

Goniómetro digital para medir flexo extensión en brazo derecho como propuesta para aplicaciones en telerehabilitación

M. Cuevas, M. de Amirola, O. Romero, J. Rostro

Resumen— Uno de los problemas actuales en los diferentes sistemas de salud alrededor del mundo es que el acceso a la salud en muchos casos se ve dificultada por las grandes distancias que se tienen que recorrer o por alguna imposibilidad física del paciente que no le permita llegar al lugar donde se ofrecen estos servicios de salud. Debido a esto, se propone la creación de un goniómetro digital como propuesta para poder realizar terapia de rehabilitación a distancia también conocida como telerehabilitación. El goniómetro fue creado utilizando un IMU programado en Arduino Nano para realizar la detección del ángulo por medio de un modelo matemático de ángulos de Euler; para poder mostrarlo gráficamente se utilizó el software de Processing para Arduino. También se creó un goniómetro digital en una aplicación para móviles Android utilizando el software MIT App Inventor para acceder a los sensores de posición integrados en el Smartphone. Como resultado pudimos observar mediciones de flexo extensión utilizando el dispositivo en Arduino y en Smartphone.

Palabras clave: ángulo, telerehabilitación, goniómetro, IMU, flexo extensión.

I. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI son muchos los avances y desarrollos que la humanidad ha alcanzado. El concepto de Rehabilitación existe desde el inicio de la especie humana pues está en su esencia el intentar recuperar aquellas funciones perdidas y desarrollar estrategias para evitar lesiones y dolencias.

La telerehabilitación es el uso y práctica de servicios para la rehabilitación a través de las TIC (Tecnologías de la información y comunicación) e Internet [1]. La telerehabilitación permite aplicar la terapia a personas que no pueden viajar a una clínica porque el paciente tiene una discapacidad o por las grandes distancias que debe de recorrer.

Facilita el acceso a profesionales y pacientes de distintas localizaciones ahorrando costes de desplazamientos, tiempos de espera y en consecuencia una mayor productividad [2]. Actualmente la elevada tasa de envejecimiento de la población de los países desarrollados es una importante preocupación socio-sanitaria para sus gobiernos. El creciente peso de la población anciana supone uno de los cambios más significativos que se ha dado en las sociedades desarrolladas a partir de la segunda mitad del siglo XX.

Este cambio implica un gran incremento de los gastos en prestaciones de protección social y sanitaria. No sólo porque estos gastos per cápita aumentan con la edad, sino porque suponen la transformación del carácter de la atención prestada y los cuidados demandados por la sociedad. [3]

En este escenario, las Nuevas TIC aplicadas a la Salud, en este caso a la Telemedicina, pueden constituir una potente herramienta para hacer frente a esta situación. Por una parte, ofrecen una gran flexibilidad a la hora de adaptarse a estas nuevas necesidades y, por otra, permiten una mejor utilización de los recursos sanitarios y una mayor calidad de vida de los pacientes. [4,5]

A. Goniómetro

Un goniómetro es el instrumento del cual nos valemos para medir y trazar ángulos. Está formado por dos brazos articulados que se unen en el centro de un semicírculo graduado. Si bien existen diferentes convenciones en la medición, la técnica general consiste en ubicar los brazos del goniómetro sobre el eje medio de los huesos proximal y distal de la articulación a explorar, localizando el centro del goniómetro sobre el eje de flexión articular el cual se determina tras realizar suaves movimientos de flexión y extensión. [5,6]

La goniometría en medicina tiene dos objetivos principales; unos es evaluar la posición de una articulación en el espacio.

Y otro es evaluar el arco de movimiento de una articulación en cada uno de los tres planos del espacio.

B. Flexo extensión del codo

El complejo articular del codo posee un solo grado de movimiento que ocurre en el plano sagital, alrededor de un eje medio-lateral: flexo extensión. El eje de movimiento es oblicuo en relación a los planos de referencia espacial, con una inclinación de 6° con respecto al plano transversal. [6.7]

Flexo extensión del codo

- Flexión: bíceps-braquial – supinador largo. $0-150^\circ$
- Extensión: Tríceps braquial. $150^\circ - 0$.
- Paciente: Decúbito dorsal con antebrazo apoyado sobre un almohada.
- Pivote: A nivel del epicóndilo
- Brazo Fijo: Paralelo al eje longitudinal del brazo
- Brazo móvil: Paralelo al eje longitudinal del antebrazo
- Supinación: Supinador corto – bíceps braquial. $0-80^\circ$
- Pronación: Pronador redondo y cuadrado. $0 - 80^\circ$

En la Fig. 1 se muestran los rangos de movimiento del codo.

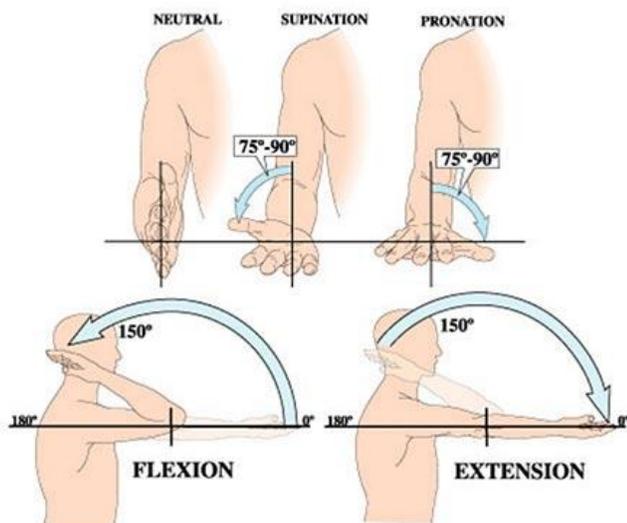


Fig. 1. Movimiento de flexo extensión del codo [7].

C. Hardware

Para este proyecto se utilizará un Arduino Nano, dispositivo trabaja con código abierto y es manufacturado por la empresa Arduino y comercializado mundialmente. Utilizando el lenguaje de programación Arduino. En general los proyectos con Arduino pueden ejecutarse de forma autónoma o con software en una computadora.

De esta manera y con Mit App Inventor, una herramienta de programación en línea que ofrece medios para poder construir aplicaciones directamente en la web, se desarrolló el equipo presentado en este proyecto.

Una unidad de medición inercial o IMU, es un dispositivo electrónico que mide e informa sobre la velocidad, la orientación y la fuerza de la gravedad de un objeto, utilizando una combinación de acelerómetros y giroscopios, magnetómetros.

Típicamente, una IMU está compuesta por un conjunto de acelerómetros y giróscopos, que obtienen datos de uno o más ejes ortogonales (dependiendo de los requerimientos del sistema), enviándolos a algún sistema computarizado que realiza los cálculos necesarios para obtener las estimaciones de aceleración y velocidad de rotación requeridas. [8.9]

D. Software

Para definir una magnitud vectorial, se indican sus componentes con respecto a un sistema de referencia. En un espacio 3D normalmente se utilizan 3 ejes ortogonales. Se requiere una serie de cálculos para así poder transformar las magnitudes vectoriales de un sistema de referencia a otro; y una solución son las matrices de cosenos directores (DCM), esta matriz de cosenos directores es una matriz de 3×3 .

A la matriz DCM también se denomina matriz de rotación, dado que permite transformar vectores entre dos sistemas de referencia que están rotados.

Para los ángulos del brazo se utilizaron ángulos Eulerianos para el movimiento y la posición del brazo en el espacio; estos sirven para saber la posición de un sistema móvil en un momento dado respecto del espacio con un sistema de coordenadas fijo.

Se basan en describir la forma de alcanzar la posición final desde la inicial con tres rotaciones llamadas yaw, pitch y roll, el resultado final dependerá del orden en que se apliquen: primero el yaw, luego el pitch y por último el roll.

II. METODOLOGÍA

La metodología puede dividirse en 2 grandes partes: Goniómetro digital con interfaz a PC y goniómetro digital para aplicación móvil (Android).

A. Goniómetro digital con interfaz a PC.

Se utilizó el IMU GY-85 que posee un acelerómetro ADXL345, un magnetómetro HMC5843 y un giroscopio ITG-3200. Se decidió utilizar el GY-85 por su bajo costo y por qué utiliza los mismos componentes que el IMU de la empresa SparkFun de 9 ángulos de libertad y resulta más sencillo su uso ya que existen diversos tutoriales para su uso.

Un Arduino Nano con ATmega/328 fue utilizado en conjunto con el GY-85 para poder realizar la adquisición de datos. En la siguiente Tabla I se muestran las conexiones realizadas entre el Arduino Nano y el GY-85.

Tabla I: Conexiones entre Arduino y GY-85

Arduino Nano	GY-85
5V	Vcc
Gnd	Gnd
A5	SCL
A4	SDA

Utilizando el software de Arduino programamos la inicialización del protocolo I2C de lectura de los sensores del GY-85 (Anexo 1), el cual fue obtenido de la hoja de datos del IMU de SparkFun.

Para la calibración y disminución de ruido se utilizó el firmware establecido por SparkFun, el cual toma valores máximos y mínimos del acelerómetro, magnetómetro y giroscopio; para calibrar la escala, el offset, ganancia del giroscopio, compensación de la gravedad, constante para transformar a radianes, constante para transformar a grados, entre otras (Anexo 2).

A continuación utilizamos un algoritmo de DCM o Direction Cosine Matrix que consiste en detectar la dirección del campo magnético, modificar la matriz, normalizar, corregir la deriva o error acumulado y la transformación a ángulos de Euler (Anexo3).

Utilizamos el programa de Processing para Arduino; el cual es una herramienta para graficar en 3D utilizando el archivo (sketch) de Arduino. Utilizando este programa creamos un rectángulo que representa nuestro brazo y una flecha que indica la dirección de campo magnético. Se implementó un sistema para alinear el IMU (apuntando la orientación del campo magnético del IMU a la pantalla) con la imagen en 3D. Una vez obtenido esto establecimos que el ángulo de la posición inicial sería de noventa grados en paralelo con el suelo (Anexo 4).

B. Goniómetro Digital para aplicación móvil (Android)

Se utilizó la aplicación MIT App Inventor para obtener los valores del sensor de orientación propio de un celular Samsung S4 y mostrarlos en pantalla (Anexo 5).

III. RESULTADOS

A. Goniómetro digital con interfaz a PC.

Al compilar y cargar el programa al Arduino, abrimos la ventana de serial monitor en donde pudimos observar los valores de nuestro IMU ya dados en ángulos de Euler de la siguiente forma: yaw, pitch, roll (Fig. 3).

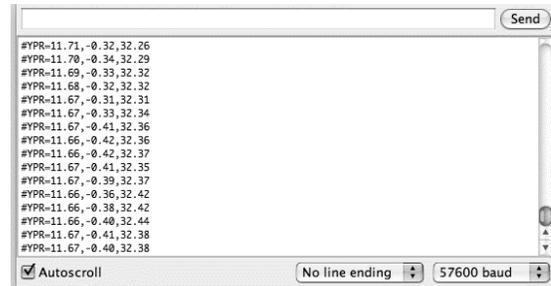


Fig. 2. Valores yaw, pitch y roll en serial monitor de Arduino.

Una vez que comprobamos que el IMU estaba recibiendo los datos, abrimos el programa Processing. Cargamos el archivo y obtuvimos lo siguiente: la pantalla de carga (Fig. 3), la forma en 3d en la pantalla principal (Fig. 4).



Fig. 3. Pantalla de carga del goniómetro en PC.



Fig. 4. Pantalla principal de goniómetro en PC.

Después alineamos el IMU a la pantalla y oprimimos la tecla "c" para alinearlos (Fig. 5); probamos la flexo-extensión del brazo derecho (Fig. 6).



Fig. 5. Alineación de IMU y PC.



Fig. 6. Prueba de flexo extensión de brazo derecho.



Fig. 6. Cont.



Fig. 6. Cont.

B. Goniómetro Digital para aplicación móvil (Android)

Se compiló el programa y se cargó al celular; probamos la flexo-extensión del brazo derecho con el celular a la misma altura del IMU probado anteriormente (Fig. 7).



Fig. 7. Prueba de flexo extensión de brazo derecho tomada con un celular.



Fig. 7. Cont.



Fig. 7. Cont.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Goniómetro digital con interfaz a PC.

Como podemos observar en la Fig. 6 el goniómetro digital para PC reconoce el ángulo de flexo-extensión correspondiente a la literatura (flexo entre 150° y 140° ; extensión entre 20° y 30°). Para poder obtener este ángulo fue de vital importancia tomar como referencia propia la dirección del magnetómetro y poder estabilizar su posición. Es vital mencionar que la alineación es uno de los factores importantes para una buena lectura y que no es posible realizar las lecturas de otros ejercicios de flexo extensión que involucren otras posiciones corporales ya que al cambiar la posición del IMU cambiaría nuestra referencia del magnetómetro, lo que impide poder tener una lectura confiable.

B. Goniómetro Digital para aplicación móvil (Android)

En la parte de la aplicación para Android fue muy sencillo la implementación ya que el celular contaba con un giroscopio y acelerómetro interno; sin embargo, como se puede observar en la Fig. 8. Tiene más variación en los datos; es decir, es muy sensible y por esto no es tan preciso.

C. Consideraciones Futuras

Aunque los dos goniómetros, tanto para PC como para celular, obtuvieron lecturas confiables aún falta refinar detalles para poder llegar a tener un goniómetro para cualquier tipo de flexo extensión. Se está trabajando en un filtro de Kalman que será añadido en un primer lugar a los valores obtenidos por el acelerómetro de un celular para observar si es eficaz. Una vez realizado esto procederemos a implementarlo directamente en el celular y obtener un goniómetro mucho más preciso. Se explorará la posibilidad de incluir un segundo IMU para tomarlo como referencia y poder ser capaces de realizar el cálculo de ángulos en cualquier parte del cuerpo aunque esto implica un cambio casi total al código de este proyecto.

Una vez terminado el proyecto quisiéramos compararlo con los equipos que se utilizan actualmente en rehabilitación utilizando las técnicas actuales de rehabilitación del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) para así poder comprobar la eficacia de nuestro prototipo.

V. CONCLUSIONES

Para una rehabilitación a distancia aún faltan de resolver muchos problemas, por una de ellas es tomar una referencia adecuada para poder medir el ángulo de manera precisa y también en un cierto punto así como poder medir distancia, aceleración y posición en el espacio.

Por otra parte el uso de la telerehabilitación es una herramienta útil para personas que no se encuentran en el lugar de la rehabilitación, ya sea por discapacidad, o por algún motivo en especial.

También observamos que con un dispositivo móvil se pueden realizar este tipo de proyectos, no es necesario que las personas inviertan dinero en algún dispositivo, simplemente con una aplicación en su celular que puede o no costar se puede tener acceso a este tipo de telerehabilitación digital. Es costo-beneficio que traería esta aplicación sería por una parte un costo muy bajo ya que en la actualidad la mayoría de los teléfonos inteligentes cuentan con estos sensores; es decir, se podría decir que el costo al paciente sería lo que la aplicación cueste en la tienda de aplicaciones si consideramos que el paciente cuenta con un teléfono compatible. El beneficio de esta tecnología sería en gran medida para la población geriátrica la cual va en aumento en este país y necesitan cada día más técnicas de diagnóstico y rehabilitación que no impliquen desplazarse hasta un hospital.

VI. REFERENCIAS

- [1] García Sevilla J. La Rehabilitación de las Funciones Cognitivas y el Papel de las Nuevas Tecnologías
- [2] F. Tous Llull, M. Batle Sastre, A. de Rodrigo Aparicio, M.A. Farreny Balcells, P. Martínez Bueso. Sistema de Movilización General para Personas con Discapacidad
- [3] . P. Ferriol Monserrat, M. Batle Sastre, E. Arrivi Macarro, P.A. de Alarcón Sánchez, M.A. Farreny Balcells. TeleRHB: Telerehabilitación en personas mayores. España. Dirección de internet: hilab.ibt.org/healthilab_files/publicacions/TeleRHB_CASEIB09.pdf
- [4] “Telerehabilitación Europa” Eurostat, dirección de internet: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (Consultada septiembre de 2014)
- [5] Alarcón PA, Curiel LA, Muniesa JM. A physical telerehabilitation system based on new generation web services. 10th IEEE International Conference on e-Health Networking, Applications & Services (IEEE Healthcom 2008), Singapur 2008.
- [6] “Goniometría codo” dirección de internet: <http://smartdreams.cl/unidad-de-medicion-inercial-imu/> (Consultada septiembre de 2014)
- [7] Codo. Las Articulaciones del cuerpo. dirección de internet: <http://www.lasarticulaciones.com/articulaciones/codo/>
- [8] “IMU” dirección de internet: www.mathunion.org (Consultada septiembre de 2014)