



Universidad de Valladolid



FACULTAD DE FISIOTERAPIA SORIA

Grado en Fisioterapia

TRABAJO DE FIN DE GRADO

MEDICIÓN DE LOS ÁNGULOS CORPORALES MEDIANTE LOS SENSORES DE UN SMARTPHONE: COMPARACIÓN DE APLICACIONES DISPONIBLES Y ESTUDIO DE SU UTILIDAD.

Autora: Sara Miranda Sabando

Tutor: Víctor Alonso Gómez

Soria, 10 de julio 2019

ÍNDICE

1. GLOSARIO DE ABREVIATURAS	2
2. RESUMEN	3
3. INTRODUCCIÓN	4
3.1 GONIOMETRÍA	5
3.2 SMARTPHONES.	7
3.2.1 MEMS	7
3.2.2 TIPOS DE SENSORES EN UN SMARTPHONE	8
3.2.2.1 ACELERÓMETRO	8
3.2.2.2 GIROSCOPIO	9
3.2.2.2.1 ANGULOS DE EULER Y TAIT-BRYAN	10
3.2.2.3 MAGNETÓMETRO	10
4. OBJETIVOS	11
5. MATERIAL Y MÉTODOS	12
5.1 BUSQUEDA DE APPS DISPONIBLES PARA SMARTPHONES	12
5.1.1 ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES	12
5.1.2 APLICACIÓN PRÁCTICA PARA MEDICIONES CORPORALES	12
5.2 PROTOCOLO DE MEDICIÓN	13
5.3 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	15
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
6.1 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN PRÁCTICA DE LAS APPS ANALIZADAS Y DEL GONIÓMETRO UNIVERSAL	17
6.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES EN LA ARTICULACIÓN DE RODILLA	17
6.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES EN LA ARTICULACIÓN DE HOMBRO	20
6.1.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES EN LA ARTICULACIÓN DE CODO	23
6.1.4 ANÁLISIS GLOBAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	25
6.2 RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	28
7. CONCLUSIONES	30
8. BIBLIOGRAFÍAS	31
9. ANEXOS	34

1. GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ROM	Rango de movimiento articular
TIC	Tecnologías de la información y comunicación
Apps	Aplicaciones
MEMS	Sensores micro-electro-mecánicos
UG	Goniómetro universal
OMS	Organización mundial de la salud
IC	Circuitos integrados
TFG	Trabajo de fin de grado
DESV. EST.	Desviación estándar
ERR.ACC.	Error accidental
ICC	Coefficiente de correlación intraclase
CCC	Coefficiente de correlación de concordancia
CPP	Coefficiente de permutación
r	Resultados

2. RESUMEN

Introducción: La evaluación precisa del ROM conforma una tarea esencial en valoración dentro del ámbito de la fisioterapia. Las TIC han tenido gran acogida en la última década ya que brindan una gran variedad de servicios. Actualmente, el fácil acceso a los dispositivos smartphones ofrece una nueva herramienta de medición a través de Apps que transforman las señales generadas por sensores tipo MEMS (acelerómetros, magnetómetros y giroscopios) integrados en dichos dispositivos, en una respuesta que se traduce en valores angulares de movimiento, permitiendo valorar el ROM de forma rápida, sencilla y a bajo costo.

Objetivos (y justificación): Teniendo en cuenta la gran cantidad de aplicaciones disponibles en el mercado para Android y para iOS se plantea realizar una búsqueda de aquellas aplicaciones con mayores prestaciones, facilidad de uso, de acceso gratuito y que permitan satisfacer las necesidades de medición en fisioterapia. Se lleva a cabo una aplicación práctica de las mismas y en comparación con el UG para mostrar su precisión. Además, se realiza una breve revisión bibliográfica sobre la validez y fiabilidad del empleo de smartphones como herramientas de medición frente al uso de UG e inclinómetros digitales.

Material y métodos: Se realiza una pesquisa de las Apps de medición de ROM disponibles para dispositivos Android, se procede al análisis de 8 de ellas, entre las cuales se seleccionan 2 para su aplicación práctica. La selección de esas 2 aplicaciones se llevó a cabo teniendo en consideración la última actualización, la capacidad de calibración inicial a 0°, los ejes de trabajo y la capacidad de fijación del ángulo final. Se realizó un protocolo de medición empleando un UG y las 2 Apps seleccionadas en 2 smartphones diferentes. Los movimientos a valorar fueron flexión de rodilla, abducción de hombro y flexión de codo. Con cada herramienta de medición se tomaron 3 medidas en cada articulación, (3 medidas UG, 3 medidas Angle meter y 3 medidas con Clinometer con cada uno de los dispositivos) dando un total de 15 mediciones por articulación y 45 por sujeto.

Resultados: Se examinaron los datos obtenidos en las mediciones, teniendo en cuenta los posibles errores o factores que pueden afectar a los resultados. Se contrastó la información obtenida en la bibliografía revisada.

Conclusiones: Las Apps disponibles para Android e iOS constituyen una alternativa fiable, fácil de usar y económica para su empleo en valoración de fisioterapia.

3. INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos en un punto de desarrollo donde las tecnologías están a la orden del día en el apoyo de las áreas relativas a la salud. Esto es conocido como ciber salud o también como eSalud o eHealth. Consiste en el apoyo que la utilización costoeficaz y segura de las tecnologías de la información y las comunicaciones ofrece a la salud y a los ámbitos relacionados con ella, con inclusión de los servicios de atención de salud, la vigilancia y la documentación sanitarias, así como la educación, los conocimientos y las investigaciones en materia de salud.¹

Los dispositivos electrónicos se encuentran muy presentes en nuestras vidas, en concreto los dispositivos móviles, los cuales son herramientas accesibles y de sencilla utilización. Cuando el empleo de dispositivos móviles promueve la mejora de la salud se denomina mobile health o mHealth. El mHealth es, según definición de la OMS, “la práctica de la medicina y la salud pública soportada por dispositivos móviles como teléfonos, dispositivos de monitorización de pacientes, asistentes digitales y otros dispositivos inalámbricos”².

En concreto, estas tecnologías nos han permitido avanzar en la investigación para prevenir enfermedades, mejorar el diagnóstico, para tratamiento y para educación, así como para reducir desigualdades, favorecer el acceso a los servicios de salud, e incluso reducir sus costos. Además, las Apps móviles permiten que la comunicación usuario-paciente sea más fácil y se ha demostrado que hay resultados realmente positivos y con grandes beneficios económico en el ámbito clínico³. Las aplicaciones móviles en el campo sanitario proporcionan numerosas herramientas a los fisioterapeutas y dan numerosas oportunidades para mantener, potenciar y optimizar el movimiento corporal humano en busca de mayor bienestar.

El camino hacia la interoperabilidad del sistema sanitario no es fácil, pero los múltiples beneficios que aporta la e-Salud a la gestión y automatización de procesos clínicos justifican los esfuerzos en inversión⁴

Existen innumerables aplicaciones móviles, y cada vez más dirigidas al ámbito de la sanidad y bienestar de las personas. A día de hoy la utilidad y aplicabilidad de dichas aplicaciones sobrepasa las expectativas imaginadas hace unos años y hoy en día se continúa trabajando en mejorar, actualizar y crear nuevas aplicaciones con numerosas utilidades con el fin de mejorar la accesibilidad y facilidad de aplicación de dichas herramientas digitales⁵. Además, la gran variedad de aplicaciones móviles permite unificar en un mismo dispositivo herramientas para numerosas utilidades reduciendo los gastos de

inversión en diferentes aparatos y herramientas de trabajo y favoreciendo al acceso a las mismas.

Antiguamente, tanto en fisioterapia como en otras modalidades de salud se necesitaban instrumentos muy específicos para llevar a cabo las mediciones de ángulos y amplitudes corporales. En la actualidad, existen numerosos dispositivos electrónicos que nos permiten realizar de forma más fácil, eficaz y con mayor precisión dichas mediciones. Las aplicaciones de medición para dispositivos móviles nos ofrecen una herramienta de fácil utilización y acceso a un amplio público, tanto a profesionales como a pacientes. Además, hay innumerables aplicaciones destinadas a dichas prácticas de acceso gratuito tanto para Android como para iOS.

El uso de smartphones en las ciencias de la salud con propósitos médicos está creciendo debido al incremento de aplicaciones disponibles que transforman el teléfono móvil en un dispositivo médico. El smartphone es actualmente una herramienta que nos permite comunicarnos y ofrece innumerables posibilidades gracias a la gran variedad de aplicaciones, software y funcionalidades, e incluso el Institute Healthcare Informatics ha centrado su atención en su uso al analizar más de 43.000 aplicaciones relacionadas con la salud en 2013⁶ en el repositorio de aplicaciones de Google (Play Store). Numerosas aplicaciones destinadas al ámbito de la salud hacen uso de los sensores (giroscopios, acelerómetros, brújula o cámara) incorporados en los smartphones para obtener medidas útiles en la práctica clínica, en particular la goniometría⁷.

3.1 GONIOMETRÍA

La goniometría es una técnica de medición encargada de medir ángulos, cuyos objetivos principales son evaluar la posición de la articulación en el espacio y evaluar el arco de movimiento de una articulación en cada uno de los tres planos del espacio (sagital, coronal y transversal). Implementada en numerosas áreas, una de ellas es en la práctica musculo esquelética, creando instrumentos que ayudan a medir las diferentes variaciones de los ángulos generados por los huesos del cuerpo humano, a estos instrumentos se los conoce como goniómetros⁸. La medición del rango de movimiento articular (ROM) es clave en la práctica clínica para determinar limitaciones funcionales, desarrollar diagnósticos, establecer planes de tratamiento y evaluar la evolución de los mismos⁹.

Los goniómetros universales (UG) son las herramientas más comúnmente usadas en la práctica clínica, son de fácil acceso, relativamente baratos, portátiles y de fácil utilidad. Estas herramientas las podemos encontrar de muchos materiales, los más comunes son de plástico o metálicos.

El cuerpo del goniómetro está diseñado como un transportador y puede formar un círculo completo o medio. Una escala de medición se encuentra alrededor del cuerpo, la cual puede extenderse de 0° a 180° para los modelos de medio círculo, o de 0° a 360° en los modelos de círculo completo. Los intervalos en las escalas pueden variar de 1° a 10°, pero lo más común es encontrarlos con intervalos de 2°. El brazo estacionario es estructuralmente una parte del cuerpo y, por lo tanto, no puede moverse independientemente de éste. El brazo móvil se une al fulcro en el centro del cuerpo mediante un remache o dispositivo similar a un tornillo que permite que el brazo móvil se mueva libremente en el cuerpo del dispositivo.

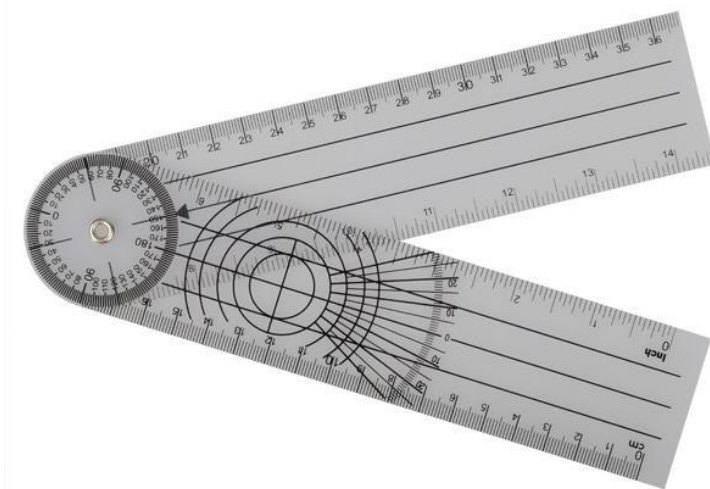


Imagen I: fotografía del goniómetro universal empleado en el proceso de medición.

No obstante, la validez y precisión de dicha herramienta puede estar afectada por numerosos factores relativos al uso de la misma como son la correcta alineación con las referencias anatómicas, la estimación del centro de rotación de la articulación, así como la habilidad de localizar y mantener el centro del goniómetro sobre ese punto¹⁰

En un esfuerzo por mejorar la validez y confiabilidad del UG, numerosas tecnologías han desarrollado goniómetros alternativos a lo largo de la historia. Numerosos estudios examinaron el uso de goniómetros basados en fluidos, goniómetros paralelogramos, biaxiales y triaxiales, electro-goniómetros, goniómetros computarizados y goniómetros digitales⁸. Cada forma de goniómetro tiene sus propios beneficios, no obstante, el elevado coste y la menor accesibilidad a los mismos señalan al UG como la herramienta de elección para la medición de ángulos corporales¹⁰.

3.2 SMARTPHONES

Teniendo en cuenta el alcance y la facilidad de acceso a las TIC es posible generar soluciones que las involucren, obteniendo excelentes resultados a costos relativamente bajos⁸. Numerosas aplicaciones para smartphone han permitido a los usuarios emplear dichos dispositivos con fines inimaginables hace una década. Existe una gran disponibilidad de aplicaciones goniométricas, las cuales ofrecen mediciones precisas basándose en la utilización de diferentes mecanismos para calcular ángulos corporales¹⁰. Dichos mecanismos van desde el análisis de fotografías hasta el empleo de diversos sensores micro-electro-mecánicos (MEMS) incorporados en los smartphones.

3.2.1 MEMS

Los MEMS son pequeños dispositivos o sistemas integrados que combinan componentes mecánicos y eléctricos. Son fabricados utilizando técnicas de procesamiento por lotes similares a las de los circuitos integrados (IC) y pueden variar en tamaño desde unos pocos micrómetros a milímetros^{11, 12}.

Las técnicas de fabricación por lotes de los MEMS permiten una producción masiva a muy bajo coste, combinándose así las ventajas de un tamaño, volumen y peso reducido, una alta precisión y un coste de producción bajo¹¹.

Cuando hablamos de MEMS incorporado en un dispositivo es importante tener presente los siguientes términos¹² para comprender el funcionamiento de los mismos:

- **Sensores**

Los sensores integrados en los MEMS miden la información de un entorno circundante y proporcionan una señal de salida eléctrica en respuesta al parámetro que miden

- **Interfaz de usuario**

Los interfaces de usuario son capaces de transformar la información recibida en una respuesta visible para las personas. Es, por tanto, el medio que permite la comunicación entre los dispositivos y las personas. En el caso de las Apps móviles de lectura de movimientos, nos muestran las lecturas realizadas por los sensores integrados en los smartphones nos permite iniciar o detener la medida cuando queramos o, incluso, grabar y exportar datos en ficheros.

Es de gran importancia que a la hora de diseñar o elegir una interfaz no sólo sea atractiva, sino que también sea sencilla, funcional, tenga un diseño muy visual y se pueda usar con absoluta facilidad.

3.2.2 TIPOS DE SENSORES EN UN SMARTPHONE

En general, los sensores de un smartphone están divididos en tres categorías: movimiento, ambientales y de posición. Dentro de los sensores de movimiento se incluyen los acelerómetros, sensores de movimiento, giroscopios y sensores de rotación vectorial. Por otro lado, en los sensores de posición destacaremos la importancia de los magnetómetros y sensores de orientación para el desarrollo de estas aplicaciones de soporte¹⁵.

3.2.2.1 ACELERÓMETRO

Como su propio nombre indica, los acelerómetros son dispositivos capaces de medir aceleraciones, la variación en la velocidad por unidad de tiempo. Existen diferentes tipos de acelerómetros en función de tipo de tecnología que utilizan para medir dicha magnitud: piezoeléctricos, mecánicos, de condensador, etc.

En un acelerómetro se sitúa una masa suspendida mediante un mecanismo elástico dentro de una armazón. Al aplicar una fuerza elástica para desplazar el armazón, la masa conectada a él mediante un material elástico, se desplaza una distancia proporcional a la fuerza aplicada (Ley de Hooke) que a su vez es proporcional a la aceleración aplicada por el armazón (Segunda Ley de Newton). Además, con el valor del sistema de los tres ejes ortogonales (X, Y, Z) se puede calcular la aceleración en cualquier dirección espacial⁸.

- **Ley de Hooke:** $F = K \cdot (X - X_0)$

Donde F es el módulo de la fuerza que se aplica sobre el muelle; K es la constante elástica del muelle; X_0 es a longitud del muelle sin aplicar ninguna fuerza; X es la longitud del muelle con la fuerza aplicada.

Los smartphones integran acelerómetros capacitativos^{8, 12, 13} debido a su reducido tamaño y a que pueden estar soldados a las placas de circuito de dichos dispositivos. Los acelerómetros capacitativos crean "pequeños condensadores basculantes". Un condensador es un componente electrónico que permite almacenar energía eléctrica entre dos placas conductoras separadas por un elemento no conductor (dieléctrico). La capacitancia¹⁴ de un condensador viene dada, entre otros, por la distancia que separa las

placas. Los acelerómetros capacitivos se construyen de manera que una de las dos placas de los condensadores pueda moverse de forma proporcional a la fuerza externa. De esta forma se obtienen variaciones en la señal eléctrica proporcionales a la fuerza aplicada y, por lo tanto, a la aceleración.

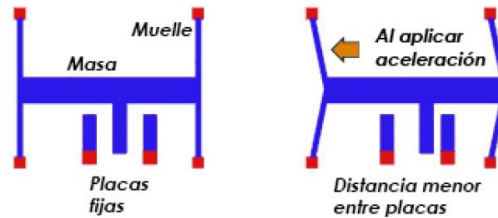


Figura 1. Esquema de funcionamiento de los acelerómetros capacitivos⁸.

Como la fuerza de la gravedad actúa en todo momento y conocemos su valor ($9,8 \text{ m/s}^2$), es fácil utilizar los valores de cada eje del acelerómetro para determinar el ángulo de inclinación y, por tanto, la posición del dispositivo. De esta forma se puede mostrar el contenido con la orientación correcta y rotarla cuando ésta cambie.

3.2.2.2 GIROSCOPIO

El giroscopio es una herramienta que se usa para medir y preservar la orientación basada en momentos angulares y en el efecto Coriolis^{15,16}. Mide la velocidad angular, es decir, a qué velocidad gira el objeto alrededor del eje¹⁶.

Los dispositivos smartphones están dotados de 3 sensores giroscopios perpendiculares (uno por eje espacial), los cuales nos permiten realizar las medidas en los diferentes planos del dispositivo.

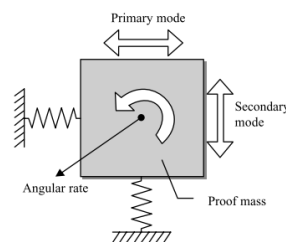


Figura 2. Esquema de funcionamiento de un giroscopio¹¹.

3.2.2.2.1 ÁNGULOS DE EULER Y TAIT-BRYAN

Los ángulos de Euler y de Tait-Bryan son adoptados por la mayoría de libros de mecánica clásica avanzada para describir los movimientos rotacionales. Mientras que los

ángulos de Euler usan el mismo eje para medir las rotaciones elementales, los ángulos de Tait-Bryan se toman alrededor de los tres ejes perpendiculares en un orden específico desde la orientación espacial estándar del dispositivo¹⁵. El primero "yaw o head ange" (ángulo de guiñada en castellano) está relacionado con el ángulo de inclinación del dispositivo. El segundo ángulo "pitch o attitude" (cabeceo en castellano), mide la rotación alrededor del eje transversal (lado corto. Por último, el tercer ángulo "roll o bank" (alabeo en castellano), representa la rotación alrededor del eje longitudinal del dispositivo (lado largo)¹⁵. Estas descripciones pueden entenderse claramente en la figura 2.

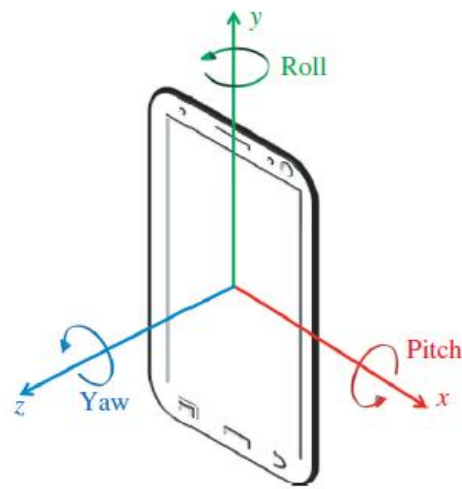


Figura 2. Representación de los ángulos de Tait-Bryan en un smartphone¹⁵

La convención de ejes no depende del sistema operativo, por lo que puede ser adoptado tanto para smartphones Android o iOS. Además, hay una correspondencia entre los ejes Tait-Bryan y los ejes cartesianos fijos del smartphone: "yaw" es el eje Y, "pitch" el eje X y "roll" es el eje Z ¹⁵.

3.2.2.3 MAGNETÓMETRO

Los magnetómetros son instrumentos que miden la intensidad y, también la dirección de un campo magnético. Actualmente, dichos dispositivos también se han miniaturizado para poder ser incorporados a bajo costo en circuitos electrónicos como son los móviles o tablets⁸.

Dentro de los magnetómetros podemos encontrar dos tipos básicos, los escalares o los vectoriales. Los magnetómetros escalares miden la intensidad total del campo magnético resultante al cual están siendo sometidos en un punto, pero no aporta ningún dato sobre los componentes vectoriales del mismo⁸. Por otro lado, los magnetómetros vectoriales miden la intensidad del campo magnético en una dirección en particular,

dependiendo de la colocación que le demos al dispositivo⁸. En realidad, dichos magnetómetros están compuestos por tres magnetómetros lineales en ejes perpendiculares, que únicamente detectan el campo magnético correspondiente a su eje (de modo similar a los tres acelerómetros).

Para monitorizar la orientación de los objetos en movimiento, es posible que el acelerómetro no proporcione suficiente información para saber exactamente cómo está orientado. A diferencia del acelerómetro, los giroscopios no se ven afectados por la gravedad, por lo que son un gran complemento entre sí¹⁵. En el uso cotidiano, como un cuentarrevoluciones de un vehículo, la velocidad angular se representa en unidades de revoluciones por minuto (RPM). Sin embargo, sus unidades en el SI vendrían dadas en radianes por segundo. Estas últimas son más útiles para los cálculos internos del software del smartphone, pero algunas aplicaciones realizan la conversión a fin de mostrárselo al usuario.

Generalmente, todos estos sensores se integran en un único "chip" llamado Unidad de Medición Inercial (IMU). Este combina los distintos sensores de inercia, como el acelerómetro, el magnetómetro y el giroscopio. Dicho componente es importante en el sistema de navegación y se utiliza para determinar parámetros como la velocidad, la orientación del dispositivo y la gravedad¹⁶.

Adicionalmente los sistemas operativos, como son Android o iOS, disponen de funcionalidades integradas capaces de leer e interpretar las señales generadas por los acelerómetros, giroscopios y magnetómetros.

4. OBJETIVOS

1. General:
2. Demostrar la viabilidad de las medidas angulares con un Smartphone como alternativa al Goniómetro Universal.
3. Específico:
 - 3.1. Comparar las diferentes aplicaciones móviles disponibles actualmente para dispositivos Android.
 - 3.2. Aplicación en la medición de diferentes articulaciones corporales.
 - 3.3. Mostrar su fiabilidad como sustituto a las técnicas de medición convencionales.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Con el fin de desarrollar los objetivos planteados, hemos realizado dos tipos de búsqueda. La primera de ellas ha sido una búsqueda de las aplicaciones disponibles para smartphone que permita realizar mediciones de ROM y la segunda ha sido una búsqueda de bibliografía relativa al uso de dispositivos telefónicos como sustituto a las técnicas de medición de ROM tradicionales. Las búsquedas se han realizado en un periodo comprendido entre enero y junio de 2019.

5.1 BÚSQUEDA DE APLICACIONES DISPONIBLES PARA SMARTPHONES.

Realizamos una búsqueda exhaustiva a través de la aplicación Google Play Store disponible en un dispositivo Android. Los términos de búsqueda son los siguientes: "inclinómetro", "goniómetro digital fisioterapia" y "medidor de ángulos".

De los resultados obtenidos en la búsqueda seleccionamos 7 aplicaciones.

Criterios de inclusión:

- Disponibilidad gratuita
- Valoración igual o superior a 3,7 sobre 5
- Última actualización 2016 o posterior

Tras un análisis de las prestaciones, manejo y utilización de estas 8 aplicaciones seleccionamos 2 de ellas para su manejo: "Angle meter" y "Clinometer".

5.1.1 ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES

Se procede a realizar un análisis exhaustivo de las 8 Apps descargadas. En dicho análisis se tiene en cuenta la última actualización, la disponibilidad gratuita, la capacidad de calibrar a 0°, los ejes y planos de trabajo, la capacidad de fijación del ángulo final, la posibilidad de memorizar medidas, el diseño del interfaz y los inconvenientes que presentan. (Anexo I)

5.1.2 APLICACIÓN PRÁCTICA PARA MEDICIONES CORPORALES

A fin de analizar las dos aplicaciones con mejores prestaciones, el procedimiento seguido ha sido el siguiente:

- Selección de 3 sujetos los cuales no presentan dificultad ni dolor al realizar movimientos con las articulaciones señaladas, ausencia de cualquier tipo de dolor, sensación de bloqueo o lesiones recientes en las mismas.

- Información del procedimiento a seguir y tras su conformidad firma del consentimiento informado. (Anexo II)

- Evaluación de las aplicaciones (previamente instaladas) "Clinometer" y "Angle meter" frente al empleo de UG. Para ello se emplearon dos smartphones diferentes (Samsung Galaxy S7 y Huawei p30). Ambos funcionan con sistema operativo Android.

- Con cada herramienta de medición se realizan 3 medidas en cada articulación, distando entre ellas unos minutos. Tomando 15 mediciones por articulación, dando un total de 45 mediciones en cada sujeto. Las articulaciones seleccionadas para la toma de mediciones son flexión de codo, abducción gleno-humeral y flexión de rodilla, siendo las mediciones más comunes evaluadas en la práctica clínica.

5.2 PROTOCOLO DE MEDICIÓN

Se decide probar la efectividad de medición de las Apps móviles en las articulaciones y ROMs articulares más comúnmente sometidos a valoración en clínicas de fisioterapia: flexión de rodilla, abducción de hombro y flexión de codo.

Flexión de rodilla: medición de la flexo-extensión de rodilla en el plano sagital con respecto al eje transversal de la articulación. Colocación del sujeto en decúbito supino en una camilla con las rodillas completamente estiradas y la cadera a 0° de flexión, extensión, abducción, adducción, rotación interna y rotación externa.

- Goniómetro universal: se superpone el eje del goniómetro en el epicóndilo lateral del fémur; el brazo fijo se coloca en la línea lateral media del fémur tomando como referencia el trocánter mayor del mismo; el brazo móvil se coloca en la línea lateral media del peroné tomando como referencia el maléolo lateral y la cabeza del peroné. Llevamos la cadera y la rodilla a una flexión de 90° mientras sujetamos el tobillo del sujeto. Con la mano craneal sujetamos el brazo fijo del goniómetro mientras continuamos con la flexión de cadera, asegurando la estabilidad de la articulación para que no existan variaciones. La mano caudal acompaña el movimiento de flexión de rodilla desde los 90° iniciales mientras sujeta el brazo móvil.

- Aplicaciones smartphone: desde la posición planteada calibramos a 0° el goniómetro del smartphone y se coloca en la cara anterior de la pierna del sujeto y pedimos una flexión activa de rodilla. El smartphone se puede colocar de dos formas en este caso, apoyando sobre la región anterior de la pierna la parte posterior plana del dispositivo, o bien colocando el dispositivo apoyado sobre el vértice lateral del mismo (imagen VI, anexo III). La elección de una u otra posición del dispositivo deberá ser

seleccionada con anterioridad en la opción ofrecida por el interfaz de la App. Una vez realizada la medición sumamos los 90° de la posición de inicio.

Abducción de hombro: la abducción de hombro se realiza en el plano frontal con respecto al eje sagital. Colocamos al sujeto en bipedestación con los brazos alineados a lo largo del cuerpo.

- Goniómetro universal: El eje del goniómetro se coloca en la parte anterior del acromion; el brazo fijo sigue la línea media esternal, vertical al suelo; el brazo móvil queda alineado sobre la línea media de la diáfisis humeral.
- Aplicaciones smartphone: Se calibra a 0° con respecto a la vertical y se superpone alineado sobre la línea media de la diáfisis humeral (Imagen VII, anexo III). A continuación, solicitamos una abducción activa. En este caso, también podemos colocar el smartphone sobre el lateral del brazo de forma que apoye el vértice lateral del dispositivo o la cara posterior del mismo, previamente seleccionando en el interfaz del dispositivo la forma en la que se va a proceder a realizar el movimiento de este.

Flexión de codo: el movimiento de flexión de codo se realiza en el plano sagital con respecto al eje coronal. Colocamos a nuestro sujeto en decúbito supino en una camilla. Todas las mediciones se realizarán con el antebrazo en supinación.

- Goniómetro universal: colocamos el eje del goniómetro sobre el epicóndilo del humero; el brazo fijo queda alineado con el eje longitudinal del húmero; el brazo móvil se coloca paralelo a la línea media del radio tomando como referencia la apófisis estiloides radial.
- Aplicaciones de smartphone: superposición sobre la línea media del radio, se calibra a 0° el dispositivo y se procede a realizar una flexión activa completa (imagen VIII, anexo III).

Antes de proceder a la medición de cada una de las articulaciones se explica cual es el procedimiento a seguir y cuál va a ser el movimiento que tiene que ejecutar el sujeto en cada caso. Las mediciones siempre se tomarán en la articulación del mismo lado, nunca se alternarán lados en las mediciones de una articulación en un mismo paciente. Se recogen todas las mediciones en una tabla (anexo V).

5.3 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Se ha procedido a realizar una revisión bibliográfica para analizar, comparar y sintetizar la bibliografía actual más relevante en lo que respecta al empleo de dispositivos smartphones en la mediciones de ROM en las diferentes articulaciones corporales.

La selección de artículos empleados para la realización de este trabajo de fin de grado (TFG) ha sido realizada a través de la búsqueda bibliográfica en: MedLine, PEDro, SciELO, PubMed y ERIC.

La estrategia de búsqueda empleada ha sido PICO. Entre las palabras claves empleadas encontramos: "goniometer", "digital goniometer", "phone goniometer", "phone inclinometer", "smartphone", "eHealth", "sHealth", "smartphone gyroscope", "gyroscope", "magnetometer", "inclinometer", "accelerometer", "universal goniometer", "MEMS", "smartphone sensor operation" y "mobile applications".

Los términos mencionados se combinaron empleando los operadores booleanos "AND", "OR" y "NOT".

Para la selección de las publicaciones obtenidas, se han utilizado unos criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión:

- Publicaciones relacionadas con Apps móviles de medición
- Publicaciones relacionadas con mediciones de ROM articular
- Publicaciones relacionadas con sensores incorporados en smartphones

Criterios de exclusión:

- Publicaciones anteriores a 2012
- Publicaciones relacionadas con Apps de medición basadas en imágenes
- Documentos duplicados

Tras la revisión y lectura crítica de las publicaciones encontradas y finalmente atendiendo a los criterios anteriormente expuestos se seleccionaron 24 artículos, 4 libros y se añadió información de una página web.

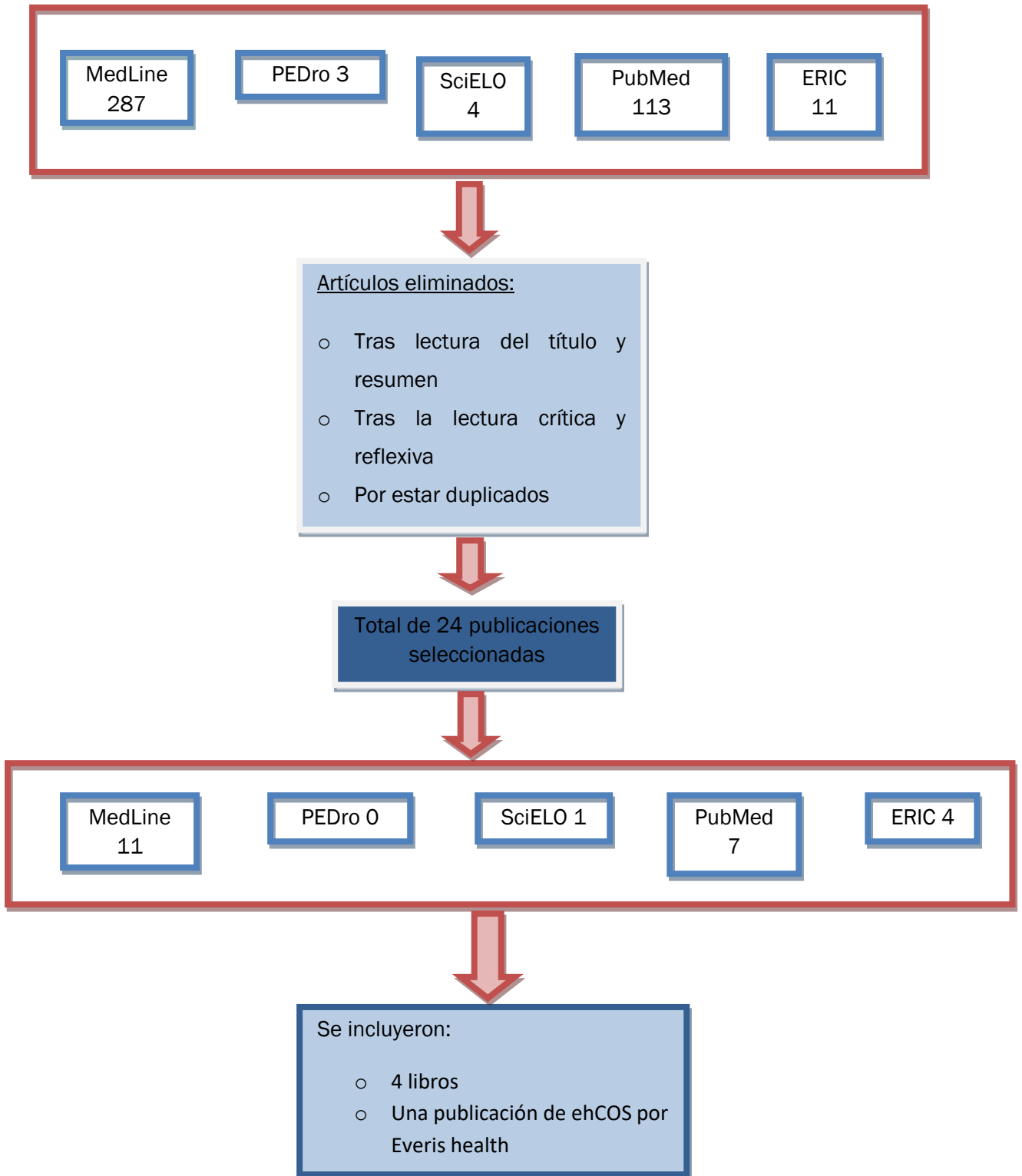


Figura 3. Diagrama de flujo. Fuente de elaboración propia.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN PRÁCTICA DE LAS APPS ANALIZADAS Y DEL GONIÓMETRO UNIVERSAL

6.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES EN LA ARTICULACIÓN DE RODILLA

Rodilla						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto	Medida		Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	1	146	152	149	148	149
	2	150	151	149	146	148
	3	144	148	151	146	149
2	1	138	140	146	148	137
	2	138	148	147	149	147
	3	134	148	141	147	143
3	1	140	143	142	147	142
	2	140	147	147	147	147
	3	142	145	147	142	143

Rodilla						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	PROMEDIO	147	150	150	147	149
2		137	145	145	148	142
3		141	145	145	145	144

Rodilla						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	DESV. EST.	3,1	2,1	1,2	1,2	0,6
2		2,3	4,6	3,2	1,0	5,0
3		1,2	2,0	2,9	2,9	2,6

Rodilla						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	DIFERENCIAS DE PROMEDIOS RESPECTO A GONIÓMETRO		3,7	3,0	0,0	2,0
2		8,7	8,0	11,3	5,7	
3		4,3	4,7	4,7	3,3	

Rodilla						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	ERR. ACC.	8	5	3	3	1
2		6	11	8	2	13
3		3	5	7	7	7

Tabla 1. Medidas recogidas en rodilla en 3 sujetos con UG y con las Apps "Angle meter" y "Clinometer" en dos smartphones diferentes. Cálculo del promedio de mediciones en cada uno de los sujetos. Cálculo de la desviación estándar para cada herramienta de medida en cada uno de los sujetos. Cálculo de las diferencias de promedio entre las Apps en cada smartphone con respecto al UG. Cálculo del error accidental a partir de la t de student¹⁷. Fuente elaboración propia.

En un análisis exhaustivo de los datos recogidos en la valoración unilateral del ROM en las rodillas de los 3 sujetos diferentes podemos observar como los valores promedios dentro de un mismo sujeto con las 5 estrategias de medición diferentes son muy próximos, variando 3° entre ellos en el sujeto 1, 4° en el sujeto 3 y 9° en el sujeto 2 el cual presenta mayor diferencia de valores entre los datos recogidos.

De la misma manera se analizan las desviaciones estándar. En el sujeto 1 la mayor desviación se atribuye al UG con valor 3,1° y la menor desviación corresponde a la medición tomada con la aplicación "Clinometer" en el smartphone 2. Por el contrario, en el sujeto 2 la menor y mayor desviación se encuentran en la App "Clinometer" pero en los dispositivos diferentes. El sujeto 3 es el que menor discordancia entre desviaciones presenta, siendo 1,2° en el UG y 2,9° para la App "Angle Meter" instalada en el smartphone 2 y en la App "Clinometer" instalada en el smartphone 2.

En el análisis de las diferencias de promedios de las Apps con respecto al UG el sujeto 2 presenta valores más significativos oscilando entre 8°-8,7° en la App "Angle Meter" de los diferentes dispositivos y entre 5,7°- 11,3° en la App "Clinometer".

De nuevo en el error accidental encontramos los valores más significativos en el sujeto 2, donde los valores oscilan entre los 2° y los 13°, mientras que en el sujeto 1 varían entre 1°-8° y en el sujeto 3 entre los 3° y los 7°, siendo el que menor error accidental registra.

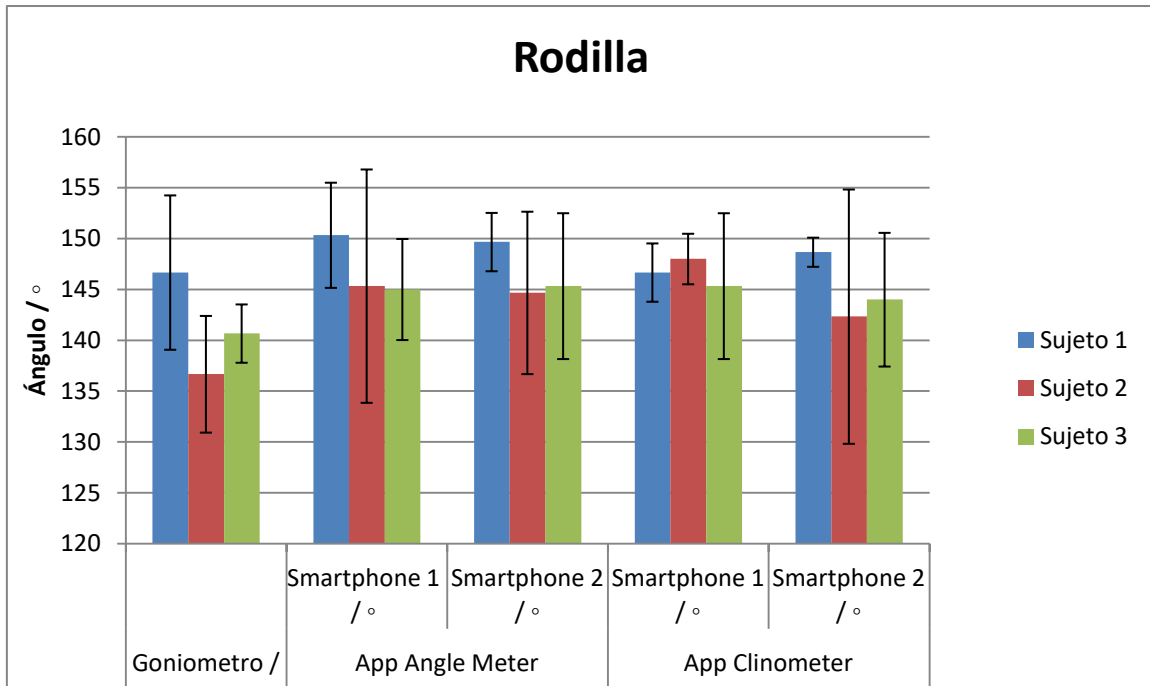


Figura 4. Gráfico de columnas que representa los valores promedio de las mediciones tomadas en el movimiento de flexión de rodilla en cada uno de los 3 sujetos, junto con la representación del rango de error accidental en las herramientas de medición en cada caso. Fuente elaboración propia.

En las columnas obtenidas se observa como los valores de medición tienen menor variación en el sujeto 1, siendo el sujeto 3 el que le sigue y evidenciando unos valores más desiguales en las mediciones tomadas en el sujeto 2. Además, sobresale el amplio rango de valores del error accidental en las mediciones de este sujeto. No obstante, si nos fijamos en el rango de error accidental permitido en cada estrategia de medición en un mismo sujeto, se puede apreciar como los valores entre las diferentes herramientas dentro de ese mismo sujeto tienen un rango de coincidencia.

6.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES EN LA ARTICULACIÓN DE HOMBRO

Hombro						
Aparato		Goniometro /	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto	Medida		Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	1	165	169	169	167	168
	2	168	173	168	167	169
	3	172	169	168	169	168
2	1	168	162	169	163	154
	2	170	163	166	165	163
	3	168	164	163	163	161
3	1	160	160	158	162	163
	2	158	160	158	160	165
	3	158	159	159	162	162

Hombro						
Aparato		Goniometro /	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	PROMEDIO	168,3	170,3	168,3	167,7	168,3
2		168,7	163,0	166,0	163,7	159,3
3		158,7	159,7	158,3	161,3	163,3

Hombro						
Aparato		Goniometro /	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	DESV. EST.	3,5	2,3	0,6	1,2	0,6
2		1,2	1,0	3,0	1,2	4,7
3		1,2	0,6	0,6	1,2	1,5

Hombro						
Aparato		Goniometro /	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	DIFERENCIAS DE PROMEDIOS RESPECTO A GONIÓMETRO		2,0	0,0	-0,7	0,0
2			-5,7	-2,7	-5,0	-9,3
3			1,0	-0,3	2,7	4,7

Hombro						
Aparato		Goniometro /	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	ERR. ACC.	9	6	1	3	1
2		3	2	7	3	12
3		3	1	1	3	4

Tabla 2. Medidas recogidas en hombro en los 3 sujetos con UG y con las Apps "Angle meter" y "Clinometer" en dos smartphones diferentes. Cálculo del promedio de mediciones en cada uno de los sujetos. Cálculo de la desviación estándar para cada herramienta de medida en cada uno de los sujetos. Cálculo de las diferencias de promedio entre las Apps

en cada smartphone con respecto al UG. Cálculo del error accidental a partir de la t de student¹⁷. Fuente de elaboración propia.

En el estudio de las medidas recopiladas en el movimiento de abducción de hombro observamos valores más similares entre sí. En el sujeto 1, presenta unos valores promedio que oscilan entre 167,3° y 170,3; en el sujeto 2, van desde los 159,3° hasta los 168,7°; en el sujeto 3, varían de 158,3° a 163,3°. De nuevo, si nos fijamos bien en los valores promedio obtenidos en cada sujeto, el que presenta mayor desviación en los valores de las mediciones tomadas es el sujeto 2.

La desviación estándar en el sujeto 1 presenta mayor valor en las mediciones tomadas con el UG. En el sujeto 2, se observa una desviación estándar más significativa en las medidas tomadas con la App "Clinometer" en el smartphone 2 (4,7°). Mientras que el sujeto 3 es el que menor y menos desviación estándar significativa presenta para las 5 estrategias de medición.

De nuevo, en las diferencias de promedios de las Apps con respecto al UG en el sujeto 2 son más significativas, mientras que en el sujeto 1 son bastante equidistantes con respecto al UG. En el sujeto 3 las diferencias en los valores obtenidos con la APP "Angle Meter" con respecto al UG son muy similares, poco significativos, mostrando mayor diferencia con "Clinometer" 2,7° y 4,7° con respecto al smartphone 1 y 2 respectivamente.

Si analizamos los errores accidentales, en el sujeto uno el mayor valor lo presentan las mediciones realizadas por el UG, seguidas de las mediciones realizadas con la App "Angle Meter" con el smartphone 1. El sujeto 2 presenta mayor error en las mediciones tomadas con el smartphone 2 con ambas aplicaciones 7° para "Angle Meter" y 12° con "Clinometer". Relativo al sujeto 3, es en el que menor rango de error se ha registrado y más homogeneidad de medidas registradas.

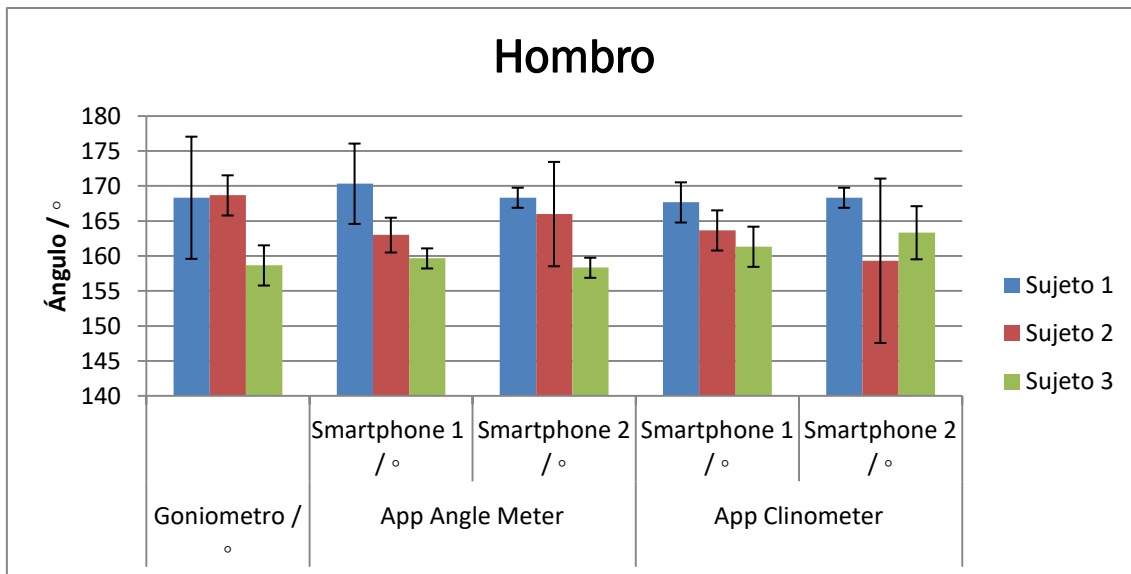


Figura 5. Gráfico de columnas que representa los valores promedio de las mediciones tomadas en el movimiento de abducción de hombro en cada uno de los 3 sujetos, junto con la representación del rango de error accidental en las herramientas de medición en cada caso. Fuente elaboración propia.

En el análisis exhaustivo de las columnas obtenidas por los datos recopilados, de nuevo observamos que los sujetos 1 y 3 presentan datos muy homogéneos en las 5 herramientas de medición, mientras que el sujeto 2 vuelve a presentar mayor variación entre los valores obtenidos y sobresale el amplio rango de valores de error accidental registrado en los datos recogidos con la App "Clinometer" con el smartphone 2 en este mismo sujeto. No obstante, en todos los sujetos en el rango de error accidental permitido presenta un intervalo de coincidencia entre ellos.

6.1.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES EN LA ARTICULACIÓN DE CODO

Codo						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto	Medida		Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	1	142	147	153	147	149
	2	152	152	153	152	151
	3	148	151	151	146	151
2	1	142	143	143	141	143
	2	140	138	142	142	138
	3	138	139	143	139	144
3	1	148	144	144	140	139
	2	150	144	142	142	138
	3	146	142	142	139	142

Codo						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	PROMEDIO	147,3	150,0	152,3	148,3	150,3
2		140,0	140,0	142,7	140,7	141,7
3		148,0	143,3	142,7	140,3	139,7

Codo						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	DESV. EST.	5,0	2,6	1,2	3,2	1,2
2		2,0	2,6	0,6	1,5	3,2
3		2,0	1,2	1,2	1,5	2,1

Codo						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	DIFERENCIAS DE PROMEDIOS RESPECTO A GONIÓMETRO		2,7	5,0	1,0	3,0
2		0,0	2,7	0,7	1,7	
3		-4,7	-5,3	-7,7	-8,3	

Codo						
Aparato		Goniometro / °	App Angle Meter		App Clinometer	
Sujeto			Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °	Smartphone 1 / °	Smartphone 2 / °
1	ERROR ACC	13	7	3	8	3
2		5	7	1	4	8
3		5	3	3	4	5

Tabla 3. Medidas recogidas en codo en los 3 sujetos con UG y con las Apps "Angle meter" y "Clinometer" en dos smartphones diferentes. Cálculo del promedio de mediciones en cada uno de los sujetos. Cálculo de la desviación estándar para cada herramienta de medida en cada uno de los sujetos. Cálculo de las diferencias de promedio entre las Apps en cada smartphone con respecto al UG. Cálculo del error accidental a partir de la t de student¹⁷. Fuente elaboración propia.

En los valores obtenidos en las mediciones de flexión de codo, se observan valores promedio similares. En especial destacan los valores obtenidos en el sujeto 2, los cuales en esta articulación son más homogéneos que en los sujetos 1 y 3, los cuales presentaban valores más homogéneos en las articulaciones anteriores con respecto al sujeto 2. En el sujeto 2 los valores promedio varían de 140° a 142,7°, mientras que en los sujetos 1 y 3 varían de 147,3° a 152,3° y de 139,7° a 148° respectivamente, siendo en este último sujeto una diferencia significativa.

La desviación estándar presenta un valor más sobresaliente en los datos recogidos por el UG en el sujeto 1, siendo en el resto de mediciones de cada sujeto bastante similares.

Las diferencias de promedios entre las Apps y el UG son mínimas en los valores recogidos en el sujeto 1, siendo más notables en los sujetos 1 y 3, en especial en este último en el que se llega a registrar una diferencia de 8,3° con la App "Clinometer".

El mayor error accidental se presenta con el UG en el sujeto 1, presentando este mismo mayor rango de valores de error accidental. Por otro lado, el sujeto 2 presenta menor rango de error accidental, registrando 7° con "Angle Meter" en el smartphone 1 y 8° con "Clinometer" en el smartphone 2. En este caso, en el sujeto 3 los valores son muy próximos variando de 3° a 5° de error accidental.

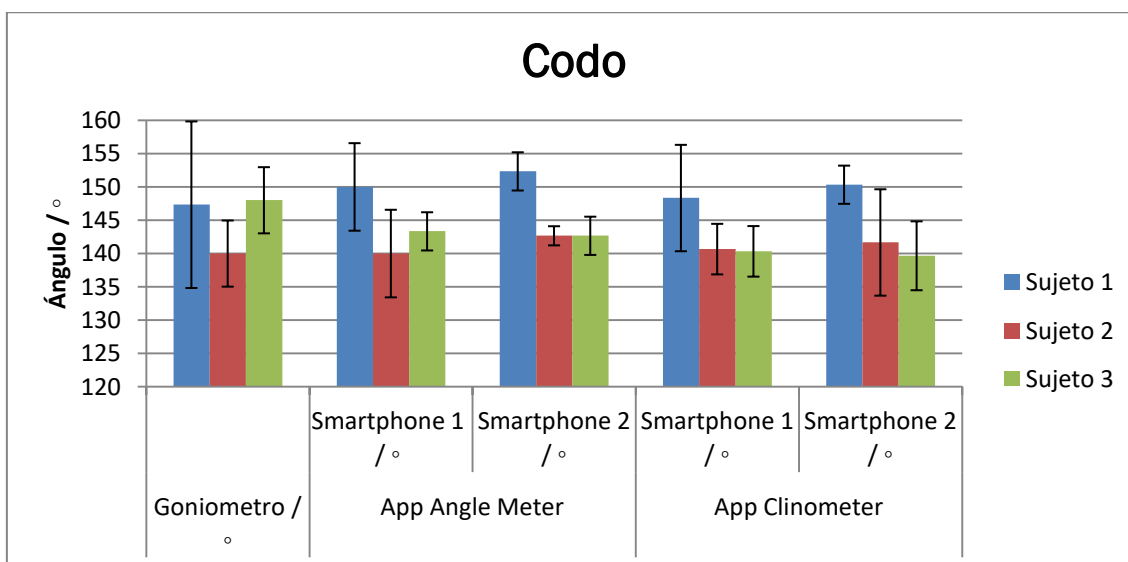


Figura 6. Gráfico de columnas que representa los valores promedio de las mediciones tomadas en el movimiento de flexión de codo en cada uno de los 3 sujetos, junto con la representación del rango de error accidental en las herramientas de medición en cada caso. Fuente elaboración propia.

En el análisis de las columnas obtenidas se observan como los datos recogidos en los sujetos 1 y 3 presentan mayor variación. En especial sobresale en el sujeto 3 la medición realizada con el UG. También sobresale en el sujeto 1 el rango de error accidental, el cual es bastante mayor al resto de rango de errores de los métodos de medición, dentro del mismo sujeto y con respecto a los otros sujetos en las mediciones tomadas con el UG. El sujeto 2 es el que menor variación en los valores representados en las columnas muestra. No obstante, los 3 sujetos presentan claras coincidencias en los rangos de error accidental.

6.1.4 ANÁLISIS GLOBAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Al realizar una revisión de los datos recogidos con las diferentes herramientas en las tres articulaciones de los tres sujetos diferentes, podemos observar datos muy dispares, en especial en el sujeto 2 en las articulaciones de rodilla y hombro, lo que podemos atribuir a factores externos a las herramientas de medición.

A la vista de las tablas y gráficas, en ningún caso se observa que ninguna herramienta de medición (App o UG) tenga una uniformidad de valores que destaquen sobre el resto de forma preponderante, pudiendo decir que tenga mayor precisión que el resto. No obstante, hay que destacar que la muestra de medidas recogidas, se ha realizado en solo 3 sujetos, siendo una muestra muy pequeña para poder apreciar grandes diferencias entre una y otra técnica de medición.

Además, cuando se realizan mediciones, es necesario que previamente se tenga consciencia de qué se quiere medir, cómo va a proceder la toma de mediciones, con qué precisión se quiere medir y qué posibles factores pueden afectar a las medidas, ya que el error siempre está implícito en la toma de medidas^{17,18}.

Entre los errores a tener en cuenta valoraremos la posibilidad de haber cometido algún error de escala, accidental, personal o sistemático, que haya podido influir en los resultados obtenidos¹⁸.

El error de escala es relativo a las herramientas de medición, la sensibilidad de las mismas¹⁸. Si analizamos el UG observamos como su escala está graduada cada 2° y a un reducido tamaño, lo que determina que sea difícil dar una medida exacta entre el rango de esos dos grados de diferencia en la escala. Por otro lado, esta es una ventaja que nos

presentan las Apps, ya que estas nos ofrecen valores de medida directamente en la pantalla, incluso nos permiten bloquear el resultado de la medición una vez realizada para evitar perder el valor al retirar el dispositivo.

El error accidental, por su parte, surge al no obtener el mismo valor de medición tras realizar varias veces la misma medición en supuestas mismas condiciones¹⁸. Este error es inevitable y debe entenderse como algo inherente al propio proceso de medida. No debe confundirse, por tanto, el sentido físico y estadístico de error con el significado común del mismo. En este caso, este error es el que posiblemente haya influido más en los resultados obtenidos (estamos realizando mediciones con una diferencia de tiempo en sujetos cuyo movimiento se está realizando de forma activa y voluntaria sin ningún limitante hasta un cierto rango de movimiento determinado). Pueden influir numerosos factores, desde el tiempo entre una y otra medida, de forma que el sujeto haya olvidado de forma exacta como realizar el movimiento, o hasta qué punto exacto ha movido en la medición anterior; pueden aparecer diferentes compensaciones con otras estructuras corporales que aunque se intenten evitar corrigiendo y fijando bien diferentes regiones refieren mínimas variaciones en los resultados; también, puede ser, que el sujeto tras varias mediciones tenga la musculatura más elongada y le permita realizar mayor ROM o por el contrario que esté más fatigada y le cueste alcanzar el ROM inicial. Estas situaciones las podemos referir a lo sucedido en el sujeto 2 que presenta mayor variación de valores en las medidas recogidas.

No podemos olvidarnos del error personal¹⁸, a pesar de que este error no debería de aparecer debido a que se supone que se conoce perfectamente el manejo de los instrumentos y se tiene habilidad con los mismos. No obstante, hay que tener presente la posibilidad de cometer un mínimo error al tomar las referencias óseas, que puede crear pequeñas variaciones en los valores registrados y más si se realiza en pacientes con mayor tejido adiposo donde es más difícil distinguir dichas referencias.

El error sistemático¹⁸, es otro tipo de error que en este tipo de estudios no debería existir, sin embargo, es posible que en alguna de las mediciones se haya cometido. Referente a este error en la puesta en práctica, podría ser que la calibración inicial al comenzar la medición del movimiento no sea 0° y diste 1-2°, que en este caso serían significativos ya que las medidas recogidas tienen mínima variación de grados entre unas mediciones y otras.

Cuando examinamos la operatividad y manejo de las Apps para smartphone como herramientas de medición, buscamos que sean lo más precisas y exactas posibles, es decir, que exista la menor dispersión de valores posibles y que sean próximos al valor real. No obstante, siempre será mejor que un instrumento de medida sea más exacto que preciso, ya que, si midiésemos muchas veces lo mismo, al final ofrecerá una medida muy próxima a la real. En cambio, con un instrumento de medida preciso pero inexacto obtendremos medidas similares pero alejadas de los valores reales^{17,18}.

Tras realizar una revisión general de los resultados obtenidos en las medidas del ROM de las tres articulaciones en los tres sujetos diferentes podemos observar que los valores, excepto en algún caso puntual, no presentan mucha dispersión y todos ellos se encuentran muy próximos al valor real de ROM de cada sujeto.

Con los resultados obtenidos podemos asegurar que las Apps de medición analizadas ("Angle Meter" y "Clinometer") son buenas herramientas de medición y pueden emplearse como una alternativa fiable al UG. No obstante, debido a la reducida muestra analizada, no se pueden sacar conclusiones acerca de si estas Apps son más fiables que el UG o viceversa.

6.2 RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tras un exhaustivo análisis de la bibliografía recopilada se procede a realizar una tabla resumen (anexo V) de los resultados obtenidos en los estudios recopilados^{6,9,10,19-27}. En ella se resumen las articulaciones cuyo ROM ha sido analizado, el tipo de smartphone empleado, la App de medición empleada, el instrumento de medida de referencia frente al cual se han comparado los resultados, el tipo de población en el que se ha llevado a cabo el estudio, el movimiento analizado, la confiabilidad intra e inter observador así como la correlación con la App analizada frente al método de medida de referencia.

La bibliografía recopilada corresponde al análisis de la aplicación de smartphones como herramienta de medición para las principales articulaciones valoradas en la práctica clínica. Se valora el ROM en movimientos de flexión-extensión en rodilla^{10,20,24}, flexión dorsal en tobillo^{21,22}; movimientos de abducción^{6,9,26}, flexión, rotación interna y externa glenohumeral^{6,26}; flexión de codo⁶; anteversión del cuello de fémur ¹⁹; flexión lumbar^{19,23}, flexión toracolumbar²³ y lateralizaciones toraco-lumbo-pélvicas²³.

En la mayor parte de los estudios la herramienta de medición empleada como referencia ha sido el UG^{6,9,10,19,20,24,25} debido a su mayor acceso en práctica clínica. No obstante, debido al escaso hallazgo de estudios que se encuentran dentro de los criterios de inclusión establecidos, se ha procedido a la inclusión de algunos estudios que emplean como herramienta de referencia inclinómetros digitales^{21,22}, inclinómetros de burbuja²³ e incluso se añade un estudio de análisis de la aplicación Goniometer Records valorando la fiabilidad intra e inter-observador sin emplear ninguna herramienta como referencia de comparación²⁶.

Además, la mayoría de estudios recopilados emplean tecnología iOS de iPhone^{10,19-27} lo que sustenta claramente que no solo los dispositivos con tecnología Android, como se ha estudiado, cuentan con sensores y Apps de lectura de los mismos, sino que también existe un amplio mercado para iOS de Apps de estas características.

La población evaluada en todos los estudios recopilados y en el análisis práctico de las Apps seleccionadas para testar, ha sido en población sana, ya que la valoración de individuos sin ninguna patología ni restricción por dolor nos aporta valores más objetivos, debido a que el componente dolor o patológico nos puede suponer un obstáculo en la medición e incluso puede generar variaciones en las diferentes mediciones dependiendo de la posición de evaluación o del número de repeticiones que se efectúa una misma medición en una articulación entre otros factores que pueden generar variaciones. No obstante, dos estudios incluyen de igual forma el empleo de smartphones en la evaluación del ROM en individuos con patología^{24,25}.

En los métodos empleados en los estudios se realizan los movimientos de forma activa o pasiva⁹, nunca forzada, sin embargo, hay estudios que emplean el uso de soportes pre-fabricados con una angulación determinada que limita el ROM hasta un límite deseado^{9,10,25}. Otra variante encontrada en la metodología que marca un tope en el ROM ha consistido en dibujar una línea perpendicular a la pared y colocar la punta del primer dedo del pie a 5 centímetros de dicha pared, a continuación se pide llevar la rodilla a tocar la pared valorando la flexión de rodilla²⁰ y la dorsi-flexión de tobillo²¹. Este método de valoración nos recuerda al "Weight Bearing Lunge Test" el cual también se emplea en el estudio para obtención de medidas de dorsi-flexión de tobillo⁹. Puesto que el objetivo de los estudios es valorar la fiabilidad y validez de las herramientas de medida, es inherente si la valoración del ROM se realiza en el rango de movilidad completo o si se limita el movimiento de forma preestablecida.

Todas las evaluaciones son realizadas por fisioterapeutas experimentados en goniometría, además previo a la toma de medidas se les enseña el método de empleo de las Apps a testar y se realizan una serie de mediciones a modo de prueba y en el plano de tratamiento a estudiar^{6,9, 10,19-27}. En las mediciones de una articulación en un mismo sujeto, se emplean diferentes estrategias para evitar aproximación o repetición de valores por parte del evaluador. Entre estas estrategia encontramos la valoración alterna de sujetos, la valoración variando los evaluadores en un mismo sujeto, distando tiempo pautado entre la toma de mediciones, combinando ambas estrategias e incluso tomando las medidas en diferentes días²⁷. Por otro lado, encontramos la medición a ciegas^{9,20,24}, donde hay un observador que realiza la recopilación de valores de medición, los cuales están ocultos para el evaluador.

Todos los estudios concluyen en la elevada fiabilidad de los dispositivos smartphones como herramientas de medición, ofreciendo magníficos resultados, inter^{6,9,10,21,24-27} e intra-observador^{6,9,10,20,21,24,25,27} y con respecto al instrumento de referencia empleado para cotejar resultados^{6,9,10,20,21,24,25,26}. Incluso se habla de las numerosas ventajas que aportan estos dispositivos para las personas menos experimentadas en la materia, sin necesidad de buscar referencias óseas e incluso pudiendo emplear el uso de estos dispositivos como herramientas de autoevaluación¹⁰.

Además, numerosos estudios revelan la mayor exactitud de las mediciones^{6,9,10,20,21,24-27} aportadas por los smartphones a través de los sensores incorporados en los mismos independientemente de la App empleada para la traducción de los datos de lectura. Sin embargo, se incide en no alternar indistintamente el uso de los diferentes métodos durante la evaluación de una misma articulación en un sujeto^{6,10}, ya que pueden existir variaciones en los resultados. Por ello, para una mayor precisión será necesario el empleo de una misma herramienta durante todo el proceso de valoración de un mismo sujeto para un movimiento en concreto.

Los smartphones constituyen una herramienta de gran precisión de medida de ángulos y ROM, ofreciendo una alternativa de medición y valoración, de bajo coste, fácil acceso, manejo y comprensión para el ámbito de las ciencias de la salud y en concreto en la fisioterapia ^{6,8,9,10,20,21,24-29}.

7. CONCLUSIONES

1. Las TIC están teniendo un importante y revolucionario impacto en los sistemas de salud, ofreciendo nuevas alternativas de bajo costo a métodos convencionales, como son las técnicas de medición por goniometría entre otras.
2. Los smartphones están dotados de sensores MEMS (acelerómetros, magnetómetros y giroscopios) que nos proporcionan valores precisos de medición.
3. Dentro del mercado de Apps disponibles para Android e iOS existe una amplia selección destinada a la medición, basadas en sensores integrados en los smartphones.
4. Hay disponibilidad gratuita de Apps de medición capaces de satisfacer las necesidades de medición en fisioterapia de forma factible y de fácil empleo.
5. Los smartphones como herramientas de medición nos ofrecen una alternativa a los métodos de valoración del ROM convencionales, no obstante, no es conveniente alternar el uso de las diferentes herramientas en la valoración de un ROM determinado en un mismo sujeto.
6. El empleo de smartphones como herramienta de evaluación en fisioterapia supone una alternativa económica, accesible, de fácil manejo, precisión y exactitud, pudiendo reemplazar el uso de goniómetro universales con total fiabilidad.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Shaw, T., McGregor, D., Brunner, M., Keep, M., Janssen, A., & Barnett, S. (2017). What is eHealth (6)? Development of a Conceptual Model for eHealth: Qualitative Study with Key Informants. *Journal of Medical Internet Research*, 19(10), e324.
2. Everis health. La revolución de mHealth: de las apps a la gestión del dato de salud. [internet] ehCOS. Citado 12 Marzo 2019.
3. Doswell, W. M., Nilsen, W., Klem, M. Lou, DeVito Dabbs, A., & Braxter, B. (2013). mHealth: Technology for nursing practice, education, and research. *Journal of Nursing Education and Practice*, 3(10), 99–109.
4. Gaceta medica (2014, 26 de febrero). La e-Salud es esencial en el abordaje de los crónicos. Citado en Marzo de 2019.
5. Méndez Martín, J. (2015). Aplicación Android de apoyo a Fisioterapeutas. Universidad de Valladolid, 167.
6. Aitken M. Patients apps for improved healthcare. IMS Institute for Healthcare Informatics. USA. October 2013.
7. Milani, P., Cocchetta, C. A., Rabini, A., Sciarra, T., Massazza, G., & Ferriero, G. (2014). Mobile smartphone applications for body position measurement in rehabilitation: A review of goniometric tools. *PM and R*, 6(11), 1038–1043.
8. Simón Andrés, A. G. (2016) App goniómetro para dispositivos android. Universidad districtal Francisco José Caldas. Facultad de Tecnología 201503273039.
9. Johnson, L. B., Abresch, R. T., de Bie, E., Duong, T., Han, J. J., Sumner, S., ... Bajcsy, R. (2015). Validity and reliability of smartphone magnetometer-based goniometer evaluation of shoulder abduction – A pilot study. *Manual Therapy*, 20(6), 777–782.
10. McCormack, S., O'Sullivan, W., Buettner, P., Gordon, S., Milanese, S., Flavell, C., ... Coe, D. (2014). Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: Smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Manual Therapy*, 19(6), 569–574.
11. Prime Faraday Technology. (2002). An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical Systems). Prime Faraday Technology Watch- Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering.
12. Beeby, S., Ensell, G., Kraft, M., & White, N. (2004). MEMS Technology Pressure Sensors. MEMS Mechanical Sensors.
13. Li, T., & Liu, Z. (2017). Outlook and Challenges of Nano Devices, Sensors, and MEMS. Outlook and Challenges of Nano Devices, Sensors, and MEMS.
14. Braskén, M., & Pörn, R. (2017). Studying rotational dynamics with a smartphone -

- accelerometer versus gyroscope. *Physics Education*, 52(4).
15. De Jesus, V. L. B., Pérez, C. A. C., De Oliveira, A. L., & Sasaki, D. G. G. (2019). Understanding the gyroscope sensor: A quick guide to teaching rotation movements using a smartphone. *Physics Education*, 54(1).
 16. Chandra, N., & Cardova, E. (2018). Implementation of Gyroscope Sensor to Presentation Application on Android Smartphone. 2018 Indonesian Association for Pattern Recognition International Conference (INAPR), 197–201.
 17. P Bevington y D K Robinson. (2003). *Data reduction and error analysis for the physical sciences*, 3^a ed. Editorial McGraw-Hill.
 18. S L Meyer. (1975). *Data analysis for scientists and engineers*. Editorial John Willey & Sons Inc.
 19. Yoon, T. L., Park, K. M., Choi, S. A., Lee, J. H., Jeong, H. J., & Cynn, H. S. (2014). A comparison of the reliability of the trochanteric prominence angle test and the alternative method in healthy subjects. *Manual Therapy*, 19(2), 97–101.
 20. Jones, A., Sealey, R., Crowe, M., & Gordon, S. (2014). Concurrent validity and reliability of the Simple Goniometer iPhone app compared with the Universal Goniometer. *Physiotherapy Theory and Practice*, 30(7), 512–516.
 21. Vohralik, S. L., Bowen, A. R., Burns, J., Hiller, C. E., & Nightingale, E. J. (2015). Reliability and validity of a smartphone app to measure joint range. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(4), 325–330.
 22. Williams, C. M., Caserta, A. J., & Haines, T. P. (2013). The TiltMeter app is a novel and accurate measurement tool for the weight bearing lunge test. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(5), 392–395.
 23. Kolber, M. J., Pizzini, M., Robinson, A., Yanez, D., & Hanney, W. J. (2013). The reliability and concurrent validity of measurements used to quantify lumbar spine mobility: an analysis of an iphone® application and gravity based inclinometry. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(2), 129–137.
 24. S. Rwakabayiza, L. C. D. Pereira, E. L´ecureux, and B. Jolles- Haeberli,. Mesurer l'amplitude articulaire du genou: goni- om`etre universel ou smartphone?. *Orthop´edie*, vol. 411, no. 44, pp. 2372–2375, 2013.
 25. Hancock, G. E., Hepworth, T., & Wembridge, K. (2018). Accuracy and reliability of knee goniometry methods. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 5(1).
 26. Werner, B. C., Holzgrefe, R. E., Griffin, J. W., Lyons, M. L., Cosgrove, C. T., Hart, J. M., & Brockmeier, S. F. (2014). Validation of an innovative method of shoulder range-of-motion measurement using a smartphone clinometer application. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 23(11), e275–e282.
 27. Bedekar, N., Suryawanshi, M., Rairikar, S., Sancheti, P., Shyam, A., Sancheti, P., ...

- Rairikar, S. (2014). Inter and intra-rater reliability of mobile device goniometer in measuring lumbar flexion range of motion. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 27(2), 161–166.
28. Emm-Collison, L. G., Standage, M., & Gillison, F. B. (2016). Development and Validation of the Adolescent Psychological Need Support in Exercise Questionnaire. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 38(5), 505–520.
29. Mourcou, Q., Fleury, A., Diot, B., Franco, C., & Vuillerme, N. (2015). Mobile Phone-Based Joint Angle Measurement for Functional Assessment and Rehabilitation of Proprioception. *BioMed Research International*, 1–15.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO I: TABLA DE APLICACIONES DE MEDICIÓN DE ROM DISPONIBLES PARA ANDROID. Fuente elaboración propia.

Nombre de la aplicación	Última actualización	Disponibilidad gratuita	Calibración a 0°	Ejes de trabajo	Fijación de ángulo	Memorización de medidas	Inconvenientes
Goniometre pro (trial version)	8 mayo 2016	SI	En versión gratuita solo 12 calibrados	X - Y // Z - Y	SI	SI	Versión gratuita solo deja realizar 12 calibrados a 0°
Goniometre advance (human computer technology)	19 de noviembre de 2017	SI	SI	Nos ofrece la desviación que ha sufrido cada eje del smartphone en la medición de un mismo movimiento	SI	NO	Solo hay 4 segundos para realizar la medición. Aparecen opciones de uso que no funcionan
Goniometre records (India Orthopedic Research Group)	24 septiembre 2018	SI	SI	X - Y	SI	SI (además permite guardar la medición con los datos relativos al paciente)	El diseño del interfaz es un goniómetro que genera confusiones con la visualización al iniciar la medición
Goniómetro (ALC + GO!)	18 febrero 2018	SI	SI	X - Y // Y- horizontal	SI	NO	No permite realizar mediciones con el smartphone plano en la horizontal
Angle meter (Smart Tool Factory) (Imagen I)	29 noviembre 2018	SI	SI *permite medir diferencia entre dos ángulos contiguos	X - Y // Z - Y *además presenta nivel burbuja (Imagen IV)	SI	SI *ofrece 2 tipos de almacenamiento, uno rápido y otro con título y notas	-

Clinómetro (Smart Tool Factory)	7 diciembre 2018	SI	(imágenes II, III) SI (imagen V)	X - Y // Z - Y	SI	SI	-
	Clinometer + bubble level	25 mayo 2016	SI	SI	X - Y * Z - Y se mide con la opción Bubble level	SI	NO
Multi clinometer Calmatics	7 diciembre 2018	SI	SI	X - Y // Z - Y	NO	NO	No permite fijar el ángulo una vez realizado la medida

9.2 ANEXO II: CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE MEDICIÓN DE ÁNGULOS CORPORALES.

Título del protocolo:

Medición de ángulos corporales con goniómetro universal y aplicaciones disponibles para smartphones.

Antes de proceder a la firma del consentimiento informado deberá leer detalladamente el protocolo de realización al que va a ser sometido y responder a una serie de preguntas.

Protocolo:

Se va a proceder a realizar una serie de mediciones de la flexión de rodilla, abducción gleno-humeral y flexión de codo. Se realizará un total de 45 mediciones, 15 en cada articulación. Las mediciones se tomarán con un goniómetro universal y dos smartphones con los cuales emplearemos dos aplicaciones diferentes de medición de movimiento angular ("Clinómetro" y "Angle meter"). Cada medición con cada uno de las herramientas de medida se repetirá un total de tres veces en cada una de las articulaciones, distando unos minutos entre una medida y la siguiente.

Justificación del estudio:

Mostrar la eficacia de las aplicaciones gratuitas disponibles para smartphones destinadas a la medición de rangos de movimientos articulares corporales.

Beneficio del estudio:

La participación en este estudio ayudará en la investigación para el apoyo del empleo de las nuevas tecnologías en salud, creando una alternativa a los instrumentos convencionales de medición.

En lo relativo a lo personal, la participación no requiere ningún costo y los resultados serán completamente anónimos.

Para confirmar que la persona es apta para la realización de dichas mediciones deberá responder a una serie de preguntas seleccionando con una X la casilla adecuada:

	SI	NO
Padece dificultad/dolor al realizar movimientos de flexión-extensión de rodilla.		

Padece dificultad/dolor al realizar movimientos de flexión-extensión de codo.		
Padece dificultad/ dolor al realizar movimientos de adducción- abducción de la articulación gleno-humeral.		
Sensación de bloqueo en alguna de las articulaciones anteriores.		
Dolor en reposo, en movimiento activo o pasivo en alguna de dichas articulaciones.		
Patología en hombro, codo o rodillas.		
Patología relacionada con la edad que tenga afección articular (independientemente de la articulación).		
Fracturas recientes que hayan requerido inmovilización de hombro, codo o rodilla.		

Durante todo el procedimiento, antes o después se le permitirá realizar las preguntas que precise para solventar cualquier duda acerca del procedimiento o finalidad de la prueba.

Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la carta de consentimiento informado que forma parte de este documento.

Yo, D....., mayor de edad, y con D.N.I....., he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entendido que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo a participar en este estudio de investigación y recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Fdo.

Esta parte debe ser completada por el investigador:

He explicado al Sr(a). la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que

implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normativa correspondiente para realizar investigación en humanos y me apego a ella.

Fdo.

9.3 ANEXO III: IMÁGENES

IMAGEN II: captura de pantalla app "AngleMeter".



Ángulo único: simplemente hay que ir moviendo el teléfono y ofrece un valor de ángulo medido con respecto a la vertical.

IMAGEN III: captura de pantalla app "AngleMeter".



Diferencia entre dos ángulos: permite calibrar para comenzar la medición a una angulación diferente a la de la horizontal y vertical y permite obtener 2 medidas angulares en la misma medición. Muy útil para valorar en el mismo movimiento ROM activo y pasivo.

IMAGEN IV: captura de pantalla app "AngleMeter".



Ángulo relativo: permite realizar una medición angular con una calibración inicial a 0° .

IMAGEN V: captura de pantalla app "AngleMeter".



Nivel burbuja: es otro modo que nos ofrece la aplicación que no solo mide el movimiento en la horizontal sino también en la vertical.

IMAGEN VI: captura de pantalla interfaz "Clinometre".



IMAGEN VII: Medición del ángulo de flexión de rodilla con smartphone como herramienta de medición.

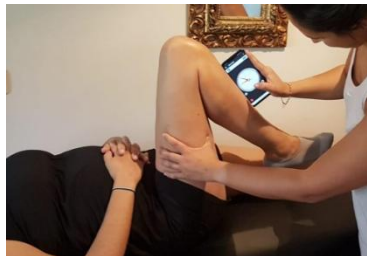


IMAGEN VIII: Medición del ángulo de abducción gleno-humeral con smartphone como herramienta de medición.

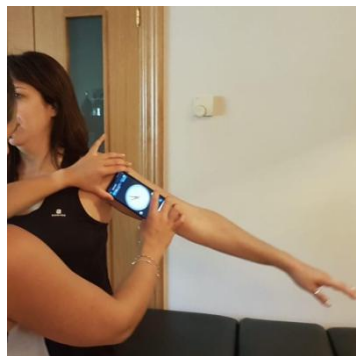
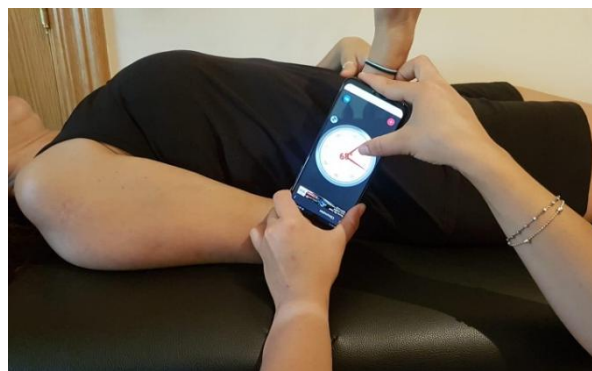


IMAGEN IX: Medición del ángulo de flexión de codo con smartphone como herramienta de medición.



9.4 ANEXO IV: TABLA DE RESULTADOS DE MEDIDAS RECOGIDAS EN TRES SUJETOS DISFERENTES. Fuente de elaboración propia.

Rodilla	Goniómetro universal			App Angle meter (smartphone I)			App Clinómetro (smartphone I)			App Angle meter (smartphone II)			App Clinómetro (smartphone II)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sujeto 1	146°	150°	144°	152°	151°	148°	148°	146°	146°	149°	149°	151°	149°	148°	149°
Sujeto 2	138°	138°	134°	140°	148°	148°	148°	149°	147°	146°	147°	141°	137°	147°	143°
Sujeto 3	140°	140°	142°	143°	147°	145°	147°	147°	142°	142°	147°	147°	142°	147°	143°

Hombro	Goniómetro universal			App Angle meter (smartphone I)			App Clinómetro (smartphone I)			App Angle meter (smartphone II)			App Clinómetro (smartphone II)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sujeto 1	165°	168°	172°	169°	173°	169°	167°	167°	169°	169°	168°	168°	168°	169°	168°
Sujeto 2	168°	170°	168°	162°	163°	164°	163°	165°	163°	169°	166°	163°	154°	163°	161°
Sujeto 3	160°	158°	158°	160°	160°	159°	162°	160°	162°	158°	158°	159°	163°	165°	162°

Codo	Goniómetro universal			App Angle meter (smartphone I)			App Clinómetro (smartphone I)			App Angle meter (smartphone II)			App Clinómetro (smartphone II)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sujeto 1	142°	152°	148°	147°	152°	151°	147°	152°	146°	153°	153°	151°	149°	151°	151°
Sujeto 2	142°	140°	138°	143°	138°	139°	141°	142°	139°	143°	142°	143°	143°	138°	144°
Sujeto 3	148°	150°	146°	144°	144°	142°	140°	142°	139°	144°	142°	142°	139°	138°	142°

9.5 ANEXO V: TABLA DE RESULTADOS DE ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE SMARTPHONES COMO HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN DE ROM.

Fuente de elaboración propia

Articulación	Estudio	Smartphone	App	Referencia	Población	Movimiento	Confiabilidad intra-observador	Confiabilidad inter-observador	Correlación App vs referencia
Rodilla	Steve M et al., 2014 ¹⁰	Apple iPhone 4G	Knee goniometre App (KGA)	UG	Sana (6)	Flexión	CCC=0.993-0.999	CCC=0.997	CCC=0.991
	Jones et al., 2014 ²⁰	iPhone 3Gs	Simple Goniometer	UG	Sana (36)	Extensión	ICC=0.97-0.99	N/A	r=0.96-0.98
	Rwakabayi za et al., 2013 ²⁴	iPhone	Knee goniometre App(KGA)	UG	Sana(20) Sintomática (20)	Flexión/ extensión	ICC(sanos)=0.85 ICC(sintomáticos)= 0.98	ICC(sanos)=0.12 ICC(sintomáticos)= 0.24	ICC=0.92
	G. Hancock et al., 2018 ²⁵	iPhone 7 plus	Goniometer Pro	UG	Sana (3(bilateral))	Flexión	ICC>0.98	ICC>0.99	ICC>0.99
Tobillo	Vohralik et al., 2014 ²¹	iPhone	IHandly level	Inclinómetro digital	Sana (20)	Flexión dorsal	ICC=0.97	ICC=0.76	CPP=0.99
	Williams et al., 2013 ²²	iPhone 4 y 4S	TiltMeter	Inclinómetro digital	Sana (20)	Flexión dorsal Weight	ICC=0.83	ICC=0.80-0.96	ICC=0.83

Hombro	Alba-Martín R et al., 2016 ⁶	-(Android)	Clinometer + Bubble level	UG	Sana (32)	bearing lunge test Flexión / RI y RE (con ABD de 90°)	ICC=0.87-0.99	ICC=0.87-0.99	ICC=0.88
	Jonson B et al., 2015 ⁹	Motorola Droid	App goniómetro basado en magnetómetro	UG	Sana (1)	ABD	CCC>0.992	CCC=0.989	CCC=0.991
	Werner et al., 2014 ²⁶	iPhone	Clinometer	UG	Sana(24) Sintomática (15)	ABD/flexión / RI y RE (con ABD de 90°)	N/A	ICC(sanos)>0,6 ICC(sintomáticos)= 0.80	ICC(sanos)=0.79 ICC (sintomáticos)= 0.98
Codo	Alba-Martín R et al., 2016 ⁶	-(Android)	Clinometer + Bubble level	UG	Sana (32)	Flexión	ICC=0.87-0.99	ICC=0.87-0.99	ICC=0.88
Cadera	Yoon et I., 2014 ¹⁹	iPhone	TiltMeter	Inclinómetro digital	Sana (19)	Anteversión del cuello femoral	ICC=0.95	ICC=0.85	ICC similar r=0.114
Columna vertebral	Kolber et al., 2013 ²³	iPhone	iHandly Level	Bubble inclinómetro (modelo 12-1056)	Sana (30)	Flexión toracolumbar, flexión lumbar, lateralización derecha e izquierda toraco-lumbo-pélvica	ICC>0.86	ICC>0.80	ICC>0.86
	Bedekar N et al., 2014 ²⁷	iPhone	Goniometer Records	-	Sana (30)	Flexión lumbar	ICC=0.920	ICC=0.812	N/A

