

Dispositivo mecatrónico para rehabilitación pasiva de muñeca.

G. Mosquera¹, G. Toapanta²

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

¹wgmosquera@utn.edu.ec ²getoapanta@utn.edu.ec

Resumen. En esta investigación se presenta la construcción de un dispositivo automático con tres grados de libertad para los movimientos de flexión-extensión, desviación radial-cubital de la muñeca y pronación-supinación del antebrazo. El proyecto tiene como objetivo reactivar la motricidad de la muñeca en personas que presentan rigidez articular y debilidad muscular. La gama completa de movimientos funcionales que es capaz de ejecutar el rehabilitador permite realizar una variedad de ejercicios que pueden ser configurados en ángulo, velocidad y repetición del movimiento a través de una aplicación móvil.

Palabras Clave— Dispositivo, rehabilitación, pasiva, muñeca, automático.

Abstract. In this research presents the construction of an automatic device with three degrees of freedom for the flexion-extension, radial-ulnar deviation of the wrist and pronation-supination of the forearm. The project aims to reactivate the wrist motricity in people with joint stiffness and muscle weakness. The complete range of functional movements that the rehabilitator can execute allows them to perform a variety of exercises that can be configured in angle, velocity and repetition of movement through a mobile application.

Keywords— Device, rehabilitation, passive, wrist, automatic.

I. INTRODUCCIÓN

La rehabilitación es un proceso terapéutico que puede ayudar a las personas que han perdido o disminuido movilidad en su cuerpo a mejorar su condición médica, psicológica y social logrando en muchos casos prevenir discapacidades permanentes [1].

En los últimos años se ha buscado adentrarse en el estudio del cuerpo humano a nivel de ingeniería, dicha práctica es conocida como biomédica, la cual busca diseñar y construir dispositivos semiautomáticos que logren ejecutar los movimientos del ser humano y ayuden a los fisioterapeutas a reducir su desgaste físico cuando realizan sus labores de terapia asistida.

Se desarrolla un robot de ejercicio terapéutico para la rehabilitación de muñeca y antebrazo que lleva a cabo la asistencia activa, pasiva entre otros con 3 grados de libertad, utiliza un esquema de control individual de posición y fuerza, además de una interfaz de usuario gráfica (GUI) [2]. Wrist Gimbal 3 DOF Rehabilitation Robot, es un exoesqueleto de muñeca y antebrazo realiza ejercicios activos y pasivos, usa una interfaz en PC para visualizar los movimientos del dispositivo en los diferentes ejes cartesiano, capaz de grabar y reproducir las trayectorias de movimiento previamente dados por el operador [3]. IIT-Wrist Robot es un dispositivo rehabilitador de 3 grados de libertad: abducción-aducción, pronación-supinación y movimiento circundante, los ejercicios son activos y pasivos, tiene implementado un protocolo de entrenamiento de la auto-adaptación con el fin de facilitar la aparición de la suavidad en los patrones de control de motor y maximizar la recuperación del rango de movimiento [4]. El dispositivo de rehabilitación robótica, es un robot de rehabilitación inteligente, logra la rehabilitación del paciente que ha sufrido un accidente cerebrovascular, tiene la capacidad de diagnóstico incluyendo información sobre las articulaciones afectadas, satisface la necesidad de la terapia en las extremidades con insuficiencia a través de un enfoque de rehabilitación de varios pasos integrados: el diagnóstico neuromuscular y alteraciones biomecánicas en las funciones de la muñeca, la realización de la terapia física, incluyendo ejercicios de movimiento de estiramiento pasivo y voluntarios, los motores y los ejes de rotación de las articulaciones trabajan a una velocidad variable, se evalúan los resultados cuantitativamente, es para uso de los médicos y los pacientes, ya sea en el hogar o en una clínica [5].

La presente investigación pretende recolectar información necesaria de trabajos anteriores para crear un nuevo diseño de un dispositivo rehabilitador que logre reducir costo de elaboración y pueda ser accionado mediante un dispositivo móvil, facilitando la interacción entre el dispositivo y paciente, además de permitir guardar información en una base de datos acerca de las rutinas de ejercicios realizados por cada paciente que utilice el dispositivo.

Las características del dispositivo rehabilitador se detallan a continuación:

- Se utiliza para la rehabilitación de muñeca y antebrazo.
- Se utiliza específicamente para ejercicios pasivos.
- Tiene tres grados de libertad.
- Utiliza un sistema de control simple, con retroalimentación para posicionamiento inicial.
- Se acciona por medio de una aplicación móvil
- Es posible obtener y almacenar información del paciente y de la sesión de rehabilitación.

II. MARCO TEÓRICO

A. Tipos de movimientos de la muñeca y antebrazo

La articulación muñeca posee dos grados de libertad, se le añade un tercer grado de libertad en el que interviene el antebrazo, estos movimientos son:

Movimiento de pronación – supinación para el antebrazo, desviación radial – desviación cubital y flexión – extensión para la muñeca. Estos movimientos se observan en la (Fig. 1).



Figura 1. Tipos de movimientos

B. Rango de movimientos

El rango de movimiento es la abertura angular que puede alcanzar la articulación sin sufrir daño alguno, estos valores varían dependiendo de la posición de la mano, en este caso se referencian los datos a partir de una posición neutra. Estos movimientos tienen diferentes límites de acuerdo con el tipo de movimiento.

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre el rango de movimiento de una persona sana y el rango de movimiento del dispositivo rehabilitador.

TABLA I. RANGO DE MOVIMIENTOS DE UNA PERSONA SANA

Movimiento	Rango de movimientos
	Persona Sana [6]
Flexión	90°
Extensión	80°
Desviación Radial	15°
Desviación Cubital	30°- 45°
Pronación	85°
Supinación	90°

C. Medida antropométricas del miembro superior

Las dimensiones de las manos tienen una gran importancia para el diseño de dispositivos y/o elección de herramientas, instrumentos, mandos, etc., estas dimensiones y proporciones son muy diferentes de una persona a otra.

En la Tabla II, observamos las diferentes dimensiones de la mano de los trabajadores administrativos de la Universidad Tecnológica Equinoccial, las mismas que fueron comparadas con los percentiles de la Norma DIN 33.402 segunda parte, se pudo verificar que entre el 15 y 20% de las personas tuvieron dimensiones inferiores al percentil 5 en todas las mediciones, exceptuando al ancho de la mano en la que el 50% de la población tuvo medidas inferiores al percentil 5 de la citada Norma [7].

TABLA II. DIMENSIONES DE LAS MANOS EN TRABAJADORES ADMINISTRATIVOS EN UNA UNIVERSIDAD DE ECUADOR

N O T A C I Ó N	DIMENSIÓN (cm)	LADO	HOMBRES			MUJERES		
			Promedio	Valor Máximo	Valor Mínimo	Promedio	Valor Máximo	Valor Mínimo
			A	LONGITUD DE LA MANO	Derecha	18.16	22	15.5
		Izquierda	18.12	20.2	15.8	16.66	18.12	14.8
B	LONGITUD DE LA PALMA	Derecha	10.53	11.72	8.7	9.51	10.62	7.72
		Izquierda	10.47	11.92	8.92	9.49	10.5	7.67
C	ANCHO DE LA MANO INCLUYENDO EL PULGAR	Derecha	9.60	11.82	6.35	8.31	10.12	6.32
		Izquierda	9.62	11.4	6.6	8.33	10.3	6.5
D	ANCHO DE LA PALMA EXCLUYENDO EL PULGAR	Derecha	8.70	10.72	7.3	8.07	10.1	6.82
		Izquierda	8.71	11	7.28	7.92	9.72	6.72
E	PERÍMETRO DE LA MANO	Derecha	21.07	24	16.3	18.62	21	16
		Izquierda	20.68	24	16.5	18.31	20.5	15.8
F	PERÍMETRO DE LA MUÑECA	Derecha	17.16	20	14.5	15.76	18.5	13.5
		Izquierda	16.92	19.6	14.2	15.71	18.3	13.7

III. METODOLOGÍA

A. Requisitos de diseño

El desarrollo del dispositivo rehabilitador parte por el estudio de la cinemática de la articulación y la antropometría para determinar requerimientos de diseño y ergonomía, es así que se definen los grados de libertad de la muñeca y su rango de movimiento como indica la Fig.1, adicionalmente se establece el tamaño y masa corporal de mano, muñeca y antebrazo como datos para el diseño del rehabilitador.

B. Diseño mecánico

Los antecedentes de la investigación y el estudio de la biomecánica de la muñeca, ayudaron a definir los requisitos y parámetros de diseño, para llegar a establecer un concepto de diseño del rehabilitador y lograr proponer varias soluciones. Las propuestas de diseño fueron tres de las que se logró la selección de una de ellas, por medio de la elaboración de una matriz de selección. En la Fig. 2 se muestra el resultado final del dispositivo rehabilitador elaborado en un software de diseño CAD 3D.

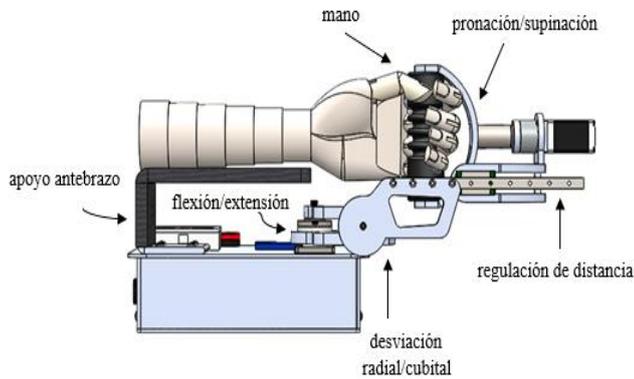


Figura 2. Vista lateral del dispositivo rehabilitador de muñeca/ modelo CAD

C. Simulación del diseño mecánico

Con la elaboración del diseño del dispositivo se procede a su validación usando la técnica de simulación por computador muy usada en la ingeniería llamada análisis de elementos finitos, la técnica permite obtener una solución aproximada de cómo se comporta el modelo real. Previo al desarrollo del análisis es importante definir el material del dispositivo, las cargas que actúan en él y el valor de torques previamente calculados en los diagramas de cuerpo libre que se elaboraron.

Para la selección del material fue necesario establecer criterios mecánicos y limitar la gama de materiales no corrosivos que pueden usarse en la fabricación de equipos médicos según normas regulatorias.

En la Fig. 3 podemos observar la simulación del dispositivo y el valor numérico del factor de seguridad mínimo que es 4,47 en un punto crítico de la estructura.

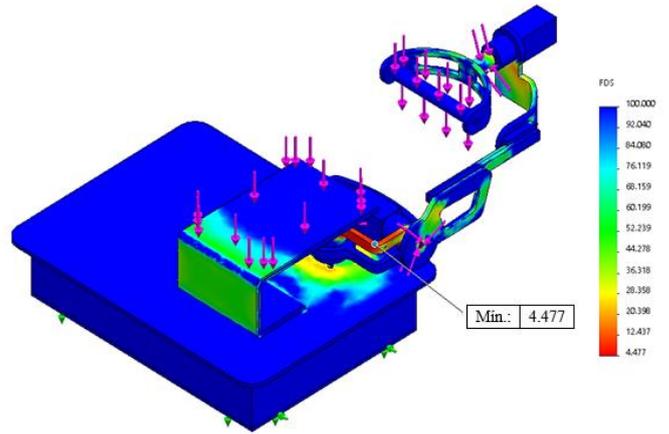


Figura 3. Factor de seguridad mínimo del dispositivo

D. Sistema Electrónico

El sistema electrónico y de control con el que cuenta el dispositivo de rehabilitación es la consecuencia de los requerimientos anteriormente planteados, en esta sección es importante la correcta selección de elementos motrices, pues cumplen la función principal del rehabilitador que es simular los movimientos anatómicos de la muñeca de una persona.

El uso de la tecnología de microcontroladores permitirá que el dispositivo realice diferentes acciones mediante líneas de programación y conexiones alámbricas a diferentes elementos electrónicos como actuadores, sensores e indicadores con los que contara el dispositivo.

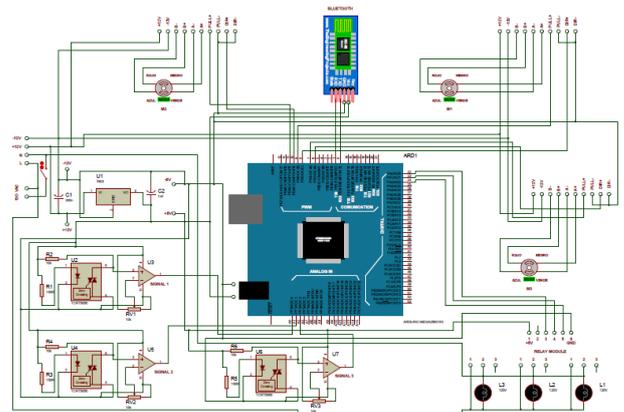


Figura 4. Diagrama del sistema electrónico del dispositivo rehabilitador

E. Interfaz de Usuario (Aplicación Móvil)

Para lograr la fácil interacción entre el dispositivo rehabilitador y el paciente o usuario se elaboró una interfaz gráfica en este caso una aplicación Android que enviará órdenes al dispositivo mediante conexión inalámbrica bluetooth. La aplicación puede ser usada en cualquier dispositivo móvil compatible con el sistema operativo Android.

En la Fig. 5 se indica las variables que se pueden ser configuradas en la aplicación antes de iniciar la rehabilitación pasiva.



Figura 5. Pantalla de aplicación en un dispositivo móvil, antes de dar inicio a la rehabilitación

IV. RESULTADOS

El rango de movimiento para cada grado de libertad que se consiguió en el dispositivo se puede observar en la Tabla III.

TABLA III. RANGO DE MOVIMIENTOS DEL DISPOSITIVO REHABILITADOR

Movimiento	Rango de movimientos
	Dispositivo Rehabilitador
Flexión	80°
Extensión	80°
Desviación Radial	15°
Desviación Cubital	35°
Pronación	80°
Supinación	80°

Se obtuvo un dispositivo rehabilitador que realiza movimientos pasivos en los tres ejes cartesianos, en la Fig. 6 se puede observar los movimientos que se lograron con el prototipo, el cual es accionado por un dispositivo móvil mediante el uso de una aplicación que envía señal de accionamiento a los elementos motrices vía bluetooth. Los tres grados de libertad del dispositivo se dividieron en seis movimientos de rotación partiendo de la posición neutra de la mano, la ejecución del movimiento es de uno a la vez y puede

ser configurado en velocidad, ángulo y número de repeticiones con los que se consigue que el fisioterapeuta cree rutinas de ejercicios.

El rehabilitador fue probado en personas sanas de diferente tamaño y peso, mediante este acontecimiento se pudo observar que es un dispositivo totalmente adaptable, los movimientos que ejecuta el rehabilitador son suaves y a bajas revoluciones las cuales están en una escala de 1 a 5 donde 1 es baja velocidad y 5 alta velocidad, además los rangos de movimientos están dentro de los límites físicos del paciente.

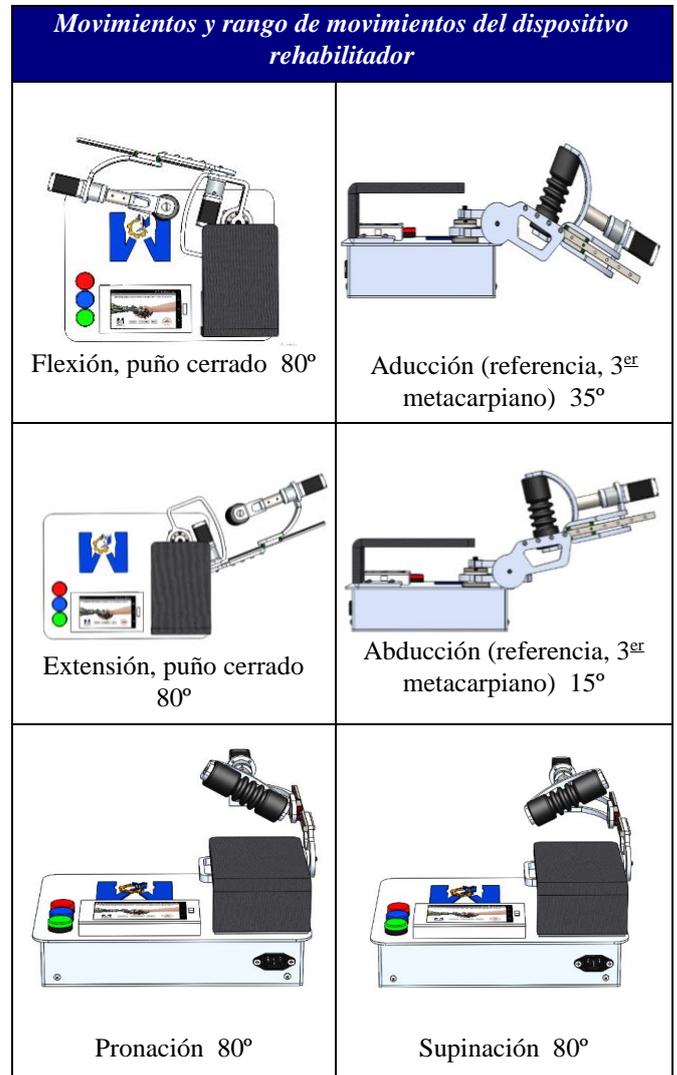


Figura 6. Movimientos y rango de movimientos del dispositivo rehabilitador

V. CONCLUSIÓN

En este trabajo se desarrolló la construcción de un dispositivo de rehabilitación pasiva con tres grados de libertad capaz de registrar y ejecutar rutinas de rehabilitación para la

articulación de la muñeca, mediante el uso de un dispositivo móvil.

El proyecto realizado muestra que la terapia asistida por un dispositivo rehabilitador aumenta el interés en la rehabilitación por parte del paciente. El rehabilitador cumple con su función principal de simular los movimientos naturales de la articulación y es ajustable para diferentes antropometrías de miembro superior en personas adultas. El personal del área de terapia física de la UTN, se encontró satisfecho con el funcionamiento del dispositivo y propuso mejorar el sistema de sujeción de antebrazo en los movimientos de flexión/extensión y abducción/aducción.

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud a la Universidad Técnica del Norte y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas por darme la oportunidad de formarme y ofrecerme bases sólidas de conocimiento hasta el momento.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Akdemir y Y. Akkas, «Rehabilitation and nursing,» *Journal of Nursing College*, pp. 82-91, 2006.
- [2] M. Atlihan, E. Akdogan y M. Arslan, «Development of a therapeutic exercise robot for wrist and forearm rehabilitation,» *Proceeding of IEEE 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, At Poland, Volume: 1*, pp. 51-57, 2014.
- [3] J. Martinez, P. Ng, S. Lu, M. Campagna y O. Celik, «Design of Wrist Gimbal: a forearm and wrist exoskeleton for stroke rehabilitation.,» *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 1-5, 2013.
- [4] L. Masia, M. Casadio, P. Giannoni, G. Sandini y P. Morasso, «Performance adaptive training control strategy for recovering wrist movements in stroke patients: a preliminary, feasibility study,» *Diario de neuroingeniería y Rehabilitación*, pp. 1-11, 7 Diciembre 2009.
- [5] Z. Li-Qun, P. Hyung-Soon y R. Yupeng. USA Patente US 20100016766A1, 2010.
- [6] A. Kapandji, Fisiología articular: esquemas comentados de mecánica humana, Madrid: Médica Panamericana, 2006.
- [7] S. Andrade, «Las medidas antropométricas de la mano influyen en la presencia de sintomatología propia del Síndrome del Túnel Carpiano en los trabajadores del área administrativa de una universidad de Quito, en el primer trimestre del año 2013.,» 19 Septiembre 2013. [En línea].