

# Master-Slave Control System Applied to a Five Degrees-of-Freedom Robot Arm to Follow Human Arm Movements

## AUTORES:

Carlos A. Alva, *moo.alva@yahoo.com.pe*  
Irvin Samamé, *200616917@mail.urp.edu.pe*  
Manuel Gómez, *200616094@mail.urp.edu.pe*  
Joel O. Castillo, *200616083@mail.urp.edu.pe*

## ASESOR:

Mario B. Chauca, *mchauca@mail.urp.edu.pe*

*Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Universidad Ricardo Palma, Perú.*

**Resumen:** El proyecto consiste en el control de un brazo robótico de 5 grados de libertad con un sistema adaptable mecánico a un brazo humano como un puntos de referencias para conseguir dicho robot reproducir la posición exacta de las articulaciones que tiene el brazo humano en tiempo real. Uso de procesamiento digital de señales y algoritmos matemáticos para conseguir la linealidad y acondicionamiento de los sensores de movimiento de rotación integrado en el sistema mecánico adheridos al brazo humano. Con ello se consigue hacer un sistema de control de los servomotores del robot para su posicionamiento angular que este caracteriza. El uso de Microcontroladores para la implementación se desarrolla los algoritmos que permiten el desarrollo del proyecto en lenguaje C y además con uso de variables de punto flotante para la facilidad del desarrollo de ecuaciones matemáticas que este implica. Incluso permite el desarrollo de integración adicional de sensores para el óptimo desempeño del sistema imagen del brazo humano.

**Palabras clave:** Robot, Servomotor, Microcontrolador, Acondicionamiento, Cinemática.

**Abstract -** The project consist to control a robotic arm that have 5 degrees of freedom using a mechanical adaptable system to a human arm as a control system so getting this robot comes to replicating the position of the joints that have the human arm. Using analog signals to digital module of Microcontrollers for reading the rotational motion sensors built into the mechanical system attached to the human arm.

Nowadays, the management of robotic systems using adaptable mechanisms to any body's part is being driven for applications in diverse areas like electronics, biomedical and surgical systems for robotic tele-controlled electronic systems and the supervision of a appropriate personnel. On the other hand, the industry where materials are manipulated objects or repetitive tasks which earlier, in previous decades, was done by human labor, have been replaced by robotic systems, which are sufficient to perform functions that require manipulation objects with a precision-autonomously certainty that a common man cannot do on

their own. Resulting in a new perspective on the industry, improved efficiency in production is the development of information technologies and communication technologies (ICTs) have allowed these areas to expand without limits, thus facilitating the user is achieved as well as quality of life for this. A clear example that we can perceive are the systems which can be handled remotely via any communication system or radio frequency remote access.

This inspired the presentation of the project in this article which has as its primary mission to foster and promote the development of this area so that Peru has research centers to create and market innate technology at a lower cost. Demonstrate that the project focused in the area of robotics is not only exclusive to developed countries.

**Keyword:** Robotic, Microcontroller, Sensor, Ultrasonic

## 1. Introducción

En la actualidad la gestión de los sistemas robóticos utilizando periféricos adaptados a cualquier parte del cuerpo humano está siendo fomentada hoy en día para aplicaciones en diversas áreas de la electrónica como la biomédica para los sistemas quirúrgicos y tele robóticos, controlada por sistemas electrónicos y la supervisión de un personal adecuado. Por otro lado, la industria donde se manipulan objetos o materiales en tareas repetitivas cuales anteriormente, en décadas anteriores, era realizado por mano de obra del hombre, han sido reemplazados por los sistemas robóticos, cuales son suficientes para realizar tareas que requieren la manipulación de objetos con una precisión-certeza en forma autónoma que un hombre común no puede realizar por cuenta propia. Dando como resultado una nueva perspectiva en la industria, una mejor eficiencia en la producción. Es más con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) que ha permitido expandirse sin límites dichas áreas; en consecuencia, se obtiene facilitar al usuario como también la calidad de vida de éste. Por ejemplo, sistemas que permitan que se manipule de forma remota a través de cualquier sistema de comunicación de Radio frecuencia o de acceso remoto.

Esto inspiró en el proyecto que se presente en este artículo del cual tiene como misión principal fomentar el desarrollo de esta área para que el Perú tenga centros de investigación

para crear tecnología propia y comercializar a un menor coste. Demostrar que el proyecto orientado en el área de la robótica no sólo es exclusivo para los países desarrollados.

La elección de un buen sensor para el presente proyecto fue de gran importancia y se basa en la analogía que a su vez hace un brazo robótico y un potenciómetro, refiriendo que una articulación humana realiza un giro respecto a un eje imaginario como también es característico en la variación del ángulo de la perilla del potenciómetro respecto a un eje fijo. Esta similitud nos permite desarrollar un sistema mecánico, adaptable a la dinámica de los movimientos del brazo humano y a la vez que le permitan variar el ángulo de giro de las perillas del potenciómetro dando como resultado que la resistencia no lineal del potenciómetro varía constantemente según los movimientos realizados en el mecanismo de control. Ver Fig. 1.

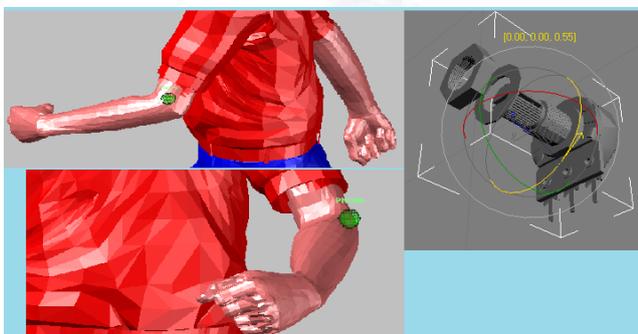


Fig. 1 Analógica respecto a los movimientos realizados por las articulaciones. A la derecha potenciómetro con su giro respecto a un eje y a la izquierda brazo humano animado en software.

El mecanismo adherido al brazo humano es adaptable a los movimientos de este y además tiene potenciómetros llamados en adelante sensores cuyas salidas se les muestra para su procesamiento en tiempo real gracias a los módulos conversores analógicos-digitales (ADC de las siglas en inglés Analog-to-Digital Converter) de los circuitos integrados programables PIC (En sus siglas en inglés PIC puesta por Microchip Tecnología Inc.). El número de módulos ADC es proporcional a los grados de libertad que tiene el brazo robótico y el cambio en la resistencia no es proporcional al ángulo de giro del potenciómetro lo cual obliga utilizar algoritmos en el programa lógico para tomar en tramos la curva logarítmica característica de los potenciómetros. Esto se realizara con procesamiento digital de señales para el acondicionamiento.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Microcontrolador, sus prestaciones para la linealidad del sensor y procesamiento digital

El Microcontrolador que se adecua según las demandas del proyecto y a ser utilizado es el PIC16F877A. Utilizando el modulo ADC de este PIC, se ingresa por un canal analógico del modulo del Microcontrolador tomando 50 muestras por segundo. La señal no lineal del sensor ingresa por el canal analógico y según el nivel de voltaje y posterior cuantificación se clasifica mediante el algoritmo de

linealización en una de las 4 ecuaciones lineales por la que se dividió en tramos la ecuación logarítmica del sensor.

“A través del canal de entrada seleccionado, se aplica la señal de analógica a un condensador de captura y mantenimiento (sample and hold) y luego se introduce al conversor, el cual proporciona un resultado digital de 10 bits de longitud usando la técnica de aproximaciones sucesivas. El conversor A/D es el único dispositivo que puede funcionar en modo Reposo (SLEEP), para ello el reloj del conversor deberá conectarse al oscilador RC interno”. [1]

Cada modulo ADC tiene una frecuencia de muestreo de 50hz consiguiendo un ancho de banda de 400bps por cada bus de datos. Esta es frecuencia en la que se trabaja la captura de los datos tiene una relación fuertemente ligado al tiempo de los pulsos de control de los motores de brazo robot ya que estos tienen características para su control compatible con el tiempo de respuesta de los sistemas de control de este. “El periodo entre el pulso y pulso no es crítico. Se suele emplear valores entre 10 ms y 30 ms, aunque lo habitual es utilizar 20 ms, que implica una frecuencia de 50 Hz. Si el intervalo entre el pulso y pulso es inferior al mínimo puede interferir con la temporización interna del servo causando un zumbido y la vibración del brazo de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasara a estado dormido entre pulsos provocando que se mueva a pequeños intervalos.”. [2]

La velocidad de captura de los datos es relativamente mediana ya que de por si el brazo humano no puede realizar giros en pequeñas fracciones de tiempo, es por eso que sería también factible disminuir el número de muestras por segundo ya que de lo contrario habría muestras repetitivas y las cuales se procesarían en vano además este es periodo de muestreo es característica de un interrupción interna del algoritmo de linealización del sensor con una curva logarítmica característica (Ecuación 1). Ver Fig.2.

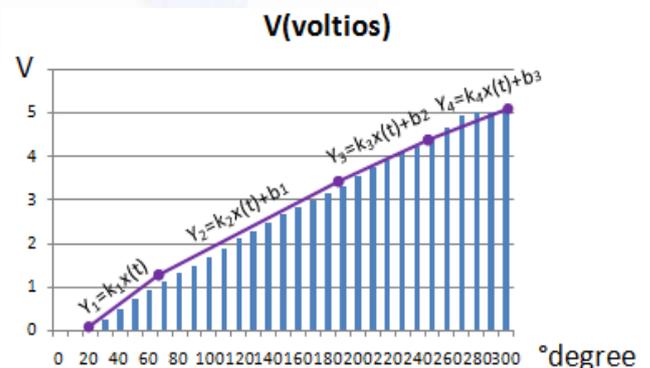


Fig. 2 Curva característica no lineal del sensor: Se toma tramos lineales para el proceso de la señal entrante

Una vez así se tiene una relación lineal el cual determina el ancho de pulso de la onda modulada PWM el cual según una tabla guardada en el controlador va determinar el giro preciso de los servomotores del brazo robótico. Ver las ecuaciones del sistema.

$$R_{ref} \approx f(Degree_{sensor}) \quad (1)$$

$$V_o = V_s * R_{ref} \quad (2)$$

Donde:

$V_o$  = Tensión de salida del potenciómetro

$V_s$  = Tensión de entrada del alimentación (5 voltios)

$R_{ref}$  = Resistencia de referencia en función del ángulo de giro. Valor mínimo y máximo de 0 a 10 K $\Omega$

$f(Degree_{sensor})$  = Función no lineal del potenciómetro por el cual se linealiza por tramos

El divisor de tensión es el principio el cual permite tener una salida eléctrica continua y variable dependiente del ángulo de giro del potenciómetro realizado por el usuario pero con salida no lineal (Ecuación 2) . A partir de esta relación sobre el divisor de voltaje de salida se coloca en la entrada un canal análogo del Microcontrolador el cual requiere de una buena resolución de conversión para esto se utilizara un conversor analógico-digital de 10 bits y para este caso un rango de trabajo de hasta 5V no diferencial.

La no linealidad de la ecuación característica del sensor se acondiciona en software para su fácil proceso ubicando al voltaje de entrada en un tramo lineal, proceso similar utilizado en los compresores digitales de la ley A.

“La mayor parte de los sistema PCM (Modulación por Pulso codificado del las siglas en ingles Pulse-code Modulation) utiliza un código de 7 bits, y el sistema de modernos usan un código de 8 bits con una mejor actuación en la distorsión de cuantificación. la de compresión y expansión y la codificación se realiza al mismo tiempo, simultáneamente. Las funciones de compresión y posterior expansión son logarítmicas, una curva de pseudo-logarítmica formado por un mayor control segmentos lineales imparte a nivel de la señal baja alto peso y menos peso a las señales de alto nivel”. [3]

Una vez teniendo relaciones lineales con la entrada y salida se determina una última relación de entre la señal ya procesada con un valor de ancho de pulso la cual está definida por una tabla guardada en el programa del Microcontrolador. Dicho ancho de pulso se determina en una ecuación lineal guardada en la memoria de programa del PIC tratada con variables en formato de punto flotante para mejor trato en cálculos con valores reales y fraccionales el cual es característico en los valores que se tratan en las ecuaciones de linealidad. En esto se simplifica el diagrama de bloques del proyecto desde la entrada del sensor hasta las líneas de control de los actuadores, en este caso servomotores muy usados en robótica. Ver Fig. 3. “Número de punto flotante se utilizan para representar números fraccionarios no entera, por ejemplo, 3,256, 2,1, 0,0036, y así sucesivamente. Números de punto flotante se utilizan en la mayoría de INGENIERÍA y cálculos técnicos. el estándar de punto flotante más común es el estándar IEEE, según el cual los números en coma flotante se representan con 32 bits (precisión simple) o 64 bits (doble precisión).” [4]

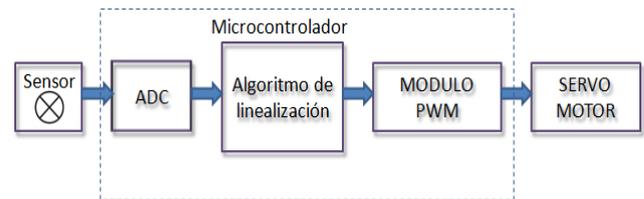


Fig. 3. Diagrama de bloques del programa de control del Microcontrolador del proyecto: entrada analógica con respuesta de pulso modulado en ancho de pulso

Este a pesar ser un sistema de lazo abierto sigue siendo my indiferente a las perturbaciones pequeñas o relativamente ligeras ya que los servomotores usados son sistemas realimentados para el control de su ángulo de giro. Para un mejor respuesta y siendo censada se usaría encoder para mayor facilidad para el sistema lazo cerrado.

El numero de sensores y su acondicionamiento físico simple es vital para configurar el modo y el número de canales analógicos que el proyecto requiera. Esto se puede determinar con el número de sensores utilizados para el propósito y así el procesador realice multiplexación y la división de la frecuencia de muestreo. “La ubicación del multiplexor en el sistema de canales para las medidas en varias arquitecturas para la adquisición de datos. La mayoría de las arquitecturas de uso común de alto nivel o de bajo nivel de multiplexación. Por lo tanto, cada señal debe estar acondicionada antes de ser multiplexado, lo que aumenta el costo del diseño. La ventaja de estos sistemas es que su velocidad de conmutación, y por lo tanto la tasa de muestreo, puede ser rápida debido a que cada señal ha sido adaptado individualmente a las especificaciones del multiplexor. Los Microcontroladores que incluyen un convertidor A / D con varias entradas analógicas (normalmente hasta 16 entradas) tienen el multiplexor integrado en el chip, pero no el amplificador o el filtro que debe ser conectado externamente. Algunos multicanal convertidores A / D no incorporan el amplificador o el filtro tampoco. Si es necesario tomar muestras de varias señales al mismo tiempo, es necesario disponer de un amplificador de muestreo y retención para cada uno de ellos”. [5]

## 2.2 Brazo Robot – Actuadores de potencia y precisión

El brazo robótico diseñado tiene como inspiración la arquitectura del brazo humano. Tanto sus longitudes y articulaciones en escala de reducción para la disminución de coste. Los motores a utilizar son los servomotores ya que son de gran rapidez y precisión. Según las dimensiones del brazo robot se usaron servomotores de grandes prestaciones desde torques de 5 a 33 kg-cm de torque y con una velocidad de 0.2 seg/60°. Ver Fig. 4.



Fig. 4 Brazo robótico de 5 grados de libertad: servomotores y armazones de metales y plástico

El material por su dureza y ligereza utilizado es el aluminio y parte de plástico para mayor flexibilidad. Reduciendo el peso notoriamente si se realizara con acero y aumentando la confiabilidad del mecanismo ante perturbaciones por su rigidez. El control de ángulo de giro de los servomotores esta en un simple algoritmo que hace variar el ancho de pulso de la señal modulada en PWM (Modulación por ancho de pulso de sus siglas en ingles Pulse-Width Modulation), usando el modulo CCP (Modulo de Captura, Comparador y PWM) del Microcontrolador PIC16F877A.

La configuración de este robot viene ser angular ya que es característico del brazo humano y como también permite mayor facilidad en su construcción y modelamiento.

“Los diagramas muestran en varios tipos comunes de un mecanismo de robot. Con los avances en el estado de la técnica en algoritmos de cinemática y las capacidades de hardware de procesamiento, el cálculo es mucho menos de una restricción en la elección del mecanismo de lo que era para los diseñadores de robots temprana. La elección de la estructura mecánica del robot depende sobre todo de las exigencias fundamentales de mecánica como de carga y tamaño de área de trabajo. Teniendo en cuenta un determinado nivel de costo, por lo general hay un equilibrio entre el tamaño del espacio de trabajo y la rigidez. Para que el robot para llegar dentro o alrededor de los obstáculos es claramente ventajoso utilizar un diseño mecánico articulado.” [6]

Para el modelamiento matemático de la cinemática de este robot para su posterior estudio y control con cinemática directa e inversa. Se plantea las matrices características de dicho robot, las cuales se realizaron medidas longitudinales y angulares en el sistema internacional para luego ser expresado literalmente para generalizar dichas matrices para cualquier sistema robótico similar. Para esto se demuestra la cinemática de un grado de libertad eligiendo como punto de referencia eje de giro de la articulación del hombro luego el del codo y así consecuentemente todas las articulaciones que este tiene. El ángulo  $\alpha$  viene hacer el ángulo del punto de referencia  $i$  respecto a la articulación del hombro y el ángulo  $\beta$  viene hacer el ángulo de giro de la articulación

del antebrazo con respecto al eje del codo. Luego las distancias correspondientes  $d_1, d_2$ , etc. Ver Fig.5

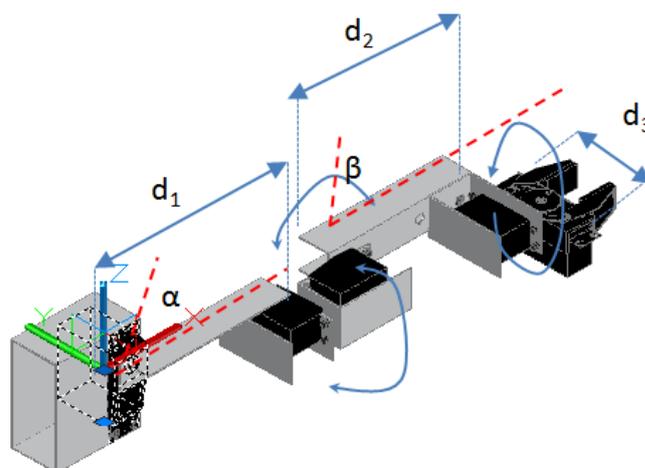


Fig. 5 Brazo robótico simulado en software de dibujo mostrando medidas longitudinales y angulares para el modelamiento matemático

“En numerosos problemas de robótica es necesario involucrar transformaciones compuestas generadas mediante un serie de operaciones elementales de traslación o rotación. Así, por ejemplo, resulta natural asociar un sistema de referencia a cada articulación de un manipulador. Si se desea conocer la localización de la pinza situada en el extremo del último enlace, es necesario estudiar la transformación compuesta que relaciona este extremo con la base del manipulador” [7]

De esta manera se obtendrá las matrices correspondientes por ejemplo de rotación de la articulación hombro  $i+1$  respecto a la referencia  $i$ . Y por ultimo matriz de desplazamiento realizando la multiplicación de las matrices mencionadas. Ver matrices.

$${}^i M_{i+1} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$${}^{i+1} M_{i+2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$${}^{i+1} M_{i+1} = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$${}^{i+1} M_{i+2} * {}^{i+1} M_{i+1} = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Donde:

$i$  = Sistema de referencia

$i + 1$  = Articulación del hombro

$i + 2$  = Articulación de Codo

$i + 3$  = Articulación de Muñeca

$i + 4$  = Articulación de Tenaza

${}^i M_{i+1}$  = Matriz de referencia de  $i+1$  respecto a  $i$

${}^{i+1} M_{i+2}$  = Matriz de Rotación de  $i+2$  con respecto a un punto  $i+1'$  siendo una posición cualquiera de  $i+1$

${}^{i+1} M_{i+2} * {}^{i+1} M_{i+1}$  = Matriz de desplazamiento de  $i+1$  respecto a la articulación  $i+1'$  con su respectivo ángulo  $\beta$

Con el objetivo de este modelamiento matemático se lograra conseguir las configuraciones del robot con tal que el posicionamiento del efector final este después definida en este caso va ser una pinza con la facultad de coger objetos pequeños para manipular herramientas o sea cual fuera la aplicación determinada a ser aplicada. Aquello se conseguirá con la teoría de la cinemática directa o inversa. “La cinemática directa de un robot determina la configuración del efector (la pinza o una herramienta montado en el extremo del robot), dada la configuración relativa de cada par de eslabones adyacentes del robot. En esta sección, nos limitamos a los manipuladores de cadena abierta en la que los vínculos forman una cadena en serie y de cada par de enlaces está conectado, ya sea por una articulación giratoria o un prismático (deslizamiento) conjunta. Para fijar notación, el número de juntas de 1 a  $n$ , a partir de la base, y el número de tales vínculos esa articulación  $i$  conecta enlaces  $i - 1$  y  $i$ . Vincular 0 se toma como la base del manipulador y  $n$  enlace se adjunta de forma rígida al efector final.” [8]

Ahora bien la cinemática inversa es forma contraria sea un punto cualquiera se definirá si es posible alcanzar con el efector final dicho punto y si lo es, las posibles configuraciones del robot para lograr el objetivo. Esta sigue siendo una importante materia para una mayor expansión de aplicaciones del procesamiento digital de señales e imágenes. Dado que este procedimiento determina matemáticamente la posición adecuada del robot para alcanzar su punto final. “La cinemática inversa es crucial, que determina la capacidad de un robot para cumplir con una tarea a través de la ejecución del movimiento en el espacio articular. En consecuencia, el objetivo de la cinemática inversa consiste en calcular las propuestas de resolución deseada de las variables comunes para un movimiento dado especificación del marco del efector final en el espacio de trabajo”. [9]

### 2.3 Mecanismo Adaptable al Brazo Humano

El diseño y construcción del mecanismo tiene como fin capturar los movimiento dinámicos del brazo humano sea cual fuera su movimiento, sea un giro a la vez o múltiples de una articulación adecuándose a dicha extremidad humana con una gran comodidad y libertad para realizar movimientos. Con el objetivo principal de hacer girar los sensores para el muestreo constante del cual sistema

realizado.

El material usado es papel de alta densidad reciclados para incentivar la conciencia ambiental que se agrava cada día más y demostrando el uso diverso y gran envergadura que éste se pueda dar. El mecanismo adaptable tiene un mando de control de 2 direcciones las cuales va junto a la mano del usuario para el control de la pinza para la precisión censando constantemente los movimientos del mando que se hace en él.

El diseño adaptable a diferentes tipos de brazos humanos permitiría el uso indiferente a cualquier usuario. Para que sea posible aun mas esto se desea implementar en otros tipos de materiales utilizados en la ortopédica y así conseguir un uso específico para personas con impedimentos físicos para realizar tareas en que esta sea demandada. Incluso el uso de dicho material de construcción debe ser ligero, resistente al tiempo y desgaste físico para que así los sensores no esté expuesto a áreas de demasiada fatiga ocasionando mala lectura y respuesta ante el robot.



Fig. 5 Mecanismo adaptable al brazo humano: Diseñado el brazo del usuario con sensores y mando de control

### 3. Resultados y discusión

#### *Sistema Mecánico Adaptable al Brazo Humano*

El diseño del mecanismo fue propio a su objetivo, además la adaptación a diferentes tamaños de brazos humanos de los usuarios, hace posible que cualquier persona-usuario pueda manipular este sistema con el fin de controlar el brazo robótico con totalidad.

Un ejemplo certero ante este diseño se pude apreciar en los sistemas de articulaciones ortopédicas para personas con alguna discapacidad específica.

Se observa en la pruebas del proyecto que el brazo robótico refleja cierta vibraciones en su funcionamiento.

Esto es debido a que el brazo humano tiene pequeños movimientos involuntarios, común para cualquier usuario. Por este motivo se tomara en cuenta para el diseño de filtros digitales que disminuya o simplemente elimine las vibraciones del brazo humano censadas para que no se pueda mostrar en el sistema imagen del brazo robótico de 5 grados de libertad. El material usado, en este mecanismo permite la comodidad y maniobrabilidad del usuario, permitiendo que éste tenga la facultad de controlar el robot por largos periodos de tiempo.

Esto fue observado en las distintas pruebas realizadas, para observar el comportamiento y aceptación del mecanismo adaptable al brazo humano. Se le agrego un mando de control tipo joystick para que el usuario pueda manipular las articulaciones de rotación de la pinza, permitiendo que este tenga una gran facilidad para la manipulación de objetos por el sistema imagen del robot de 5 grados de libertad. El joystick tiene sensores de gran precisión, permitiendo así que el usuario no tenga dificultades en la manipulación de dichos objetos, ya que estos pueden tener una gran importancia en su traslado o movimiento según sea la aplicación del robot.

#### *Brazo Robot de 5 Grados de Libertad*

El brazo robótico trabaja con servomotores de distintas características mecánicas, resultado más común el torque característico de cada motor. Dado que el torque máximo se experimento en la articulación del hombro ya que este soporta todo el mecanismo, se uso un motor de gran potencia y buena amortiguación para que no existan oscilaciones al hacer el movimiento de todo el robot por el hombro. Inclusive los giros de este motor esta con un algoritmo distinto al resto de motores y se diferencia que este tiene un respuesta más lenta haciendo que no haya sobre impulso en las respuestas del motor.

El aluminio usado permite disminuir significativamente masa de cada parte del robot haciendo que la inercia producida en sus giros sea menor. Mejor aún los servomotores tienen integrado un sistema realimentado permitiendo que los movimientos de cada grado de libertad no tengan errores de posición; es decir, que el sistema es estable con un sobre impulso muy pequeño y una respuesta rápida. Para realizar una analogía es igual que a un brazo humano, objetivo principal de este proyecto.

La pinza de dicho robot tiene un mecanismo que permite manipular objetos de un tamaño relativamente pequeño y sin importar en qué posición se encuentren, ya que la pinza fue diseñada para obtener muestras en distintas posiciones en que se encuentren. Para mejorar y ayudar a obtener las muestras se le agrega en las tenazas un material rugoso para la facilidad con objetos de superficies lisas.

La detección de objetos suponiendo que el usuario no pueda tener alcance de robot, este se le implementado un sistema sonar que permite detectar objetos de una distancia corta de 3 centímetros como mínimo. Inclusive el sensor ultrasónico implementado permite tener un alcance máximo

de detección de 6 metros con una grafica de la onda muy estrecha para que sea direccional. Estos resultados son mostrados en una pantalla grafica que permite tener siempre a la vista del usuario la distancia que se encuentra del objeto a manipular. Y para que sea de un volumen mayor de detección se hace girar el modulo ultrasónico para tener un mayor obtención de datos de longitudes de los objetos próximos al robot; es decir, el sistema robótico es capaz de detectar cualquier objeto próximo o lejos a él, incluso determinar la distancia que se encuentran.

El aporte significativo del procesamiento de señales digitales ha permitido tener un avance claro en este proyecto con la implementación de sistemas digitales integrados de calidad óptima.

#### *Sistema de Control y Proceso*

Para dicho sistema, se tiene Microcontroladores que permiten el control. Estos tienen dos fuentes independientes pero con masa en común. Esto debido a que estos circuitos son sensibles a los cambios bruscos de corriente y esto ocurre principalmente en los servomotores cuando están en funcionamiento. Para evitar esto se usa una fuente de gran potencia con un máximo de 40 amperios de salida de 5 voltios DC y para los circuitos de control una fuente pequeña, suficiente para su desempeño.

La programación en lenguaje de alto nivel como el C, fue de gran ayuda para la flexibilidad de los recursos internos de los Microcontroladores PIC, se utilizaron recursos de comunicación y como también de control de motores como es característico de estos circuitos integrados. Todo el sistema de alimentación ya tiene integrados ventiladores de refrigeración para su óptimo funcionamiento. Para las placas de control tiene sistemas de iluminación para su fácil conexión a los dos sistemas robóticos y mecánico adaptable al brazo humano para el proceso y respuesta en tiempo real.

#### **4. Conclusiones**

- El proyecto realizado tiene diversas aplicaciones tanto didácticas como en la industria que actualmente se difunde cada día más. Se ve una aplicación de gran importancia en las articulaciones ortopédicas de uso para personas con alguna discapacidad. Se aspira con el tiempo ser un producto al alcance de cualquier usuario.
- Se encontró una variable en la investigación que no se anticipo, el hecho que el brazo humano tiene pequeñas vibraciones casi imperceptible al ojo humano, esto trajo la necesidad investigar este factor que influye mucho en las respuestas del brazo robótico que la defino como vibración reflejada. La vibración reflejada hace que la señal analógica muestreada varíe en pequeñas cantidades de niveles de voltaje y como consecuencia hace variar la señal digital procesada en sus últimos bits menos significativos produciendo respuestas

al brazo robótico vibratorios. Se encontró una manera en reducir este ruido agregando un filtro de utilidad en la electrónica conocido como filtro anti-rebote o en termino en ingles debouncer utilizado para filtrar el ruido que produce al presionar un pulsador mecánico.

- El desempeño de este robot es dependiente de la tecnología usada en los motores, esto quiere decir que el proyecto realizado es muy flexible a los cambios de piezas ya que los armazones son de uso exclusivo para servomotores de cualquier tipo de marca que se adquiera.
- Para el uso de cualquier otro tipo de motor distinto de los servomotores, se precavó que deberá tener un juego de engranajes para la fácil adaptación al mecanismo del proyecto.
- El procesamiento digital de señales permite el avance del proyecto en diversas ramas, en donde se aplicará el procesamiento de imágenes para la automatización del robot e inteligencia propia. Haciendo que en el futuro el robot pueda ser manipulado por un usuario o por si solo gracias a los sistemas digitales programables integrados.
- Para que el procesamiento digital se logre con sistemas de altas prestaciones se deberá tomar en cuenta el uso de los procesadores digitales de señales que permiten realizan operaciones a grandes velocidades de proceso y con un menor consumo de energía por su miniaturización. Las altas prestaciones de estos componentes disminuirán los costos en una parte muy considerable. Llegando así a poder comercializar este producto al alcance de cualquier usuario para usos en distinta áreas de la electrónica.

- [2] Enrique Palacios y otros, *Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos*, Alfaomega - Ra-ma, Primera edición, 2004, México, p 508. Roger L. Freeman, *Telecommunications System Engineering*, John Wiley & Sons Inc., 2004, p. 268
- [3] Roger L. Freeman, *Telecommunications System Engineering*, John Wiley & Sons Inc., 2004, p. 268.
- [4] Dogan Ibrahim, *Advanced PIC Microcontrollers Projects in C from USB to Zigbee with the PIC 18F Series*, Elsevier Science & Technology Rights Department in Oxford, 2008, p. 31.
- [5] Fernando E. Valdés – Perez y Ramon Pallas- Areny, CRC Press, ISB 978-1-4200-7767-4, 2009, pp 240-241
- [6] Bruno Siliciano y Oussama Khatib, *Handbook of Robotics*, Springer, 2008, p.975
- [7] Anibal Ollero Baturone, *Robótica Manipuladores y robots móviles*, Alfaomega- Marcombo, 2001, p.55.
- [8] Richard M. Murray y otros, *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*, CRC Press, 1994, p.101.
- [9] Ming Xie, *Fundamentals of Robotics Linking Perception to Action*, World Scientific, Vol. 5, 2003 p.87

## 5. Agradecimientos

Los autores reconocen con agradecimiento las contribuciones de los docentes y autoridades de la Universidad Ricardo Palma, cuyo rector es PhD. Iván Rodríguez, a la Facultad de Ingeniería, cuyo Decano es el Dr. Leonardo Alcayhuamán, al Ing. Pedro F. Huamaní por su asesoramiento en modelamiento matemático, a nuestro asesor Ing. Mario B. Chauca por su apoyo tanto en el proyecto y revisión del artículo presente, a todo el Staff de Ingenieros docentes de nuestra institución y a nuestro Director de Escuela y profesor el Dr. Oscar Penny por su apoyo incondicional que nos brinda para hacer realidad el proyecto presente.

## 6. Referencias

- [1] José María Angulo Usategui y otros, *Microncontroladores PIC Diseño practico de aplicaciones 2da parte*, McGraw Hill, 2da edición, 2006, p. 143.