

# MANIPULACIÓN INALÁMBRICA DE UN BRAZO ROBÓTICO POR MEDIO DEL KINECT

## HANDLING WIRELESS OF A ROBOTIC ARM THROUGH THE KINECT

Diego Andrés Garzón Villa<sup>1</sup>, José Bestier Padilla B<sup>2</sup>, Jesús David Cardona Cuesta<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Grupo GIDET de la Universidad del Quindío (e-mail: diegoandresdag@hotmail.com, jesusdcardonac@hotmail.com).

<sup>2</sup> Programa de Tecnología en Instrumentación Electrónica de la Universidad del Quindío y Líder del GIDET. (e-mail: jbpadilla@uniquindio.edu.co).

---

Recibido: Octubre 2 de 2013

Aceptado: Octubre 7 de 2013

\*Correspondencia del autor. Programa de Tecnología Electrónica de la Universidad del Quindío, grupo GIDET de la Universidad del Quindío  
E-mail: jbpadilla@uniquindio.edu.co

### RESUMEN

La implementación de robots ha permitido desde años atrás mejorar la calidad de vida del ser humano mediante su reemplazo en actividades que requieren ser repetitivas o que presentan altos grados de dificultad. El presente trabajo consiste en direccionar un brazo robótico cuyas funciones se generarán y transmitirán desde un ordenador vía inalámbrica, el robot empleado se encuentra dentro de la clasificación de robots móviles manipuladores. Para generar el direccionamiento del brazo se utiliza el Kinect como dispositivo de reconocimiento de movimientos; una vez realizado el procesamiento adecuado de la información captada, se transmiten los datos de forma inalámbrica utilizando la tecnología Zigbee hacia el brazo robótico, compuesto por un sistema de recepción y un circuito microcontrolado que permite manipularlo.

**Palabras claves:** Kinect, brazo robótico, reconocimiento de movimientos, transmisión inalámbrica.

### ABSTRACT

The implementation of robots from years ago has allowed improving the quality of human life by his replacement in activities that require repetitive or that have high degrees of difficulty. This work involves directing a robotic arm whose functions are generated and transmitted wirelessly from a computer, the robot employee is within the classification of mobile robot manipulators. To generate the address of the arm is used as the Kinect motion recognition device, once they have made the proper processing of the captured information is transmitted wirelessly using the ZigBee technology to the robotic arm, comprising a system reception and microcontroller circuit which allows handling.

**Keywords:** Kinect, robotic arm, motion recognition, wireless transmission.

## INTRODUCCIÓN

La robótica se dedica al diseño, construcción, operación, disposición estructural, manufactura y aplicación de los robots, tiene múltiples aplicaciones en la realización de diversas actividades en las que pueda reemplazarse la mano de obra humana, en este sentido, el aporte tecnológico está representado por la complejidad en la utilización de materiales y herramientas para llevar a cabo las diferentes actividades necesarias en el contexto industrial y en muchos otros que requieren la intervención de seres humanos en la ejecución de tareas complejas. Un brazo robótico que se encuentra dentro de la clasificación de robots móviles manipuladores, 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 de translación o desplazamiento lineal. El brazo robótico, se puede diseñar para realizar cualquier tarea que se desee: soldar, sujetar, girar, etc., dependiendo de la aplicación. En algunas circunstancias, lo que se busca es la simulación de un brazo robótico, como en los robots usados en tareas de desactivación de explosivos (1).

Existen dos formas principales como un brazo robótico puede ser controlado, la primera ser programado para tener un movimiento autónomo, la segunda poder ser manipulado de alguna forma por un sujeto; en esta segunda opción, hay diversas formas de realizar la manipulación en tiempo real del brazo robótico, la cual se puede lograr con mandos de palanca, guantes especialmente diseñados o la captación de las diferentes posiciones que puede adoptar el brazo del sujeto; en esta última las aplicaciones requieren de un equipamiento específico que se le conecta generalmente a un computador para poder detectar los movimientos del usuario y siendo posible reemplazar todos estos elementos como los guantes, por un sensor el cual no es invasivo con un hardware adicional pero genérico como el Kinect (2).

Es claro que existe una gran cantidad de aplicaciones simuladoras donde los usuarios se benefician significativamente, cabe indicar que cada aplicación va enfocada a un tipo de persona, sin embargo, la finalidad resulta la misma. Por otro lado, para el proceso de la extracción de la información referente a la posición en las tres dimen-

siones de las extremidades del cuerpo, se debe realizar una representación precisa, objetiva y lo más completa posible para posteriormente realizar un análisis detallado de la información obtenida. Los métodos que se utilizan normalmente para obtener coordenadas aproximadas de la postura del cuerpo de forma automática son caras e invasivas y en algunos casos requieren de voluminosas instalaciones (3). El problema de obtener una información precisa y fiable de la postura corporal es debido a la morfología móvil, no rígida y articulada de la que está compuesto el cuerpo humano. De esta forma es difícil encontrar una herramienta de medición que se adapte a las diferentes y múltiples configuraciones que puede adoptar la postura corporal. La biometría digital se define por la Sociedad Americana de fotogrametría como: “la tecnología para obtener información fiable de los objetos físicos o del entorno, a través del registro de las imágenes, se realiza la medición o interpretación”, los sistemas basados en esta tecnología son capaces de estimar alteraciones morfológicas o funcionales, la solución por adoptar, es la utilización de una instalación con múltiples cámaras, aplicando el concepto de visión estéreo sobre una previa configuración y calibración de las cámaras. Este sistema es costoso, voluminoso y no portable, además, suele requerir de ciertas condiciones de iluminación muy restringidas, aunque tienen la ventaja de ser poco invasivos, ya que suelen utilizar pequeños marcadores ligeros reflectantes; la alternativa a este sistema comúnmente utilizada es el uso de acelerómetros, esta solución resulta ser costosa e invasiva, ya que éstos suelen ser de grandes dimensiones e incluso no pueden colocarse en cualquier parte del cuerpo ni obtener mediciones espaciales en posiciones estáticas, además, suelen dar resultados poco precisos debido a la complejidad de las articulaciones multiaxiales (4). En este trabajo se busca diseñar e implementar un sistema con software y hardware, que permita dirigir los movimientos de un brazo robótico haciendo uso del Kinect, transmitiendo la información de forma inalámbrica como se ilustra en la figura 1.

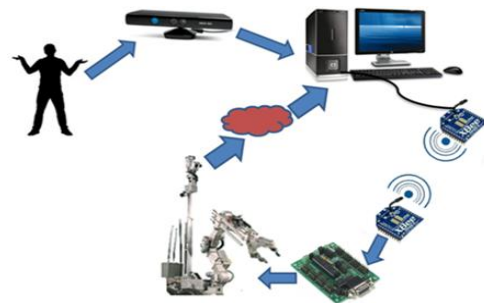


Figura 1. Propuesta del sistema implementado

## MATERIALES Y METODOS

### A. Definición de objetivos

Mediante una herramienta de hardware y software, captar en tiempo real las imágenes que contenga simultáneamente posiciones espaciales en Y, X y Z, en puntos previamente seleccionados del cuerpo humano, interpretarlas y transmitir la información que se dirigirá hacia el brazo robótico. Para cumplir este objetivo se plantearon algunos objetivos específicos con el fin de llevar a cabo este proceso, estos son:

- Establecer una interfaz entre el sensor y el ordenador utilizando la plataforma de programación Visual Studio 2010, que capture la información suministrada por el kinect.
- Desarrollar un algoritmo que procese la información suministrada por el kinect y enviar la información procesada al módulo de recepción inalámbrica Xbee.
- Implementar una tarjeta basada en un microcontrolador, que interprete la información captada por el módulo de recepción inalámbrica (Xbee) y accione los respectivos servomotores del brazo robótico.
- Establecer una interfaz gráfica desde el brazo robótico hacia operador que permita visualizar la manipulación del brazo.

### B. Obtención de información

Para la obtención de las imágenes del usuario que manipule el brazo se utiliza el Kinect, este ofrece una visión de las tres dimensiones a partir de la cámara, la cual genera una imagen tridimensional de lo que tiene delante y además permite reconocer partes del cuerpo humano; para ello utiliza un sonda de luz infrarroja, el proyector láser infrarrojo proyecta sobre la escena un patrón de 50000 puntos invisibles al ojo humano, luego de rebotar en los objetos de la escena el patrón de puntos es captado por la cámara infrarroja que se encuentra a 7,5cm de separación del proyector, entonces el circuito integrado, analiza la disparidad provocada por los objetos de la escena entre el patrón de puntos proyectados y el patrón de puntos captados, cuando la cámara recibe la luz infrarroja generada por el cañón de infrarrojos se combina con el sensor monocromático CMOS que genera una malla de puntos mediante los cuales se crea una imagen del entorno que la cámara enfoca así como la profundidad de los objetos, es de la que se parte para un procesamiento más completo. Acto seguido el chip de procesamiento de imagen (PrimeSense PS1080) descompone la imagen en los parámetros necesarios para su tratamiento.

Con respecto a la implementación del sistema que gestiona la comunicación entre el ordenador y el Kinect, se hace uso de las librerías de libre distribución SDK (Software Development Kit) de Windows para Kinect, dentro del entorno gráfico de programación Visual Studio 2010 basado en lenguaje C#. Basados en las técnicas de fotogrametría digital, con las cuales se realizan medidas reales sobre la imagen enfocada en un ángulo libre, se obtienen medidas tridimensionales precisas sin tener que colocar la cámara de una forma específica, tan solo enfocando el objetivo (usuario). Ésta libre localización de la posición de la cámara nos permite una gran portabilidad del sistema, permitiendo su utilización en escenarios de diferentes dimensiones. Cabe indicar que lo primero que se hace a la hora de activar el sistema es una calibración, con el fin de obtener los parámetros intrínsecos de la cámara y los diferentes coeficientes de distorsión de la misma, evitando que al momento de capturar se deba realizar otro tipo de calibración. Una de las partes más importantes se refiere al proceso de automatización de captación de los puntos de interés del usuario, donde intervienen técnicas de visión por computador (5). La detección automática es una de las características principales del sistema, permitiendo el análisis de los datos y respuesta a estos de manera instantánea. Ya con una información precisa y confiable en las tres dimensiones de cada uno de los diferentes puntos de interés que conforman el cuerpo humano (figura 2), se procede a realizar el algoritmo correspondiente con respecto a las acciones que ejecuta el usuario.



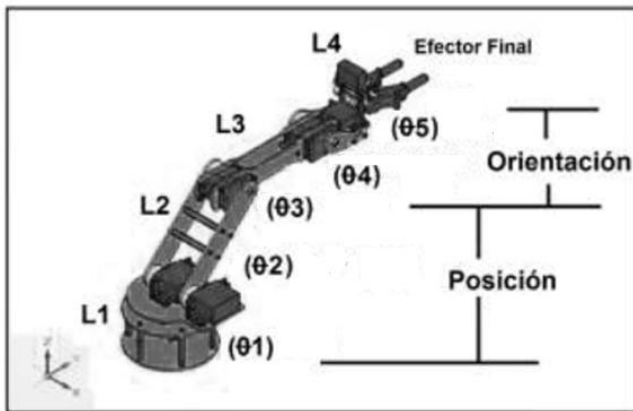
Figura 2. Puntos de interés del usuario.

### C. Algoritmo y transmisión (ordenador, módulo inalámbrico)

Al contar con la información confiable y precisa de los puntos de interés con los cuales se desea trabajar en el usuario, como: las palmas de las manos, las muñecas, codos, hombros, el punto central de la cadera y la ca-

beza; posiciones que representan la cinemática directa del brazo robótico, se podrá realizar el procesamiento adecuado para transmitir la información.

La cinemática inversa, consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot, para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial, igualmente permite calcular el ángulo que debe tomar cada articulación para que el efector final llegue al punto determinado, dado en coordenadas [Px, Py, Pz] y orientación en ángulos de Euler (ZYZ), [ $\Phi$   $\Theta$   $\Psi$ ]. Teniendo en cuenta que el brazo robótico utilizado cuenta con cinco grados de libertad, más la pinza, es necesario para su modelado matemático realizar desacople cinemático, es decir, los primeros tres grados de libertad (partiendo desde la base) son utilizados para el posicionamiento, los dos restantes se utilizan para la orientación del efecto final (Figura 3).



**Figura 3.** Articulaciones que se tienen en cuenta en la cinemática inversa.

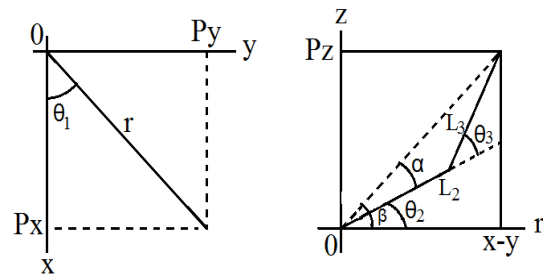
Finalmente, con el sexto grado de libertad se logra abrir y cerrar la pinza, en consecuencia no se tiene en cuenta para los cálculos de la cinemática inversa, ya que no aporta cambios en la posición ni en la orientación del efector final.

Para obtener el modelo cinemático inverso se recurrió al método geométrico. Las ecuaciones que conforman el modelo geométrico inverso para los tres grados de posicionamiento ( $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ ,  $\Theta_3$ ), se obtienen de las relaciones geométricas existentes en la figura 4, las cuales se detallan en las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{Py}{Px} \right) \tag{1}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{Pz-L_1}{\sqrt{Px^2+Py^2}} \right) + \cos^{-1} \left( \frac{Px^2+Py^2+(Pz-L_1)^2+L_2^2+L_3^2}{2L_3\sqrt{Px^2+Py^2-(Pz-L_1)^2}} \right) \tag{2}$$

$$\theta_3 = -\cos^{-1} \left( \frac{Px^2+Py^2+(Pz-L_1)^2-L_2^2-L_3^2}{2L_2L_3} \right) \tag{3}$$



**Figura 4.** Esquemas de relaciones Geométricas de la posición

Teniendo en cuenta que las articulaciones cuatro y cinco son las que aportan la orientación del efector final ( $\Theta_4$ ,  $\Theta_5$ ), y conociendo los valores de los ángulos de Euler en su configuración (ZYZ) [ $\Phi$   $\Theta$   $\Psi$ ], se tiene que:

$$\theta_4 = (\theta_2 + \theta_3) - \theta_1 + 90 \tag{4}$$

$$\theta_5 = 180 - \Psi \tag{5}$$

El ángulo de la articulación cuatro tiene como función rotar la muñeca sobre su mismo eje, motivo por el cual el valor de ( $\Theta_5$ ) se halla conociendo únicamente el ángulo  $\Psi$  de los ángulos de Euler, como se escribe en la ecuación 5 (6). Ya procesados los datos de las extremidades del usuario entregados por el sensor Kinect, se procede a enviar la información necesaria hacia el brazo robótico por vía inalámbrica mediante los módulos de comunicación Xbee Serie 2, con el fin de transmitir la información.

*D. Implementación del módulo SSC-32 que interpreta la información captada por el módulo Xbee y acciona los servomotores del brazo robótico.*

La recepción en el brazo robótico de la información previamente procesada se consigue gracias al módulo Xbee serie 2, y acoplándolo al max232 se adecuan los niveles de tensión entre el módulo de recepción y el módulo de control SSC-32, el cual tiene un conector db9 que utiliza RC232C, un estándar que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un equipo terminal de datos y un equipo de comunicación de datos.

Un ejemplo de la línea de código para el movimiento del servomotor es: “#5 P1600 S750 <cr>”, El ejemplo moverá el servo del canal 5 a la posición 1600 (corresponde a la posición 1600 del rango entre 500 y 2500). Se moverá desde su posición actual a una velocidad de 750 uS por segundo hasta que alcance el destino del co-



mando. Para comprender mejor el argumento de velocidad, tenga en cuenta que un desplazamiento de 1000 uS equivale a un giro de 90° aproximadamente. Un valor de velocidad de 100 uS por segundo significa que el servo tardará 10 segundos en girar 90°. Así mismo, un valor de velocidad de 2000 uS por segundo equivale a 500 mS (medio segundo) para girar 90° (7).

*E. Interfaz gráfica desde el brazo robótico hacia operador*

La interfaz gráfica que sirve al usuario de operación del brazo robótico, también incorporara un gráfico de supervisión de los movimientos del robot en tiempo real gracias a la cámara IP f-m166 de easyn, la cual tiene una conexión inalámbrica a una red Wi-Fi compatible con los estándares IEEE 802.11b/g (8), las imágenes en video que serán transmitidas desde la cámara a una página web, se verán en la interfaz en el ordenador diseñada para este proyecto (figura 6).

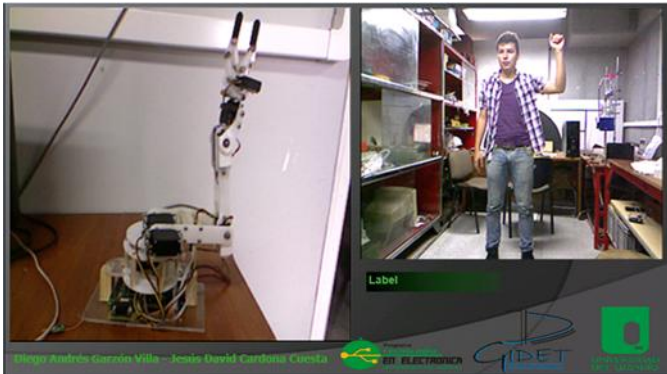


Figura 6. Interfaz Diseñada.

**RESULTADOS**

Por medio de la definición de los objetivos y después de la construcción del brazo robótico se procedió a implementar la fase de programación por medio de la cual fue posible interpretar la información obtenida por el kinect (Figura 7) y a partir de ella usar procedimientos matemáticos que más adelante arrojarían resultados cuantitativos por medio de los cuales fue posible dar órdenes de movimiento al brazo robótico de acuerdo a los grados obtenidos mediante los procesos matemáticos. Según lo anterior, para la obtención de los datos matemáticos iniciamos con los movimientos de un brazo humano captados por el Kinect por medio de los cuales fue posible obtener las respectivas coordenadas de los movimientos con la utilización de las librerías de libre distribución SDK de Windows a partir de las cuales se estimaron los algoritmos para los respectivos puntos de interés del brazo robótico.

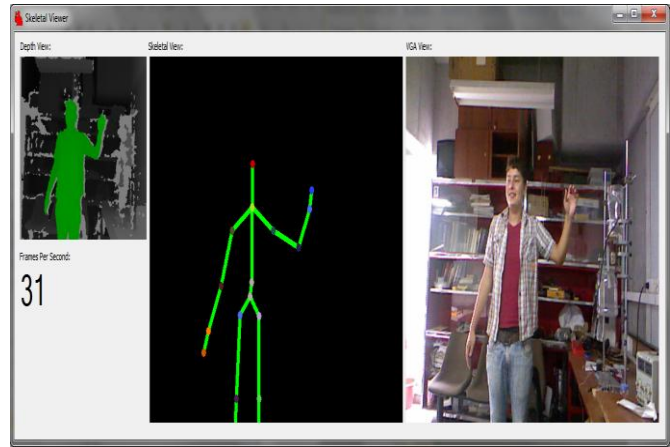


Figura 7. Obtención de la información por medio del kinect.

Después de obtener los datos de las ecuaciones, correspondientes a los datos iniciales entregados por el sensor Kinect, se procede a enviar los datos hacia el brazo robótico por vía inalámbrica mediante los módulos de comunicación XBEE serie 2 acoplados al Max 232 (Figura 8) permitiendo una correcta transmisión de la información. Finalmente el microcontrolador recibe la información y de esta manera direcciona órdenes a los diferentes servomotores a partir de los cuales son posibles los movimientos.



Figura 8. Módulo de alimentación y transmisión para el Xbee

La implementación de la interfaz gráfica que supervisa los movimientos del robot mediante la utilización de una cámara de un teléfono celular con sistema Android, por medio de una conexión a internet en la aplicación 3DX ANDROIDDESKTOP fue exitosa ya que se logró la visualización precisa de los movimientos del brazo en tiempo real.

**DISCUSIÓN**

Según con Alvarado (2011) quien propuso el diseño y construcción de una mano robótica inalámbrica mediante la utilización de servomotores, cuya entrada y salida de señales fue controlada mediante microcontroladores y a su vez, el envío y recepción de los datos fue establecido mediante dispositivos inalámbricos XBEE lo cual

según él, le permitió ejercer un control de forma eficaz, se ahorró energía y se maximizó la producción (9); por otra parte Luengas & et al (2010), utilizaron módulos XBEE para el desarrollo de la transmisión inalámbrica satisfaciendo la necesidad de transmitir información con baja interferencia, gran alcance y fácil adaptación al dispositivo; a su vez los módulos se caracterizan por ser de bajo costo, bajo consumo de potencia, uso de bandas de radio libres, redes flexibles y extensibles (10). Ventajas con las cuales estamos de acuerdo ya que se pudo evidenciar los beneficios que estos módulos brindan al trabajar con ellos, de esta manera confirmamos que optar por la utilización de este tipo de módulos para la transmisión de información a nuestro brazo robótico fue la decisión adecuada.

De acuerdo con Guillen (2006) quien propone el control local y remoto de un brazo robótico mediante un servidor que publica una página web por medio de la cual se hace posible el control y las órdenes de movimiento desde cualquier computadora (11). Este tipo de procedimiento puede compararse con la utilización de la aplicación que se le ha dado al sistema Android como método para ejecutar la interfaz gráfica y la respectiva visualización, sin embargo, éste último presenta la ventaja de visualización desde un teléfono celular, de tal forma que optimizando los materiales con aquellos que permitan un transporte de la información sin tener una distancia tan restringida, es posible realizar un monitoreo desde cualquier punto donde se encuentre el usuario.

## CONCLUSIONES

Se logró identificar y manipular el brazo robótico a partir del Kinect, igualmente se obtuvo una buena respuesta con respecto al tiempo y posicionamiento del brazo robótico con relación al brazo del usuario; se consiguió con el Kinect como sensor de posicionamiento los datos esperados los cuales debían de ser precisos y confiables; pese a que la tasa de transmisión de datos enviados desde el ordenador hacia el brazo robótico se considera baja (5 datos de posicionamiento por segundo), la simulación del brazo robótico con respecto al del usuario y en relación a la velocidad de desplazamiento ofrece respuestas aceptables.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los integrantes del Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos GIDET, adscrito al programa de Tecnología en Instrumentación Electrónica de la Universidad del Quindío y aquellos que colaboraron independientemente al desarrollo y apoyo permanente en la realización de este proyecto de final de carrera.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Del Solar, J., and Salazar, R., "Introducción a la robótica," Universidad de Chile: Departamento de ingeniería en electrónica, 2005.
2. Arenas Velázquez, J., Guerra Medina, J., Morales Carrera, D., and Valquez Sandoval, L., "Brazo robótico," Universidad del Valle de México: Campus Tlalpan, 2007.
3. Garzón, D., Padilla, J., and Arango, R., "Sistema de exploración musical basado en el Kinect," Universidad del Quindío: Programa de tecnología en electrónica, 2012.
4. Reyes, M., Ramírez, M., Revilla, J., and Radeval, S., "ADIBAS: Sistema Multisensor de Adquisición Automática de Datos Corporales Objetivos, Robustos y Fiables para el Análisis de la Postura y el Movimiento," Universidad del Barcelona: Depart. De Matemática Aplicada y Análisis, 2012.
5. Kean, S., Hall, J., and Perry, P., "Meet the Kinect," ISBN-13 (electronic): 978-1-4302-3889-8, 2011.
6. Esparza, C., Carvajal, S., and García, V., "Evaluación de un sistema de control para un brazo robótico de cinco grados de libertad utilizando una red can-bus," *Unidades Tecnológicas de Santander*, vol.1, num.5, Diciembre 2010 [reset-uts, ISSN 1909-258x].
7. Frye, J., "Manual de SSC-32 Ver 2.01XE," 2009.
8. <http://easyn.gmc.globalmarket.com/products/details/easyn-f-m166-indoor-night-vision-two-way-audio-wifi-ip-camera-1192195.html>
9. Alvarado. "Mano robótica inalámbrica. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil." Facultad de ingeniería. Tesis de grado. 2001.
10. Luengas, L., Sanchez, G., Enciso, S., and Torres, D., 2010. "Dispositivo sensorico para el manejo inalámbrico del brazo robótico Mitsubishi RV-M1." En: [http://www.iiis.org/CDs2011/CD2011IMC/CICIC\\_2011/PapersPdf/CB832SN.pdf](http://www.iiis.org/CDs2011/CD2011IMC/CICIC_2011/PapersPdf/CB832SN.pdf)
11. Guillen. "Monitoreo y control del brazo robótico Staubli RX -90." Instituto tecnológico de Costa Rica, Escuela de Tecnología Electrónica. 2006.