

La Biomecánica más avanzada se apoya en una Metrología de Calidad

Dra. María Ana Sáenz Nuño¹, Dr. Néstor Pérez Mallada²

⁽¹⁾ Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas Madrid

⁽²⁾ Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios", Universidad Pontificia Comillas Madrid

RESUMEN: En la Universidad Pontificia Comillas Madrid se está llevando a cabo una estrecha colaboración entre el laboratorio de análisis de la marcha de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios", y el laboratorio de Metrología Dimensional del Dpto. de Ing. Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería. El objetivo es implementar las técnicas de calibración que se utilizan extendidamente en Máquinas de medición por coordenadas, para al menos la verificación de los sistemas de análisis de la marcha.

1. INTRODUCCIÓN

Es necesario definir inicialmente el concepto de evaluación funcional a través de la biomecánica. Por función^[13] se entenderá la capacidad de ejecutar de manera autónoma aquellas acciones que componen nuestro quehacer cotidiano en una manera deseada a nivel individual y social.

Y por biomecánica^[14], clásicamente se define^[16] la como la mecánica aplicada a la biología y los sistemas de medida del laboratorio de biomecánica a través de instrumentos que se usan con el objetivo de medir diferentes variables de los pacientes. En éste área es donde la metrología puede aportar un valor añadido muy importante a la biomecánica.

1.1 Necesidad de mediciones de calidad en biomecánica

En salud, existen múltiples escalas de valoración funcional^{[17] [18]} de las Actividades de la Vida Diaria, con el objetivo de determinar la capacidad de una persona para realizar las actividades de la vida diaria de forma independiente, es decir, sin ayuda de otras personas.

Determinadas escalas de valoración analítica de la función son muy usadas de modo genérico y habitual (Kendal^[19], Internacional^[20], Goniometría clásica^[21]..). Son escalas que intentan aproximar datos de la función del sujeto a través de unos sencillos sistemas de evaluación, que presentan un elevado margen de error^[22] así como índices de subjetividad^[23]. Cuando te riges exclusivamente a las definiciones los datos que se obtienen (por ejemplo en evaluación de la fuerza muscular) son de un valor escaso al existir un amplio margen de error.

Las herramientas de evaluación de la función a través de pruebas biomecánicas aportan datos objetivos con un margen de error mínimo^[24] y despreciable (por ej: gramos en cinemática, milímetros en cinética) lo que además gracias a complejos algoritmos matemáticos^[25] que desde la ingeniería elaboran para la obtención de los registros necesarios en la evaluación de la disfunción funcional, permiten obtener datos objetivos y de complejidad variable según la necesidad de evaluación adaptable a cada paciente.

Por lo tanto queda asentado que las pruebas biomecánicas permiten valorar funcionalmente a los pacientes, pero ¿Cuál es el modo en que lo hacen? ¿Cuáles son los protocolos y herramientas que se usan? ¿Cuál es su precisión?

Desde un punto de vista metrológico, esa fiabilidad de los diagnósticos es directamente proporcional a la calidad de las mediciones realizadas. Actualmente surge discrepancia entre los resultados obtenidos para determinadas magnitudes, según sea el equipo que lo ha determinado. Si el mensurando es el mismo, dicha discrepancia debería quedar resuelta asegurando la trazabilidad de los sistemas a patrones reconocidos, sin necesidad de que los

facultativos recurran a hacer siempre la medida con el mismo equipo. En el presente trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos en la implementación de técnicas de verificación y calibración al equipo de análisis de la marcha de la Escuela de fisioterapia, con procedimientos similares a los utilizados en la calibración de máquinas de tres coordenadas con artefactos no calibrados, tal y como se presentó en el 5º Congreso Español de Metrología, celebrado en Madrid en junio del 2013.

El trabajo realizado no ha concluido y se sigue desarrollando a lo largo de este curso académico.

1.2 Mediciones de interés en Biomecánica

La importancia del uso de una herramienta de biomecánica u otra está basada principalmente en conocer que es lo que se desea evaluar funcionalmente:

Movimiento, fuerza, amplitud, mecanismos de ejecución de movimiento, velocidad de ejecución....Cada paciente es distinto al igual que en cada sujeto cuando se le solicita una analítica varía según la patología que presente. Si hay patrones similares que pueden ser basados en la patologías que presenta el sujeto, pero no hay recetas iguales, pues puede ocurrir que pacientes con el mismo diagnóstico médico necesiten ser evaluados funcionalmente a través de herramientas distintas de biomecánica para poder obtener datos con utilidad en el informe biomecánicos para poderlos trasladar a los informes medico legales. Por ello y lo más importante antes de continuar sobre como valorar y que usar es conocer las herramientas que a fecha de hoy existe a nuestra disposición:

- a) ELEMENTOS DE SISTEMAS DE REGISTRO.
 - o Que mide y como lo miden.
- b) PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN.
- c) DATOS EN EL INFORME BIOMECÁNICO.
 - o Que aportan al informe biomecánico.
- d) FIABILIDAD DE LOS DATOS.
- e) UTILIDAD DEL EQUIPO.

¿Y no es esto un procedimiento de medición como los que se realizan en la industria?. Y si es así, por qué no aplicar los mismos principios que ya se han demostrado de gran utilidad. Aquí radica la innovación de nuestro trabajo.

Para analizar el alcance de la colaboración para el aseguramiento de la calidad en las mediciones con nuestro equipo de análisis de la marcha, procederemos a detallar el proceso desde un punto de vista metrológico.

Primero trataremos al detalle los equipos implicados, para luego tratar el procedimiento habitual de uso y la información recogida de las mediciones. Con ello se propone un procedimiento de verificación de dichos sistemas, y quizás, ¿por qué no?, los primeros pasos para la calibración de dichos equipos.

1.3 Equipo de medición: Análisis de la marcha por fotogrametría.

- a) ELEMENTOS DE SISTEMAS DE REGISTRO.

Los equipos de captura de movimiento (Cinética) en 3 dimensiones, recogen el movimiento^[26] de una o múltiples articulaciones, así como sus características (velocidad, aceleración, repetición de la ejecución del movimiento), que se produce en un paciente. Recoge esta

información a través de un sistema de cámaras que permiten obtener estos datos objetivos y cuantificar sus registros.

Existen múltiples sistemas de captura de movimiento^[27] los más usados son la fotogrametría¹^[28] (Bergemann 1974, Marzan & Karara 1975, Miller & Petak, 1973, Shapiro 1978) y los sistemas optoeléctricos² (Greaves 1983; Sheirman 1992), siendo este último los que más se están usando en la actualidad pues permiten a través de las cámaras de alta precisión y avanzados procesadores recoger la posición de los marcadores^[29] permitiendo conocer su posición en tiempo real.

Estos equipos sincronizan un mínimo de 4 cámaras^[30] para que al menos siempre 2 de ellas puedan ver un mismo punto y puedan analizar los cambios que se producen en el espacio. Estas cámaras están conectadas (por cable o a través de telemetría) y a través de software complejo en donde la bioingeniería es imprescindible para su desarrollo, para permitir desarrollar sistemas de análisis de movimiento según el clínico considere.

Las cámaras están sincronizadas entre ellas^[31] para conocer y calcular un punto que viene registrado por un marcador, en el espacio. Para que el software pueda reconocer la distancia a la cual se encuentran las cámaras y de ese modo poder calcular los parámetros de registro se debe haber calibrado las cámaras. Los equipos suelen tardar escasos minutos en calibrarse y esto permite corregir errores que hayan podido desplazar las cámaras una vez instaladas y funcionando y por lo tanto modificar el cálculo matemático y sus resultados. De este modo no es necesario llamar al servicio técnico, salvo que surja algún error grave de funcionamiento y se recomienda realizar esta calibración mínimo una vez al día o si hay paradas de uso del equipo.

Los marcadores deben de colocarse sobre referencias anatómicas^[32] óseas de fácil acceso, y escasa variabilidad de posicionamiento en los movimientos a realizar, es por eso importante, un buen entrenamiento en anatomía palpatoria y superficial a la hora de poder colocarlos adecuadamente, ya que un error en este aspecto echaría al traste toda la valoración, de ahí también la importancia de saber que profesional y que capacitación es el que coloca estos dispositivos.

Una vez se identifican varios puntos sobre los cuales se han colocado los diferentes modelos de marcadores^[33] según el equipo a usar, se pueden conocer a través de los programas informáticos que reconocen las coordenadas, las variaciones de amplitud, velocidad y recorrido que se producen en el espacio.

Existen dos grandes sistemas de captura de movimiento optoeléctricos, los denominados activos y los pasivos de recogida de información. Los 1º los marcadores emiten luz que es captada por las cámaras, mientras que los 2º son materiales reflectantes que al reflexionar con la luz ambiente son captadas por las cámaras infrarrojas. El uso de uno y otro dependerá principalmente de los datos que se pretendan recoger así como el tratamiento que con ellos se estime realizar.

Los sistemas de captura más nuevos y software más avanzados, ya dan la posibilidad al clínico, sin necesidad de conocimientos complejos de cálculos matemáticos, de modelar los programas y capturar los movimientos y rangos necesarios para poder valorar los datos que el clínico necesita (por ejemplo la flexo-extensión de la coxofemoral). Esto permite un gran avance al agilizar la funcionalidad de los equipos a la hora de realizar diferentes variables que cada paciente presenta en los datos necesarios para su objetivación, aunque se debe tener en cuenta que esto no se puede preparar con el paciente delante y obliga a tener unos protocolos prefijados en el equipo para su adecuada valoración.

b) PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN.

¹ Es un sistema que permite la obtención de las coordenadas 2D y 3D de puntos del cuerpo a partir de imágenes de vídeo. No necesita la colocación de marcadores en el cuerpo del sujeto siendo, por tanto, es ideal para estudios de campo (en competición y entrenamiento deportivos. Las imágenes son tomadas a través de cámaras de vídeo de alta velocidad lo que permite el análisis de movimientos muy complejos.

² Este sistema determina la posición de marcadores reflectantes adheridos al cuerpo del sujeto. Los Marcadores son de pequeñas dimensiones (máximo: 2 cm de diámetro y 1 gramo de peso). Se compone de Cámaras de luz Infrarroja que registran en el espacio el movimiento. Este sistema multicámara es de última generación permite capturar el movimiento de un sujeto a tiempo real sin apenas interferir en su ejecución. Posteriormente a la captura Software permite la simulación en 3D y la obtención de un amplio conjunto de variables mecánicas.

La colocación de los marcadores debe seguir protocolos estandarizados^{[34] [35] [36] [37]} que principalmente recogen los resaltes óseos que no varían ni se ven recubiertos por estructuras musculares o de tejidos blandos a la hora de la realización del movimiento. Ejemplo de estos marcadores de la colocación de estos marcadores son C-7, acrómeon, cabeza del peroné, EIAS, EIPS....

Es importante conocer las características de los equipos con los cuales estamos trabajando así como el número de la colocación de marcadores. La disposición en un segmento corporal de únicamente 3 marcadores para calcular un ángulo y las velocidades angulares entre estos, permiten conocer este movimiento en 2 dimensiones

c) DATOS EN EL INFORME BIOMECÁNICO.

Que datos se pueden obtener con este sistema:

1. Los grados por segundo a los que se mueve una articulación, los cm por segundo que se mueve un segmento y las relaciones de ambos por el tiempo de ejecución del movimiento.
2. Cuanta compensación se producen en movimiento puros (por ejemplo pronosupinación en la flexo extensión de codo)
3. Las curvas de velocidad/tiempo. Que permiten conocer si hay “saltos” en el desarrollo del movimiento y por lo tanto detectar patrones patológicos o simulados
4. Permiten analizar movimientos concretos en diferentes posiciones y obtener gráficas visuales de ejecución del movimiento.

La captura de movimiento se puede sincronizar junto a otros equipos de valoración. El más usado son las plataformas dinamométricas y la Electromiografía de superficie que permiten analizar movimientos conjugando aspectos de las cargas y fuerzas (cinemática)

d) FIABILIDAD DE LOS DATOS.

Los equipos de captura de movimiento poseen errores de milímetros, a la hora de registrar amplitudes de metros, poseen errores de milésimas de segundo en aceleraciones de metros por segundo,

Ahora bien, hay que tener en cuenta que el equipo debe estar adecuadamente calibrado y supervisado. La nueva tecnología permite configurar a diario y con unas sencillas operaciones, la calibración de sus cámaras. El mantenimiento por lo tanto de estos sistemas se ha simplificado hasta el punto que se trabajan con ellos con la seguridad de estar correctos a diario y haberse calibrado adecuadamente. En el momento que esta calibración da error, el sanitario debe dar un paso atrás para que sea la bioingeniería quien resuelva estos aspectos.

Del mismo modo, la programación de nuevos aspectos de valoración corporal, debe estar realizados por un clínico, que conozca la biomecánica articular, la fisiología articular y los aspectos biomecánicos a evaluar. Aquí hay una gran variación entre los sistemas que actualmente se están comercializando, ya que algunos de ellos son tan complejos y dependientes de la ingeniería que poseen poca plasticidad clínica, mientras que otros se adaptan (previo conocimiento adecuado del equipo) a que a través de sistemas de simplificación se puedan desarrollar sistemas ad hoc al clínico para su valoración.

Hay que tener en cuenta un peligro del registro de los datos. La captura se hace en 3 dimensiones y por lo tanto es un dato que siempre ha de tenerse en cuenta. Es decir, la definición de los planos de la ejecución del movimiento debe respetar siempre la tridimensionalidad, aunque lo que se quiera medir esté en un plano bidimensional, pues si no es así dará errores y se podrán obtener datos confusos.

e) UTILIDAD DEL EQUIPO.

De los valores aportados por los equipos de captura de movimiento en 3 D permiten conocer:

1. Si se posee una amplitud adecuada o limitada en la ejecución de un movimiento. La amplitud de una articulación (salvo que sea biarticular) no varía según la situación corporal del paciente, por lo tanto en aquellos pacientes simuladores se les podrá pedir que realicen una ejecución del mismo movimiento pero en distintos modos, y los datos deberían ser los mismos.
2. Las curvas obtenidas deben ser simétricas en los pacientes ante una repetición del movimiento en series. Si la limitación está en los 40°, esta limitación siempre estará ahí, no puede ser que unas veces esté en 40 otras en 50 y otras en 30. Si esto ocurre, le paciente lesión mecánica no posee, aunque si deba valorarse psicológicamente por si la lesión fuese de otro tipo.
3. La velocidad de ejecución del movimiento
4. La aceleración a la realización de movimientos
5. La relación agonista-antagonista con las variables velocidad, aceleración y resistencia de tejidos blando.
6. La coordinación de los movimientos y su sistema propioceptivo y articular.
7. Movimientos complejos (marcha, deporte, técnica, ergonomía...)

1.4 La calibración de máquinas de tres coordenadas con artefactos no calibrados.

Habiendo visto que el equipo utilizado en el análisis de la marcha se puede asimilar una tridimensional con múltiples mediciones en múltiples posiciones del mismo mensurando, se propone a continuación un método de verificación calibración.

Las máquinas de medición por coordenadas, son equipos que llevan mucho tiempo utilizándose en la industria. Su versatilidad y potencial para la programación de tareas complejas de medición, las han convertido en un instrumento ampliamente extendido. Acorde con esta versatilidad, la calibración y verificación de las mismas es una tarea compleja pero no por ello poco importante. De ahí que a nivel internacional y nacional existan documentos normativos ISO y UNE que recomiendan procesos y técnicas para la evaluación de la calidad de la medición. Estas normas se desarrollan en el seno del comité de normalización ISO/TC 213/WG 10 y AEN/CTN 82/SC 2. Las series de normas que tratan estos equipos son las UNE/EN/ISO 10360-X e ISO/TS 15530-X.

La definición de máquina de medición por coordenadas tal y como se especifica en la ISO 10360-1^[10] es *aquel sistema de medición que permite determinar coordenadas espaciales mediante un sistema de captación*.³ El presente trabajo se basa en la utilización de dos equipos de medición que cumplen la definición anterior:

- a) un brazo de medición Faro Arm equipado con un láser para realizar mediciones sin contacto. El equipo se encuentra ubicado en la Escuela Técnica superior de Ingeniería de ICAI.
- b) y el equipo de análisis de la marcha BTS, donde la medición se hace sin contacto y además permite la medición de la cuarta coordenada temporal, pues hace mediciones en continuo. El equipo se encuentra ubicado en la Escuela Universitaria de Enfermería

³ “*measuring system with the means to move a probing system and capable of determining spatial coordinates*”

y Fisioterapia "San Juan de Dios", de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid y ubicada en la localidad de Ciempozuelos.

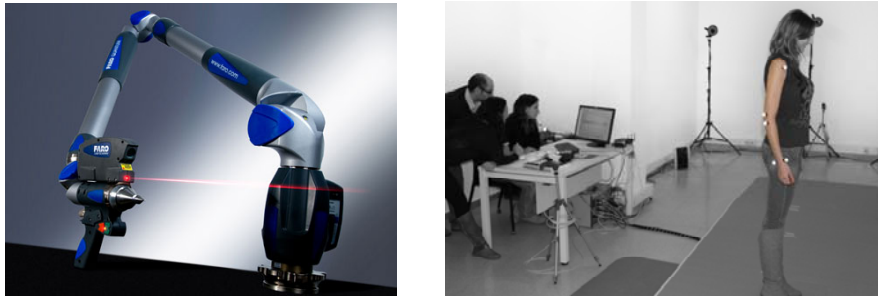


Figura 1: Brazo de medición FARO sin contacto y Equipo de análisis de la marcha BTS Smart D, respectivamente

2. DESARROLLO/DESCRIPCIÓN

La primera particularidad de este proyecto es la aparente disparidad de los equipos de medición, sin embargo desde nuestro punto de vista son tratados siempre como dos máquinas de medición por coordenadas⁴, puesto que cumplen la definición dada en la norma.

Basándonos en esta condición, pasaremos a denominarlas CMM1 (brazo de medición) y CMM2 (equipo de análisis de la marcha).

2.1 Los equipos utilizados

Las características técnicas de los equipos, de interés para el presente trabajo son:

- a) CMM1 (brazo de medición): Volumen de medida de 0,5 m³ aproximadamente y resolución de 1 μm.

Este equipo se caracteriza por determinar las coordenadas espaciales del mensurado con respecto a la referencia (propia o configurada por el usuario), siempre dentro de su volumen de medición. Se trabajó en coordenadas cartesianas.

Si bien posee un patrón de bolas calibrado, no se puede asegurar su medición con una incertidumbre baja, dado que el laboratorio no cumple los requisitos necesarios asociados a vibraciones. Por ello, los resultados de este proyecto son cualitativos y no trazados. A esto hay que añadir que aún no se ha consensuado internacionalmente un procedimiento de calibración que se reconozca como válido para este tipo de instrumentos.

Así que el motivo por el que se utilizó este equipo en lugar de una CMM tradicional fue la sencillez en su manejo, el ser fácilmente transportable y manejable para las medidas que se buscaba realizar y suficientemente preciso para este estudio preliminar.

Su sistema de captación de la medida consiste en un cabezal láser solidario a uno de contacto, con una longitud de onda de 633 nm aproximadamente.

Con ello, siendo muy conservadores, se consideraron válidos los resultados dados por la CMM1 hasta las 100 μm aproximadamente.

- b) CMM2 (equipo de análisis de la marcha): Volumen de medida de 6 m³ aproximadamente y resolución inferior a 0,5 mm en 3D.

Estos equipos recogen la posición y el movimiento de una o múltiples articulaciones, así como sus características (velocidad, aceleración, repetición de la ejecución del

⁴ Siendo *CMM* las siglas habituales en la literatura del sector.

movimiento), que se produce en un paciente. Recoge esta información a través de un sistema de seis cámaras de alta resolución sincronizadas, por consiguiente sin contacto, basándose en técnicas fotogramétricas. Es decir, no sólo especifican las coordenadas espaciales sino que aportan más información relativa al movimiento por realizar mediciones en el tiempo.

Mediante la colocación de marcadores sobre el paciente, se detecta su posición al caminar sobre la plataforma para determinar su posición en tiempo real y así evaluar las magnitudes de interés.

Si bien en el manual del equipo se habla de la calibración del mismo mediante un artefacto proporcionado por el propio fabricante, ésta no cumple lo que habitualmente se utiliza en el entorno de la metrología, puesto que carece de trazabilidad. Se trata de un artefacto constituido por tres barras con esferas reflectantes a unas distancias fijas y pre-establecidas.



Figura 2: "Patrón" proporcionado por el fabricante para la "calibración" inicial

Profundizando en su utilización, realmente permiten realinear las cámaras y ajustar su sincronización en el momento de realizar la medida, pero no aseguran la trazabilidad.

El sistema de captación de la medida basado en las cámaras consiste en emisores de radiación en el ultravioleta cercano y un receptor que es la cámara de alta resolución. Se consideró que el comportamiento de las cámaras era homogéneo en el volumen de medición del equipo.

El equipo de análisis de la marcha consta a su vez de electromiografía de superficie y una plataforma dinamométrica que no se han considerado ni utilizado en este estudio.

2.2 Consideraciones previas a la construcción del artefacto no calibrado.

En la ISO/TS 15530-6^[11], se observa la posibilidad de realizar calibraciones con piezas no calibradas para tareas especiales de medición. La idea que se implementó en nuestro proyecto fue la siguiente:

*Medir una misma pieza en múltiples posiciones dentro
del volumen de medición en las dos CMM's.*

Si bien no se asegura el valor absoluto de las medidas sí permite la valoración relativa del comportamiento del sistema en la evaluación, incluyendo los algoritmos de cálculo.

Así, primeramente se desarrolló el procedimiento a realizar en la CMM1^[12].

El artefacto elegido para la elaboración del procedimiento fue una pieza *sencilla* con geometrías cilíndricas y cónicas y cuyo plano se adjunta.

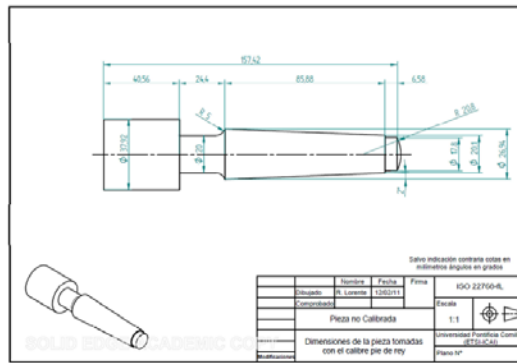
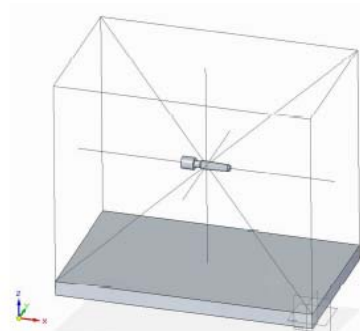
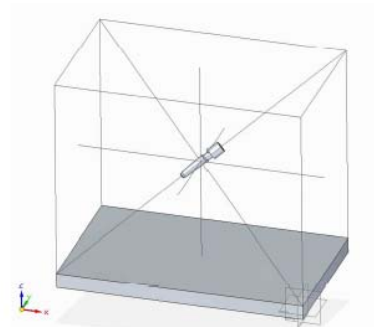
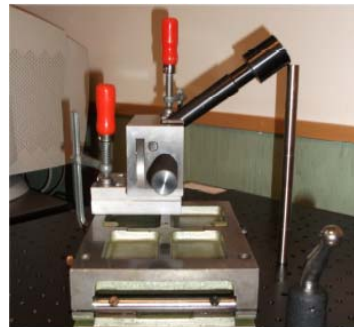
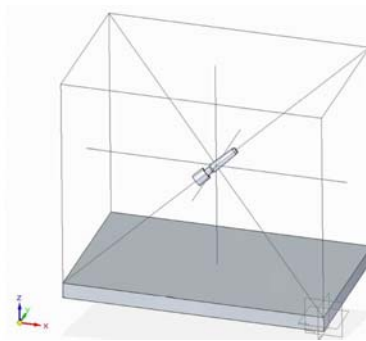
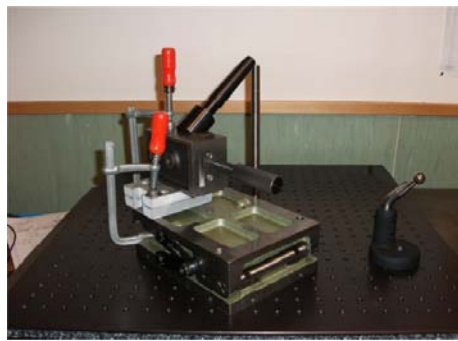


Figura 3: Artefacto no calibrado para el desarrollo del procedimiento de medición

Se seleccionaron las direcciones más significativas sobre las que llevar a cabo las mediciones, con el fin de determinar la relevancia de su utilización en el procedimiento final.

En las siguientes imágenes se muestran algunas de todas las posiciones que se consideraron.



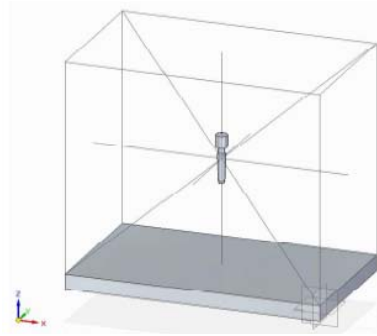


Figura 4: Artefacto no calibrado en las posiciones listo para la medición

Cada una de estas direcciones supuso la orientación de la pieza en las dos direcciones posibles. Y en cada posición se midieron al menos 10 veces los parámetros más significativos de la pieza, diámetro del cilindro de 37,92 mm y el de 20 mm.

	Media (mm)	<i>Pseudo-Incertidumbre/dispersión (mm)</i>
Diámetro 37,92 mm	37,92	0,02
Diámetro 20 mm	20	0,007

Tabla 1: Valor medio de los diámetros y dispersión/pseudo-incertidumbre.

La dispersión de los valores incluyó además de la variabilidad entre posiciones, posibles fuentes de incertidumbre como fueron la temperatura, deriva del equipo, etc. pero sin llegar a asegurarse la trazabilidad, de ahí el que la denominemos pseudo-incertidumbre.

Por tratarse de unos resultados tan esperanzadores, con dispersiones de tan sólo 20 μm , consideramos que la CMM1 es un equipo suficientemente preciso como para servir de "referencia" a la CMM2, donde muchas veces la precisión que se necesita no va más allá de 1 mm.

Asimismo, se comprobó que para el orden de magnitud de los resultados que esperamos obtener, no es relevante la ubicación del artefacto no calibrado dentro del volumen de medición, por lo que nos limitamos a situar el nuevo artefacto no calibrado en dos direcciones que permitieran un acceso cómodo a todos los puntos de medición.

2.3 Artefacto no calibrado.

Se construyó un artefacto no calibrado, formado por 6 esferas y una barra rígida. Dichas esferas se fijaron a la barra asegurando así que su posición relativa no variaba. Las esferas fueron recubiertas de un material reflectante que permitiese su medición en la CMM2, y no impidiese su medición en la CMM1.



Figura 5: Detalle de la esfera sobre la barra.

La barra se pintó de negro mate por no ser objeto de medición en ninguno de los dos equipos, y que no diera lugar a falsas mediciones por brillos indeseados.



Figura 6: Prototipo en su fase constructiva.

Se recubrieron las esferas con material reflectante que permitiera hacerlas “visibles” a los sistemas de detección de las cámaras de los sistemas de análisis de la marcha y el brazo de medición, probando diferentes configuraciones con el fin de encontrar la más adecuada:



Figura 7: Esferas recubiertas.

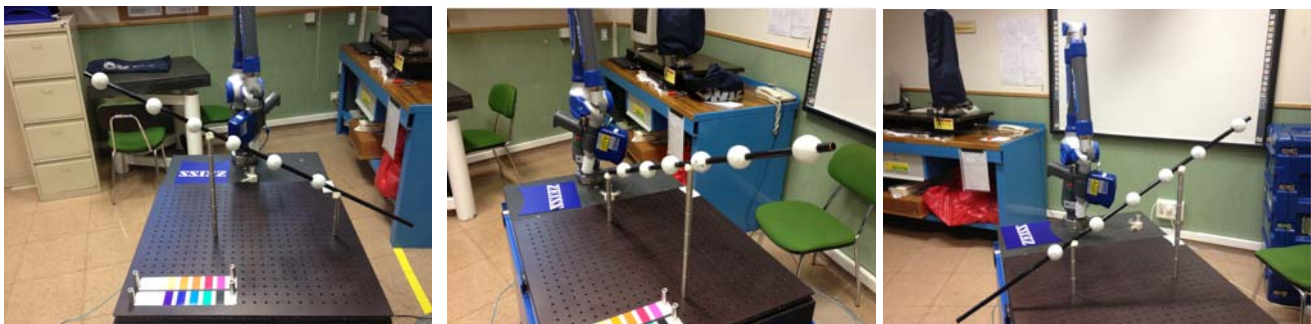


Figura 8: Primer prototipo de artefacto no calibrado colocado en distintas configuraciones en el brazo de medición.

Las esferas tienen 30 mm de diámetro aproximadamente y una separación de entre 100 y 150 mm, variable intencionadamente en la barra, pero fija entre ellas.

Queda por lo tanto patente la semejanza de este artefacto con los patrones de bolas que se utilizan habitualmente en la calibración y verificación de CMMs.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se midió el artefacto en la CMM1, determinando la distancia entre centros de esferas y el diámetro de las mismas.

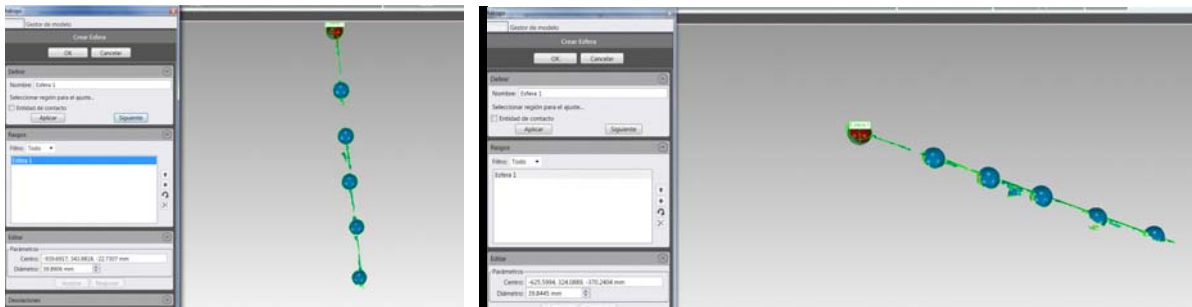


Figura 9: Algunas mediciones del artefacto en la CMM1

Se midió el artefacto en movimiento en la CMM2, determinando también la distancia entre los centros de las esferas.



Figura 10: Mediciones del artefacto en la CMM2

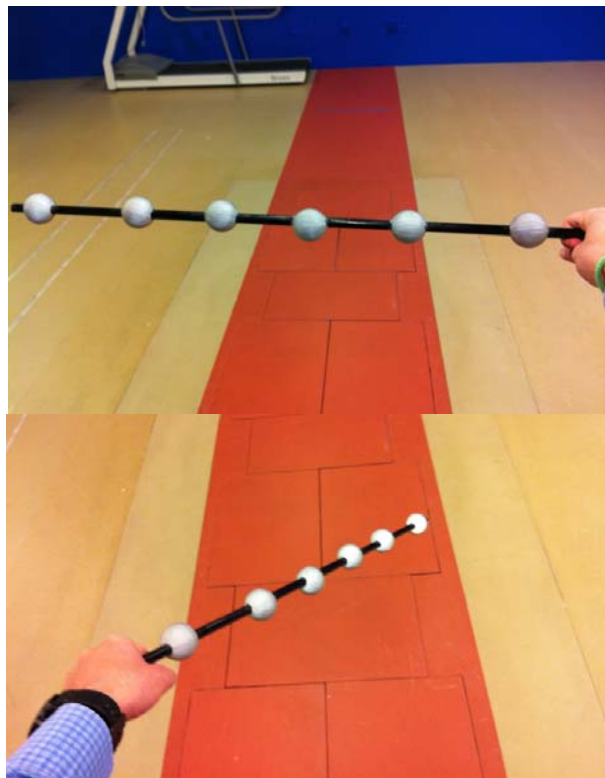




Figura 11: Mediciones en distintas configuraciones con el sistema de análisis de la marcha

Los resultados fueron los siguientes:

Todos los valores en mm

Distancia	CMM1	<i>Pseudo-incertidumbre</i>	CMM2	<i>Pseudo-incertidumbre</i>
Esfera 1-2	138,4	0,2	138,9	2
Esfera 2-3	109,0		108,8	
Esfera 3-4	109,8		110,7	
Esfera 4-5	116,8		116,2	
Esfera 5-6	130,8		130,7	

Tabla 2: Comparación de las medidas del prototipo en la CMM1 y CMM2.

Evidentemente los resultados obtenidos en la CMM2 tienen una incertidumbre mucho mayor, debido a que no es éste el objetivo de medición de los equipos. Pero sí muestra una correlación importante entre los resultados.

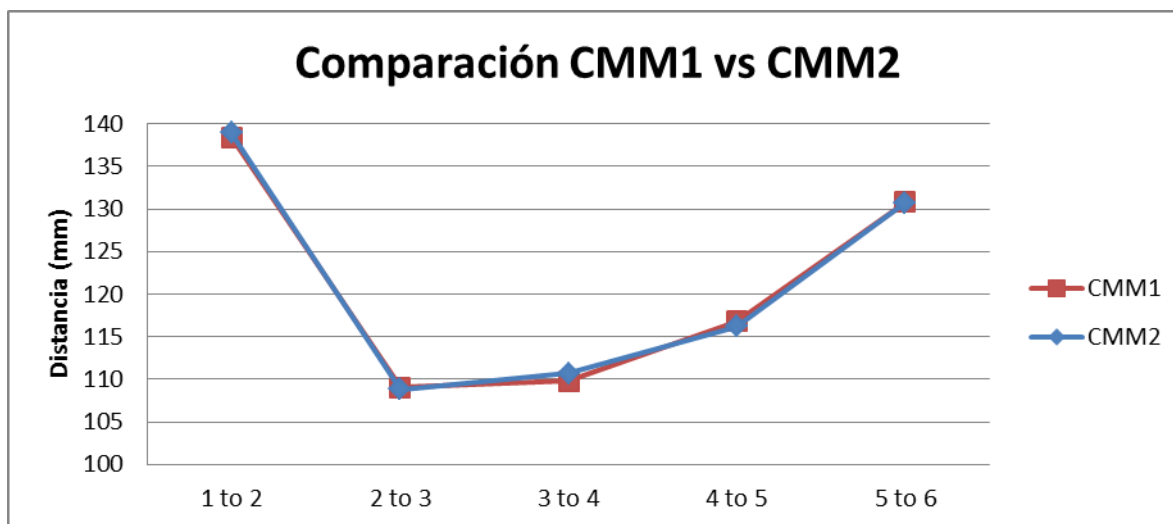


Figura 12: Comparación gráfica de los resultados.

Se observa que el diseño del patrón es muy adecuado para la comparación y trazabilidad entre los equipos. Como línea futura de este proyecto, se desarrollará la línea de calibración de la CMM2, sin más que construir un patrón de más precisión a utilizar con los dos sistemas y con trazabilidad.

4. CONCLUSIONES

Este procedimiento permitirá establecer una trazabilidad de los equipos de análisis de la marcha a patrones nacionales reconocidos.

Se asegurará así la calidad de las mediciones, y por tanto, un mejor diagnóstico o mejora del rendimiento en aplicaciones clínicas.

Una gran ventaja es la utilización de un patrón único en todos los equipos, lo que disminuye la incertidumbre.

Entre las posibles líneas futuras no cubiertas con este trabajo estaría la utilización de cámaras trazadas y técnicas fotogramétricas reconocidas, la incorporación de la electromiografía de superficie a los resultados de posición y ángulo.

5. REFERENCIAS

- [1] Cid-Ruzafa J, Damián-Moreno J. Valoración De La Discapacidad Física: El Índice De Barthel, *Rev. Esp. Salud Pública vol.71 n.2* Madrid Mar/Apr. 1997.
- [2] Yanguas Lezaun JJ. Análisis de la calidad de vida relacionada con la salud en la vejez desde una perspectiva multidimensional. *IMSERSO*, 2006. ISBN 8484460886, 372 páginas.
- [3] López de Subijana C, Juárez D, Mallo J, Navarro E. Biomechanical analysis of the penalty-corner drag-flick of elite male and female hockey players. *Sports Biomech.* 2010 Jun;9(2):72-8.
- [4] Robb AJ, Fleisig G, Wilk K, Macrina L, Bolt B, Pajaczowski J. Passive Ranges of Motion of the Hips and Their Relationship With Pitching Biomechanics and Ball Velocity in Professional Baseball Pitchers. *Am J Sports Med.* 2010 Aug 31
- [5] Ellenbecker TS, Ellenbecker GA, Roetert EP, Silva RT, Keuter G, Sperling F. Descriptive profile of hip rotation range of motion in elite tennis players and professional baseball pitchers. *Am J Sports Med.* 2007 Aug;35(8):1371-6.

- [6] Laudner KG, Moore SD, Sipes RC, Meister K. Functional hip characteristics of baseball pitchers and position players. *Am J Sports Med.* 2010 Feb;38(2):383-7. Epub 2009 Oct 1.
- [7] Dwelly PM, Tripp BL, Tripp PA, Eberman LE, Gorin S. *J Athl Train.* Glenohumeral rotational range of motion in collegiate overhead-throwing athletes during an athletic season. 2009 Nov-Dec;44(6):611-6.
- [8] Corbi Soler F. Biomecánica de las técnicas deportivas y del entrenamiento. *Lulu.com*, 2008 ISBN 1409239136, pag 90: 198
- [9] Gowitzke BA, Morris Milner. El cuerpo y sus movimientos: bases científicas. *Paidotribo*, 2000 ISBN 8480194189. Pag 304;342.
- [10] ISO/TS 15530-6 Geometrical Product Specifications (GPS) Coordinate measuring machines (CMM): Techniques for determining the uncertainty of measurement Part 6: Uncertainty Assessment Using Un-Calibrated Work Pieces and a Multiple of Measurement Strategies
- [11] ISO 10360-1: Geometrical product specifications (GPS) — Acceptance test and reverification test for coordinate measuring machines (CMM) Part 1: Terms and definitions
- [12] Lorente R, Sáenz-Nuño M.A; *Procedimiento de medición con la máquina "Brazo de Medición" a partir de piezas no calibradas*, Proyecto fin de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Técnico Industrial, especialidad Mecánica, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, 2011.
- [13] <http://www.meiga.info/escalas/VALORACIONFUNCIONALDELANCIANO.pdf> 5 agosto 2010.
- [14] Javier Cid-Ruzafa y Javier Damián-Moreno *Valoración De La Discapacidad Física: El Índice De Barthel*, Rev. Esp. Salud Publica vol.71 n.2 Madrid Mar./Apr. 1997
- [15] José Javier Yanguas Lezaun, *Análisis de la calidad de vida relacionada con la salud en la vejez desde una perspectiva multidimensional*. Ed Imsero, 2006.
- [16] F.P. Kendall y col. Ed Jims *Músculos: pruebas y funciones*, 1985.
- [17] Louis Mélenec *Valoración de las discapacidades y del daño corporal: baremo internacional de invalideces*. Ed. Elsevier España, 1996
- [18] C. Génot,. *Kinesioterapia: Evaluaciones. Técnicas pasivas y activas del aparato locomotor. Principios. Miembros inferiores Volumen 1 de Kinesioterapia: Evaluaciones, técnicas pasivas y activas del aparato locomotor. I Principios* Ed Editorial Médica Panamericana, 2005
- [19] *Fundamentos de Medicina de Rehabilitación*. Ed Editorial UCR. 2000.
- [20] Carol David *Rehabilitación reumatológica*. Ed Elsevier España, 2000
- [21] Ramón Suarez Gustavo. *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. Ed Funámbulos Editores. 2009
- [22] *Aplicaciones de la visión artificial y la biometría informática*. Ed. Librería-Editorial Dykinson, 2005

- [23] Rodrigo C Miralles Marrero, Iris Miralles Rull *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Ed. McGraw Hill- 2007 -
- [24] Amelia Ferro Sánchez *La carrera de velocidad: metodología de análisis biomecánico*. Ed Lib Deportivas Esteban Sanz, 2001
- [25] *Biomecánica Articular y sustitución protésica*. IBV- 1998.
- [26] López de Subijana C, Juárez D, Mallo J, Navarro E. *Biomechanical analysis of the penalty-corner drag-flick of elite male and female hockey players*. Sports Biomech. 2010 Jun;9(2):72-8.
- [27] Robb AJ, Fleisig G, Wilk K, Macrina L, Bolt B, Pajaczkowski *Passive Ranges of Motion of the Hips and Their Relationship With Pitching Biomechanics and Ball Velocity in Professional Baseball Pitchers*. J. Am J Sports Med. 2010 Aug 31
- [28] Ellenbecker TS, Ellenbecker GA, Roetert EP, Silva RT, Keuter G, Sperling F. *Descriptive profile of hip rotation range of motion in elite tennis players and professional baseball pitchers*. Am J Sports Med. 2007 Aug;35(8):1371-6.
- [29] Laudner KG, Moore SD, Sipes RC, Meister K. *Functional hip characteristics of baseball pitchers and position players*. Am J Sports Med. 2010 Feb;38(2):383-7. Epub 2009 Oct 1.
- [30] Dwelly PM, Tripp BL, Tripp PA, Eberman LE, Gorin S. *Glenohumeral rotational range of motion in collegiate overhead-throwing athletes during an athletic season*. J Athl Train. 2009 Nov-Dec;44(6):611-6.
- [31] Iris Miralles Rull. *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Ed Elsevier España, 2007
- [32] Harada T, Okajima Y, Takahashi H. *Three-dimensional movement analysis of handwriting in subjects with mild hemiparesis*. Arch Phys Med Rehabil. 2010 Aug;91(8):1210-7
- [33] Olsen M, Lewis PM, Waddell JP, Schemitsch EH. *A biomechanical investigation of implant alignment and femoral neck notching with the Birmingham Mid-Head Resection*. J Arthroplasty. 2010 Sep;25(6 Suppl):112-7. Epub 2010 Jul 15.
- [34] Figueroa AA, Polley JW, Figueroa AD. *Biomechanical Considerations for Distraction of the Monobloc, Le Fort III, and Le Fort I Segments*. Plast Reconstr Surg. 2010 Sep;126(3):1005-13.
- [35] Yoo YS, Tsai AG, Ranawat AS, Bansal M, Fu FH, Rodosky MW, Smolinski P. *A Biomechanical Analysis of the Native Coracoclavicular Ligaments and Their Influence on a New Reconstruction Using a Coracoid Tunnel and Free Tendon Graft*. Arthroscopy. 2010 Sep;26(9):1153-1161. Epub 2010 Apr 22.
- [36] R. Bajo Pesini, E. del Cojo Peces, I. Delgado García, J.P. Macías Pingarrón, A. Asencio Moreno y V. Luque Merino. *Manejo del dolor postoperatorio en artroplastia/artroscopia de rodilla en nuestro medio. Déficit de concurso del Servicio de Anestesiología*. Rev. Soc. Esp. Dolor [online]. 2010, vol.17, n.2, pp. 89-98. ISSN 1134-8046.
- [37] Ma. Virginia Rangel, Alba Peñarroya, Carles Ballús-Creus, Jordi Pérez. *Psychological Characteristics In Chronic Pain Patients And Pain Intensity*. 11 Congreso Virtual de Psiquiatría. Interpsiquis 2010.
- [38] Francisco Corbi Soler. *Biomecánica de las técnicas deportivas y del entrenamiento*. Ed Lulu.com, 2008 ISBN 1409239136, pag 90: 198

- [39] Barbara A. Gowitzke, Morris Milner. *El cuerpo y sus movimientos: bases científicas*. Ed Editorial Paidotribo, 2000 ISBN 8480194189. Pag 304;342.
- [40] Acero José et al. *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. Ed Funámbulos Editores, 2000 ISBN 958714306X, pag 125: 133 pag.
- [41] http://www.inef.upm.es/profesores/laboratorio_biomecanica.htm Facultad de ciencias de la actividad física y del deporte, Universidad Politécnica de Madrid. 2-09-2010
- [41] He J., Tian C. *A statistical smoothness measure to eliminate outliers in motion trajectory tracking*. *Human movement science*, 17(2), 189-200(12), April 1998.
- [42] Roy B Davis, Sylvia Ounpuu, Dennis Tyburski, James R Gage. *A Gait Analysis data collection and reduction technique*. *Human Movement Science* 10 (1991) 575-587
- [43] A. Martín Cejas. *LAS MATEMATICAS DEL SIGLO XX: UNA MIRADA EN 101 ARTICULOS S.L. NIVOLA LIBROS Y EDICIONES*. 9788495599032. Año 2000. Madrid.
- [44] Pohl MB, Lloyd C, Ferber R. *Gait Posture Can the reliability of three-dimensional running kinematics be improved using functional joint methodology?* 2010 Aug 21.
- [45] McMillan AG, Pulver AM, Collier DN, Williams DS. *Gait Posture Sagittal and frontal plane joint mechanics throughout the stance phase of walking in adolescents who are obese..* 2010 Jun;32(2):263-8.
- [46] Yanxin Zhang and Simon M. Hsiang. *A New Methodology for Three-dimensional Dynamic Analysis of Whole Body Movements*. ISSN 1750-9823 (print) *International Journal of Sports Science and Engineering* Vol. 02 (2008) No. 02, pp. 87-93
- [47] Ge Wua. Frans C.T. van der Helmb. H.E.J. (DirkJan) Veegerc. Mohsen Makhsouse. Peter Van Royf. Carolyn Angling. Jochem Nagelsh. Andrew R. Kardunai. Kevin McQuadej. Xuguang Wangk. Frederick W. Wernerl. Bryan Buchholzm, *ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine*. Letter to the editor. *Journal of Biomechanics* 35 (2002) 543–548
- [48] Ge Wua. Frans C.T. van der Helmb. H.E.J. (DirkJan) Veegerc. Mohsen Makhsouse. Peter Van Royf. Carolyn Angling. Jochem Nagelsh. Andrew R. Kardunai. Kevin McQuadej. Xuguang Wangk. Frederick W. Wernerl. Bryan Buchholzm, *ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand*. *Journal of Biomechanics* 38 (2005) 981–992
- [49] Idsart Kingma * , Michiel P. de Looze, Huub M. Toussaint, Hans G. Klijnsma, Tom B.M. Buijnen *Validation of a full body 3-D dynamic linked segment model*. *Human Movement Science* 15 (1996) 833-860
- [50] *Detección, rastreo y reconstrucción tridimensional de marcadores pasivos para análisis de movimiento humano*. Cinemed III. *Revista Ingeniería Biomédica* ISSN 1909-9762, volumen 3, número 6, julio-diciembre 2009, págs. 56-67