

Brazo inalámbrico para procesos industriales de alto riesgo

Jhonny Marcelo Orozco Ramos^{1*}, Carlos José Santillán Mariño¹

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Industrial, Riobamba, Ecuador.

*Autor principal/Corresponding author, e-mail: jhonny.orozco@espoch.edu.ec

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 2015/04/15. Aceptado/Accepted: 2015/09/25.

Publicado en línea/Published on Web: 2015/12/30. Impreso/Printed: 2015/12/30.

Wireless arm to high risk industrial processes

Abstract

The draft wireless arm for industrial processes of high risk consist of a detailed study of anthropometric movements of a person, these parameters allow to specify the values of range, scope, and turns that must reproduce the robotic arm, the same arm is commanded by a sensory flex glove, equipped with sensors; the intercommunication and reproduction of movements such as finger, hand, elbow and shoulder are driven from the glove placed on the operator and located at a distance considered not to risk for the worker; all these movements are the result of a simulation in Matlab and reproduced by Arduino boards in their physical connection; wireless communication is done via Bluetooth to a HC05 master - slave and scope of proven range of 15 to 20m separation man - workplace. Each of the elements of the robotic arm are tested and simulated with Solidworks, ie static analysis, material selection and dimensional aspects prior to running the 3D printing piece by piece and conclude in the assembly step; along side the assembly movement mechanisms and servomotors sized for a maximum clamping force range from 18 to 22 kgf which is what a normal person has the capacity; expected outcome is to safeguard the integrity of workers in relation to elements of occupational health and safety in environments with conditions of handling of toxic substances.

Keywords. Arm, Wireless, Arduino, Bluetooth, Servomotors.

Resumen

El proyecto de brazo inalámbrico para procesos industriales de alto riesgo, parte de un estudio minucioso de los movimientos antropométricos de una persona, estos parámetros permiten especificar los valores de alcance, campo de acción, y giros que debe reproducir el brazo robótico, el mismo que es comandado por un guante sensorial equipado con sensores tipo flex; la intercomunicación y reproducción de los movimientos como son de los dedos, mano, codo y el hombro son accionados desde el guante colocado en el operario y ubicado a una cierta distancia considerada como de no riesgo al trabajador; todos estos movimientos son resultado de una simulación en Matlab y reproducido por las placas Arduino en su conexión física; la comunicación inalámbrica se lo realiza vía Bluetooth con un HC05 master - esclavo y con alcance de rango probado de entre 15 a 20m de separación hombre - centro de trabajo. Cada uno de los elementos que conforman el brazo robótico son comprobados y simulados con Solidworks, es decir el análisis estático, selección de materiales y aspectos dimensionales, paso previo a ejecutar la impresión 3D pieza por pieza y concluir en el ensamble; a la par del ensamble se colocan los mecanismos de movimiento así como de los servomotores dimensionados para obtener una fuerza de sujeción de rango máximo entre 18 a 22 kgf que es lo que una persona normal tiene como capacidad; resultado final esperado es lograr precautelar la integridad de los trabajadores en lo relacionado a los elementos de seguridad y salud ocupacional en ambientes con condiciones de manipulación de sustancias tóxicas.

Palabras Clave. Brazo, Inalámbrico, Arduino, Bluetooth, Servomotores.

Introducción

El desarrollo de sectores productivos en el Ecuador relacionados con la industria de productos químicos básicos, fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento, fabricación de productos farmacéuticos,

sustancias químicas medicinales, fabricación de plaguicidas, pesticidas, fertilizantes, tratamiento de desechos industriales y otros, exigen la manipulación de materiales o sustancias considerados como peligrosos y a pesar de que se cuenta con buena información sobre su

conducción y manipulación por ejemplo en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 266:2010 del Instituto Ecuatoriano de Normalización; no ha impedido que ocurran accidentes, a mencionar según informe anual del año 2010 del IESS se registraron 3554 accidentes en las ramas de la agricultura, explotación de minas y canteras y en las industrias manufactureras todas ellas relacionados con la manipulación y contacto de los trabajadores con sustancias químicas [1].

Para reducir estos valores de accidentes por concepto de manipulación de sustancias químicas y tóxicas se lo puede hacer y se lo viene realizando mediante el empleo adecuado de EPP, sin embargo, hacer una propuesta alternativa que permita dar una solución desde un punto de vista más práctico, es decir retirando al trabajador del contacto directo con la manipulación de estas sustancias y ubicándolo a una distancia segura, se lo puede realizar mediante un manipulador inalámbrico que emule los movimientos de un brazo humano.

Objetivo

Retirar al trabajador a una zona segura para manipular sustancias tóxicas mediante la reproducción de sus movimientos a través del empleo de un manipulador inalámbrico.

Alcance

Determinar las variables básicas de la anatomía, ergonomía y antropométricos para dimensionar parámetros del diseño de la estructura seleccionada.

Realizar el estudio de los elementos electrónicos y mecánicos, vinculados con los resultados del análisis cinemático y dinámico, modelización y dibujos CAD a utilizarse en la construcción del proyecto.

Prototipar y construir mediante impresión en 3D un brazo inalámbrico para procesos industriales de alto riesgo.

Materiales y Métodos

La Organización Internacional de Estándares (ISO) define al robot industrial como:

“Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas” [2].

Del estudio antropométrico de un brazo humano, se determina los principales tipos de movimientos y ángulos para los siguientes elementos:

El dimensionamiento del brazo robótico contempla, el análisis cinemático que permite encontrar las ecuaciones físicas para determinar la transmisión de movimientos, se procede por tanto a encontrar las relaciones de las velocidades articulares de entrada y la velocidad tanto lineal como angular del extremo operativo del brazo

Hombro	$\pm 20^\circ$ y $< 45^\circ$
Codo	Posición inicial 15° respecto a la vertical
Amplitud del brazo	$< 170^\circ$
Amplitud del codo	$< 120^\circ$
Desviación de muñeca	$< 100^\circ$
Giro de muñeca	$< 120^\circ$
Carga sujeción vertical puño cerrado	< 35 Kg
Fuerza de agarre	< 16 Kg
Distancia de agarre	$< 4,12$ cm

Tabla 1: Grados de movimientos del brazo [3].

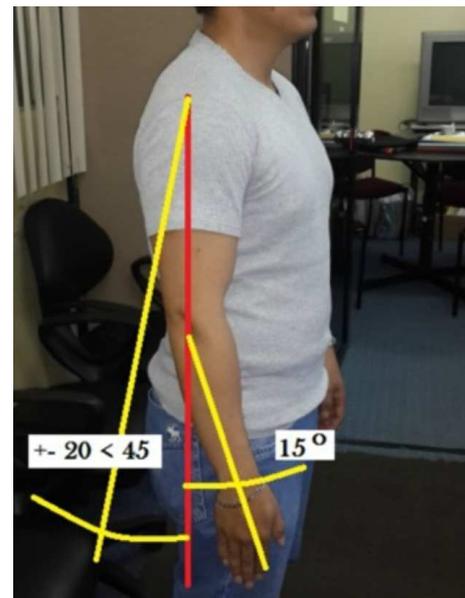


Figura 1: Grados de movimiento del antebrazo.



Figura 2: Grados de movimiento del hombro.



Figura 3: Verificación de los grados de movimientos.

robótico, esto a partir de la matriz jacobiano, y posteriormente la determinación del espacio de trabajo real del manipulador.

Si consideramos dos grados de libertad considerando el hombro, el antebrazo y el giro de la muñeca se tiene una matriz jacobiana para determinar las velocidades en la muñeca con las siguientes matrices:

Teniendo las matrices de transformación homogénea [4]:

$$H_1^0(\theta_1) \begin{bmatrix} c1 & -s1 & 0 & a1c1 \\ s1 & c1 & 0 & a1s1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H_2^0(\theta_2) \begin{bmatrix} c2 & -s2 & 0 & a2c2 \\ s2 & c2 & 0 & a2s2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2^0(\theta_1, \theta_2) \begin{bmatrix} c12 & -s12 & 0 & a1c1 + a2c2 \\ s12 & c12 & 0 & a1s1 + a2s2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$H_2^0(\theta_1, \theta_2) \begin{bmatrix} c12 & -s12 & 0 & a1c1 + a2c2 \\ s12 & c12 & 0 & a1s1 + a2s2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Las velocidades en la muñeca se obtienen al aplicar la siguiente ecuación:

$$\vec{\omega}_2^0 = J_w(\theta_1, \theta_2) \times \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Donde $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2$ son las velocidades de las articulaciones en este caso del hombro y antebrazo y J_w el jacobiano de velocidad angular.

$$J_w(\theta_1, \theta_2) = [Z_0 \quad Z_1] \quad (5)$$

Donde Z_0 es igual al vector unitario k y Z_1 la tercera columna de la matriz homogénea H_1^0

$$Z_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = k_0 \quad (6)$$

$$Z_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

De esta manera tenemos el jacobiano:

$$J_w(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Por ultimo para encontrar la velocidad angular en la muñeca tenemos lo siguiente:

$$\vec{\omega}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \hat{\theta}_1 \times \hat{\theta}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Wx \\ Wy \\ Wz \end{pmatrix} \quad (9)$$

Estas funciones J_w , el cuadro DH de cinemática así como el control de posición son ejecutadas en Matlab.

El Análisis dinámico, permite conocer los parámetros físicos de las velocidades y aceleraciones así como de los esfuerzos, esto permite establecer aspectos del brazo robótico como tipo de material, rendimiento del mecanismo y potencia de los actuadores.

En relación al cómputo de los esfuerzos se determinan los valores de esfuerzos de tensión (eslabones), esfuerzos cortantes (sujetadores, pernos) de torsión (para seleccionar el servomotor), flexión pura y simulación con FEM para comprobar que la selección del material cumple con el requerimiento de diseño.

Para la construcción de la carcasa del brazo inalámbrico mediante impresión 3D, se realizó el dibujo tridimensional en SolidWorks de cada uno de sus partes llegando a obtener 48 elementos, determinándose además el cálculo del centro de masas, efectos inerciales, selección del material, cálculo de espesor de la carcasa, fuerzas centrípetas, par gravitacional y de fricción, análisis estático y el ensamble; esto por cuanto resulta más práctico que utilizar ecuaciones del movimiento de Euler Lagrange.

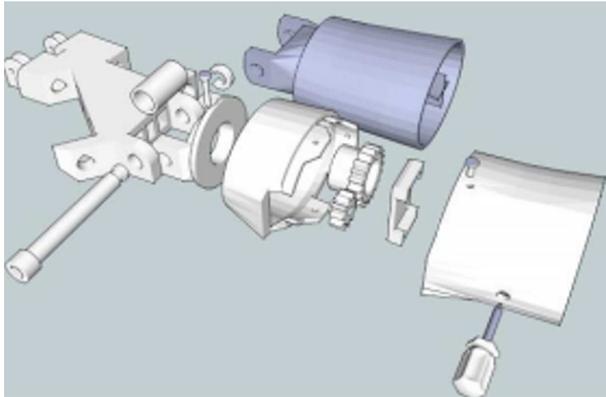


Figura 4: Estructura de la muñeca.

Material	Densidad (g/cm ²)	Resistencia a la rotura (kg/cm ²)	Temperatura de fusión °C
ABS	1,07	450-750	215-250
PLA	1,50-1,64	0	160-230

Tabla 2: Propiedades Mecánicas y Físicas del material ABS y PLA.

Dentro de las posibilidades comunes para la impresión de las piezas se tiene dos materiales con las siguientes características:

Se escoge el material ABS por las características que nos presenta y la posibilidad de cromarles para tener una mayor resistencia a la corrosión con una alternativa de acabado superficial.

La reproducción de movimientos del brazo robótico son idénticos al brazo humano considerando todas sus partes: dedos, muñeca, codo y hombro e intercomunicados por un guante sensorial que se propone que el operario o trabajador manipule desde su espacio de trabajo; a través de la simulación ejecutada mediante elementos sensoriales ubicados en el brazo del trabajador y que son repetidos por el brazo robótico. Esto mediante una interfaz inalámbrica Bluetooth (Operario-Brazo Robótico), la señal emitida por el emisor (operario) es interpretada por un módulo receptor el cual convierte las señales analógicas en una modulación por ancho de pulsos para determinar el ángulo de giro en cada motor el mismo que controla el posicionamiento de cada elemento del brazo.

Para la reproducción de los movimientos básicos se lo realiza mediante el empleo de Galgas sensores flex, que permiten enviar señales analógicas.

Los circuitos electrónicos constan de una parte central a través de una placa Arduino Leonardo R3 y Bluetooth HC05 destinado para la comunicación.

Para el accionamiento de los mecanismos de reproducción de los movimientos se utiliza servomotores, los mismos que son seleccionados dependiendo la carga que se va a utilizar, para nuestro caso responde a reproducir la fuerza de una persona de condiciones promedio y calculado en valores de rango entre 18 a 22kgf.

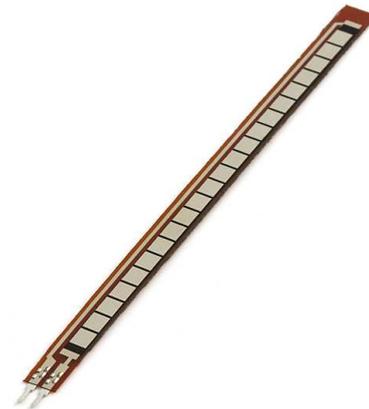


Figura 5: Sensor flex.



Figura 6: Placa Arduino con el Bluetooth para el enlace.



Figura 7: Servomotor.

El análisis de la fuerza se tiene mediante la aplicación de ecuaciones sencillas donde se considera el torque de cada uno de los servomotores seleccionados, cabe mencionar que una de las condiciones especiales para incrementar la fuerza en el caso del antebrazo se tiene un tornillo de potencia que me da mayor fuerza y se pueda levantar un peso de hasta 20kgf.

$$Mf = F \times \text{Brazo de palanca} \times \sin \alpha \quad (10)$$

Donde:

Mf = Momento de fuerza.

D = Distancia o brazo de palanca.

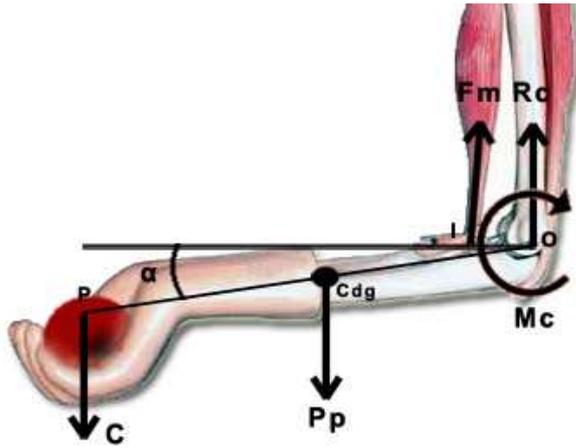


Figura 8: Posicionamiento para el cálculo de la fuerza que levanta el brazo [5].

Si se considera el momento máximo se tiene un seno de alfa igual a 1 teniendo:

$$F = \frac{T}{D} \quad (11)$$

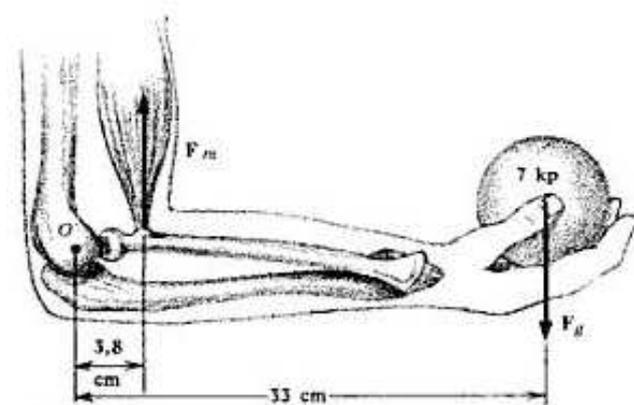


Figura 9: Componentes para la fuerza del brazo [6].

Resultados

Los parámetros de diseño de cada uno de los componentes del brazo robótico se los realiza con ayuda del software SolidWorks, simulando las tolerancias específicas y de esta manera garantizar un ensamble adecuado.

Cada uno de los componentes fueron impresos en 3D previo diseño y verificación de medidas y tolerancias, obteniéndose ensamble con condiciones óptimas.

Los movimientos del brazo para determinar los aportes de ángulos y velocidades de las articulaciones, es decir comprobar el análisis cinemático de posiciones y campo de acción, es estimado en Matlab.

La reproducción de movimientos es idéntica al brazo humano considerando todos los movimientos como es el caso de dedos, muñeca, codo y hombro obteniendo de esta manera todos los movimientos del brazo humano.

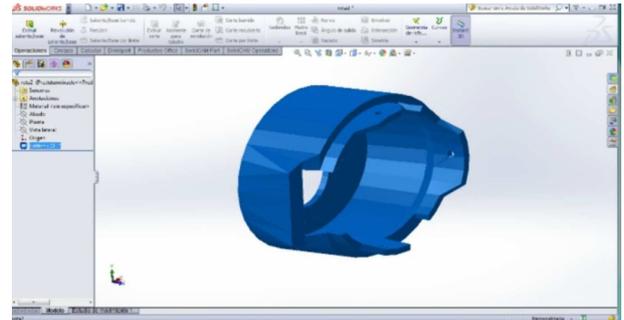


Figura 10: Parte de la muñeca.

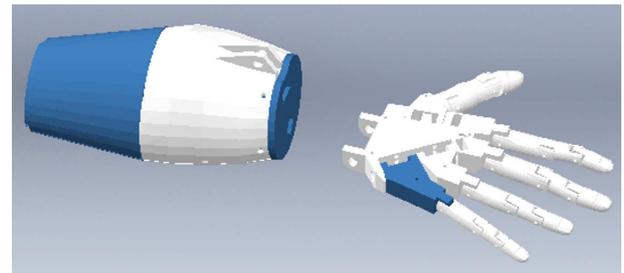


Figura 11: Ensamble en Solidwork de las piezas para imprimir en 3D.

Para la conexión inalámbrica se emplea un Bluetooth HC05, que emite señales de intercomunicación casi instantánea alrededor de 0,001 de segundo de velocidad emisión – recepción y una distancia comprobada de campo de comunicación de hasta 15 metros.

La estructura cuenta con toques de control de amplitud de movimientos, esto como un medio de mantener la salud del trabajador en el caso de realizar movimientos extremos o exagerados, además cumple con la función de permitir proteger los circuitos electrónicos internos en los casos de contacto con las sustancias tóxicas como por ejemplo ácidos.

La fuerza de sujeción del brazo está de acuerdo a los cálculos antropométricos de una persona trabajador ecuatoriano medio, esto permite justificar el diseño de la transmisión y los servomotores seleccionándose Servos HITEC HS-805BB de 12 y 24,7 kg*cm.

La estructura o carcasa permite proteger los circuitos electrónicos contra el deterioro en el posible contacto con sustancias tóxicas, seleccionándose un elastómero tipo PLA.

Discusión

El brazo inalámbrico es de gran utilidad dentro de la industria ecuatoriana, evitando los daños en los trabajadores que puede ocasionar la manipulación de sustancias químicas y tóxicas presente en los procesos productivos.

Los movimientos del brazo inalámbrico son idénticos al de un brazo humano.

La comunicación y mando inalámbrico se aplica en muchos de los procesos industriales, considerándose actualmente en implementaciones robóticas y androides,



Figura 12: Piezas Impresas.

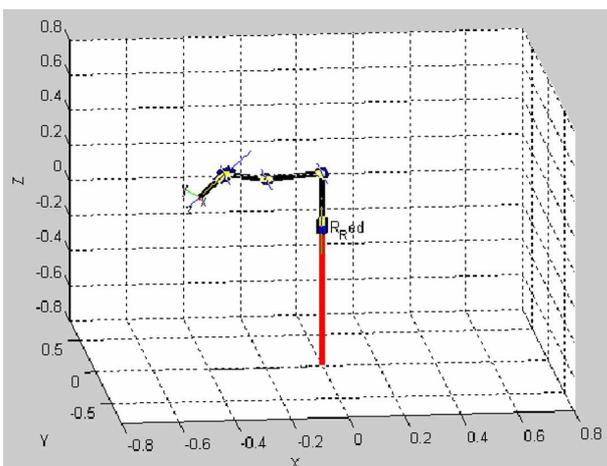


Figura 13: Análisis cinemático en Matlab.

sin embargo la manipulación inalámbrica sustituye las programaciones de movimientos en situaciones donde dichas programaciones resulten altamente complejas.

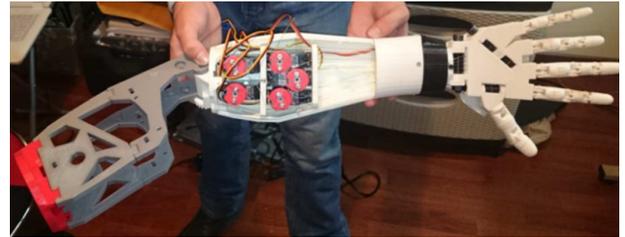


Figura 14: Ensamble del brazo.

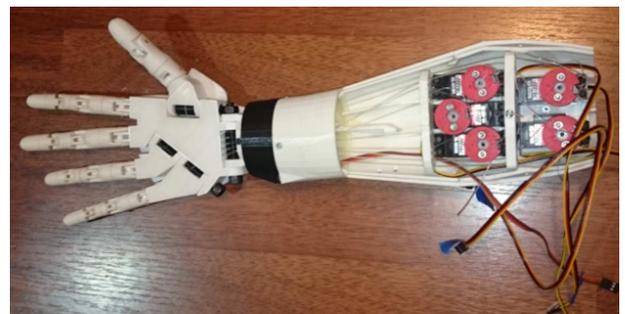


Figura 15: Ensamble de los motores en el brazo.



Figura 16: Brazo con la cubierta de los servomotores.

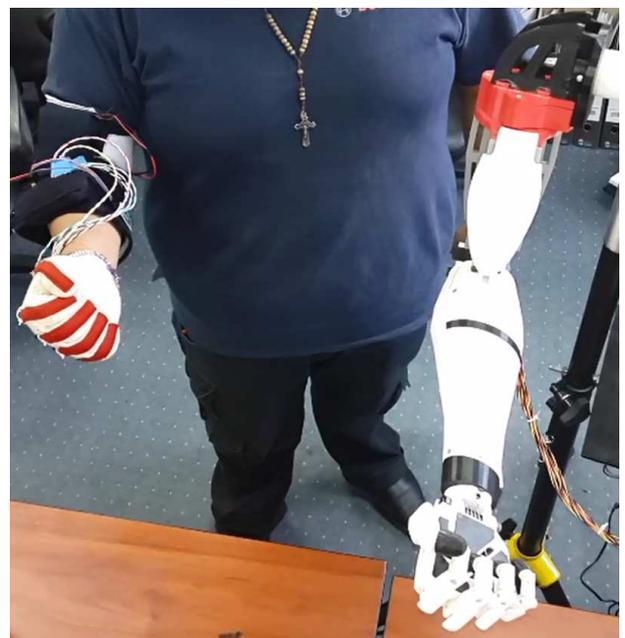


Figura 17: Reproducción de movimientos comandados por un brazo real.

Agradecimientos

Se agradece a la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH por darnos la oportunidad de dar nuevas solu-

ciones a toda el área industrial.

Un agradecimiento especial a nuestros estimados alumnos Santiago Garrido y Paul Villa por ser parte del grupo de investigación y cuyo aporte permitió llegar a la ejecución del proyecto.

Referencias

- [1] Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2010. "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 266". Primera Edición, Quito - Ecuador.
- [2] Eulália B.; Rodríguez, J.; Sánchez R. 2004. "Robots Industriales". FIB, http://www-pagines.fib.upc.es/~rob/protegit/treballs/Q2_03-04/industr/Robots%20Industriales.htm.
- [3] Universidad Politécnica de Valencia. 2015. "RULA (Rapid Upper Limb Assessment)". <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>.
- [4] Valderrama, F. 2015. "Matriz jacobiana de un campo vectorial". <http://www.ugr.es/~rpaya/documentos/AnalisisI/2014-15/Jacobiana.pdf>.
- [5] Universidad Politécnica de Valencia. 2015. "Biomecánica (Esfuerzos Estáticos Coplanares)". www.ergonautas.upv.es.
- [6] Slideshare. 2012. "Torque y Equilibrio de Cuerpo Rígido". <http://es.slideshare.net/aaprfull1992/torque-y-equilibrio-de-cuerpo-rgido?related=2:170-192>.