

Prototipo Rehabilitador Pasivo De Codo Para Asistencia En Actividades De Fisioterapia

J. Revelo*

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas- Carrera de Ingeniería en Mecatrónica
Universidad Técnica del Norte

Ibarra- Ecuador

*jmrevelob@utn.edu.ec

Resumen— Las lesiones de codo son muy comunes y no siempre se realiza la rehabilitación adecuada lo que conlleva a mayor tiempo de terapia y en otros casos incluso podría empeorar por lo que se ha desarrollado un prototipo de dispositivo rehabilitador pasivo de codo para ayudar a recuperar el movimiento de flexo/extensión ya que su movilidad y estabilidad son necesarias para el desarrollo de las actividades cotidianas. En este proyecto se ha considerado las características antropométricas de la población ecuatoriana, tomando en cuenta los ángulos y arco de movilidad del codo, realizando el diseño mecánico y electrónico, el prototipo está diseñado para ser usado en forma sedente en el lado lateral de la persona siendo adaptable tanto al miembro superior derecho como en el izquierdo, este cuenta con una interfaz de usuario amigable diseñada para dispositivos móviles Android en la que el fisioterapeuta pueda configurar el ciclo de rehabilitación según las necesidades del paciente a rehabilitar. Los resultados de funcionamiento muestran que el dispositivo realiza el movimiento de flexión/extensión con un mínimo movimiento del hombro cumpliendo así con la recuperación del movimiento de la articulación.

Índice de términos— flexo/extensión, movilidad, antropometría, fisioterapia.

I. INTRODUCCIÓN

El codo es una de las articulaciones más importantes del cuerpo humano la cual desempeña una función primordial que permite los movimientos esenciales del brazo, la misma que está muy expuesta a diferentes tipos de lesiones [1], los mismos que pueden ser tratados o atendidos mediante terapia de movilización para una rápida recuperación, pudiendo ser de tipo activas y pasivas [2]. La movilización pasiva se realiza a pacientes que sufren diferentes tipos de lesiones en dicha articulación, para lograr recuperar la función articular y además poder evitar la rigidez en la articulación afectada [3].

Las afecciones y trastornos de la articulación del codo siempre han sido muy comunes, no sólo al practicar un deporte sino también por las exigencias de nuestras actividades profesionales y domésticas [2]. El ejercicio no moderado, el uso excesivo de esta articulación provoca muchos tipos de lesiones o a su vez empeorar las que ya estaban manifestadas [4], lo que puede conllevar a una intervención quirúrgica o a

su vez un tratamiento de rehabilitación. Actualmente la mayoría de las personas carece un acceso a servicios de rehabilitación adecuados, causando que estas personas no puedan tener una buena calidad de vida, por tal razón se han creado diferentes prototipos de rehabilitadores por la gran ayuda que estos brindan para una mejor recuperación [5]

II. METODOLOGÍA

A. Análisis de la casa de la calidad

Se parte de un análisis QFD o despliegue de la función de calidad, el cual tiene como objetivo establecer una forma sistemática de capturar y procesar las necesidades reales del mercado de tal manera que conduzcan todo el proceso del diseño.

B. Características de diseño

Para un óptimo diseño del dispositivo rehabilitador es necesario determinar las características del dispositivo tomando en cuenta las características antropométricas de los usuarios, por lo que se analiza y fundamenta acerca de las medidas antropométricas de la población ecuatoriana logrando con estos datos dimensionar correctamente el dispositivo. Para lograr que el dispositivo sea útil para la mayoría de población se han tomado los datos de antropometría ecuatoriana de la investigación realizada en la Universidad San Francisco de Quito [6]. En la figura 1 y la tabla 1 se muestran las medias antropométricas.

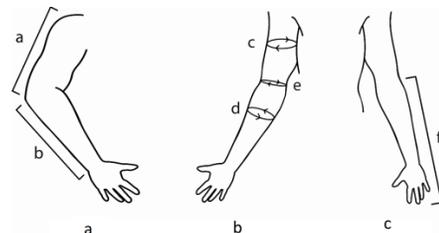


Fig. 1 Dimensiones antropométricas del miembro superior; (a) brazo y antebrazo; (b) perímetros de brazo, antebrazo y ancho de codo; (c) longitud codo - palma de la mano (adaptado de Lema, 2013).

TABLA I
MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS BRAZO Y ANTEBRAZO

	Longitud Mínima (cm)	Longitud Máxima (cm)
Longitud Hombro – Codo (a)	22,98	37,10
Longitud Codo - Mano (b)	29,84	45,00
Perímetro Brazo Flexionado (c)	23,10	35,60
Perímetro Antebrazo (d)	20,60	29,90
Anchura Codo (e)	5,40	7,40
Longitud Codo-Palma de la Mano (f)	55,24	65,00

C. Selección de la mejor solución

Se propone tres prototipos de diseño para el rehabilitador pasivo de codo a partir de diseños ya existentes en el mercado de acuerdo a las dimensiones y características que se necesitan para una adecuada terapia, la selección del mejor diseño se lo realiza mediante el método basado en restricciones y criterios, en la figura 2 se muestra la solución seleccionado mediante dicho metodo.

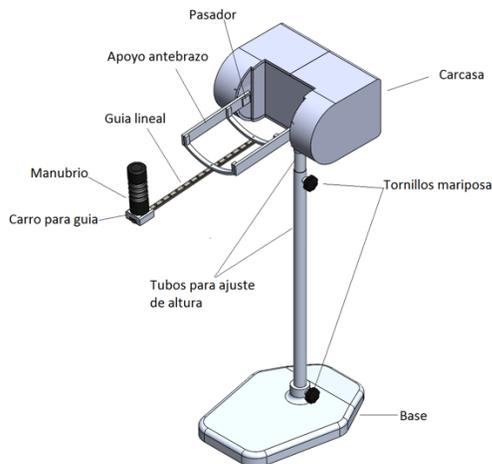


Fig. 2 Alternativa seleccionada

D. Selección del material

Se determinó que el material adecuado es aleación de aluminio 6063 T6 por la disponibilidad en el mercado, tanto en tubo como en plancha necesario para la construcción y cumple las características necesarias.

E. Simulación de la estructura

Se realiza la simulación del prototipo rehabilitador pasivo de codo para determinar los esfuerzos equivalentes de Von Mises, esta teoría de falla es más precisa para materiales dúctiles. El modelo falla cuando los esfuerzos superan el límite elástico del material y es fácilmente comprobable a través del factor de seguridad. El factor de seguridad debe ser alto debido a que el rehabilitador pertenece a la línea de dispositivos médicos.

Se observa que el esfuerzo máximo se produce en el pasador, debido a que el movimiento del motor se trasmite a

través de la correa dentada hasta una polea la cual se encuentra asegurada en un pasador y este tiene el valor de 23,41 MPa esto se lo puede observar en la figura 3.

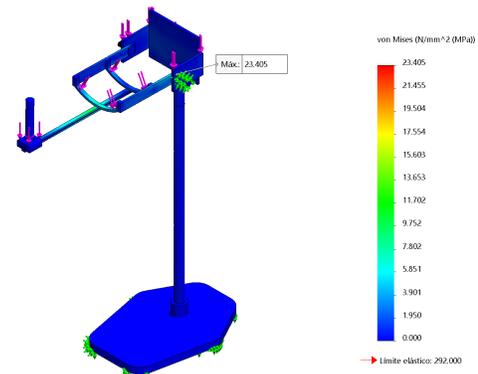


Fig. 3 Esfuerzo máximo en la estructura

El pasador es el encargado de transmitir el movimiento al antebrazo, por lo que el esfuerzo máximo se encuentra en dicho pasador, esto era esperado debido al cambio de área del pasador de circular a cuadrado, ocasionando una concentración de esfuerzos, en la figura 4 se muestra la distribución de esfuerzos en el pasador.

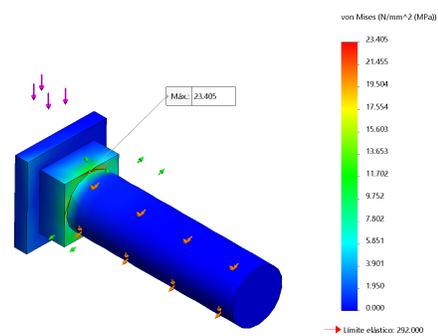


Fig. 4 Esfuerzo máximo en el pasador

Se muestra la distribución del factor de seguridad en el dispositivo, en la figura 5 se muestra esta distribución, donde se obtiene un factor de seguridad mínimo de 12.48.

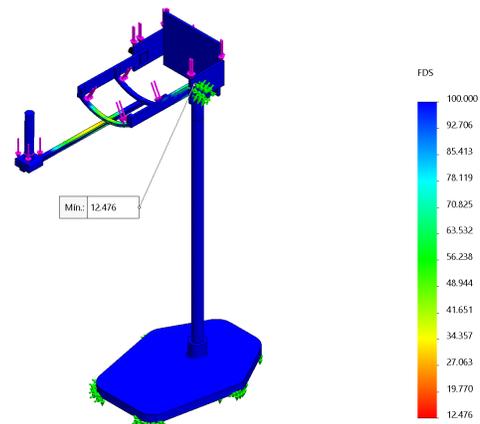


Fig. 5 Factor de seguridad de la estructura

En la figura 6 se indica en factor de seguridad mínimo, el cual se obtiene en el pasador debido a que este es el encargado de transmitir el movimiento al antebrazo.

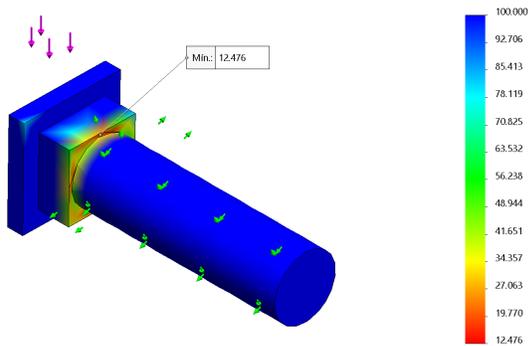


Fig. 6 Factor de seguridad del pasador

En la figura 7 se observa el valor del desplazamiento de acuerdo a la simulación, se obtuvo un desplazamiento máximo de 0,411 mm. Debido a esto, el desplazamiento no se considera un factor crítico, ya que es casi despreciable.

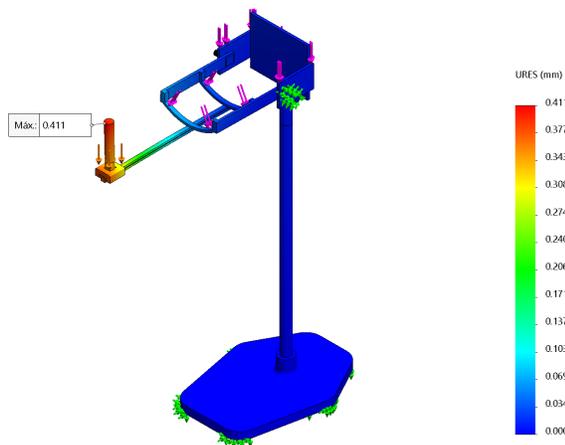


Fig. 7 Desplazamiento máximo de la estructura

F. Sistema electrónico

Para que el dispositivo cumpla correctamente con los movimientos de la rehabilitación, se realiza la implementación de un sistema electrónico; el cual empieza desde el motor a pasos ya seleccionado nema 23, el controlador específico para el motor en este caso el ST – 6660. Debido a que la programación requiere sensar la señal de movimiento rotacional, se elige un transductor de carácter analógico, el cual cuenta con un rango establecido, así que se usa un potenciómetro como sensor. En la figura 8 se muestra el diagrama de conexiones utilizadas en el dispositivo.

El microcontrolador utilizado es una placa Arduino Nano, la cual es de tamaño reducido, ideal para este proyecto y cuenta con las librerías necesarias para motores paso a paso como también módulos externos que facilitan su uso.

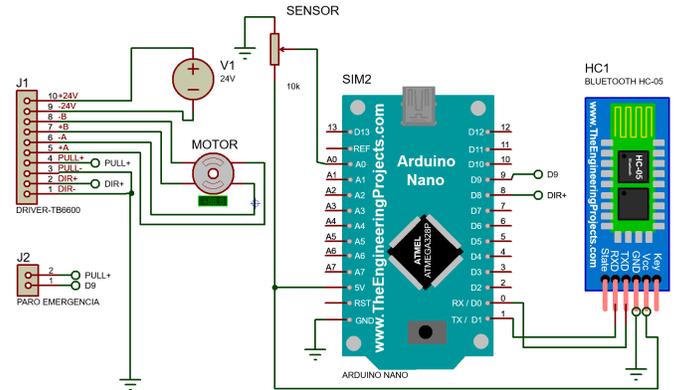


Fig. 8 Diagrama de conexiones

G. Pruebas de funcionamiento

De acuerdo a las pruebas realizadas al prototipo rehabilitador de codo durante varias sesiones se obtuvo que este funciona de manera correcta, al cumplir con todos los parámetros que son seleccionados desde la aplicación y cumple con los requerimientos propuestos para este dispositivo. En la evaluación por parte de los especialistas en fisioterapia de la Universidad Técnica del Norte se emitieron conclusiones y recomendaciones las cuales se muestra en la tabla 2.

TABLA II
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES POR PARTE DEL DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
Este prototipo trabaja la articulación de codo con una rotación interna de codo, cumpliendo con el objetivo de recuperar el movimiento funcional.	Modificar la estructura de la parte superior del prototipo, ya que los bordes generan molestia.
La regulación de la medida del antebrazo es la adecuada, así como la ergonomía para el antebrazo.	Implementar la dirección del apoyo de muñeca, para que el movimiento parta desde una supinación hacia la flexión y extensión del codo.
La aplicación para el control del dispositivo es muy intuitiva y de fácil acceso para el especialista.	Incentivar el trabajo conjunto complementándose la rehabilitación del paciente con el prototipo de muñeca para ganar mayor funcionalidad.

III. CONCLUSIONES

Se realizó la construcción de un prototipo de dispositivo rehabilitador pasivo de codo para asistencia en actividades de fisioterapia el cual cumple con los requerimientos de diseño, funcionalidad y a su vez cumple con las características antropométricas de la población ecuatoriana investigadas de acuerdo a la zona de influencia.

El estudio de la antropometría y la realización del análisis QFD fueron de vital importancia para obtener los requerimientos y así poder seleccionar la mejor solución a partir de diseños de dispositivos ya existentes.

Una vez construido el prototipo rehabilitador pasivo de codo se realizaron las pruebas de funcionamiento donde se pudo observar el correcto funcionamiento de cada sesión de rehabilitación cumpliendo así con los ángulos de movimiento en flexión y extensión.

Durante la etapa de pruebas se evidenció que el uso de la guía lineal para la regulación de tamaño del antebrazo es correcto, adaptándose fácilmente al tamaño del antebrazo del paciente, por otra parte, la parte los bordes de la estructura superior generan molestias al momento de su uso.

IV. RECONOCIMIENTOS

A carrera de Ingeniería en Mecánica de la Universidad Técnica del Norte por darme la oportunidad de formarme y ofrecerme sólidas bases de conocimiento para culminar con mi trabajo de grado.

Un reconocimiento especial para el Dr. Marco Ciaccia por su guía, paciencia, dedicación y haber compartido sus conocimientos conmigo. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

V. REFERENCIAS

- [1] J. Adams, «Injuries to the throwing arm: A study of traumatic changes in the elbow joint of boy baseball players,» *Cal Med*, pp. 127-132, 1965.
- [2] Organización Mundial de la Salud, «Atención Médica y Rehabilitación,» 2016. [En línea]. Available: www.who.int/disabilities/care/es/. [Último acceso: 21 junio 2016].
- [3] J. H. S. y J. J. Culhane, «CONTINUOUS PASSIVE MOTION DEVICE FOR UPPER EXTREMITY FOREARM THERAPY». Estados Unidos Patente US005.951499A, 14 Septiembre 1999.
- [4] Mena y Veloz, «Exoesqueleto de miembro superior e inferior,» EPN, Quito, 2013.
- [5] D. Lema, «Comparación Estadística de medidas antropométricas entre mestizos, indígenas y afro ecuatorianos de la región Sierra del Ecuador,» Quito, 2013.
- [6] R. Nirschl y F. Petrone, «Tennis elbow. The surgical treatment of lateral epicondylitis,» *J Bone Joint Surg Am*, pp. 832-839, 1979.
- [7] A. Barcelona, A. Gomá, R. Miralles y M. Montull, «Physical therapy for elbow stiffness,» *Rovira i Virgili Unitat de Fisioteràpia*, pp. 2-9, 1999.
- [8] R. Bahr y S. Maehlum, Lesiones deportivas: Diagnóstico, tratamiento rehabilitación, Madrid: Panamericana, 2007.
- [9] S. O'Driscoll, B. Morrey y S. Korinek, «Elbow subluxation and dislocation,» *Clin Orthop*, pp. 186-197, 1992.
- [10] G. Pierron, A. Leroy y J. Dupré, «Mobilisation passive des articulations périphériques,» *Encycl. Méd. Chir. Kinésithérapie-Rééducation fonctionnelle*, pp. 1-14, 1995.