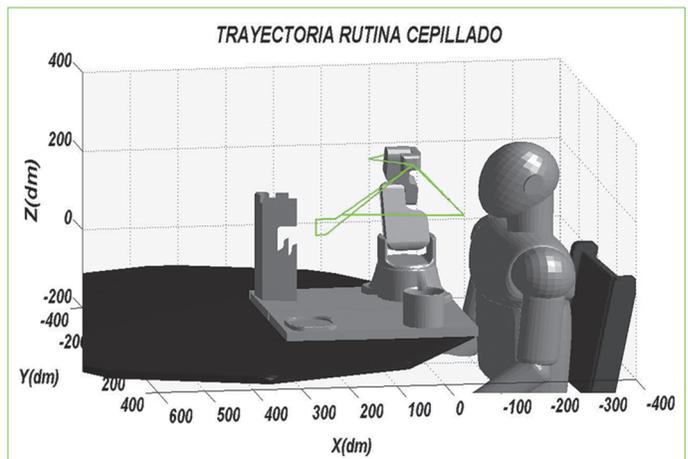


Figura 17. Verificación cinemática del sistema RAPLIM.

Corroboradas todas rutinas para las cuales fue diseñado el robot, se procedió a la verificación de la ejecución de las rutinas por el sistema real. Para el desarrollo de estas pruebas (120 muestras) se pidió ayuda a un grupo de 12 niños que tenían entre 7 y 10 años de edad además de un grupo de jóvenes entre 19 y 23 años. Se pudo observar que los niños no tardaban más de 5 intentos para aprender el funcionamiento del sistema. El aprendizaje por parte de los jóvenes fue casi inmediato. Una vez los usuarios comprendían el funcionamiento del sistema hicieron uso del mismo de una forma muy cómoda (ver figura 18).



Figura 18. Verificación del sistema real

## 6. CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema pequeño favoreció la aceptación por parte de los usuarios debido a que no lo hacía intimidante como resulta en otros sistemas. Esta característica es muy importante debido a que algunos de los posibles usuarios son niños.

El modelamiento por medio del CAD permitió la verificación, corrección de errores y mejoramiento del sistema antes de su construcción, disminuyendo costos y tiempo empleado para el desarrollo del sistema. De igual forma construcción del prototipo utilizando una impresora 3D cumplió con las expectativas propuestas en cuanto a precisión y resistencia.

El modelamiento cinemático permitió el correcto desarrollo y planeación de las trayectorias que ejecuta el robot y el modelamiento dinámico sirvió para el cálculo de los pares máximos de los actuadores permitiendo su correcta selección.

El uso de elemento de fácil adquisición y de uso común permitió que los costos totales del sistema fueran relativamente bajos, lo que permitirá una replicación amplia del sistema para que pueda ser adquirido y utilizado por varias instituciones no cuenten con los recursos suficientes para la adquisición de los sistemas que actualmente se consiguen en el mercado.

El algoritmo de codificación predictiva lineal (LPC) resulto una técnica bastante robusta para la identificación de comandos de voz, mejorando la accesibilidad del sistema por parte de los usuarios.

## REFERENCIAS

1. A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer, R. Aracil. (2007). Fundamentos de Robótica, 2ª edición, McGraw-Hill, Madrid, España.
2. F de Moel. (1996). "Evaluation of Manus Robot Arm users in the context of the General Invalidity Act" GMD Evaluation report, G Peters.
3. M.J. Topping, J.K. (1999). The Development of HANDY 1, a Robotic System to Assist the severely disabled, Smith, International Conference on Rehabilitation Robotics.
4. L. Zollo, C. Laschi, G. Teti, B. Siciliano, P. Dario. (2001). "Functional compliance in the control of a personal robot," Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE/RSJ International Conference on, vol.4, no., pp. 2221, 2226, vol. 4.
5. G. Bolmsjö, H. Efring, and H. Neveryd. 1995. Robotics in rehabilitation. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 3:77-83.
6. Jardon, A. (2007). Metodología de Diseño de Robots Asistenciales. Aplicación al robot ASIBOT. Tesis Doctoral. Universidad Carlos III de Madrid.
7. W. Song, J. Kim, K An, I. Lee, W. Song, B. Lee: New Dual-Arm Assistive Robot for Self-Feeding: Research Institute, National Rehabilitation Hospital, National Rehabilitation Center, 520, Suyu5-dong, Gangbuk-gu, Seoul, 142-884, Corea.
8. S. Ishii, (2003). My spoon eating-assistance robot, Robots to Meet Care Needs, Waseda University of Japan, Intelligent Systems Laboratory, Secom Co.
9. V. Maheu. (2011). "Evaluation of the JACO robotic arm", 2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics Rehab Week Zurich, ETH Zurich Science City, Switzerland, Junio 29 - Julio.
10. M. Guillin, F. Gran, F. Jacobsen, F. Agerkvist. (2011). "Adaptive Feedback Cancellation With Band-Limited LPC Vocoder in Digital Hearing Aids," Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on , vol.19, no.4, pp.677,687, Mayo.
11. A. Keshavarz, S. Mosayyebpour, M. Biguesh, T.A. Gulliver, M. Esmaili. (2012). "Speech-Model Based Accurate Blind Reverberation Time Estimation Using an LPC Filter," Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on , vol.20, no.6, pp.1884,1893, Agosto.