



ISSN: 1646-9895

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

A g o s t o 2 0 • A u g u s t 2 0



©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

Nº E33

Edição / Edition

N.º E33, 08/2020

ISSN: 1646-9895

Indexação / Indexing

Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Index-Copernicus, Index of Information Systems Journals, Latindex, ProQuest, QUALIS, SCImago, SCOPUS, SIS, Ulrich's.

Propriedade e Publicação / Ownership and Publication

AISTI – Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação

Rua Quinta do Roseiral 76, 4435-209 Rio Tinto, Portugal

E-mail: aistic@gmail.com

Web: <http://www.aisti.eu>

Director

Álvaro Rocha, Universidade de Lisboa, PT

Coordenadores da Edição / Issue Coordinators

Carmelo Márquez Domínguez, Independiente, ES

Francklin Rivas Echeverría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Sede Ibarra, EC

Glenda Beatriz Da Silva, Universidad de Los Andes, VE

Venus Medina Maldonado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, EC

Conselho Editorial / Editorial Board

Carlos Ferrás Sexto, Universidad de Santiago de Compostela, ES

Gonçalo Paiva Dias, Universidade de Aveiro, PT

Jose Antonio Calvo-Manzano Villalón, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Luis Paulo Reis, Universidade do Porto, PT

Manuel Pérez Cota, Universidad de Vigo, ES

Ramiro Gonçalves, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT

Conselho Científico / Scientific Board

Alberto Flórez. Predictiva S.A.S. Colombia

Alejandro Fruto. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Alexandro Vinicio Cruz Mariño. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
(PUCE). Ecuador

Alfredo Calderón. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Alvaro Rocha. Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información.

Portugal

Ana Cecilia Vaca Tapia. Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador

Ana Umaquina. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador

Andrea Lizethe Manzano Pasquel. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
(PUCE). Ecuador

Andrea Valeria Araujo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Andrea Vásquez. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile

Índice / Index

EDITORIAL

Salud, sistemas y tecnología: la necesaria interdisciplinaria de las próximas décadas	ix
<i>Carmelo Márquez-Domínguez, Francklin Rivas Echeverría, Glenda Beatriz Da Silva, Venus Medina-Maldonado</i>	

ARTIGOS / ARTICLES

Estudio preliminar de la distribución de presiones en posición bípeda mediante uso de baropodometría óptica y sensores de fuerza resistivos	1
<i>Dagoberto Mayorca-Torres, Edna M. Moncayo-Torres, Daniel M. Burbano-Martínez, Marco A. Chamorro-Lucero, Jaime A. Riascos-Salas, Jose A. Salazar-Castro</i>	
Sistema IoT para el seguimiento del ritmo cardíaco y la predicción de afecciones cardíacas	14
<i>Gabriel Elías Chanchí G, Luz Marina Sierra M, Julio Cesar Rodríguez R</i>	
Hospitalización en 2018 debido a diabetes mellitus en Ecuador: un estudio de regresión geométrica	28
<i>Ernesto Ponsot-Balaguer</i>	
Analytic study on the performance of multi-classification approaches in case-based reasoning systems: Medical data exploration	40
<i>David Bastidas, Camilo Piñeros, Diego H. Peluffo-Ordóñez, Luz Marina Sierra, Miguel A. Becerra, Ana C. Umaquina-Criollo</i>	
Prototipo para la adquisición y caracterización de señales electromiográficas superficiales del movimiento de flexión-extensión de los dedos de la mano.....	52
<i>Carlos D. Ortega, Alejandro Ibarra-Piandoy, Edison Viveros-Villada, Dagoberto Mayorca-Torres</i>	
Stochastic- and Neuro-Fuzzy-Analysis-based characterization and classification of 4-Channel Phonocardiograms for Cardiac Murmur Detection.....	65
<i>Miguel A. Becerra, Edilson DelgadoTrejos, Cristian Mejía-Arboleda, Diego H. Peluffo-Ordóñez, Ana C. Umaquina-Criollo</i>	
Hacia una aplicación no-invasiva de análisis inmediato de los movimientos generales de bebés.....	79
<i>Wilmer Danilo Esparza, Lucía Fernanda Flores Santy, David Pozo-Espín, Karina-Beatriz Jimenes-Vargas, Jorge-Luis Pérez-Medina</i>	
Aumento da performance de modelos de detecção de Estrabismo através da síntese de imagens fotorrealistas da região dos olhos	93
<i>Jonathan Silva Santos, Ismar Silvera Frango</i>	

Asistente de voz autónomo: un soporte de adherencia a tratamientos médicos	105
<i>Elizabeth Vidal, Jefry Acuña, Danny Rosas, Eveling Castro</i>	
Implementación de un guante como interfaz hombre computador para personas con discapacidad motriz	114
<i>Santiago Criollo-C, Jean Andres García, Ángel Jaramillo-Alcázar</i>	
Novus Spem, 3D printing of upper limb prosthesis and geolocation mobile application	127
<i>Joe Llerena-Izquierdo, Melissa Barberan-Vizueta, Jéssica Chela-Criollo</i>	
Evaluación e implementación de técnicas de clustering para un sistema de recuperación de documentos judiciales	141
<i>Cristian Camilo Ordoñez, José Armando Ordoñez, Cristian Méndez, Hugo Armando Ordoñez</i>	
Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano con técnicas de prototipado rápido	152
<i>Roberto Moya-Jiménez, Teresa Magal-Royo</i>	
La realidad virtual para educación en cáncer de mama: Una oportunidad de innovar en Latinoamérica	164
<i>Claudia J Uribe, Norma C Serrano, Andrea Carolina Ortiz-Badillo, María Luna-González, Nicolás Contreras Contreras, Eduardo Carrillo</i>	
An eHealth web platform based on linear-programming models for scheduling intervention plans for children with developmental delays	175
<i>Javier Cornejo-Reyes, Paola Suquilanda-Cuesta, Vladimir Robles-Bykbaev, Yaroslava Robles-Bykbaev, Katherine González-Arias</i>	
Design of an IoT Architecture in Medical Environments for the Treatment of Hypertensive Patients	188
<i>Maikel Yelandi Leyva Vazquez, Bianca Salinova Morán Arteaga, Jordy Andrés Muñoz López, Miguel Angel Quiroz Martinez</i>	
A rehabilitation system based on robotic gloves, mobile apps, and non-relational databases for patients with partial paralysis	201
<i>Nathalia Peralta-Vasconez, Cristian Cajamarca-Ludizaca, Julio Cabrera-Hidalgo, Marco Amaya-Pinos, Vladimir Robles-Bykbaev</i>	
A robotic assistant based on fuzzy logic and kinesthetic stimuli for gross motor rehabilitation of children with disabilities.....	213
<i>Brian Pinos-Chuya, Víctor Uguña-Uguña, Angel Pérez-Muñoz, Paola Suquilanda-Cuesta, Vladimir Robles-Bykbaev, Katherine González-Arias</i>	
Estudio de la carga cognitiva del usuario para una plataforma de telerehabilitación: el instrumento Nasa-TLX	225
<i>Verónica Amparo Guerrero Bolaños, Britany Astryd Enríquez Rea, Karina-Beatriz Jimenes-Vargas, Jorge-Luis Pérez-Medina</i>	

Sistema de monitoreo cardiovascular utilizando tecnología IoMT	238
<i>Hamilton Lugmaña, Milton Román-Cañizares, Iván Sánchez Salazar</i>	
Fine motor skills stimulation in children: a proposal based on stuffed robots and rules-based reasoning	250
<i>Luis Serpa-Andrade, Sandro González-González, Angel Pérez-Muñoz, Gabriela Vásquez-Álvarez, Paul Mata-Quevedo, Diana Pérez-Muñoz</i>	
Diseño, construcción e implementación de una herramienta para el soporte para ejercicios de grafo-motricidad en niños de cuatro a seis años	263
<i>Isaac Ojeda-Zamalloa, Luis Serpa-Andrade, Roberto García, Diego Quisi-Peralta, Gabriela Vásquez-Álvarez, Sebastián Quevedo-Sacoto</i>	
Alzheimer's disease diagnosis system using electroencephalograms and machine learning models	275
<i>Paola Martínez-Arias, Rigoberto Fonseca-Delgado, Graciela Salum, Isidro Amaro-Martín</i>	
Diseño inclusivo de una prótesis de rodilla para pacientes con grado de movilidad II	289
<i>José M. Segnini Maizo, Mary J. Vergara, Luis Camuendo</i>	
Gait Dual-task activities and Mild Cognitive Impairment in the elderly analyzed through a Tele-rehab platform	302
<i>Ricardo Xavier Proaño Alulema, Verónica Cobo Sevilla, María Augusta Latta</i>	
Conductas sustentables sobre el marco de evaluación SAFA - FAO: un aporte para poblaciones rurales vulnerables de la Amazonía	312
<i>Marco Heredia-R, Karina Falconí A., Deniz Barreto, Katherine Amores, Jamil H-Silva, Bolier Torres</i>	
La WebQuest en el aprendizaje de enfermería: evaluación de su uso desde la percepción de los estudiantes	327
<i>Venus Medina-Maldonado, Judith Francisco-Pérez, Priscila Maldonado</i>	
Diseño y desarrollo de un videojuego Educativo mediante una metodología ágil, como herramienta orientada a niños de 7 a 11 años para la prevención de la enfermedad de Chagas	338
<i>Diana Mantilla, Francisco Rodríguez, Anita G. Villacís</i>	
Promoting organ donation on the Twitter platform: an exploratory analysis in Ecuador	351
<i>Sueny Paloma Lima dos Santos, Gabriel Francisco Cevallos Martínez</i>	
Clasificación de hogares pobres en la Región Andina de Venezuela usando redes neuronales	361
<i>Gustavo Mora Ramírez, Anna Gabriela Pérez, Francklin Rivas-Echeverría</i>	

Salud y nuevas tecnologías de la información y la comunicación: caracterización del objeto del derecho a la salud en la era digital.....	374
<i>Marilena Asprino Salas, Carmelo Márquez-Domínguez, Luz Marina Pereira González, Gabriela Aguirre Hernández, Carmen Marieta Bayas Zambrano, Juan Carlos Suárez Villegas</i>	
Una aproximación a la desigualdad en servicios comerciales a través de sistemas de información geográfica	388
<i>Luis Manuel Cerdá Suárez, Susana Quirós y Alpera, Martín García Vaquero</i>	

Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano con técnicas de prototipado rápido

Roberto Moya-Jiménez¹, Teresa Magal-Royo²

rcmoya@uce.edu.ec; tmagal@degi.upv.es

¹ Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

² Universidad Politécnica de Valencia, 46022 Valencia, España.

Pages: 152–163

Resumen: Se describe los avances realizados en la aplicación de las tecnologías de prototipado rápido (RP) en el desarrollo de dispositivos personalizados para la rehabilitación física de manos en pacientes con Artritis Reumatoide (AR) Crónica mediante la creación de un exoesqueleto de mano para analizar y evaluar el estudio sistémico dentro de la rehabilitación de la atrofia muscular relacionado con la pérdida de la movilidad manual debido a la AR en personas adultas. La metodología creada tiene en cuenta aspectos relacionados con la fisiología del movimiento de la mano y los problemas de movilidad que sufren los pacientes crónicos de AR sobre todo en los movimientos específicos de las falanges y huesos metacarpianos. Desde el punto de vista tecnológico, se han aplicado las técnicas de digitalización en la toma de datos del paciente, el uso del Diseño Asistido por Ordenador (DAO) en la generación de un modelo virtual y la formalización de un exoesqueleto para la rehabilitación mediante el uso de las técnicas de RP.

Palabras-clave: artritis reumatoide de mano; exoesqueleto; rehabilitación física; prototipado rápido; diseño asistido por ordenador.

Design and prototyping of a hand rehabilitation device for rheumatoid arthritis with rapid prototyping techniques

Abstract: This article describes the progress made in the application of rapid prototyping (RP) technologies in the development of personalized prostheses for the physical rehabilitation of the hand in patients with Chronic Rheumatoid Arthritis (RA) by creating a hand exoskeleton for analyze and evaluate the systemic study within the rehabilitation of muscular atrophy related to the loss of manual mobility due to rheumatoid arthritis in adults. The methodology created considers aspects related to the physiology of hand movement and mobility problems suffered by chronic RA patients, especially in the specific movements of the phalanges and metacarpal bones. From the technological point of view, the digitalization

techniques have been applied in the patient's data collection, the use of Computer Aided Design (DAO) in the generation of a virtual model and the formalization of an exoskeleton for rehabilitation through use of RP techniques.

Keywords: hand rheumatoid arthritis; exoskeleton; physical rehabilitation; rapid prototyping; computer-aided design.

1. Introducción

La AR es una poliartritis inflamatoria sistémica que afecta aproximadamente al 0,5 – 2% de la población mundial (Silman & Pearson, 2002), dicha enfermedad es considerada como la más frecuente con una prevalencia en América latina del 0.4% (Massardo et al., 2009). La AR es una enfermedad sistémica que afecta a las articulaciones, y actúa como una enfermedad autoinmune sistemática cuyos desenlaces se ven reflejados principalmente en alteraciones de la calidad de vida de los pacientes, al ser de carácter degenerativo y se incrementa la morbimortalidad de las personas que llegan a padecerla. Reflejándose en varios aspectos de la vida cotidiana, siendo uno de estos el impacto socio económico del paciente debido a que se ve influenciado directamente en su capacidad productiva laboral, disminuyendo así el ingreso familiar con altos gastos médicos. La incapacidad funcional limita las actividades de la vida diaria y requiere en muchas ocasiones la asistencia de otras personas (Hochberg, 2014).

El diagnóstico temprano y beneficio terapéutico son los factores que permiten la mejoría exponencial en el desarrollo de la enfermedad. Según el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, el principal objetivo del tratamiento de la AR es lograr la remisión o, por lo menos la actividad baja de la enfermedad. Dentro de los Criterios del Colegio Americano de Reumatología y la Liga Europea contra el Reumatismo, la clasificación de la AR indica que el paciente cuyo diagnóstico sea artritis reumatoide debe involucrar un grupo multidisciplinario que incluya terapias farmacológicas, psicológicas y sobre todo fisioterapéuticas con el objetivo de mitigar los efectos de la pérdida de movilidad progresiva y degeneración de la musculatura (Smolen et al., 2017).

A nivel de rehabilitación, con las metodologías actuales en las sesiones de tratamiento con el paciente existe una falta de control exacto en la medición, control postural y de esfuerzos que debe realizarse periódicamente. Este hecho es evidente cuando al paciente se le indica que realice una serie de ejercicios con la mano mediante la presión o movimiento de los dedos ejerciendo un esfuerzo postural que generalmente no está controlado de una manera sistemática.

Como un método de restablecimiento, el uso de un exoesqueleto semirrígido acoplado a la mano sobre el cual se han aplicado una serie de sensores y mecanismos de movimiento programado, permiten al terapeuta programar y controlar los movimientos y esfuerzos en función de las necesidades del paciente. La monitorización y gestión de datos mediante una aplicación informática puede crear un histórico de referencia tanto para el médico como para el fisioterapeuta de la evolución del paciente en el tiempo. Por ello, se vuelve necesaria la aplicación de tecnologías y sistemas mecatrónicos, ya sea para los procesos de rehabilitación o para la asistencia permanente de los pacientes. Varios estudios han

evidenciado que las terapias asistidas con exoesqueletos han arrojado resultados muy favorables para la vida de los pacientes, ayudándoles a recobrar sus habilidades motoras y funcionales (Borghetti, Sardini y Serpelloni, 2013). Los exoesqueletos se han vuelto un avance tecnológico necesario para destacar y potenciar las habilidades humanas, además de contar como un soporte médico de innovación en procesos de rehabilitación, convirtiéndose en tecnologías de asistencia para potenciar características como: la fuerza, potencia y flexibilidad, además de brindar un elemento de cuantificación de resultados funcionales dentro de la recuperación de lesiones en pacientes (Chen et al., 2013).

El desarrollo del estudio como tal presenta bases de investigación aplicadas sobre un dispositivo, en este caso un exoesqueleto para la mano. Un dispositivo de referencia es el desarrollado por Wang y su equipo que crearon uno que presenta cuatro grados de libertad para la rehabilitación del dedo índice, el dispositivo genera movimientos bidireccionales (flexión-extensión) para todas las articulaciones del dedo y es ajustable para varios tamaños de mano; dicho dispositivo utilizaba una serie de sensores y encoders junto con un motor DC para medir la posición angular. La información recibida desde el dispositivo se utiliza un control de evaluación y análisis (Wang, 2009).

Wege y su equipo desarrollaron un exoesqueleto para la rehabilitación de la mano el cual consistía en un prototipo mecánico de cuatro grados de libertad movido por una unidad actuadora y recepcionando la información a través de sensores de efecto hall en cada articulación, de manera que la longitud de cada falange calculaba los ángulos correspondientes del movimiento (Wege et al. 2005). Tomando como referencia la Guía Práctica Clínica para la Artritis reumatoide editada por el Ministerio de Salud Pública de Ecuador en el año 2016, se realizó un primer acercamiento al desarrollo de la enfermedad considerando métodos alternativos dentro de la práctica médica de la rehabilitación. Para el desarrollo del dispositivo se ha tomado en cuenta los principios claves para el manejo de pacientes con artritis reumatoide (Cardiel, 2014), centrado en los siguientes aspectos:

- Diagnóstico temprano.
- Tratamiento oportuno.
- Manejo por reumatólogo.
- Dirigido hacia el objetivo (remisión o bajo nivel de actividad).
- Manejo individualizado.
- Seguimiento periódico durante el curso de la enfermedad.
- Considerar la comorbilidad.
- Adaptado a la realidad de la práctica clínica.

A continuación, se exponen dispositivos desarrollados que tratan problemas relacionados con rehabilitación de manos. De esta manera se puede entender la importancia de la creación de un exoesqueleto de rehabilitación que permita establecer datos de medición para percibir el mejoramiento del paciente de una manera concreta.

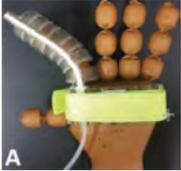
Nombre	Imagen	Descripción
Exo-Glove Poly 2.0 (improved version)		<p>Exo-Glove Ploy es uno de los dispositivos de asistencia más adecuados que puede ayudar a las personas con discapacidad de la mano. Tiene banda palmar que conecta la parte palmar y la parte dorsal de la parte portátil en una sola pieza. (Lee, Kang, B, In, & Cho, 2017).</p>
The NUS prototype glove		<p>El dispositivo es un guante (con gancho de velcro adjunto correas) y cuatro actuadores suaves (con velcro adjunto correas de bucle) que corresponden al índice, medio, anillo y dedos pequeños. (Yap et al., 2015).</p>
The NUS glove for rehabilitation.		<p>El dispositivo consiste principalmente en una placa lineal de movimiento libre, placa fija y una celda de carga. La celda de carga se adjuntó al final de la plataforma conectada a la computadora para medir la salida de fuerza horizontal desde el actuador de flexión (Yap, Goh, & Yeow, 2015)</p>
The Power-Assist glove.		<p>El guante de asistencia esta desarrollado con una curva de actuación que realiza la conversión del movimiento lineal al movimiento rotacional. Una lámina de goma curvada y tela hacen que el guante sea compacto y flexible. (Kadowaki, Noritsugu, Takaiwa, Sasaki, & Kato, 2011)</p>
RARD		<p>Exoesqueleto robótico suave para la rehabilitación de individuos con artritis afectados con dedos deformados lateralmente. El exoesqueleto funciona con dos neumáticos suaves impresos en 3D. (Matthew Chin Heng Chua, Lim Jeong Hoon, & Yeow, R. C. H., 2016)</p>

Tabla 1 – Dispositivos de rehabilitación.

2. Desarrollo aplicado al uso de técnicas de prototipado rápido

La creación de un exoesqueleto de mano mediante programas de Diseño asistido por Ordenador (DAO) y el uso de tecnologías de Prototipado Rápido (RP) que ayude a pacientes con AR en su proceso de rehabilitación. El uso de la RP en la creación de prototipos fiables, rápidos y personalizados de prótesis para la rehabilitación del ser humano está teniendo un auge importante que podría extenderse en la creación de piezas de exoesqueletos adaptables a las necesidades de un paciente en un estudio determinado de su enfermedad, de esta manera actualmente se generan prótesis temporales para tratar rotura o fisura de huesos o piezas de carácter permanente que sustituyen pérdidas de extremidades en el ser humano.

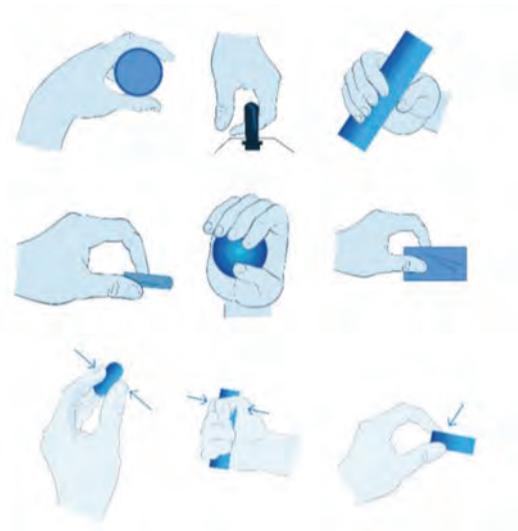


Figura 1 – Clasificación y tipos de agarre. Fuente: Adaptación propia, 2019.

El uso de elementos creados con RP en la rehabilitación son un campo abierto a la investigación ya que no solo implica la creación de una pieza o piezas con una serie de mecanismos asociados de carácter permanente, ya que también incluye la posibilidad de personalizar, monitorizar y gestionar la rehabilitación de un proceso de degradación muscular y de huesos como se produce en la Artritis crónica. Dadas las evidencias anteriores, el objetivo es establecer la rehabilitación en las fases primarias de la enfermedad denominado también, comienzo poliarticular, que significa que la enfermedad no ha comprometido de manera invasiva al paciente, su progreso es lento e insidioso. Se considera que alrededor del 70% de los pacientes comienzan en esta etapa (Batlle et al., 2013).

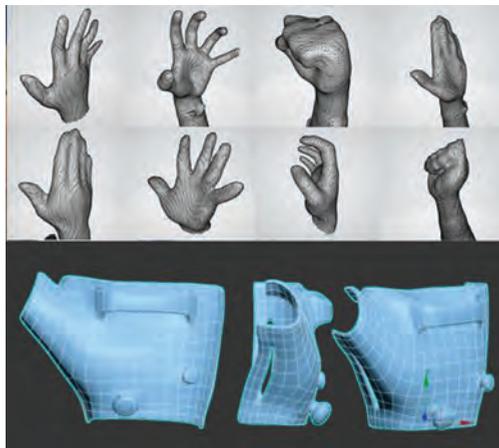


Figura 2 – Manos digitalizadas con escaneo 3D y Modelado DAO del dispositivo digital.
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tomando como referencia algunos de los ejercicios universales para la terapia de la mano como se ve en la ilustración 1, los que son necesarios en el tratamiento inicial y preventivo de enfermedades operaciones que contribuyen a la reducción del dolor, la realización de movimiento, el masaje en articulaciones y músculos, la reducción de carga y mejor distribución respecto a la mano, y la dinámica positiva y negativa para conservar la operatividad.

El proceso de configuración del dispositivo fue verificado en un paciente con un estado incipiente de la enfermedad donde la sintomatología presentada se asociaba a la pérdida de movimiento poliarticular, es decir más de cuatro articulaciones se encontraban afectadas y también presentaba disminución leve de la movilidad articular, sin presencia de nódulos.

El estudio preliminar partió de la verificación de la eficacia del prototipo del exoesqueleto tomando en consideración los grados de libertad (GDL) necesarios para el tratamiento de la enfermedad, el análisis mecánico de las cargas, los esfuerzos principales ejercidos, la resistencia en función de la forma y el material y finalmente el diseño formal del prototipo (ver figura 3). Los parámetros de impresión solo son una guía de referencia, dado que cada impresora tiene sus propios parámetros para garantizar impresiones óptimas.

- Diámetro del nozzle: 0.4mm, Diámetro de filamento: 1.75 mm
- Altura de capa: 0.16mm
- Relleno: 60%
- Tipo de relleno: Rejilla
- Capas superiores: 4
- Capas inferiores: 2
- Flujo: 85%
- Con soportes
- Velocidad de impresión:
 - Perímetros: 70mm/s
 - Perímetros pequeños: 70mm/s
 - Perímetros externos: 70mms/s
 - Relleno: 70mms/s
 - Relleno solido: 70mms/s
 - Relleno solido superior: 70mm/s
 - Puentes: 70mm/s
 - Relleno: 70mm/s
 - Recorrido: 180mm/s

Se empleó el uso de herramientas digitales y RP para la creación de un modelo virtual en 3D a partir de la digitalización de una mano que sirvió como referencia tridimensional para crear el dispositivo de rehabilitación previo al diseño de un exoesqueleto funcional para la rehabilitación muscular de manos, para entender de manera tangible las limitaciones y alcances de este tipo de técnicas se realizaron pruebas virtuales y físicas para la elaboración de un prototipo de mano artrítica, estableciendo tareas y procesos reales para la generación de un modelo físico 3D que sirviera para la implementación de un exoesqueleto para la rehabilitación muscular. Después del estudio del paciente en términos de movilidad se puede evidenciar que el arco articular de movimiento mejoró, reduciéndose la rigidez de las articulaciones, permitiendo el estiramiento muscular, la

reducción del dolor y la disminución en la presión en el movimiento de los dedos lo cual significa una reducción del riesgo de la aparición de vainas tendinosas.



Figura 3 – Montaje del prototipo y montaje sobre las articulaciones.
Fuente: Elaboración propia, 2020.



Figura 4 – Proceso de digitalización con escaneado 3D formato OBJ y preparación de modelado digital formato final STL. Fuente: (Elaboración propia, 2020).

3. Validación del modelo

El modelo virtual cumple con los requisitos preliminares de peso reducido y alta resistencia, así mismo permite el movimiento de abducción-aducción asemejando el movimiento natural de las falanges, considerando que debe poseer un sistema autónomo y actuador ligero. El uso de las técnicas de RP permite la adaptabilidad del dispositivo a la mano del paciente siendo más efectiva la rehabilitación. El modelo toma como base las consideraciones antropométricas de la población latinoamericana obtenidas por el Ministerio de Salud (MINSA) y del Instituto Nacional de Salud (INS).

Mediante la información analizada previamente, se establecieron prototipos formales de manera virtual y después mediante técnicas de RP se dio paso a la materialización por medio de impresión 3D.

De esta manera, se replicaron las geometrías de los dedos para tener un mejor acoplamiento del producto con el usuario y se propusieron hilos tensores para controlar la tensión necesaria en los movimientos de abducción-aducción, como se indica en la figura 5.



Figura 5 – Propuesta exoesqueleto.

Los métodos más extendidos actualmente para la cuantificación del proceso de mejoría son los cuestionarios específicos para enfermedades reumáticas como el Health Assessment Questionnaire (HAQ) o su versión reducida conocida como Modified Health Assessment Questionnaire (MHAQ). Estos cuestionarios evalúan la opinión del paciente y del terapeuta sobre la enfermedad y su tratamiento centrado en aquellas características referentes a la mejora física (Esteve-Vives et al., 1994).

Los dos tipos de cuestionarios mencionados están dirigidos al análisis general de la artritis en todo el cuerpo, en este caso solo se tomaron campos puntuales en los que se pueden evaluar criterios relacionados con el agarre de la mano.

		Nivel de Dificultad			
		Sin dificultad	Con alguna dificultad	Con Mucha dificultad	Incapaz de hacerlo
Nº	Actividades	0	1	2	3
Precisión	1	Vestirse solo, incluyendo abrocharse los botones y atarse los cordones de los zapatos			
	2	Lavar y secar su cuerpo por completo			
	3	Levantar y llevar una taza o vaso a su boca			
	4	Recoger ropa del piso			
	5	Abrir y cerrar el grifo			
	6	Barrer o lavar los platos			

Tabla 2 – Adaptación tabla versión reducida MHAQ, Fuente: (Elaboración propia 2020).

La aplicación del cuestionario permite verificar la reintegración del paciente a sus actividades cotidianas, como se indica en la tabla 2, el paciente en esta primera fase determino factores conceptuales relevantes en cuanto al uso y movilidad con el

dispositivo, alineándose a la propuesta, que está dirigida a la generación de una rehabilitación autónoma bajo la asistencia de un experto.

El usuario considerado en esta experimentación se encuentra en la fase preliminar de la enfermedad, justificante proporcionado en los resultados del cuestionario, los cuales indican una solución de problemas básicos cotidianos de manera efectiva. La propuesta presentada tiene resultados eficaces desde el punto de vista de la movilidad por su diseño modular lo cual permite adaptarse de una mejor manera a la enfermedad progresivamente.



Figura 6 – Prototipado de la propuesta exoesqueleto, Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Como factor experimental a continuación se presentará los datos referentes al progreso de la movilidad con el uso del dispositivo dentro del periodo de prueba, bajo 10 minutos de uso, los cuales son recomendados para que la articulación pierda rigidez.

Los datos tomados se encuentran en referencia a una prueba usando fotografías del sujeto antes y después de exponerse al dispositivo. Se midió el rango de movimiento estableciendo ángulos de apertura de la mano tomados en la misma posición. Estos datos están representados dentro de una curva que indica el avance que corresponde a la flexibilidad de las articulaciones para generar el movimiento, durante el tiempo de 5 meses.

			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Paciente 1	Antes	Dedo Índice	132°	144°	150°	138°	141°
		Dedo Medio	154°	148°	157°	145°	144°
	Después	Dedo Índice	167°	161°	155°	151°	146°
		Dedo Medio	166°	163°	159°	159°	147°

Tabla 3 – Medición de ángulos dedos índice y medio (Elaboración propia 2020).

Los datos tomados se encuentran en referencia a una prueba usando fotografías del sujeto antes y después de exponerse al dispositivo. Se midió el rango de movimiento estableciendo ángulos de apertura de la mano tomados en la misma posición. Estos datos están representados dentro de una curva que indica el avance que corresponde

a la flexibilidad de las articulaciones para generar el movimiento, durante el tiempo de 5 meses.

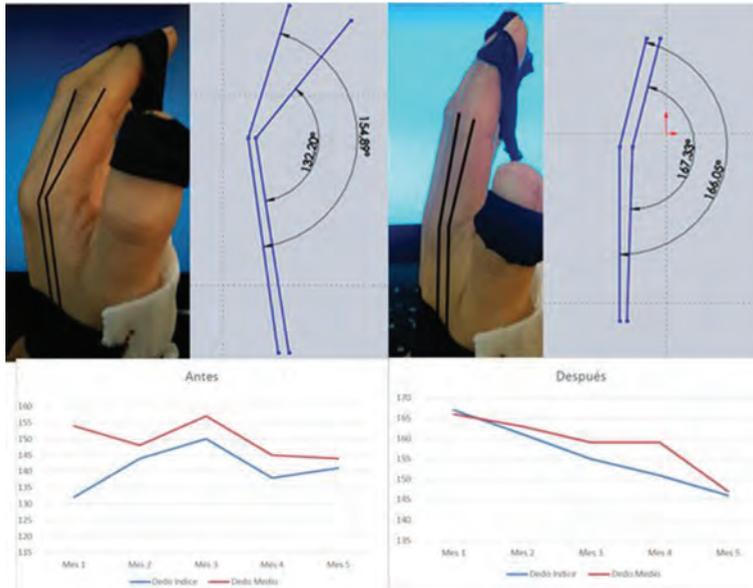


Figura 7 – Gráficas de medición de los ángulos, Fuente: (Elaboración propia, 2020).

El avance obtenido como se muestra en las figuras es satisfactorio, se ha logrado generar movimientos activo-pasivos dentro de una etapa temprana de rehabilitación. Adicionalmente, se pudo notar una recuperación de los movimientos de agarre debido a la contra reacción que el dispositivo genera, además, brinda soporte y comodidad para el acompañamiento dentro del proceso de rehabilitación, donde el equipo es capaz de generar movimientos de flexo-extensión en el plano sagital, en el plano horizontal, sagital y en los movimientos abductores.

4. Discusión

El desarrollo del dispositivo aprovechó el uso de herramientas digitales con tecnologías de RP para brindar una mejor calidad de vida a un individuo que requiera rehabilitación activa y acompañamiento a lo largo del tratamiento de su patología. De acuerdo con el razonamiento del presente artículo, el manejo de información permitió usar de manera digital el estudio de los aspectos formales y aplicarlo en la generación de exoesqueletos adaptables según la necesidad del paciente, además, se podrían laborar estudios de antropometría comparativa de avances en la enfermedad.

El paciente que participó como sujeto de prueba estuvo expuesto al proceso de rehabilitación durante 5 meses, aquí se recabo información el primer día de cada mes, la prueba de estudio consistió en usar el dispositivo durante 10 minutos con pausas de

acuerdo con la tolerancia del sujeto, debido a una de las sintomatologías netas de la AR que es el dolor.

Se le sugirió al paciente durante este tiempo usar el dispositivo en los días donde se le suministre analgésicos para mitigar el dolor, para hacer el proceso de rehabilitación más llevadero. Bajo estas recomendaciones y con el seguimiento médico correspondiente se llegó a establecer parámetros de medición de resultados, esto ha permitido demostrar que para el desarrollo de este tipo de exoesqueletos se necesita de un trabajo multidisciplinar basado en tres ámbitos:

- Los aspectos formales (procesos de diseño y ergonomía).
- Los aspectos médicos (estudio de las patologías y de la rehabilitación tradicional).
- Los aspectos técnicos relacionados con los mecanismos (sistemas de comunicación, instrumentación electrónica, sistemas de control analógico, digital y de potencia).

5. Agradecimientos

Esta investigación ha sido desarrollada gracias a la investigación predoctoral realizadas para la tesis doctoral “Estudio sistémico de estructuras exoesqueléticas de la mano para la rehabilitación de la atrofia muscular debido a la artritis en personas adultas” de la Universitat Politècnica de Valencia.

Referencias

- Batlle Gualda, E., Mínguez Vega, M., Bernabéu Gonzáles, P., y Panadero Tendero, G. (2013). *Enfermedades Reumáticas*. Valencia: Ibáñez & Plaza Asociados S.L. ISBN: 978-84-88823-10-6.
- Borghetti, M., Sardini, E., y Serpelloni, M. (2013). Sensorized glove for measuring hand finger flexion for rehabilitation purposes. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 62(12), 3308-3314. doi: 10.1109/tim.2013.2272848.
- Cardiel, M. H., Díaz-Borjón, A., del Mercado Espinosa, M. V., Gámez-Nava, J. I., Fabris, L. A. B., Tena, C. P., y Díaz, V. G. (2014). Update of the Mexican College of Rheumatology guidelines for the pharmacologic treatment of rheumatoid arthritis. *Reumatología Clínica (English Edition)*, 10(4), 227-240. doi: 10.1016/j.reumae.2013.10.006.
- Chen, G., Chan, C. K., Guo, Z., & Yu, H. (2013). A review of lower extremity assistive robotic exoskeletons in rehabilitation therapy. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 41 (4-5). doi: 10.1615/critrevbiomedeng.2014010453.
- Kadowaki, Y.; Noritsugu, T.; Takaiwa, M.; Sasaki, D.; Kato, M.(2011) Development of soft Power-Assist glove and control based on human intent. *Journal Robotic Mechatronic* 23, 281–291.

- Massardo, L., Suárez-Almazor, M., Cardiel, M., Nava, A., Levy, R., & Laurindo, I. (2009). Management of patients with rheumatoid arthritis in Latin America. sn: Pan-American League of Associations of Rheumatology and Grupo Latino Americano de Estudio de Artritis Reumatoide. doi: 10.1097/rhu.0b013e3181a90cd8.
- Matthew Chin Heng Chua, Lim Jeong Hoon, & Yeow, R. C. H. (2016). Design and evaluation of Rheumatoid Arthritis rehabilitative Device (RARD) for laterally bent fingers. 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob). doi:10.1109/biorob.2016.7523732
- Moya, R., & Magal-Royo, T. (2019). Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano. Tsantsa. Revista De Investigaciones Artísticas, Vol. (7), 233-240. ISBN, 1390-8448.
- Silman, A. J., & Pearson, J. E. (2002). Arthritis Research, 4 (3), S265. doi:10.1186/ar578.
- Smolen, J. S., Landewé, R., Bijlsma, J., Burmester, G., Chatzidionysiou, K., Dougados, M., y Aletaha, D. (2017). EULAR recommendations for the management of rheumatoid arthritis with synthetic and biological disease-modifying antirheumatic drugs: 2016 update. Annals of the rheumatic diseases, 76(6), 960-977. doi:10.1136/annrheumdis-2016-210715.
- Wang, J., Li, J., Zhang, Y., & Wang, S. (2009). Design of an exoskeleton for index finger rehabilitation. In 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 5957-5960. IEEE. doi:10.1109/iembs.2009.5334779.
- Wege, A., Kondak, K., & Hommel, G. (2005). Mechanical design and motion control of a hand exoskeleton for rehabilitation. In IEEE International Conference Mechatronics and Automation, Vol.1, 155-159. IEEE. doi:10.1109/icma.2005.1626539
- Yap, H.K.; Goh, J.C.; Yeow, R.C. Design and Characterization of Soft Actuator for Hand Rehabilitation.
- Yap, H.K.; Lim, J.H.; Nasrallah, F.; Cho Hong Goh, J.; Yeow, C.H. (2016) Characterisation and evaluation of soft elastomeric actuators for hand assistive and rehabilitation applications. Journal Medical Engineer Technology 40, 199–209.