

Movilizador pasivo de la articulación de la muñeca
Passive mobilizer of the wrist joint

Harold Alberto Rodríguez A. ¹, Erika Zulay Rodriguez A. ²
Michael Rodríguez Arias³

¹Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo, Centro de Investigaciones, Facultad de diseño e Ingeniería, Cartagena, Colombia, harold.rodriguez@tecnar.edu.co

² Universidad Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Especialización en Bioingeniería, Bogotá, Colombia, ezrodrigueza@unal.edu.co

³ Centrales Eléctricas del Norte de Santander (CENS), Ingeniero Electromecánico, Cúcuta, Colombia, michael.rodriguez.arias@live.com

Abstract: *The wrist joint is of great importance in daily life activities at all stages of life, as well as in sports gestures for high performance athletes. For this reason, optimum rehabilitation is essential. Present an injury and allow a complete inclusion to daily activities. The proposal of a passive mobilizing machine for the wrist joint becomes one more tool for physiotherapists to perform an optimal rehabilitation taking into account the physiological angles of movement, as well as to include the use of the technology and allowing an adequate recovery.*

Keyword: Mobilizer passive. Wrist, Solidworks, rehabilitation.

I INTRODUCCIÓN

La articulación de la muñeca se encuentra en la zona distal del miembro superior y reviste de gran importancia dentro del desarrollo de actividades básicas de la vida diaria del ser humano, así como en gestos deportivos de atletas de alto rendimiento.

La muñeca es la articulación que da la movilidad a la mano y que permite la realización de todas las actividades funcionales, es por esto que en el año 1.950 después de varios estudios el neurocirujano canadiense Wilder Penfield, desarrollo la representación gráfica del cuerpo en la corteza cerebral (Figura1) denominada homúnculo, que simboliza las partes del cerebro encargadas de la función motora y sensorial.

[1]

Siendo la muñeca el puente de conexión entre los brazos y la mano, la cual tiene una mayor representación en la corteza cerebral, es importante mantener una estabilidad adecuada de esta articulación, así como garantizar una completa recuperación funcional después de cualquier lesión que pueda intervenir en su movilidad para garantizar un adecuado desarrollo de las actividades del ser humano.

La movilización articular dentro de los planes de rehabilitación funcional cobra gran importancia debido a que

previene la instauración de secuelas permanentes cuando una persona ha tenido alguna lesión o ha permanecido varias semanas con inmovilización secundario a esta, por esta razón se propone este movilizador pasivo de la articulación de la muñeca, el cual permitirá que el fisioterapeuta tenga mayores herramientas dentro del proceso de recuperación así como garantizar exactitud en los rangos de movimiento según la condición del paciente y del criterio del rehabilitador para lograr una adecuada recuperación y reintegración a las actividades de la vida diaria o actividades deportivas según sea el caso.

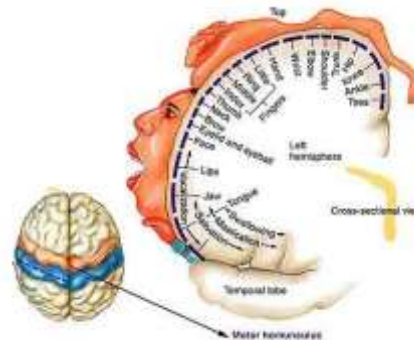


Figura 1 Homúnculo de Penfield

Fuente: Tomado de <http://ismaiohor.com/the-story-of-the-homunculus-man/>

II MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una investigación de tipo exploratoria, [2] por medio de la consulta de artículos científicos relacionados con la movilización pasiva de la muñeca por medio de movilizadores de tipo mecánico y que se relacionaran con la rehabilitación de fracturas, las bases de datos que se utilizaron fueron: IEEE, SciELO, ScienceDirect, MEDLINE. De acuerdo a lo revisado se realizó un marco teórico desde la anatomía y la

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.159>
 ISBN: 978-0-9993443-0-9
 ISSN: 2414-6390

15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, 19-21 July 2017, Boca Raton FL, United States.

rehabilitación así como desde la biomecánica de la muñeca para proponer un movilizador pasivo de la articulación de la muñeca para el tratamiento de fracturas, que pueda ser usado como complemento de la rehabilitación fisioterapéutica en el área clínica.

III BIOMECÁNICA DE ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA

Es la articulación distal del miembro superior y permite que la mano adopte su posición óptima para la prensión, este complejo articular posee dos grados de libertad y está compuesta por dos articulaciones: radiocarpiana y mediocarpiana. [3]. Los movimientos de la muñeca se efectúan en dos ejes, transversal, en el plano frontal, para flexo extensión, y anteroposterior en el plano sagital para aducción y abducción. La longitud de los movimientos de la muñeca se mide a partir de la posición de referencia al eje de la mano representado por el tercer metacarpiano y el tercer dedo.

La amplitud del movimiento de aducción es de 25° , de la abducción es de 45° . En los movimientos de flexión y extensión la amplitud se mide a partir de la posición de referencia que corresponde a la muñeca alineada, tanto para la flexión como para la extensión en de 85° . (Figura 2).

La articulación radiocarpiana es condílea, y presenta dos curvas convexas, una trasversal para la abducción y aducción y una anteroposterior para la flexoextensión, los ligamentos de la radiocarpiana se organizan en dos sistemas, los ligamentos laterales y los anteriores.

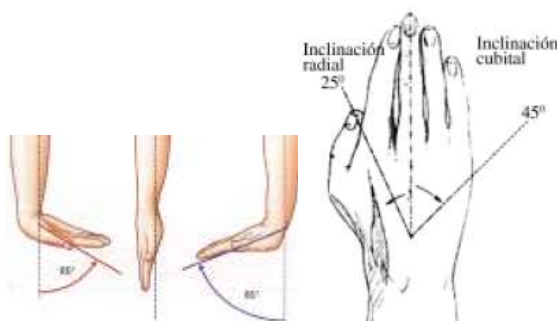


Figura 2 Rango de movimiento

Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/-2QtVED2AUfo/TgU1H-6BceI/AAAAAAAAABk/xpSbWNhX-SE/s1600/Imagen4.png> /

La superficie articular de la radiocarpiana está compuesta por el cóndilo carpiano y la glenoide antebraquial, el cóndilo carpiano está formado por la cara superior de los tres huesos de la fila proximal que de fuera hacia adentro se compone por: el escafoides, el semilunar y el piramidal, los cuales están articulados por los ligamentos escafolunar y piramidolunar. (Figura 3)

La cara superior del escafoides, del semilunar, y del piramidal está incrustada de cartílago, al igual que los ligamentos que unen estos huesos, formando una superficie continua.

La estabilidad de la articulación está dada por los ligamentos de la radiocarpiana y la mediocarpiana, y por la cápsula articular que está formada por un manguito fibroso que se inserta a continuación de las superficies articulares. Hay una serie compleja de ligamentos capsulares que refuerzan la articulación descritos así: (Figura 4)

1.- Ligamento palmar: está formado por dos fascículos, se encuentra situado en forma oblicua hacia abajo y adentro. El fascículo radiocarpiano palmar se desarrolla a partir del margen anterior de la superficie articular del radio y del proceso estiloides hasta los huesos carpianos escafoides, semilunar y piramidal. Hay algunas fibras que pueden alcanzar el hueso grande. El siguiente fascículo es el ligamento cubitocarpiano palmar, que se inserta desde el cúbito entre la cabeza y el proceso estiloides, hasta la cara palmar de piramidal, semilunar y hueso grande. El ligamento palmar tiene orificios para el paso de los vasos y está en relación, anterior, con los tendones de los músculos flexor largo del pulgar y flexor profundo de los dedos.

2.- Ligamento radiocarpiano dorsal: Este ligamento es más débil y delgado que el palmar. Se origina desde el margen posterior del radio hasta la cara dorsal de los huesos semilunar, piramidal y escafoides.

3.- Ligamento radioescafoideo dorsal: se forma como un refuerzo fibroso simulando una grapa entre el borde posterior de la estiloides del radio y la superficie dorsal del escafoides.

4.- Ligamento colateral cubital del carpo: elástico y potente, tiene forma de abanico. Se origina desde el vértice y el lado medial de las apófisis estiloides del cúbito, y en la zona distal se divide en dos haces insertándose en el pisiforme y en el piramidal respectivamente.

5.- Ligamento colateral radial del carpo: Es un ligamento elástico y consistente. Se sitúa desde el vértice de la apófisis estiloides del radio hasta la región anterolateral del hueso escafoides. Algunas fibras pueden alcanzar el tubérculo del escafoides.

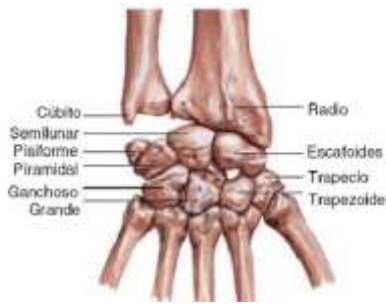


Figura 3 Muñeca ósea

Fuente: <https://medicinareconstructiva.files.wordpress.com/2012/05/huesos-muc3b1eca.jpg>

Las articulaciones Carpianas están formadas entre los huesos de una misma fila siendo todas de tipo plano o artrodias y también existe una articulación entre la primera y la segunda fila del carpo que es de tipo condílea, y se conoce como articulación mediocarpiana.

El grado de movimiento entre los huesos carpianos es muy pequeño, pero al sumarse los unos a los otros se amplifica enormemente. Estas articulaciones tienen un gran número de ligamentos cortos dorsales, palmares e interóseos. Las articulaciones de los dedos están constituidas por las carpo-metacarpianas, metacarpo-falángicas, intermetacarpiana e interfalángicas. [3]

Los músculos que conforman la articulación de la muñeca se dividen en dos grupos, los anteriores o flexores y los posteriores o extensores.



Figura 4 Complejo ligamentario de la muñeca

Fuente: <http://fisioactividad.blogspot.com.co/2013/01/complejo-articular-de-la-muneca-y-mano.html>

Compartimiento anterior superficial:

Flexor radial del carpo: Su origen está en el epicóndilo medial del humero y su acción es la flexión y abducción de la mano a nivel de la articulación de la muñeca.

-Palmar largo: Su origen está en el epicóndilo medial del humero y su acción es flexionar levemente la mano a nivel de la articulación de la muñeca.

-Flexor cubital del carpo: su origen se encuentra en el epicóndilo medial del humero y borde posterosuperior del cúbito y su acción la flexión y abducción de la mano a nivel de la muñeca.

-Flexor superficial de los dedos: Se origina en el epicóndilo medial del humero, apófisis coronoides del cúbito y a lo largo de un pliegue ubicado en el margen lateral de la cara anterior del radio y su acción es la flexión de la falange media sobre la proximal y luego la mano sobre el antebrazo.

Compartimiento anterior profundo

-Flexor largo del pulgar: Su origen se encuentra en la cara anterior del radio y membrana interósea y su acción es flexionar la falange distal del pulgar a nivel de las articulaciones interfalángicas.

-Flexor profundo de los dedos: Se origina en la parte anteromedial del cuerpo del cúbito y su acción es flexionar las falanges media y distal de cada dedo a nivel de las articulaciones interfalángicas.

Compartimiento posterior superficial:

-Extensor radial largo del carpo (primer radial externo): Su origen está en el pliegue supracondíleo superior del húmero y la abducción de la mano a nivel de la articulación de la muñeca.

-Extensor radial corto del carpo (segundo radial externo): Su origen se encuentra en el epicóndilo lateral del húmero y su acción es la extensión y la abducción de la mano a nivel de la muñeca.

-Extensor de los dedos: Su origen está en el epicóndilo lateral del húmero y su acción es la extensión de las falanges distal y media de cada dedo a nivel de las articulaciones interfalángicas, la falange proximal de cada dedo a nivel de la articulación metacarpofalángica y la mano a nivel de la articulación de la muñeca.

-Extensor del meñique: Su origen se encuentra en el epicóndilo lateral del húmero y su acción es la extensión de la falange proximal del quinto dedo a nivel de la articulación metacarpofalángica y la mano a nivel de la muñeca.

-Extensor cubital del carpo: originado en el epicóndilo lateral del húmero y borde posterior del cúbito y su acción es la extensión y abducción de la mano a nivel de la muñeca.

Compartimiento posterior profundo:

-Abductor largo del pulgar: Su origen está en la cara posterior media del radio y el cúbito y membrana interósea y su acción

es la extensión y la abducción del pulgar a nivel de la articulación carpometacarpiana y abduce la mano a nivel de la muñeca.

-Extensor corto del pulgar: Se origina en la cara posterior media del radio y membrana interósea y su acción es la extensión de la falange proximal del pulgar a nivel de la articulación metacarpofalángica, el primer metacarpiano a nivel de la articulación carpometacarpiana y la mano a nivel de la muñeca.

-Extensor largo del pulgar: Su origen se encuentra en la cara posterior media del cúbito y membrana interósea y su acción es extender la falange distal del pulgar a nivel de la articulación interfalángica, el primer metacarpiano del pulgar a nivel de la articulación carpometacarpiana y la abducción de la mano a nivel de la articulación de la muñeca.

-Extensor del índice: Se origina en la cara posterior media del cúbito y su acción es la extensión de las falanges distal y media del dedo índice a nivel de las articulaciones interfalángicas la falange proximal del dedo índice a nivel de la articulación metacarpo-falángica y la mano a nivel de la articulación de la muñeca. [4]

IV PRINCIPALES LESIONES EN LA ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA

Las lesiones que principalmente se presentan son las fracturas, siendo la del escafoides la más común y en la que se realizará el enfoque de tratamiento. Se describen a continuación:

Fractura del escafoides: Los principales mecanismos de lesión son las caídas sobre la mano extendida y los golpes de retroceso. Es una condición difícil de diagnosticar pero se debe sospechar cuando se presentan los siguientes síntomas:

-Dolor en la cara lateral de la muñeca tras cualquier traumatismo.

-Dolor a palpación en la cara dorsal o palmar del escafoides

-Tumefacción notoria y rápida en muñeca y mano tras traumatismo.

Para su diagnóstico también se realizan pruebas como la radiografía o si es necesario una gammagrafía. Estas pruebas son complementarias y deben relacionarse con la clínica del paciente.

Fracturas del Piramidal: Es la segunda lesión más presentada luego de la fractura de escafoides, se clasifica por dos tipos anatómicos de fracturas:

Fractura marginal de la tuberosidad posterior: Es la más frecuente, se puede producir debido a una avulsión del ligamento radio-piramidal dorsal del hueso ganchoso sobre el piramidal.

Fractura del cuerpo: Se origina por la avulsión ligamentaria, se asocia generalmente a luxaciones perilunares, los síntomas clínicos son muy pobres, con dolor en la zona cubital dorsal de la muñeca se debe hacer diagnóstico radiológico.

Fracturas del pisiforme: Se presentan de forma excepcional y no representan más del 1% de las fracturas del carpo. Se presentan por dos mecanismos: Impacto directo o avulsión por tracción del cubital anterior, los signos clínicos consisten en dolor a nivel de la base de la eminencia hipotenar y se explora entre dos dedos si se flexiona la muñeca, relajando el tendón del cubital anterior

Fractura del hueso grande: La frecuencia de presentación es del 2% de todas las fracturas del carpo el mecanismo de lesión está asociado a menudo a una luxofractura perilunar (Fractura de Fenton). Se produce por una caída con la mano en hiperextensión. La luxación perilunar va acompañada con una fractura de la cabeza del hueso grande con rotación de 180° del fragmento proximal del hueso grande en todas estas lesiones se presenta un riesgo de pseudoartrosis y de necrosis avascular. [5]

V. REHABILITACIÓN DE LA FRACTURA DE ESCAFOIDES

Siendo la fractura del escafoides la lesión que más se presenta en la articulación de la muñeca, es también a su vez la que tiene más alta posibilidad de recuperación sin intervención quirúrgica ya que cuenta con alto suministro vascular y si no están desplazadas y son distales, se puede manejar con inmovilización entre 10 y 12 semanas, con una tasa de curación del 95%, en las fracturas desplazadas y proximales, es necesaria la intervención quirúrgica debido a que tendrían menor suministro sanguíneo lo que aumenta la probabilidad de una consolidación deficiente, así también con los avances en las técnicas quirúrgicas se ha disminuido la incidencia de presentación de comorbilidades por ejemplo la pseudoartrosis secundaria a la lesión. [6]

Es importante iniciar la movilización temprana de las articulaciones afectadas con una lesión, la falta de esta genera disminución de la fuerza muscular, adherencia de los músculos, aumentando la rigidez y disminuyendo los rangos de movimiento. [7]

El tratamiento fisioterapéutico debe empezar una vez ha finalizado el proceso de manejo conservador o quirúrgico, inicia con una evaluación de los rangos de movimiento, la disminución de la fuerza muscular y la afectación de los componentes tendinosos y ligamentosos secundario al proceso de lesión y de inmovilización.

El proceso inicia con el uso de crioterapia para la disminución de la inflamación de la articulación, seguido de movilizaciones pasivas de acuerdo a la tolerancia al dolor en la articulación evaluada por la EVA(Escala Verbal Análoga) para prevenir que se instauren procesos de pérdida de rango de movimiento, fortalecimiento de la musculatura intrínseca de la muñeca para corregir las compensaciones adquiridas durante la lesión y la inmovilización, según criterio se puede usar electroterapia y finalmente ejercicios funcionales para facilitar el regreso a las actividades básicas de la vida diaria. [8]

Diversos estudios han demostrado que la participación activa del paciente y que los elementos usados en la rehabilitación sean de su agrado son fundamentales para una recuperación exitosa. [9]

VI. MOVILIZADOR PASIVO DE LA ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA

La implementación de sistemas de ayudas mecánicas o robóticas para la rehabilitación suponen un gran avance [10], ya que constituye un apoyo dentro del proceso de rehabilitación pues debido a la carga física que recae sobre el fisioterapeuta es posible que se fatigue y que no pueda realizar de manera efectiva todas las movilizaciones pasivas incluidas dentro del plan de tratamiento. [11]

También son importantes estos avances porque permiten recoger datos acerca de la rehabilitación de los pacientes para su posterior análisis y comparación. [12]

De acuerdo a lo anterior se destaca la importancia de la movilización pasiva en la articulación de la muñeca para garantizar la recuperación de los rangos de movimiento después de un proceso de lesión y de inmovilización. Para esto se realizó el diseño de un movilizador pasivo mecánico de la articulación de la muñeca que sirve como apoyo al fisioterapeuta en la rehabilitación de esta y posiblemente otras lesiones de muñeca y que garantiza la exactitud del rango de movimiento el que está trabajando la articulación, así como el momento de la recuperación del arco completo de movilidad.

La máquina movilizadora pasiva de muñeca, está diseñada en el programa Solidworks, software especializado en el diseño de elementos para máquinas y el ensamble de las mismas, aunque tiene un solo grado de libertad, se considera un sistema robótico ya que es reprogramable, puede ser tipificado dentro de los robots de servicio [13] sin embargo no es requerido un análisis dinámico del mismo.

El movilizador pasivo de muñeca (Figura 5) se encuentra compuesto por un servomotor de 15 Kg.cm de torque y alcanza un ángulo de movimiento de 180°, el cual se ajusta a los rangos de movimiento fisiológicos de la articulación para

flexión, extensión, abducción y aducción, el brazo en el que se fija la muñeca se encuentra soportado a 10cm del punto de apoyo, la mano pesa aproximadamente 0,7 Kg¹ lo que permite un Torque de 7 Kg.Cm, haciendo el motor suficiente para realizar esta actividad, también se ajusta el número de repeticiones y la velocidad requeridas para garantizar el aumento progresivo de las movilizaciones según la etapa de la rehabilitación y el criterio del fisioterapeuta.

Teniendo en cuenta la poca carga (0,7 Kg), los cálculos de resistencia de materiales se descartaron para este caso, sin embargo, en el trabajo de optimización, se piensa hacer un análisis por elementos finitos, aprovechando que ya se tiene el diseño CAD y que SolidWorks tiene la capacidad de hacer este tipo de cálculos.

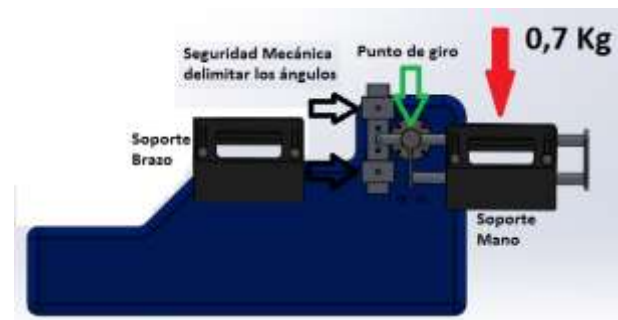


Figura 5, Movilizador pasivo de muñeca

El movilizador se ubica inicialmente en 0° (Figura 6) para acomodar el eje de movimiento de la articulación.

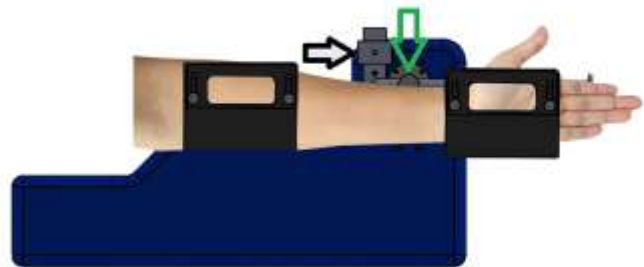


Figura 6, Movilizador en 0°

Seguido se realiza la programación del ángulo de extensión o de flexión deseado, (Figura 7) según las necesidades del paciente de acuerdo a la evaluación y el criterio del fisioterapeuta.

¹ Tomado de: <http://www.ideal.es/sociedad/201604/08/cuanto-pesa-cada-parte-20160408101423.html>

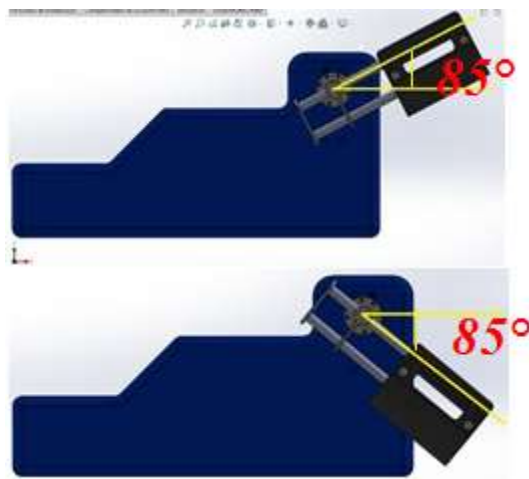


Figura 7 Movilizador en flexión y extensión

Para el control los movimientos deseados durante el proceso de rehabilitación se utiliza un microprocesador (Figura 8) que tiene 8 entradas análogas, y 12 digitales, así como 12 salidas digitales, y 6 pwm.

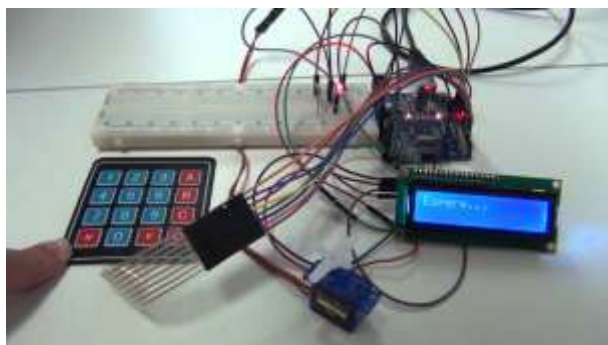


Figura 8, Arduino UNO, conexión con pantalla LCD, teclado y Servomotor

Se introducen los ángulos deseados P_s y P_i , ángulo superior y ángulo inferior, la velocidad V y las repeticiones R , con esto es suficiente para que el movilizador realice los movimientos supervisados por el fisioterapeuta, quién en un primer movimiento se encarga de ajustar los topes mecánicos para evitar que en caso de un descontrol o error de la máquina, esta vaya a sobrepasar los ángulos máximos fisiológicos en el movimiento del paciente, la máquina también cuenta con un botón de paro de emergencia en caso de cualquier eventualidad, el cual hace que se desenergice y no continúe el movimiento.

Por otra parte el sistema de control es muy sencillo, ya que el servomotor tiene un control propio, solo se debe dar la orden de que posición se quiere que vaya; a continuación (Figura 9) se muestra el diagrama de flujo del control del Movilizador pasivo de articulación de muñeca.

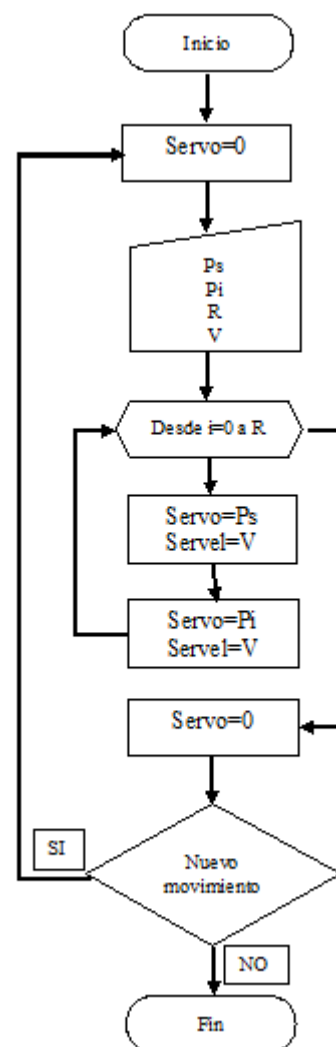


Figura 9, Diagrama de flujo del controlador de Movilizador Pasivo.

Es importante resaltar que la adquisición de estos elementos y el ensamble de la máquina se pueden adquirir por un costo de alrededor de 500 USD, convirtiéndola en una alternativa económica y eficaz para mejorar los procesos de rehabilitación adelantados en los consultorios de fisioterapia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dar especial agradecimiento al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas CICTAR, de la Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo TECNAR, por los aportes y asesorías en el proyecto.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en su proyecto de Especialización en Ingeniería Biomédica, por la asesoría brindada.

REFERENCIAS

- [1] M. Villa, «villa neuropsicología,» 2014. [En línea]. Available:
http://www.villaneuropsicologia.com/uploads/1/4/4/5/14457670/wq-2_eq._3.pdf. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [2] Enciclopedia de Clasificaciones. (2016). Tipos de investigación. Recuperado de:
<http://www.tiposde.org/general/484-tipos-de-investigacion/>
Fuente: <http://www.tiposde.org/general/484-tipos-de-investigacion/#ixzz4hBonUROj>
- [3] M. p. todos, «Medicina para Todos,» [En línea]. Available:
<http://medicinaparatodos01.blogspot.com.co/2013/02/musculos-que-mueven-la-muneca-la-mano-y.html>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [4] Terrel T, «treatment of Hand and Wrist Injuries., » Elsevier Inc., pp. 431-451., 2013.
- [5] Wei Meng, «Design and Control of a Robotic Wrist Orthosis for Joint Rehabilitation,» de IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Busan, Korea, 2015.
- [6] Miralles R, Centre de Cooperación al Desenvolupament, URV Solidaria), «Rehabilitación y Fisioterapia Cirugía Ortopédica y Traumatología en zonas de menor desarrollo,» Universitat Rovira i Virgili Tarragona. , Tarragona.
- [7] E. J. E. a. Lenze, «Significance of poor patient participation in physical and occupational therapy for functional outcome and length of stay, » Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, vol. 85, nº 10, p. 1599–1601. , 2004.
- [8] K. Kiguchi, «An exoskeletal robot for human shoulder joint motion assist,» IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, vol. 8, nº 1, p. 125–135. , 2003.
- [9] [8] A. Mirelman, «Effects of training with a robot-virtual reality system compared with a robot alone on the gait of individuals after stroke, » Stroke, vol. 40, nº 1, p. 169–174. , 2009.
- [10] B. Rohrer, «Movement smoothness changes during stroke recovery, » The Journal of Neuroscience, vol. 22, nº 18, p. 8297–8304, 2002.
- [11] C. Palacios, «Determinación de contingencia en patología de muñeca y mano,» 2009. [En línea]. Available:
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/13324/1/PATOLOGIA%20MANO-MU%20C3%91ECA.D.C.MME.%20word.pdf>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [12] I. Kapandji, Fisiología Articular, vol. 1, Bogotá: Panamericana, 2006.
- [13] Rodríguez, H., Soler, M., & Peña, C. (2014). DESARROLLO DE UN ROBOT EXPLORADOR OPERADO. *Revista Politécnica*, 10(19), 125-134. Recuperado el 30 de noviembre de 2016