

CONTROL DEL MOVIMIENTO DE UNA PINZA ROBÓTICA POR MEDIO DE LA ACTIVIDAD NEURONAL DEL ANTEBRAZO

Gallegos Sánchez Mónica
mtatigallegos@yahoo.es
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Quito-Ecuador

Simbaña Haro Jenny Del Rocío
jenny13912@hotmail.com
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Quito-Ecuador

RESUMEN El objetivo de este proyecto es el emplear las señales eléctricas (EMG) generadas a la altura del brazo de una persona para controlar una pinza robótica con dos grados de libertad, Esto es, abrir y cerrar la pinza para asir un objeto y mover la muñeca para controlar su posición.

Para lograr este objetivo se utilizan cinco electrodos de superficie los mismos que colocados estratégicamente en los músculos del antebrazo sensan su actividad neuronal.

Esta señal es amplificada (amplificadores de instrumentación), filtrada (filtros pasa-banda) y procesada para controlar por medio de un microcontrolador PIC16F876A los servomotores de la pinza robótica, permitiendo reproducir en esta los movimientos de la mano. La pinza seleccionada, mueve sus dedos y la muñeca por rotación directa del eje del servomotor. Los servomotores se alimentan de 5 voltios y utilizan señales PWM para el control. Todo el sistema es alimentado ya sea por dos baterías de 9v o fuente continua de 9 voltios.

La pinza además posee dos galgas (una por cada dedo), las mismas que simulan el sentido del tacto de una persona para establecer la fuerza necesaria para sujetar diferentes objetos que pueden tener diferentes tamaños.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos de la humanidad, es el de encontrar la manera de reproducir los movimientos que es capaz de realizar el humano en prótesis o robots.

El cuerpo humano utiliza señales eléctricas para poder realizar sus actividades físicas,

entre las cuales se encuentran las actividades motoras, destinadas al movimiento del cuerpo. Las señales eléctricas enviadas son diferentes, según el tipo de movimiento que se desea realizar, y no necesariamente cesan en caso de que algún miembro sea amputado.

A nivel de prótesis del miembro superior (brazo), se ha realizado varios estudios con el fin de lograr reemplazar la mano y todos los movimientos que esta puede realizar, por mecanismos capaces de copiar estas acciones.

Es así que, reproduciendo los movimientos básicos de la mano, en dos grados de libertad, en este proyecto se empieza con la búsqueda de una alternativa para quienes carecen de esta parte de su cuerpo, reemplazándola por una pinza o mano artificial. Otro futuro alcance de esta tecnología es aplicarla en el comando remoto de partes robóticas, empleando las señales propias del cuerpo de un operador humano.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Estando el brazo a lo largo del cuerpo, se dice que la mano está en *supinación*, cuando su palma está vuelta hacia delante y el pulgar hacia fuera, está en *pronación*, cuando su palma está vuelta hacia atrás y el pulgar hacia adentro. Cuando la mano pasa de una a otra posición se dice, que ejecuta un movimiento de pronosupinación [1].

El conjunto de movimientos efectuados por la mano, con la intención de asir un objeto, se le conoce como *prensión*. De los varios tipos de prensión existentes, la prensión que ejecuta el dedo pulgar se denomina "pinza", y es la acción que reproducirá la pinza robótica.

Asir un objeto, es la acción de ubicar la mano sobre el objeto, cerrar los dedos y sujetar, haciendo intervenir todos los músculos del brazo y sus articulaciones. Al adoptar esta posición, los músculos aseguran el bloqueo y la

fijeza de las articulaciones consideradas. Solamente entonces se puede efectuar la sujeción.

Para que cada una de estas acciones se lleve a cabo, el cerebro envía las señales eléctricas internas necesarias.

La electromiografía (EMG) usa las señales producidas por la despolarización del potencial de la membrana de las fibras musculares durante su contracción. Para la reproducción de dos movimientos distintos de la mano, se necesitan como mínimo, dos señales musculares diferentes [2]. Con el fin de detectar estas señales son sensados los músculos del antebrazo que intervienen en el movimiento de la mano. Entre los músculos sensados se encuentran el músculo supinador corto y pronador redondo para el movimiento de la muñeca y, el abductor del pulgar y extensor común de los dedos para la acción de "pinza" de los dedos [1]. Estos dos movimientos logran la sujeción de objetos.

Para extraer estas señales se utiliza cinco electrodos de superficie de biopotencial elaborados en oro y plata, con alto rechazo al ruido y rápida respuesta a baja frecuencia. (Figura 1).



Figura 1. Electrodo de Biopotencial de Oro
(Fuente: [http:// Rochester Online Store// NoiseFree Bio-Potential Electrodes.com](http://Rochester Online Store// NoiseFree Bio-Potential Electrodes.com))

Cuatro electrodos sensan la actividad de dos pares de músculos antagonísticos y el quinto electrodo hacen referencia o tierra del circuito.

Los electrodos deben estar firmemente adheridos a la piel con pasta electrolítica que elimina la alta impedancia generada al contacto con la piel. La correcta ubicación de los electrodos sobre el antebrazo se presenta en la Figura 2.

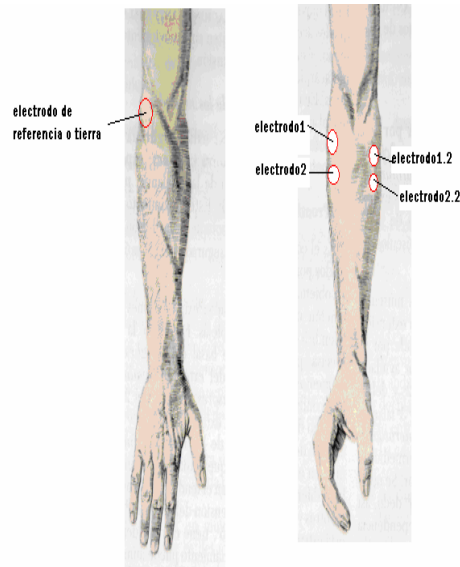


Figura 2. Colocación correcta de los electrodos.

La señal obtenida con los electrodos ingresa a dos circuitos idénticos para ser amplificada, filtrada y comparada de manera independiente.

Debido a que las señales miográficas del brazo son muy pequeñas (en el orden de los microvoltios) se utiliza para amplificar la señal un amplificador de instrumentación INA129 de la Texas Instruments, con entrada diferencial, alta ganancia (1 a 1000) y alto rechazo al ruido (120dB a $G > 100$). A su salida se obtiene la diferencia entre las dos señales musculares ingresadas. Dependiendo de la señal sensada, se setea la ganancia por medio de una resistencia externa colocada entre los pines uno y ocho del integrado obedeciendo la

$$\text{fórmula } G = 1 + \frac{49.4K\Omega}{R} \quad [6], [7] .$$

De las pruebas realizadas, se determinó que la señal de apertura y cierre de los dedos de la mano tiene mayor amplitud y frecuencia que la obtenida al momento de girar la muñeca. Por esta razón la ganancia del amplificador para la señal muscular del pronador redondo y el músculo supinador corto que intervienen en el movimiento de la muñeca tiene un valor de 42 y el amplificador para la señal de los músculos abductor del pulgar y extensor común de los dedos para la acción de "pinza" de los dedos es de 16 veces su valor original. Hay que destacar

que los electrodos utilizados por su constitución proveen también de amplificación y rechazo al ruido.

Al final de esta etapa se obtuvieron las señales presentadas en las Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

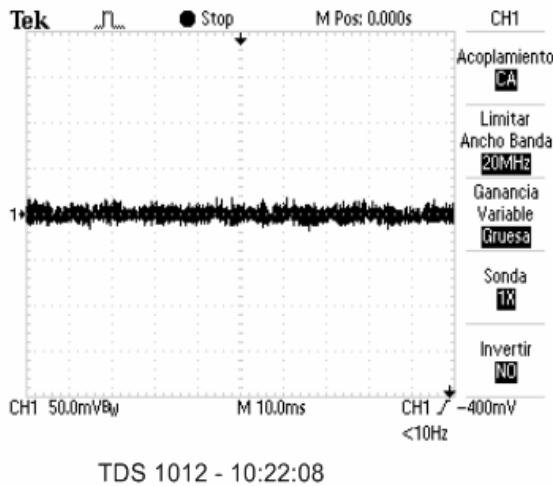


Figura 3. Onda Amplificada, Mano Cerrada

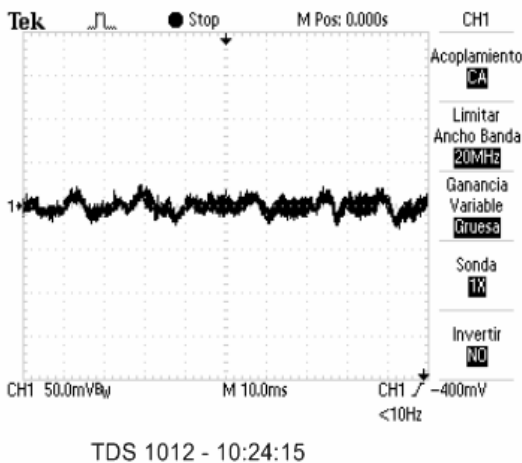


Figura 4. Onda Amplificada, Mano Abierta

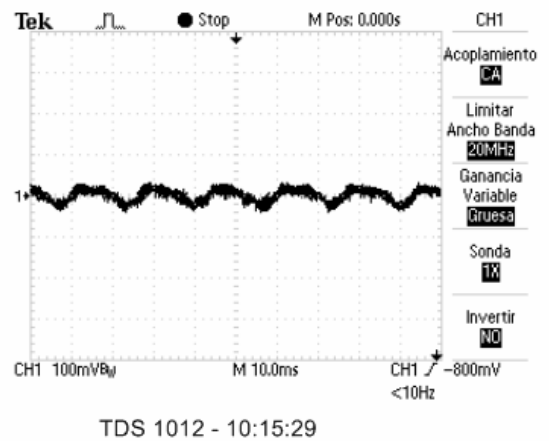


Figura 5. Amplificada, Muñeca a la Derecha

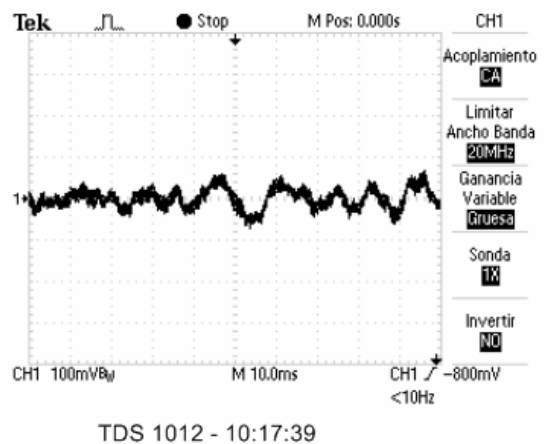


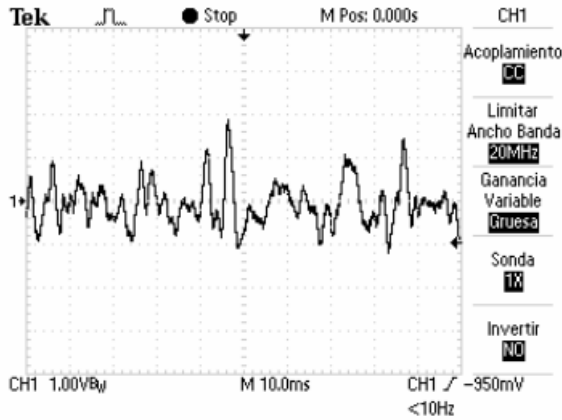
Figura 6. Onda Amplificada, Muñeca a la Izquierda

A continuación se diseñaron dos filtros colocados en cascada, uno pasa- altos y un pasa-bajos. La frecuencia de corte de cada uno de ellos se estableció según estudios clínicos realizados, los mismos que determinaron que el cambio de potencial en las fibras musculares se produce de manera más notoria en un rango de 50 Hz a 350 Hz, por tanto para el filtro pasa altos se asignó una frecuencia de corte de 20Hz y al filtro pasa bajos una frecuencia de 650Hz para darle un mayor ancho de banda al sistema y poder extraer la mejor señal posible [6].

Estos filtros fueron implementados mediante el integrado UAF42AP de la Texas Instruments, que es un filtro activo universal, el mismo que en su interior posee las configuraciones básicas de los filtros activos y permite mediante resistencias externas establecer la frecuencia de corte, el factor de calidad Q y la ganancia [8]. Al igual que el amplificador de

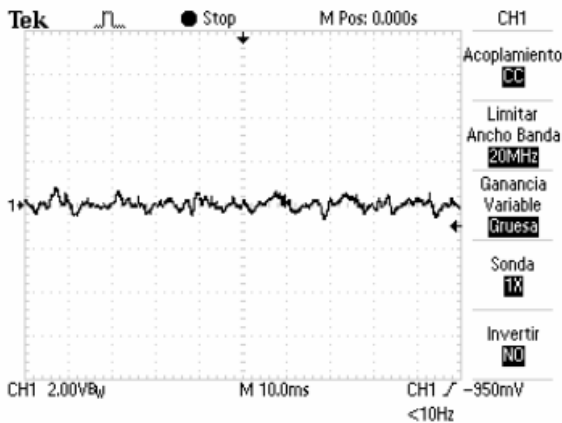
instrumentación este integrado tiene un alto rechazo al ruido.

En esta etapa se obtuvieron las siguientes señales: (Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10).



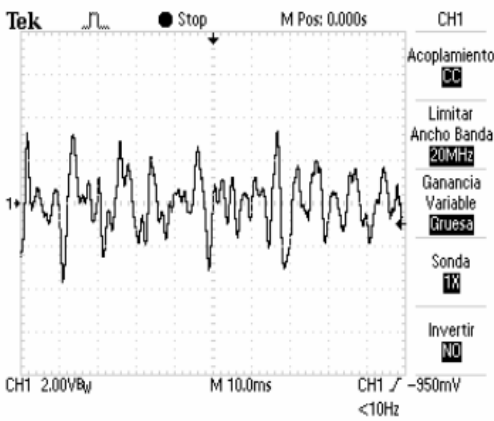
TDS 1012 - 10:33:49

Figura 7. Señal Obtenida con la Mano Abierta después del Filtro



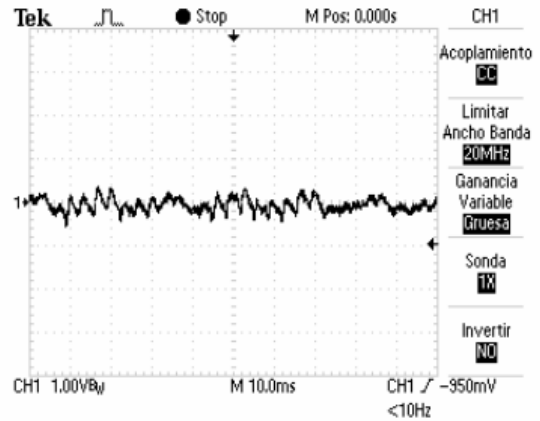
TDS 1012 - 10:41:41

Figura 8. Forma de Onda Obtenida, Mano a la Derecha después del Filtro



TDS 1012 - 10:43:51

Figura 9. Señal después del Filtro con la Mano a la Izquierda



TDS 1012 - 10:31:54

Figura 10. Señal Obtenida con la Mano Cerrada después del Filtro

Después de filtrar la señal, esta es ingresada a un comparador implementado con el integrado TLC272 que es un amplificador operacional dual de precisión de la Texas Instruments. Esta comparación permite detectar los cambios de voltaje y frecuencia que se producen al realizar un movimiento con la mano y convertir la señal analógica en digital para que pueda ser procesada por el microcontrolador que comanda los motores de la pinza robótica.

Dos microcontroladores PIC16F876A son utilizados para procesar la señal proveniente de los comparadores. Cada uno revisa si existe un cambio en la señal de entrada de manera independiente (muñeca y pinza) para generar señales PWM que permiten el control de los servomotores.

En su conjunto el sistema se divide en cuatro bloques independientes para cada señal sensada, tal como se muestra en la Figura 11.

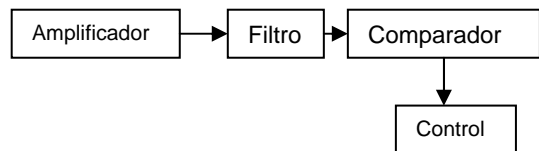


Figura 11. Diagrama de bloques sistema de control

Una vez realizado todo el proceso de acondicionamiento de la señal neuronal del antebrazo para que sea útil en el comando de los servomotores que mueven a la pinza robótica, presentamos la descripción de la pinza robótica seleccionada.

SELECCIÓN DE LA PINZA ROBÓTICA

En el mercado existen varios tipos de mecanismos manipuladores. A nivel industrial el mecanismo de pinza es el más usado. A nivel de prótesis la ciencia está buscando la manera de construir la replica exacta de la mano, sin embargo, la pinza de dos dedos también es útil y práctica si el objetivo es la sujeción.

Los mecanismos de agarre tienen diferentes diseños mecánicos. Por la facilidad del diseño, la función que va a desempeñar, y la fuerza necesaria para la sujeción de los objetos, la pinza de rotación paralela con mecanismo de conducción por leva es la más útil y fácil de controlar, siendo esta la razón de selección de la pinza [3].

Otra característica que debe definirse al momento de seleccionar un elemento manipulador constituye los "grados de libertad" que posea. Hablar de "grados de libertad" equivale a decir número y tipo de movimientos del manipulador. Los grados de libertad son los parámetros que se precisan para determinar la posición y la orientación del elemento terminal del manipulador [4], [5]. También se pueden definir, como los posibles movimientos básicos (giratorios y de desplazamiento) independientes. Un mayor número de grados de libertad conlleva un aumento de la flexibilidad en el posicionamiento del elemento terminal.

Debido a la complejidad de los movimientos de la mano, que en su conjunto tiene 22 grados de libertad, el objetivo de este proyecto se centró a reproducir dos grados de libertad de la mano, el movimiento de la muñeca y el de la pinza para la sujeción del objeto.

Al momento de diseñar una pinza deben tomarse en cuenta la forma y peso de los objetos a sujetar, así como el tipo de movimiento que harán los dedos. Con esto se puede asegurar una buena sujeción, de tal forma que la pinza no se dañe ni dañe el objeto.

De varios estudios estadísticos realizados, el agarre de un objeto es, en un 60 a 70% reproducido y realizado en modo de pinza de dos dedos y por ello ésta es la aplicación más utilizada a nivel industrial. A nivel de prótesis, la ciencia está buscando construir la réplica exacta de la mano, sin embargo, la pinza a dos dedos también es útil y práctica si el objetivo es la sujeción.

Con estos parámetros establecidos, la pinza utilizada en el proyecto posee dos grados de libertad correspondientes a la traslación de los dedos y giro de la muñeca.

La pinza consta de dos servomotores tanto para rotación de la muñeca como para la rotación de los dedos de la misma.

El servomotor de la muñeca se sujeta por su eje a una ranura mediante tornillo, permitiendo su rotación libre hasta 180 grados, más que suficiente para reproducir, desde el punto de vista práctico el movimiento de la muñeca de la mano humana. El segundo servomotor es el encargado de la traslación de los dedos. Sujeto su eje a una leva permite la apertura y cierre de los dos dedos simultáneamente, mediante rotación de su eje, de 0 a 180 grados asegurando la sujeción del objeto. (Figura 12)

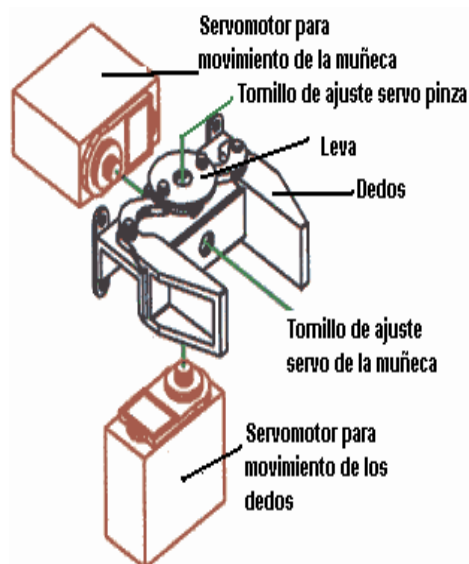


Figura 12. Pinza utilizada, Componentes.

Los servomotores son motores de corriente continua controlados por señales PWM, y variando el ancho de pulso de las mismas, se comanda el control interno del motor que indica la posición deseada.

En el cuerpo humano la fuerza y grado de cierre de los dedos para sujetar un objeto lo establece el sentido del tacto, para simular este efecto, los dedos de la pinza poseen dos galgas, que establecen el tamaño y presencia del objeto, deteniendo el motor para no dañarlo. La señal de las galgas son acondicionadas para que el microcontrolador pueda distinguirlas. Para ello se utiliza el

amplificador de instrumentación AD627 con ganancia de 1 a 1000 y salida RAIL-to-RAIL.

Todos los integrados utilizados, usan fuentes de polarización de ± 5 voltios dc, por tanto el sistema es alimentado por dos baterías alcalinas de 9 voltios. Este voltaje es reducido a 5 voltios por medio de reguladores y posee protecciones contra sobrevoltaje. El sistema además puede ser alimentado desde una fuente de voltaje continuo externa.

PROGRAMACION

Del estudio e investigación sobre las señales eléctricas generadas a la altura del antebrazo por los movimientos de sujeción, apertura, pronación y supinación de la mano, se pudo llegar a la conclusión de que estas señales cambian tanto en frecuencia como en amplitud.

Sin embargo el cambio más radical que se pudo observar fue el cambio de frecuencia, entonces se planteó como una alternativa para realizar el software del sistema el conteo de pulsos y dependiendo del número de estos, la pinza robótica reproduciría los diferentes movimientos similares a los de la mano.

Con la alternativa anteriormente planteada surgieron algunas complicaciones, ya que al abrir la mano o al girar la muñeca los electrodos detectaban cambios casi similares por lo que no era fácil interpretar si en un momento determinado estaba girando la muñeca o se estaba abriendo la mano. Es por eso que se prefirió trabajar con el cambio de amplitud de las señales, y se descartó la alternativa que se planteó en un principio que era el contar pulsos.

El software de control del sistema se realiza con la ayuda de dos microcontroladores PIC para evitar cualquier tipo de complicación con el programa.

Los programas realizados trabajan uno independiente del otro, pero la pinza podrá hacer pronación únicamente cuando esta se encuentre abierta, ya que si se considera el estado de una mano real esta primeramente se abre y luego gira la muñeca para poder alcanzar un objeto.

La señal de la galga se introduce por el pin RA0 del microcontrolador y se lee constantemente para detener el motor si la pinza ya sujetó un objeto.

El diagrama del procesador de señal y controlador de motores se presenta en la Figura 13.

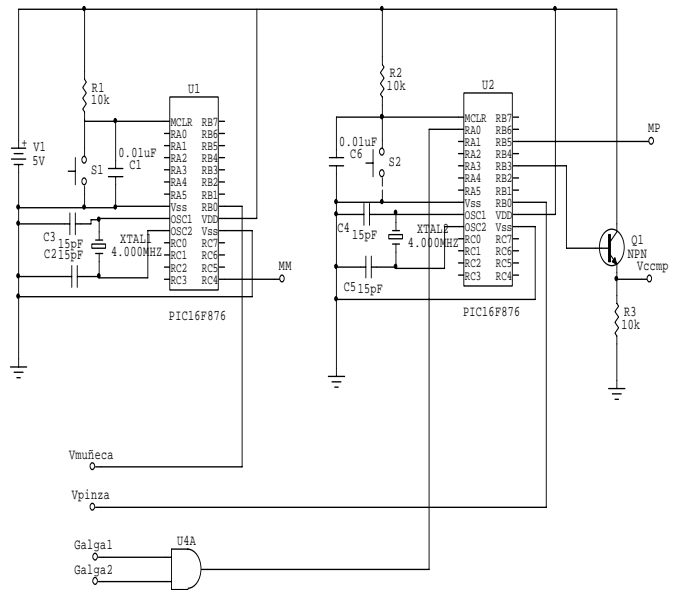


Figura 13. Diagrama del Procesador de Señal y Controlador de Motores

RESULTADOS

Luego del análisis de las formas de onda obtenidas se establece que para cada movimiento la frecuencia de la señal es distinta.

Con este resultado se procede al procesamiento de la señal para lograr el control de los motores de la pinza.

Después de varias pruebas realizadas se establece que la pinza robótica responde al giro de la muñeca con un 90% de fidelidad, pues de veinte pruebas realizadas consecutivamente dieciocho fueron ejecutadas satisfactoriamente.

Si no se detecta ninguna actividad en el antebrazo debido al movimiento de la mano, la pinza regresa a su posición inicial imitando a la mano humana cuando está en reposo, esta posición es la de semipronación.

De igual manera se realizaron varias pruebas para la sujeción de distintos objetos. Como se pudo constatar en estas pruebas la señal neuronal del antebrazo para los distintos movimientos que realiza la mano, la señal obtenida al mover los dedos con la intención de asir un objeto es mucho más fuerte que la señal de movimiento de la muñeca. La pinza respondió de manera más eficiente a esta señal, cerrándose y abriéndose con un 95% de eficacia.

Además se determina que la pinza es capaz de sujetar objetos no mayores en ancho a 23 mm que es el valor de la apertura máxima de la pinza y con una estructura dura como por ejemplo: borradores y esferos. Sin embargo, al momento de sujetar objetos muy frágiles como son los huevos de codorniz (que incluso son frágiles al tacto humano), la pinza no es muy eficaz y aunque logra sujetarlos, muchas veces por su delicadeza estos se terminan rompiendo.

Aunque la galga simula al sentido del tacto, la respuesta a este estímulo en un ser humano es tan rápida que no se puede hacer una réplica exacta del mismo, por esta razón no todos los huevos logran ser sujetados.

El correcto funcionamiento del sistema depende específicamente de la correcta colocación de los electrodos puesto que la señal neuronal depende de la constitución física de cada persona.

Este fue el mayor reto que se presentó en la ejecución del proyecto ya que se debió probar distintas posiciones antes de encontrar las señales exactas que diferencian el movimiento de la muñeca al girarla y el de los dedos al sujetar un objeto. Las características de los electrodos también ayudan en el momento de extraer la señal EMG, luego de hacer un estudio con electrodos de superficie desechables de Cloruro de plata, electrodos de biopotencial de cloruro de plata y los electrodos de biopotencial de Cloruro de Plata y Oro los últimos ofrecieron mayor rechazo al ruido y mayor amplificación para señales tan pequeñas como las del movimiento de la mano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] LATARJET RUIZ, Liard; Anatomía Humana. Editorial Medica Panamericana S.A. Capítulo 58; 623-632, 637-643, 669-674. Capítulo 62; 716-730, 733-742.

[2] FERGUSON, Simón; DUNLOP, Reg G. Grasp Recognition from Myoelectric Signals. Proc. 2002; Australasian Conference of Robotics and Automation, Auckland 27-29 November 2002.

[3] PESINI, Osvaldo Hugo; CECCARELLI, Marco; CARBONE, Giuseppe. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, Clasificación de Mecanismos en Pinzas Industriales de Dos Dedos, Vol. 7, 59-75, 2003

[4] Robótica Industrial.
<http://www.chi.itesm.mx/vcim/robind/robótica.html>. Fecha de consulta: Septiembre 2004.

[5] Estación Robótica para Ensamblaje. Lucas Marea / Sinaxi S.A.
<http://www.monografias.com/trabajos16/estacion-robotica.html>. Fecha de consulta: Septiembre 2004.

[6] HERRERA, Andres; BERNAL, Andres; ISAZA, David; ADJOUADI, Malek. Design of an Electrical Prosthetic Gripper using EMG and Linear Motion Approach. Center for Advance Technology and Education; Department of Electrical and Computer Engineering, Florida International University, 10555 W Flagler Street EAS 2220, Miami, FL 33174.

[7]
<http://www.ociw.edu/instrumentation/ccd/parts/ina128.pdf>. Especificaciones técnicas del amplificador de instrumentación INA128.

[8]
<http://www.focus.ti.com/lit/ds/symlink/uaf42.pdf> Especificaciones técnicas del filtro activo UAF42AP.

BIOGRAFIA

Mónica Tatiana Gallegos Sánchez.

Nacida el 26 de Abril de 1980 en el cantón Riobamba provincia del Chimborazo. Estudios secundarios Colegio de Ciencias Pitágoras título de bachiller en Ciencias. Estudios universitarios Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Carrera en Electrónica y Control título de Ingeniera en Electrónica y Control Abril del 2006.

Jenny del Rocío Simbaña Haro.

Nacida el 15 de Julio de 1978 en Sangolquí provincia de Pichincha. Estudios secundarios Unidad Educativa Darío Figuroa Larco título de bachiller en Ciencias. Estudios universitarios Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Carrera en Electrónica y Control título de Ingeniera en Electrónica y Control Abril del 2006.