



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA LA REHABILITACIÓN FÍSICA DE HOMBRO EN SAN JUAN DE PASTO

Michael Fabian Angulo Guevara

Corporación Universitaria Autónoma De Nariño. San Juan De Pasto

angulomichael@gmail.com

Resumen- En el presente artículo se muestra el desarrollo de un prototipo rehabilitador de hombro, se realizó esta investigación teniendo en cuenta que, según el último censo realizado por el DANE, las personas con problemas de movilidad representan el 55.7% de la población con algún tipo de discapacidad. Por este motivo se han realizados dispositivos biomecánicos que permitan realizar terapias eficientes y con reducción de esfuerzos. Para ello se realizó un estado del arte sobre los principales movimientos del hombro y sobre la rehabilitación pasiva, de igual forma se obtuvo información mediante encuestas y entrevistas sobre que articulaciones tienden a lesionarse mayormente dando como resultado en un 75% las extremidades superiores, el cual se caracteriza por permitir realizar rutinas de rehabilitación sin dolor utilizando 2 grados de libertad.

Abstract-This article shows the development of a shoulder rehabilitation prototype, which is characterized by allowing pain-free rehabilitation routines using 2 degrees of freedom. This research was carried out taking into account that, according to the last census carried out by DANE, people with mobility problems represent 55.7% of the population with some type of disability. For this reason, biomechanical devices have been developed that require efficient therapies and reduced efforts. For this, a state of the art is carried out on the main movements of the shoulder and on passive rehabilitation. Which was carried out with the aim of proposing the design conditions that the prototype

establecen ciertos requerimientos de diseño, para elaborar los mecanismos del prototipo que cumplan con el funcionamiento requerido.

Actualmente en el mercado existen máquinas que realizan este tipo de funciones dentro de las cuales

must meet, using design software, tests of operation were detected to obtain the proposed movements, resulting in a functional prototype.

Introducción

La movilidad del hombro es muy importante para realizar actividades cotidianas de los seres humanos, priorizando su desplazamiento, bañarse, cocinar, escribir, correr, nadar entre otras. Cuando se sufre una lesión grave genera un impacto negativo en las condiciones de vida puesto que se ven afectadas sus ABC (Actividades Básicas Cotidianas), las lesiones de las extremidades superiores actualmente se consideran una de las principales causas de movilidad del cuerpo humano. Según la clínica las CONDE la fisioterapia es una rama de la medicina que genera un gran impacto social puesto que su objetivo principal es mejorar la calidad de vida de los pacientes que padezcan algún tipo de discapacidad motriz. Por este motivo la mecánica y otras áreas como la biomecánica, y la robótica se han centrado en realizar estudios los cuales ayuden a desarrollar dispositivos inteligentes de rehabilitación, esto con el fin de disminuir tiempos de recuperación y creando una relación o interacción hombre-máquina.

Por este motivo esta investigación abordara la problemática planteada por medio del diseño y construcción de un prototipo rehabilitador, que asista el movimiento de extremidades superiores a pacientes que padezcan algún tipo de lesión en el hombro. De este modo se

una de ellas se denomina una maquina rehabilitadora de hombro de KINETEC cintura máquina CPM, la cual permite tener una rehabilitación temprana del hombro y codo, ésta incluye ejercicios de movimientos variables los cuales contribuyen a una mejor rehabilitación y ayuda a disminuir la rigidez de



las articulaciones. La pertenencia de este nuevo diseño radica en reducir costo, realizar una rehabilitación sin dolor y facilitar su acceso a los

usuarios al igual que tenga una interacción manejable hombre-máquina y también pueda ser diseñada con materiales livianos y de fácil traslado.

Método

Este proyecto se desarrolla a partir de la metodología inductiva deductiva donde primero se identifica la necesidad, y se realiza por medio de un estudio previo, luego se obtiene el diseño de la máquina con dichas especificaciones con un análisis de detalle donde se evalúan la funcionalidad y realizara la simulación del prototipo. Por último, se hace la construcción del prototipo y confirmar el funcionamiento.

Diseño: Para el desarrollo del prototipo se tuvo en cuenta cada uno de los movimientos a realizar, variables, requerimientos de los pacientes y tipos de mecanismos.

Población: Para este estudio se trabajo con 13 personas que han presentado algún tipo de lesión.

Materiales

Para la construcción de este prototipo se utilizaron los siguientes materiales

Obtención de requerimientos de los pacientes

Dentro de esta investigación como primera instancia los pacientes, teniendo en cuenta que en el momento de obtener el diseño final este pueda realizar los movimientos propuestos de una forma sistematizada y con tiempos exactos. De igual manera, este

las molestias que se generan en el hombro. Al dispositivo será de fácil manejo para el fisioterapeuta encargado como para los pacientes, al igual lograr obtener costos bajos en la adquisición del equipo. De igual forma si el paciente desea realizar terapias en

Datos antropométricos

Para obtener las medidas del miembro superior se tuvo en cuenta los parámetros antropométricos de la población colombiana, el cual consistió en realizar

Periodo de estudio: Comienzo noviembre 2019 y finaliza marzo 2020.

Unidad de análisis: Pacientes del Hospital departamental de Nariño.

Entorno: El estudio se realizo principalmente en el club Leones, pacientes del hospital departamental, Instituto técnico de Nariño y la Corporación universitaria autónoma de Nariño.

Intervención: Estudio inductivo deductivo/Ensayo de mecanismos controlado

Periodo de estudio: 2 años

De la población o muestra utilizada se dividió en dos grupos

Grupo A: Personas sanas sin ningún tipo de lesión

Grupo B: Pacientes que han presentado algún tipo de lesión o lesionadas.

- Acero inoxidable
- Empack
- Aluminio

dispositivo pretende ser portable para que los usuarios no tengan que desplazarse hacia un centro médico en el momento de realizar la terapia. Esto se hace con el fin de que los pacientes puedan minimizar

centros médicos. Por otra parte, realizar movimientos de aducción y abducción, flexión y extensión con ciertos grados de libertad.

un estudio de 9 variables antropométricas, en 2100 trabajadores de sexo masculino y femenino, que van de 20 a 60 años de edad. Para la población se consideran datos que abarcan desde el percentil 5 al 95.



Tabla 1 Medidas antropométricas colombianas

| Dimensión | Mínimo | | Máximo | | Valor intermedio | |
|-----------------------------|--------|-------|--------|-------|------------------|-------|
| | M | F | M | F | M | F |
| Peso (Kg) | 53.7 | 46.7 | 87.9 | 77.0 | 69.1 | 59.1 |
| Estatura (cm) | 158.0 | 146.7 | 179.3 | 166.2 | 168.6 | 155.6 |
| Longitud del brazo (cm) | 25.2 | 23.3 | 34.2 | 33.6 | 29.6 | 27.8 |
| Longitud del antebrazo (cm) | 24.0 | 20.9 | 29.9 | 26.9 | 26.8 | 23.4 |

(Ospina, 2017)

El prototipo planteado cuenta con

Base Móvil: Hace que se pueda transportar de una mejor manera, puesto que la estructura es totalmente

que se pueda elegir la medida deseada.

Ajuste del eslabón: Teniendo en cuenta las medidas antropométricas se diseñó un eslabón el cual cuenta con un sistema ajustable.

Análisis funcional

El análisis funcional inicia desde el estado del arte, en el cual se profundiza los conceptos de diseño y los componentes principales del prototipo, en este punto se logra tener claro cuáles son las partes principales que componen el dispositivo y cuál será su funcionamiento final, esto se realiza con el fin de que el proyecto tenga un enfoque más claro. Y realizar un análisis de caja negra y transparente para proyectar

Diseño CAD del prototipo

El prototipo cuenta con un eslabón el cual realiza dos grados de libertad, el cual es movido por un motor de El siguiente diseño está construido en acero inoxidable, empak y acero. El diseño cuenta con una base principal de 15cm x 15cm en la cual estará acoplada la caja con cada uno de los dispositivos electrónico. La siguiente es la base principal que tiene una medida de 40cm x 50cm y un tubo de 52 cm diámetro de 2"; de igual forma cuenta con un El proceso de construcción se realiza teniendo en cuenta el diseño propuesto, logrando obtener un

Características generales del prototipo

A partir de la tabla 1 se establecieron medidas estándar que corresponden a las medidas antropométricas colombianas y rangos de movimientos en sus diferentes movimientos.

Tabla 2 Medidas establecidas

| Especificaciones | Brazo | Ante brazo | Mano |
|--------------------|---------|------------|---------|
| Longitudes | 31.3 cm | 24.8 cm | 18.2 cm |
| Peso/ sin gravedad | 1.85 kg | 1.14 kg | 0.50 kg |

(Ospina, 2017)

liviana y cuenta con ruedas que permite una estabilización total.

Sistema ecualizable: Este sistema se encuentra junto a la base móvil la cual hace

Movimientos: el dispositivo cuenta con 2 grados de libertad el cual permite realizar (Flexión-Extensión y Abducción- aducción).

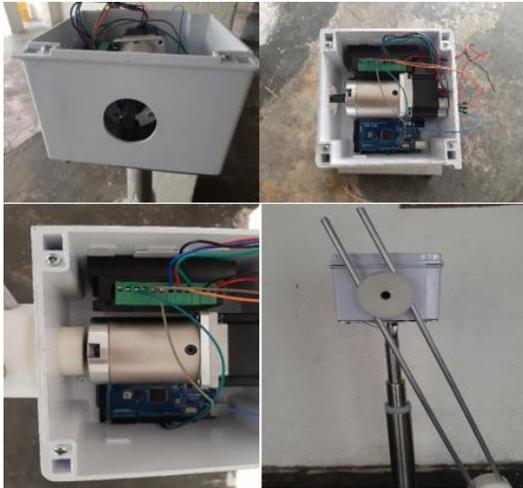
un diagrama de análisis funcional esto con el fin de crear algunas estrategias de diseño que ayuden a comprobar los procesos apropiadamente. para realizar esto es necesario realizar una interpretación lógica del diseño, construyendo así un modelo que preverá resultados probables de distintas alternativas enfocadas en el estudio de los componentes de entrada y salida o respuesta producida con respecto al funcionamiento del dispositivo.

forma directa logrando realizar los movimientos propuestos.

embolo macho de 60cm de diámetro 1, 1/2". Para que el sistema ecualizable sea funcional y no exista rose de dos materiales iguales se implementa un acople de con un material plástico llamado empak el cual es muy blando y permite que el embolo macho deslice sobre el tubo hembra fácilmente.

dispositivo móvil que cumple con los requerimientos planteados.

Construcción del prototipo



Funcionamiento y seguimiento a las variables de operación

Para verificar las variables que influyen en el prototipo de máquina rehabilitador de hombro, se realizaron pruebas de ensayo a través de un software

Resultados

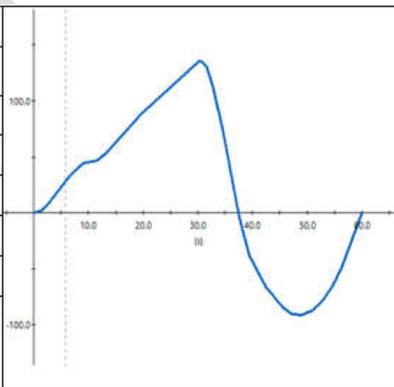
El mecanismo obedece la aplicación

El mecanismo del prototipo puede generar 2 grados de libertad que logran cumplir con las condiciones de

En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos dentro de la simulación realizada al prototipo rehabilitador de hombro, el cual se realizó bajo el manejo del programa SolidWorks, como primera instancia se realizó movimientos continuos

Tabla 3 Datos de movimiento

| Tiempo | Ángulos |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 0.00s | 0° |
| Punto inicial | Grado inicial |
| 10.00s | 45° |
| 20.00s | 90° |
| 30.00s | 135° |
| 40.00s | 90° |
| 50.00s | 45° |
| 60.00s | 0° |
| Tiempo final del movimiento | Regreso al ángulo punto inicial |



computarizado en el cual se le ingresaron datos como, ángulos y tiempos. Esto se realiza con el fin de corroborar la funcionalidad del diseño construido.

De igual forma comprobar que cumpla con los rangos de ángulos, tiempos planteados para realizar el movimiento de flexión, extensión, aducción y abducción.

Para la programación del controlador se realizó en la IDE del mismo arduino, el cual controla las posiciones angulares del motor, realizando las respectivas conversiones de Angulo deseado a cantidad de pulsos requeridos, además, controla del tiempo requerido para culminar con ese movimiento. Teniendo en cuenta que las respectivas señales son enviadas al motor mediante un driver controlador MicroStep, quien se encarga de configurar los pulsos y dar el movimiento al motor.

diseño establecidos, la cual permite realizar los tipos de movimientos planteados en el documento como son, flexión-extensión y aducción-abducción horizontal, en el proceso de ensayo se obtiene lo siguiente.

pasivos, en el cual no se le aplica fuerza para realizar el movimiento. el rehabilitador realizara el movimiento, por medio de ingreso de datos como se observa en la tabla (3). Se observan los resultados de la simulación del rehabilitador por medio de una trayectoria la cual se observa en la figura.

Esta prueba se realiza con el fin de observar el punto máximo de movimiento, para esto el ejercicio se realizó con putos exactos para obtener una gráfica de funcionamiento. Para realizar un movimiento real se ejecutará con una velocidad mínima para observar el movimiento.

En la siguiente figura se muestra el ensamble final para realizar las pruebas, donde se verifico el desempeño la estructura en donde se observó que el sistema de ecualización y el ajuste del brazo permite realizar el movimiento en distintos ángulos. El



mecanismo del prototipo puede generar 2 grados de libertad que logran cumplir con las condiciones de diseño establecidos, la cual permite realizar los tipos de movimientos planteados en el documento como

son, flexión-extensión y aducción-abducción horizontal, en el proceso de ensayo se obtiene lo siguiente.

El prototipo cuenta con un mecanismo sencillo el cual es capaz de realizar un solo movimiento, si se desea realizar otro tipo de movimiento se debe volver a la posición inicial. Los movimientos planteados se realizaron a dos personas una con sujeción y viceversa. Durante el ejercicio realizado a la persona con sujeción se observó un movimiento continuo en elevación y descenso. Al intentar realizar la misma acción a la siguiente persona causó flexión del codo y la muñeca.

pequeños choques eléctricos permite que el paciente sienta menos dolor en el momento de realizar cualquier movimiento. De este modo cabe destacar que este dispositivo ayudara en gran parte a la rehabilitación.

Dentro de este proyecto se pudo trabajar con un dispositivo llamado tens el cual por medio de

A diferencia de las distintas máquinas rehabilitadoras de hombro, este dispositivo cuenta con un dispositivo el cual ayuda a evitar el dolor, pero de igual forma permite a la recuperación de hombros rígidos y otros dolores crónicos ya sea de hombro o espalda.

En la implementación de este dispositivo a una persona con dolor muscular se notó una mejora del 80%, el cual ayuda a que no existan pausas en el momento de realizar cualquier movimiento

sugerencias de profesional de la salud se logró tener una mejora tanto en el prototipo como en la ergonomía de la persona, pero no está de más tener un acompañamiento del profesional en fisioterapia para mejorar aspectos más profundos.

Como dato final las pruebas realizadas al diseño y al prototipo real fueron satisfactorias, obteniendo las

Ilustración 1 Movimiento real e instalación del tens

Conclusión



El uso del software SolidWorks permitió modelar y realizar la simulación de los movimientos planteados, lo cual se realizaron con el fin de observar el comportamiento del prototipo, los tiempos y grados asignados fueron repetitivos para obtener un resultado claro en el cual se determinará el comportamiento del mismo, permitiendo que el prototipo cumpla con los parámetros establecidos para el proceso de rehabilitación.

Como dato a la investigación, es posible concluir que las lesiones de hombro se presentan en mayor parte en personas que se encuentran entre los 40 y 75 años, debido a un factor principal como es el Síndrome de inmovilidad en personas mayores, lo cual se presenta por no realizar movimientos continuos y conlleva a problemas vasculares.

Teniendo en cuenta que según los profesionales de la salud una sesión fisioterapéutica oscila entre los 15 a 20 minutos, se pudo determinar que el prototipo cumple con este tiempo estimado, puesto que se observó durante las pruebas de ensayo que el prototipo puede trabajar hasta 30 minutos con intervalos de descanso muy pequeños.



Las medidas propuestas para el desarrollo del eslabón brazo del prototipo se obtuvieron mediante los parámetros antropométricos de la población laboral colombiana, de este modo se obtienen medidas máximas del eslabón, obteniendo datos principales para realizar cálculos. De igual forma se realizaron medidas a personas de distintas edades para obtener la medida máxima del sistema ecualizador.

Teniendo en cuenta la investigación de máquinas existentes, se logró diseñar y construir un dispositivo funcional, que realiza los movimientos planteados.

El mayor número de lesiones se presentan en personas que practican algún tipo de deporte o actividad repetitiva, causando desgaste muscular al pasar el tiempo.

Realizando pruebas de funcionamiento, se observó que la señal de dirección solo lograba realizar giros hacia un lado esto debido a que el arduino no enviaba la corriente necesaria hacia el controlador, por lo tanto, se optó por realizar un amplificador para aumentar la corriente.

El prototipo de máquina desarrollado permite realizar movimientos continuos de manera pasiva y automática, brindándole al paciente una rehabilitación más independiente, teniendo en cuenta que el fisioterapeuta debe intervenir en el momento de configurar los movimientos o rutinas.

Recomendaciones

Para realizar los movimientos de rehabilitación de una manera eficiente se recomienda tener una postura recta al lado del prototipo ya que el centro de movilidad del hombro debe coincidir con el de la máquina.

Antes de realizar cualquier movimiento verificar que el di positivo se encuentre en su punto inicial, puesto que este parámetro es esencial para iniciar un movimiento.

Los parámetros a ordenarle a l prototipo lo debe realizar un profesional de la salud, el cual cuente con los conocimientos previos del prototipo.

Evitar posicionar el prototipo en pisos defectuosos con altos y bajos esto influirá al momento de ubicar la persona. Causando malas posturas y sobre esfuerzos.

Utilizar el prototipo por media hora y dejar descansar 5 minutos por seguridad. “Apagar el prototipo en el momento de no estar utilizando”.

Referencias

Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA and Department of Neurology and Division of Rehabilitative Medicine, University of Maryland School of Medicine, Baltimore, MD, USA. (2013). *Rehabilitation Robotics. Elsevier* .

A.I Kapandiji. (2016). *Planos anatómicos del cuerpo, Fisiología articular* .

(2018). *Aceleración y sobre aceleración*. Pasto.

Alessandro Scano, A. C. (2018). La asistencia robótica para las extremidades superiores puede provocar ligeros cambios en los módulos motores en comparación con los movimientos libres en los sobrevivientes de un accidente cerebrovascular: un análisis de sinergia muscular basado en grupo.

Amazon . (2020). *Motor Nema 23, con engranaje planetario*. Miami. Retrieved from https://www.amazon.com/-/es/47-Engranaje-Planetario-2-8-bricolaje/dp/B00WAV322U/ref=pd_sbs_60_t_0/140-5977742-6636407?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B00WAV322U&pd_rd_r=4cac216f-cc60-4077-9067-02b35facf7c8&pd_rd_w=4K92f&pd_rd_wg=G0Ede&pf_rd_p=5cfcfe89-300f-47d2-b1

Congreso de la republica de colombia. (2018). *Ley 528 de 1999*. Bogota: Ministerio de educación . Retrieved from Disponible en: <http://www.secretariasenado.gov.co/>

Congreson de la republica de colombia. (2018). *Ley 100 de 1993*. Bogota. Retrieved from



FISIOMAR . (2020). *Terapias basicas* . Sevilla.

Galiana, I. (2017). *Wearable Soft Robotic Device for Post-Stroke Shoulder*. Universidad de harvard , EE.UU.

Hospital Universitario. (2018). *Hospital Universitario Departamental de Nariño*. Pasto. Retrieved from <https://www.hosdenar.gov.co/>

(2018). *Informacion Eslabon* . Pasto.

Kapandji. (2016). *Actividades fisicas, salud y fisioterapia* (Vol. 2). Paris: Medica panamericana . Retrieved from <https://www.medicapanamericana.com/Autores/Autor/19844/A-I-Kapandji.html>

Disponible en:
<http://www.secretariasenado.gov.co/Construmática>. (2017). *Arquitectura e ingenieria*. Barcelona.

DANE. (2010). *Población con registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad*. Bogota. Retrieved from <http://www.discapacidadcolombia.com/index.php/estadisticas/200-linea-base-observatorio-nacional-de-discapacidad>

(2018). *Desplazamiento Flexión*. Pasto.

Erazo. (2015). *Posiciones del rugby*. Miami: Iusport.

Fierro. (2018). *Fisioterapia y anatomia del hombro. Ortopedia y Traumatología - Cirugía de Hombro y Codo*, 3. Retrieved from <https://guidofierro.com/>

Kendall, E. (1999). *Músculos;pruebas, funciones y dolor postural*. Madrid. Retrieved from <https://entrenadordefutbol.blogia.com/2011/022201--cuales-son-los-principales-musculos-del-hombro-.php>

Kendall, E. (2000). *Musculos*. Madrid : 4° edición .

Kesner, S. J. (2011). *Design Considerations for an Active Soft Orthotic System for Shoulder Rehabilitation*. Harvard Biorobotics Lab. Recuperada el 2 Abril 2017, por http://biorobotics.harvard.edu/pubs/2012/ref_conf/IROS2012_Galiana.pdf. Retrieved from http://biorobotics.harvard.edu/pubs/2012/ref_conf/IROS2012_Galiana.pdf

PROHIBIDA SU COPIA