

## MEDICIÓN CUANTITATIVA DEL BALANCE Y EQUILIBRIO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE VIDEO EN SUJETOS QUE PRESENTAN DIFERENTE NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA

Álvarez Rojas, Yuly Andrea\*,  
Padua Dueñas, Jhon Jairo Andrés\*,  
Cárdenas-Martínez, Luisa Fernanda\*\*

### Resumen

La evaluación de la postura, el balance y el equilibrio se ha llevado a cabo por medio de diversas herramientas, unas disponibles en laboratorios clínicos, a las cuales solo algunas personas tienen acceso. Por otro lado, existen otras más accesibles basadas en la observación subjetiva. **Objetivo:** Cuantificar el desempeño de personas que presentan diferente nivel de actividad física en pruebas de balance y equilibrio. **Metodología:** Se evaluaron 15 mujeres y 10 hombres con edades entre los 15 y los 60 años, por medio de la prueba de equilibrio Single Leg Stance, revisada con herramientas de video y análisis computarizado de movimiento. **Resultados:** Se logró evidenciar que las personas con un nivel de actividad física vigorosa poseen una mayor estabilidad corporal en comparación con las personas que tienen un nivel de actividad física leve o moderado. **Conclusión:** La actividad física es un factor importante que contribuye en la mejora del balance y equilibrio.

**Palabras clave:** Equilibrio postural, evaluación, balance.

\* Programa Profesional en Entrenamiento Deportivo, Semillero de investigación en Entrenamiento Deportivo – Línea Actividad Física y Salud. Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá.

\*\* Docente Programa Profesional en Entrenamiento Deportivo, Grupo de Investigación y Medición en Entrenamiento Deportivo (IMED). Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá. Correo: lcardenas78@areandina.edu.co

## Introducción

El balance y el equilibrio son cualidades físicas esenciales en todas las etapas del proceso de vida y de vital importancia en el desarrollo de distintas actividades. El proceso que se desencadena en el momento en el que el cuerpo pierde su estabilidad por acciones que lo perturban requiere de una compleja interacción y sincronización del sistema nervioso y del sistema musculoesquelético. Desde la infancia, dicha complejidad se ve reflejada en el tiempo que tarda alcanzar un dominio adecuado del control de balance y el equilibrio en bípedo, el cual es de alrededor de dos años y habitualmente comprende el periodo entre los cuatro a los seis años de vida (Plandowska, 2007).

Desde que se adquiere la posición bípeda, la gran mayoría de actividades de la vida diaria se van a realizar en esta posición, por tanto, los seres humanos se ven expuestos al constante uso del equilibrio para realizar las actividades de forma más eficiente. Esta cualidad, como la mayoría de las capacidades o habilidades motoras del ser humano, presenta un deterioro con el paso de los años (Ferlinc, 2019). Este queda evidenciado en una disminución en las funciones de la sensibilidad y la posición del cuerpo —que se conoce también como la propiocepción—, la cual es clave para el desarrollo de los movimientos que determinan el equilibrio o balance. Por lo mismo, esta disminución en las funciones de la sensibilidad constituye un factor importante en el aumento de riesgo de caídas en el adulto mayor. De acuerdo con estadísticas mencionadas por Bauer et al. (2010), las caídas se han converti-

do en un problema de salud en el ámbito mundial. El 30 % de las caídas tienen consecuencias graves que culminan en lesiones que requieren atención médica. Además, estas lesiones se convierten en causa importante de mortalidad y morbilidad (Laurence et al., 2002).

En el ámbito deportivo, el equilibrio es un indicador de rendimiento y un predictor de riesgo de lesión, como se evidencia en diferentes artículos (Han et al., 2015). Esto se puede ver reflejado en la propiocepción del complejo articular del tobillo y el pie, en el que, en la mayoría de los deportes, esta es la única parte del cuerpo que tiene contacto directo con el suelo. Por lo anterior, este complejo es el encargado de proporcionar la información para la postura tanto del tren inferior como del superior, todo esto con el fin de ejecutar con éxito las acciones motoras complejas que se evidencian en el ámbito deportivo.

Existen distintas herramientas que permiten el análisis del equilibrio de manera objetiva y cuantificable. Una de estas es la posturografía. Por medio de este sistema computarizado, se puede valorar la estabilidad estática y dinámica de un sujeto. Además, arroja resultados relacionados con las habilidades usadas para el control postural (información vestibular, visual y sensorial). Esto se logra a través de una retroalimentación visual en pruebas del control voluntario de desplazamientos del centro de gravedad (Nashne et al., 1990). De acuerdo con Porto et al. (2020), basados en diferentes estudios realizados con anterioridad, la posturografía permite la evaluación de los ajustes que realiza el cuerpo

cuando pierde la estabilidad, lo que a su vez arroja resultados que pueden ser indicadores de condiciones relacionadas con distintas funciones motoras y sensoriales del organismo. En el ámbito clínico, la posturografía facilita información de los cambios que se pueden presentar en el control de la postura y el riesgo de sufrir una caída, que se desencadenan a causa de la senectud. Esta herramienta de evaluación del balance también permite comprender el impacto de ciertas enfermedades de los sistemas del organismo (nervioso, musculoesquelético) sobre la capacidad de equilibrio.

En la práctica diaria, un profesional del deporte necesita herramientas prácticas y accesibles con las cuales obtenga datos objetivos y reproducibles que le permitan plantear objetivos, planes de entrenamiento y seguimientos de forma confiable. Una prueba que se reconoce por su amplio uso y facilidad en la aplicación es la de equilibrio unipodal. Esta es de las más sencillas y permite medir el equilibrio estático en cualquier entorno con un mínimo de equipos o formación. Los resultados que arroja esta prueba se pueden asociar con afecciones en el sistema nervioso y, por ende, con el riesgo de sufrir caídas (Springer et al., 2007).

Dentro de las ventajas que tiene la evaluación utilizando equipos tecnológicos, se encuentra la alta fiabilidad en los resultados; sin embargo, el acceso cotidiano a estos equipos constituye una barrera para ser usado en procesos que no sean de élite. Por otro lado, los test convencionales brindan la posibilidad de ser aplicados en cualquier ambiente y, así mismo, están sujetos a la variabilidad

inter e intra evaluador. La evaluación convencional del balance y el equilibrio se ejecuta por medio de test físicos, que son fáciles de implementar; sin embargo, la información obtenida solamente está a expensas de lo que evaluador alcanza a observar. Lo anterior lleva a una alta subjetividad en los resultados de la prueba, que se reflejan en algunos estudios a través de un índice de kappa de 0,22 al realizar re-test; es decir, seguimientos o pruebas adicionales en una persona previamente evaluada (Cerdeira et al., 2008).

Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron 1) realizar una revisión bibliográfica de la confiabilidad, uso y accesibilidad de las baterías existentes para la evaluación del balance y el equilibrio; 2) proponer un protocolo de evaluación objetiva y accesible para cuantificar el balance y el equilibrio y 3) evaluar la herramienta propuesta en sujetos de diferentes grupos poblacionales.

## Metodología

### Muestra

La muestra del presente estudio fue a conveniencia. Participaron 15 mujeres y 10 hombres con edades entre los 15 y los 60 años. Esta fue una muestra ampliamente variada y de diversas ocupaciones. Como criterio de exclusión, se consideró tener algún tipo de discapacidad física o mental que dificultara la realización correcta del test.

Se contactó a personas a las que se les planteó el objetivo del estudio. En el momento de mostrar interés y decidir par-

participar en el estudio voluntariamente, se solicita firmar un consentimiento informado, que explica el proceso de captura de datos a través del test de balance y equilibrio, los posibles riesgos y el manejo de datos con fines académicos.

### **Instrumentos y procedimientos**

Se realizó una búsqueda de literatura con las palabras clave balance, postura, equilibrio, valoración, test y otras variables de estudio con base en los objetivos planteados. Este procedimiento se llevó a cabo en las bases de datos a las cuales se tiene acceso institucional (Pubmed, Scielo, entre otras).

En el trabajo de campo, inicialmente, se solicita a los participantes llenar dos formularios. El primero se pasó para la recolección de datos generales y, el segundo, para identificar los niveles de actividad física de los participantes. Para esto, se realizó el cuestionario IPAQ, versión corta. Ambos cuestionarios se plasmaron por formularios digitales para mayor practicidad tanto para los participantes como para la posterior recolección de datos.

#### ***Niveles de actividad física***

Existen diversas herramientas como cuestionarios de preparticipación que permiten estratificar los niveles de actividad física de un sujeto. En el presente estudio, se utilizó el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ), diseñado y validado por Craig et al. (2003). Este cuestionario cuenta con dos versiones, una larga que consta de 31 preguntas y su versión corta que se

reduce a 9 preguntas. El objetivo del formulario es clasificar la actividad física en cuatro niveles: vigorosa, moderada, leve y tiempo que el sujeto pasa sentado. Todas las preguntas se hacen con relación a los últimos siete días anteriores, lo que permite una clasificación de acuerdo con lo que una persona realiza en una semana común.

Por medio del cuestionario IPAQ es posible segmentar a los participantes en tres grupos. De acuerdo con su nivel de actividad física, se indaga si el sujeto cumple alguno de los criterios según la categoría: a) nivel bajo: no realiza ninguna actividad física (la actividad física que realiza no es suficiente para las categorías 2 o 3) b) nivel moderado: realiza tres o más días de actividad física vigorosa durante al menos 25 minutos por día, cinco o más días de actividad física moderada y/o caminar al menos 30 minutos por día, cinco o más días de una combinación de caminar y/o actividad de intensidad moderada y/o vigorosa, alcanzando un gasto energético de al menos 600 MET por minuto y por semana; c) nivel alto: realiza actividad vigorosa al menos tres días por semana alcanzando un gasto energético de 1500 MET por minuto y semana, siete o más días de una combinación de caminar y/o actividad de intensidad moderada y/o vigorosa, alcanzando un gasto energético de al menos 3000 MET por minuto y por semana.

#### ***Proceso de captura de videos***

Para la realización de la prueba de equilibrio One Leg Balance Test, se solicita al participante que tenga ropa ajustada de un color que preferiblemente contraste

con el color del fondo del espacio que se dispondrá para la realización de esta (ejemplo: fondo blanco, ropa negra), que cuente con dispositivo de video y un espacio adecuado (seguro). Por último, se indica cómo generar un pequeño marcador de un color que contraste con la ropa que se lleva puesta —será un círculo de aproximadamente 4 a 5 cm de papel o cualquier material práctico que se pueda pegar a la ropa—, este se ubicará en medio del pecho (cuerpo del esternón) y permite seguir la trayectoria durante la prueba (figura 1). El dispositivo con el que se realizará la grabación de la prueba se ubicará a una distancia de dos metros del sujeto, lo que permitirá que la imagen quede centrada. También se deberá corroborar que el dispositivo quede inmóvil, para evitar movimientos durante la grabación.

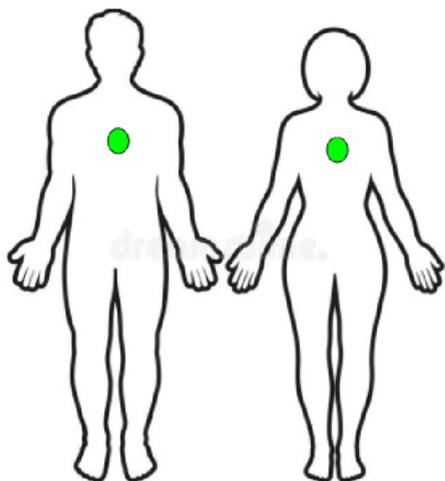
#### *Test de balance: One Leg Balance Test*

El evaluado deberá cerrar sus ojos y flexionar una de sus dos rodillas. Los

brazos deberán ubicarse a los costados del tronco y se deberá mantener el equilibrio en posición unipodal el mayor tiempo posible. La prueba finaliza cuando la pierna que estaba elevada toca el suelo o cualquier otra superficie de contacto. Cada sujeto realizará la prueba en tres intentos bilateralmente, además, este será grabado durante todo el test para el análisis posterior de los datos.

Para la ejecución de la prueba, el sujeto estará de pie frente a la cámara, descalzo, deberá flexionar una de sus piernas y cerrar los ojos, manteniendo esta posición por el mayor tiempo que le sea posible. La prueba finalizará cuando el participante pierda por completo el equilibrio, abra sus ojos, toque el suelo o cualquier otra superficie con la pierna que inicialmente tenía flexionada. La prueba se llevará a cabo bilateralmente (pierna derecha y pierna izquierda) por tres intentos por cada lado, descansando un minuto entre cada intento.

**Figura 1.** Imagen del marcador de trayectoria



### Proceso de marcación de trayectorias (kinovea)

Para el análisis de los datos inicialmente, se trasladaron los archivos de video al programa Kinovea. Allí se realizó la normalización de medidas de acuerdo con la estatura de cada participante. Luego, haciendo uso del marcador ubicado sobre el pecho, se ubica un marcador de posición que permite seguir la trayectoria durante toda la prueba y arroja una serie de datos para exportar en una hoja de Excel (figura 2) para su posterior análisis.

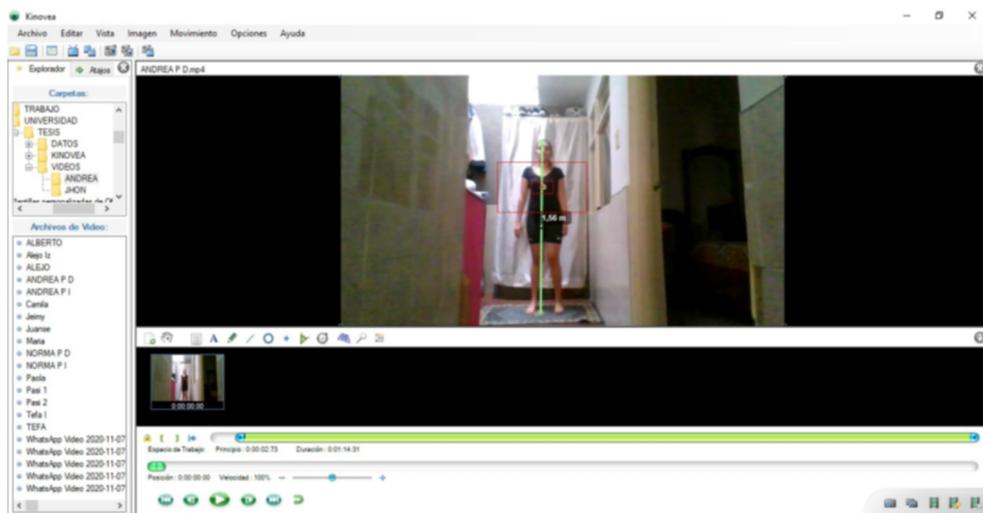
### Procesamiento y agrupamiento de los datos

Los datos se organizaron de manera individual, segmentando pierna derecha e izquierda. También se realizó una normalización de los datos en relación con la altura del marcador y la altura total de la persona, calibrando las mediciones de Kinovea en metros.

### Análisis espacial

El análisis espacial se encarga de estudiar de manera aislada los diferentes componentes del espacio (planos) y cómo y qué tanto cambian de posición las estructuras al interior de ellos, mediante herramientas que permiten medir el desplazamiento y la variación de posición (Soto et al., 2005). Inicialmente, se toman las gráficas arrojadas por la plataforma Kinovea, las cuales son coordenadas del movimiento en X, Y, y del tiempo transcurrido por cada cuadro por segundo de lo registrado videográficamente. Lo anterior con el fin de elaborar gráficas donde se plasmen los datos para su posterior análisis. Fue necesario determinar el punto 0. Este se logra tomando la primera coordenada que nos arroja en X, a este valor se debe restar la primera coordenada que nos arroja en Y, para el resto de los datos el proceso será similar: para cada coordenada arrojada en X, se restará el dato de la primera

Figura 2. Proceso de marcación de datos en Kinovea



coordenada que nos arroja en Y. Es importante tener en cuenta que este proceso se debe realizar por cada pierna (derecha e izquierda) separadamente.

### **Análisis temporal**

Posterior a la prueba y el procesamiento de los datos obtenidos con esta, es posible determinar el tiempo de ejecución y el tiempo de caída del sujeto. Lo cual es posible evidenciar por medio de las oscilaciones del marcador ubicado sobre el esternón. Estos datos permiten realizar una comparación entre los miembros de un mismo grupo y de estos mismos con los otros grupos.

### **Dominio del tiempo y la frecuencia**

Para comprender el funcionamiento del dominio de la frecuencia es necesario mencionar que esta se da al descomponer una señal compleja en la suma de señales mucho más simples. Este proceso se lleva a cabo diariamente en nuestro organismo cuando escuchamos algo. Inicialmente, el oído descompone esas señales auditivas por medio del caracol en frecuencias básicas y, a partir de esto, se elaboran señales que llegan al cerebro para su procesamiento final (Bobadilla et al., 1999).

Para mayor comprensión de este tema, la figura 3 servirá como apoyo didáctico. La señal en el dominio del tiempo (negra) se puede entender como la señal compleja o inicial que es descompuesta en tres señales de diferente amplitud y frecuencia. Estas se entienden como señales básicas o fundamentales (representadas por los colores amarillo, azul y rojo). Dichas señales en el campo de la

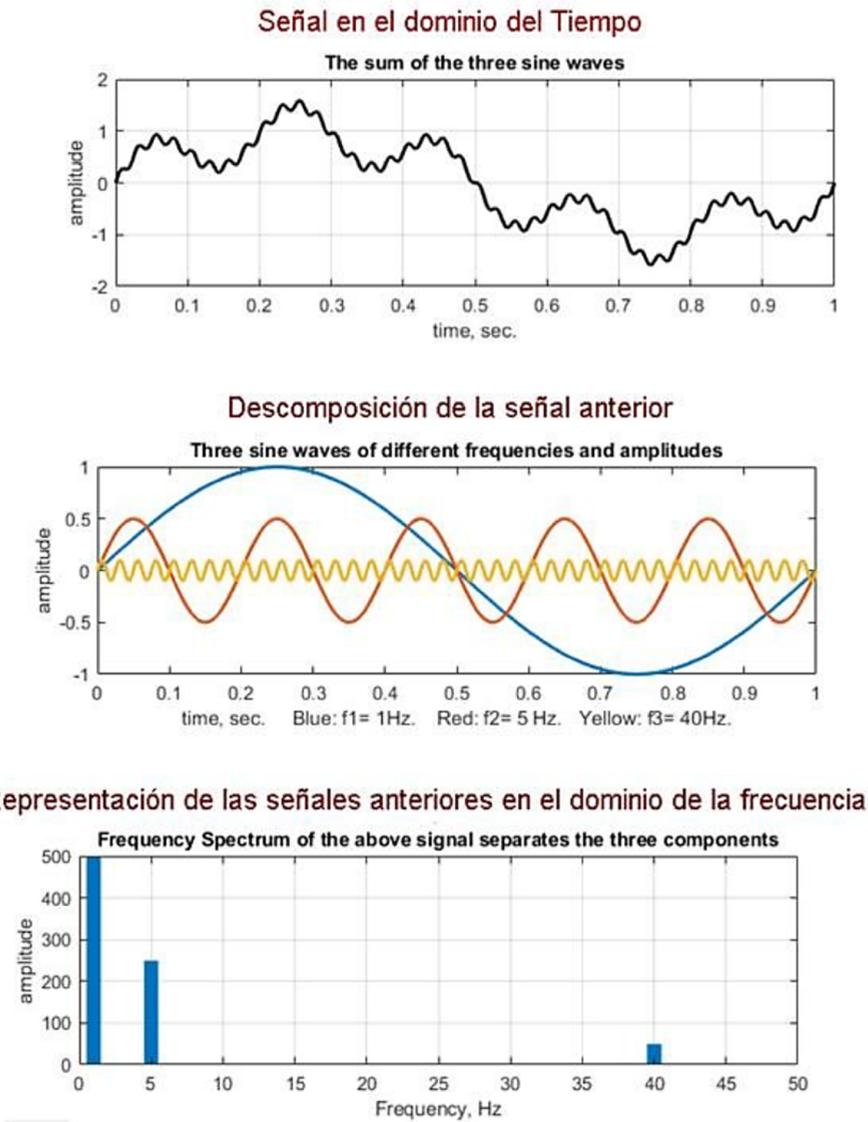
frecuencia están representadas por tres barras, en las que la altura de la barra corresponde a la potencia o amplitud, y su ubicación en el eje x corresponde a la frecuencia de la señal básica expresada en Hz. La suma de las tres señales expresadas en el dominio de la frecuencia da como resultado la señal compleja inicial.

Las fluctuaciones que genera el cuerpo no son aleatorias. Están estrechamente relacionadas con los sistemas del organismo que contribuyen al equilibrio: 1) visual, 2) vestibular, 3) cerebeloso y 4) propioceptivo. Cada uno de estos sistemas contribuye a generar dicha perturbación, como lo plantean Lin, et al. (2019). Estos autores identifican que cada sistema actúa en un rango de frecuencia determinada, como se puede ver en la imagen figura 3.

Dado lo anterior, las señales registradas por el movimiento se analizan inicialmente en el dominio del tiempo, pero, para identificar cómo aporta cada sistema en la ejecución de la prueba de equilibrio, se hace necesario trasladar estos datos al dominio de la frecuencia. Cabe aclarar que las señales emitidas no son periódicas. Estas no se repiten formando un ciclo, por el contrario, en cada momento o instante del tiempo se tiene una frecuencia diferente. Es esto lo que nos permite identificar en cada sujeto cuál sistema está contribuyendo en mayor grado.

Las gráficas obtenidas desde Kinovea permiten conocer con qué frecuencia oscila un punto en el espacio. En el caso de este estudio, el punto es el marcador ubicado sobre el cuerpo del esternón de cada sujeto evaluado. Al determinar a cuántos Hertz oscila ese punto, se pue-

**Figura 3.** Representación de una señal en el dominio del tiempo y de la frecuencia para mantener el equilibrio



**Fuente:** *Intro. To signal processing: Harmonic analysis.* (s/f). Umd.edu. Recuperado el 05 de mayo de 2021, de <https://terpconnect.umd.edu/~toh/spectrum/HarmonicAnalysis.html>

de determinar el sistema de balance que predomina en cada sujeto.

### Análisis estadístico

central y dispersión como la media y la desviación estándar. Finalmente, se utilizó el coeficiente de variabilidad (CV), que se expresa en porcentaje para su mejor comprensión.

114 Para el análisis de los datos, se utilizaron estadísticos descriptivos de tendencia

## Resultados

Los resultados se organizan en dos apartados. El primero corresponde a la revisión de la literatura relacionada con los equipos y mediciones utilizadas para la valoración del equilibrio, postura y balance. En segunda instancia, se muestran los hallazgos encontrados en las valoraciones realizadas a los sujetos participantes del estudio.

### Instrumentos y mediciones

#### *Instrumentos de laboratorio*

En cuanto a la revisión de la literatura sobre el balance y el equilibrio, se evidencian diversas herramientas para la evaluación de los componentes de la postura y el balance del ser humano. Entre ellas encontramos varias alternativas que difieren en el nivel de complejidad según el uso o no de implementos tecnológicos. Esto, a su vez, arroja una variedad en la presentación de los resultados y su fiabilidad. Las estrategias de evaluación más importantes se clasifican en las que se llevan a cabo en laboratorios con intervenciones de aparatos tecnológicos y las pruebas físicas que se pueden realizar en entornos más convencionales en los que no se requieren materiales o elementos de laboratorio. Entre los más destacados y reconocidos se encuentran diferentes estudios que abarcan la evaluación de la postura y el balance en los seres humanos. Estos se han llevado a cabo en laboratorios de biomecánica y algunos en centros más especializados específicos para lesiones músculo-esqueléticas. En estos ámbitos investigativos, se logra evaluar la esta-

bilidad postural mediante diversas herramientas, lo que arroja determinados resultados de acuerdo con la funcionalidad de cada una de estas.

#### *Sensores de inercia*

Cuando las evaluaciones se llevan cabo usando sensores inerciales, los datos que se recopilan son acerca de la aceleración y los ángulos de rotación del sujeto durante la ejecución de la prueba de equilibrio. Esto se obtiene mediante la incorporación de herramientas como acelerómetros, giroscopios y magnetómetros, (anexo 1a) (Lee et al., 2018).

#### *Placas de fuerza*

Las placas de fuerza son otra de las herramientas útiles usadas en la medición de la postura. En el estudio llevado a cabo por Cobb et al. (2014), se evaluó la postura del pie y el equilibrio, por medio de la posición estática sobre una sola pierna (pierna dominante), con ojos cerrados, los brazos cruzados sobre el pecho. Se llevó a cabo durante diez segundos por tres intentos. El evaluado debía permanecer en esta posición el mayor tiempo posible. La evaluación por medio de las placas de fuerza permite recolectar datos acerca del posicionamiento y velocidad del centro de presión (COP), y la estimación del tiempo que la persona tiene para hacer ajustes posturales antes de perder la estabilidad (anexo 1b).

Las herramientas mencionadas anteriormente han sido evaluadas simultáneamente por Lee y Sun (2018). Desde su postura, se pretendía corroborar los resultados arrojados por cada una. Para esta oportunidad, los sujetos realizaron cuatro posiciones diferentes para la evaluación, con el fin de analizar la varia-

bilidad de los resultados. Las pruebas para evaluar el equilibrio estático, se realizaron con ojos abiertos y cerrados, sobre ambos pies y sobre una sola extremidad. Los resultados que se obtuvieron en la placa de fuerza indicaron que los evaluados son más estables sobre ambas extremidades con los ojos abiertos. Con los sensores inerciales, se halló mayor estabilidad en la prueba con ojos cerrados sobre ambos pies.

#### *Estabilometría*

Esta herramienta permite analizar de manera cuantitativa el control postural y su relación con la estabilidad en posición de bípedo. Los resultados se basan en la posición del centro de gravedad de la persona determinado por la distribución de presiones plantares. Esto se logra a través de una plataforma de sensores de presión, en los que se registran las desviaciones en el CP (centro de presión). Posterior a su ejecución, se puede reconocer que, cuanto más alineado el cuerpo (anexo 1c), menos gasto de energía requiere para mantenerse en equilibrio, y que, cuanto menores son las oscilaciones del CP, mejor es la ejecución del control postural (Petrocci, 2011).

#### *Plataformas baropodométricas*

Estas plataformas analizan la presión plantar representada en la magnitud y distribución de la fuerza que se aplica a la superficie plantar. Se lleva a cabo en posición de bípedo estático (anexo 1d) o dinámico (marcha) (anexo 1e). Los resultados arrojados por estas plataformas permiten determinar afectaciones posturales o patologías propias de la zona plantar de los pies.

#### *Sistemas ópticos de captura movimiento*

Los sistemas para la captura de movimiento son aquellas técnicas de grabación de movimiento del cuerpo humano que capturan datos de espacio y tiempo, los cuales son representados digitalmente. Estos sistemas se componen por un *hardware* especial y un *software* de procesamiento de datos.

Los sistemas ópticos de captura movimiento usan diferentes sensores como cámaras 2D/3D para detección óptica (anexo 1f), sensores magnéticos con imanes permanentes y receptores de bobina para registrar cambios en el campo magnético, esqueletos mecánicos para rastreo directo de ángulos de articulación o basados en sensores inerciales como acelerómetros y giróscopos (Gómez et al., 2018).

#### *Redes de sensores inalámbricos para análisis movimiento*

Estas redes son grupos de múltiples sensores pequeños (anexo 1g), dispersos en un determinado espacio con un fin específico y que transmiten señales a cortas distancias. Estos sensores se encargan de la captura de datos. Dentro de este grupo de sensores, se encuentran los “nodo” o principales denominados “*sink*”. Estos son los que reciben la información de los otros sensores y permiten determinar la ruta para la transmisión de esta hacia la puerta de enlace (*gateway*) y luego al servidor principal de procesamiento (Campaña y Londoño, 2013).

#### *Mediciones por pruebas físicas*

A medida que avanzan la ciencia y la tecnología, se van conociendo más herramientas que permiten la evaluación

de las diferentes capacidades físicas; sin embargo, estas herramientas sofisticadas no son aún de libre acceso. Por ello, se debe recurrir a métodos moderados que, aunque no ofrecen los mismos resultados de un laboratorio, permiten una aproximación a la evaluación de una capacidad específica. Estas pruebas son las que convencionalmente se usan para realizar diagnósticos iniciales y llevar un control de la condición física de una persona. Algunas de las pruebas más conocidas son:

*La prueba de Romberg y Moritz Heinrich Romberg*

Es una prueba que por lo general se utiliza en consultorio. Esta tiene como objetivo la búsqueda de ataxia sensitiva como la causa sindrómica en pacientes que presentan desequilibrio o dificultad para la marcha (Cuauhtémoc et al., 2014). Moritz Heinrich Romberg fue un médico judío de Berlín, que publicó su libro de texto clásico acerca de las enfermedades neurológicas entre 1840 y 1846. En él empieza a hablar sobre el control postural y sus desequilibrios. Surge también en ediciones posteriores el signo de Romberg que valora la integridad funcional de toda la vía propioceptiva.

Para la ejecución de esta prueba se le pide al participante o paciente ubicarse de pie con los pies juntos, los brazos sueltos en los costados y los ojos abiertos. Luego, se pide al sujeto cerrar los ojos. Durante la prueba, se observa cualquier pérdida de balance y se compara con la que presentó con los ojos abiertos y cerrados. También son evaluados los grados de oscilación y la dirección de la articulación de las caderas, rodillas y, en general, del cuerpo entero (Cuauhtémoc et al., 2014).

[T4] Test específico para el equilibrio dinámico (Körper Koordinations Test für Kinder - KTK)

Es una prueba de coordinación corporal para niños, la cual permite identificar las capacidades individuales de integración sensorio-motoras. Para su realización son necesarias tres barras de equilibrio de 6, 4,5 y 3 cm de ancho cada una, 3 cm de altura y 3m de largo, así como un formato de registro. La prueba se realiza por tres intentos solicitando al participante en cada uno de los intentos caminar por encima de la barra, primero hacia adelante y luego de regreso hacia atrás (de espalda), y contar el número de pasos realizados en los tres intentos. Se cuentan los pasos realizados sin caer y hasta un máximo de ocho pasos en cada intento (Bustamante et al., 2008; Machado et al., 2018). Una de las ventajas de esta prueba es su fácil realización, pues es económica, no utiliza mucho equipo y no requiere de gran espacio. Sus desventajas están relacionadas con las manifestaciones en los sujetos durante el test. Además, son susceptibles a la interpretación/percepción del evaluador; el ambiente externo puede influir (promover distracciones) tanto en el desempeño del participante como en el del evaluador (Villalobos-Samaniego et al., 1994).

*Single Leg Stance*

Dentro de los instrumentos de medición observacional, también encontramos la prueba de Balance en una sola pierna (Single Leg Stance), SLS por su sigla en inglés. Se utiliza para evaluar la postura estática y el control del equilibrio (Whitney, 2013). Esta prueba se lleva a cabo sin zapatos, sobre una pierna, con los ojos cerrados, poniendo los brazos sobre

el pecho o la cadera y manteniendo esta posición el mayor tiempo posible. La prueba finaliza cuando se pierde el equilibrio, el pie que no estaba en contacto con el suelo cae o toca la otra pierna.

## Análisis de las valoraciones

### Valoración espacial del balance

#### Miembro inferior derecho

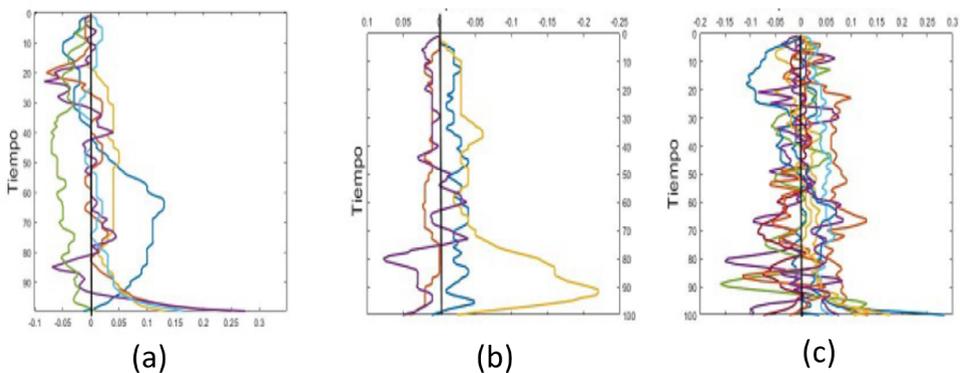
Para los sujetos con un nivel de actividad física leve (figura 4.a), el desplazamiento lateral que se evidenció presenta un comportamiento similar. Durante los primeros 40 segundos de la ejecución de la prueba, se presenta un gran rango de oscilaciones, lo cual hace referencia a los movimientos que se realizan para conseguir la estabilidad. Luego, se evidencia un lapso en el que las oscilaciones son más constantes hasta llegar al momento de pérdida total del equilibrio y, por consiguiente, a la finalización de la prueba. Para los sujetos con un nivel de actividad física moderada (figura 4.b), se evidenció un comportamiento con bajo desplazamiento, desde el inicio hasta el primer minuto. Luego, el aumento en la

amplitud de las oscilaciones, traducidas en los intentos por mantener, generan la pérdida total del equilibrio. Finalmente, para los sujetos con un nivel de actividad física intensa (figura 4.c), se evidencia una alternancia de amplitud con grandes picos de desplazamiento lateral durante toda la ejecución de la prueba. Estos movimientos permiten al sujeto continuar con la prueba, ya que no se ha perdido el equilibrio en su totalidad. Se evidencian movimientos alternos en ambos hemisferios durante toda la ejecución de la prueba.

#### Miembro inferior izquierdo

En los sujetos con un nivel de actividad física leve, las oscilaciones son ampliamente variadas en cada sujeto. Presentan picos de oscilaciones comparadas con las que se evidenciaron sobre el miembro inferior derecho en las que estas fueron un poco más constantes. Es evidente la dificultad para mantener el equilibrio de manera constante y la amplitud en el desplazamiento en el momento en el que se finaliza la prueba. Para la mayoría de los sujetos con un nivel de actividad física moderada, se observa una constante oscilación de baja amplitud de predomi-

Figura 4. Descripción espacial del balance de miembro inferior derecho.



nancia derecha, a excepción de un sujeto que sí presentó cambios y picos altos de desplazamientos laterales en ambos hemicuerpos. Para los sujetos con un nivel de actividad física intensa, el comportamiento es similar al del grupo moderado con la diferencia de que los picos de desplazamientos son mayores, de predominio unilateral. Este comportamiento concuerda con lo arrojado en las gráficas sobre miembro inferior derecho, en el que se evidencia mayor cantidad de intentos por mantener el equilibrio, lo cual podría traducirse en una mayor estabilidad sobre el cuello de pie (figura 5).

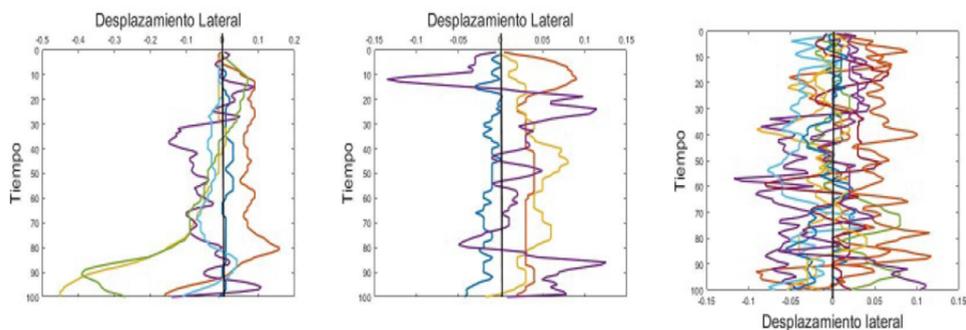
En cuanto al análisis numérico del desplazamiento espacial, Las gráficas en Boxplots permiten comparar la agrupación de la población por nivel de actividad física y el corrimiento a partir del punto 0 de la media de cada grupo (línea roja), así como su respectiva desviación estándar (figura 6).

Respecto al desplazamiento lateral miembro inferior derecho, encontramos que, para el grupo de actividad física leve, se percibe un cuartil mucho más amplio, en el que se dan desplazamientos

tos a partir del punto cero muy grandes a la derecha. Este grupo presenta la mayor variación en los resultados en comparación con los demás. Las personas que realizan actividad física moderada presentaron desplazamiento, en mayor medida, a partir del punto cero en dirección a la izquierda. Se visualiza una relación más cercana entre los datos, ya que el desplazamiento se da en coordenadas próximas, en su mayoría, al punto 0. En el grupo de actividad vigorosa, el desplazamiento se da, en mayor medida, a partir del punto cero en dirección a la derecha, con datos dispersos en esta misma dirección. Dentro de este grupo, los cuartiles son de menor medida.

Por su parte, el desplazamiento lateral miembro inferior izquierdo en el grupo de actividad física leve se identifica una amplia variación en los datos, en donde se dan desplazamientos a partir del punto cero muy grandes en dirección a la izquierda, también se encuentran en gran medida los datos dispersos por fuera de la media del grupo. Los sujetos con actividad física moderada muestran desplazamientos hacia la derecha con algunos datos dispersos en dirección

**Figura 5.** Descripción espacial del balance de miembro inferior izquierdo.



Fuente: Elaboración Propia.

contraria (izquierda). Finalmente, para el grupo con actividad física vigorosa, la gráfica evidencia un desplazamiento no muy variado, en el que los cuartiles son similares con desplazamientos en ambas direcciones, pero no muy alejadas en distancia al punto cero, lo cual indica un equilibrio más constante durante la prueba.

**Valoración temporal del balance**

*Miembro inferior derecho*

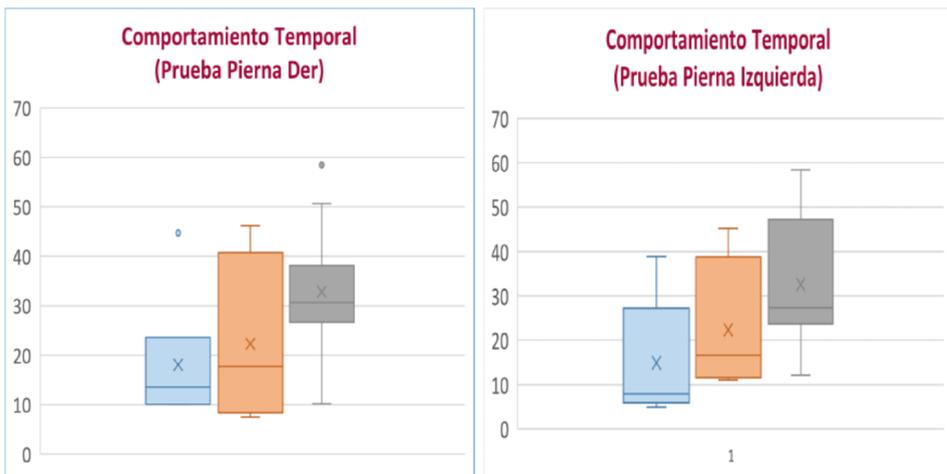
El comportamiento temporal de los grupos, se evidencia a través de la figura 7. Allí, de manera ascendente, se ve el tiempo que cada grupo se mantiene en equilibrio o en una búsqueda de este, para evitar la finalización de la prueba. Así, es evidente que el grupo leve dura menos tiempo en comparación con los otros dos grupos, mientras que el grupo de actividad física vigorosa tiene los resultados mayores en cuanto a tiempo de ejecución de la prueba. Esto se

traduce en que este grupo de personas (vigorosas) resiste por mayor tiempo la posición de equilibrio sobre la pierna derecha.

*Miembro inferior izquierdo*

Analizando los resultados arrojados para el comportamiento temporal sobre miembro izquierdo, se deduce que es similar en cuanto al comportamiento del miembro derecho, pues se evidencia, de igual modo, que el grupo leve es el que más rápido finaliza la prueba y el grupo vigoroso muestra los resultados más amplios en tiempo de prueba. No obstante, se evidencia un comportamiento especial para este miembro izquierdo, comparando los tiempos de duración de la prueba sobre el miembro inferior derecho que son más amplios para todos los grupos en comparación con la pierna izquierda. Esto quiere decir que, en general, para todos los grupos, sobre la pierna izquierda es más difícil mantener el equilibrio durante la prueba.

**Figura 7.** Comparación de la duración (seg) de la prueba efectuada, sobre pierna derecha e izquierda por grupos.



### *Análisis en el dominio del tiempo y la frecuencia*

Para comprender con mayor facilidad el análisis de las gráficas, se toma un ejemplo de cada grupo. Para el grupo de actividad física leve (figura 8a), se evidencian frecuencias entre 0 y 0,5, lo que significa que el equilibrio genera mayor cantidad de perturbaciones en el sistema visual y vestibular. Ello indica que no está generando mucha activación del sistema somatosensorial y propioceptivo. Para el grupo de actividad física moderada (figura 8b), se evidencia en mayor medida que los sistemas que más contribuyen son el visual y el vestibular. El sistema muscular, aunque contribuye menos, presenta un poco más de homogeneidad y es más constante en su activación en comparación con el de actividad física leve. Para el grupo con actividad física vigorosa (figura 8c), sucede algo más constante respecto a los demás grupos.

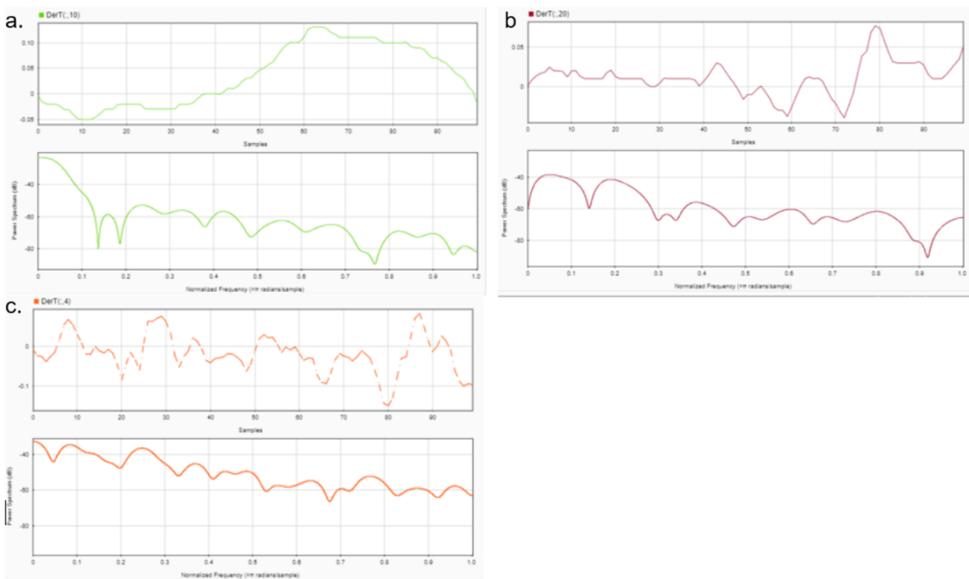
Se evidencia la activación de todos los sistemas de manera más invariable durante la ejecución de la prueba, por ello arroja curvas más cercanas a la periodicidad sin llegar a cumplir ciclos.

Finalmente, en la figura 8 se aprecian las gráficas de los tres grupos. Es más evidente la oscilación que presentan el grupo leve con respecto al moderado y al vigoroso. En las curvas naranja (grupo vigoroso), se denota un comportamiento más constante en el que intervienen la mayoría de los sistemas del equilibrio.

### *Miembro inferior izquierdo*

Para el análisis del miembro inferior izquierdo en el grupo de actividad física leve (figura 9), se evidencia mayor estabilidad en las oscilaciones donde la contribución de información se da en mayor medida por medio del sistema visual y, posteriormente, el sistema vestibular. El sujeto analizado en el grupo de acti-

**Figura 8.** Análisis en tiempo y frecuencia grupo de actividad Leve, moderada y vigorosa (curva media del grupo)



vidad física moderada arroja resultados con altas variaciones en la perturbación sobre el sistema visual principalmente y con poca participación del sistema somatosensorial. Las gráficas de los resultados del sujeto de actividad física vigoroso evidencian fluctuaciones de mayor activación en medidas más similares para los sistemas visuales y vestibulares en comparación con los otros grupos con una pequeña pero existente participación del sistema propioceptivo.

*Miembro inferior derecho.*

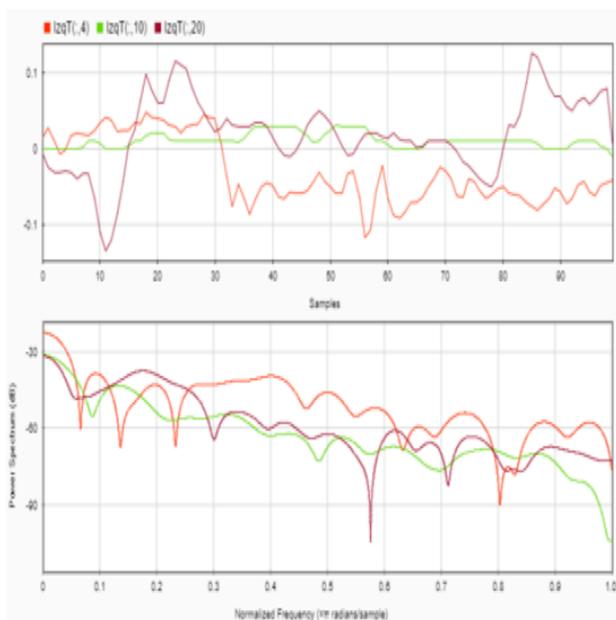
Contrario a lo evidenciado en las gráficas de la evaluación sobre el miembro inferior derecho, es posible apreciar las oscilaciones de los tres grupos sobre el miembro inferior izquierdo. Para esta extremidad se reflejan datos muy diferentes en todos los grupos, no existe la misma consistencia de oscilaciones; por el contrario, estas varían mucho, en el entendido de que sobre esta extremidad

se complica la estabilidad corporal. Sin embargo, sigue siendo evidente cómo en el grupo vigoroso (línea naranja) los sistemas contribuyen también de manera más uniforme en comparación con los otros grupos.

## Discusión

En un estudio realizado por Błaszczyk et al. (2020), se evaluó el control de la estabilidad postural en un grupo de 20 adolescentes femeninas por medio del cambio de la posición en bipedestación a la posición sobre una pierna (Single Test Stance). Se analizaron las trayectorias del centro de presión realizando el test con ojos abiertos y cerrados, descalzas sobre una plataforma de presión plantar. Para este estudio, se examinó el cambio en el control del punto de ajuste inicial hasta finalizar la prueba. Los resultados indican que existe un aumento en

**Figura 9.** Análisis en tiempo y frecuencia comparación por grupos



el balanceo casi cuatro veces mayor en la prueba con ojos cerrados en comparación con la prueba con ojos abiertos. Aunque nuestro estudio no haya analizado la prueba en dos condiciones (ojos cerrados y abiertos), los resultados son similares en cuanto a la inestabilidad que se genera por la ausencia del apoyo visual. Esto evidencia que por el medio visual reclutamos información que nos permite mantener el equilibrio.

Por otro lado, Kozinc et al. (2020) evaluaron las características del balanceo corporal en la posición sobre una sola pierna descalzos con ojos abiertos, en un grupo de bailarinas de ballet y un grupo de adultos sanos, sobre una plataforma de fuerza en la que se analizaron la velocidad y amplitud del centro de presión. Los resultados arrojaron una capacidad de equilibrio superior en los deportistas. Se encontró un comportamiento reducido en el balanceo corporal en comparación con el grupo de adultos jóvenes. Estos resultados dejan en evidencia que existen algunas características diferenciales en cuanto al control del balanceo corporal en poblaciones atléticas. Para este caso en específico, de acuerdo con lo mencionado por Golomer et al. (2000), estos deportistas se fundamentan en el sistema propioceptivo y en el control de la postura para la ubicación espacial en comparación con la población en general. Lo anterior se ve plenamente relacionado con los resultados obtenidos en nuestro estudio, ya que también es evidente que los sujetos del grupo de actividad física vigorosa poseen un control mayor de la postura en comparación con las personas de actividad física moderada y leve.

Otro estudio similar, llevado a cabo por Matsuda et al. (2008), en el que se compararon las características del balanceo postural en deportistas de diferentes modalidades como fútbol, baloncesto, natación y no atletas, atletas, por medio de plataforma de estabilometría, analizó las oscilaciones en diferentes direcciones y sus velocidades. Los resultados indican que los futbolistas tienen menor balanceo en comparación con el resto de los sujetos evaluados, lo cual indica que estos deportistas poseen una capacidad mejor desarrollada para mantener el equilibrio sobre una pierna.

## Conclusiones

Mediante las conclusiones se indican las ideas fundamentales a las que se ha llegado a través del trabajo o estudio realizado. Se comienza recordando el objetivo y a continuación se identifican las principales variables que, según lo investigado, estarían afectando al sector estudiado:

1. Actualmente son reconocidas distintas y variadas formas de evaluar las capacidades físicas de una persona. En cada una se encuentran objetivos específicos, para el caso concreto de la evaluación de la postura y el balanceo podemos encontrar herramientas de alta complejidad y fiabilidad que se encuentran por lo general en ambientes de laboratorios especializados o clínicas, por lo cual se hace necesario potenciar aquellas herramientas de fácil acceso que contribuyan al conocimiento con bases fiables que permitan obtener resultados coherentes.

2. En momentos en los que por medidas de bioseguridad se hace necesario el aislamiento, la creación de herramientas videográficas que permitan evaluar la postura contribuye y facilita la continuación de procesos físicos y deportivos.
3. El análisis de datos por medio del dominio del tiempo y la frecuencia permiten evidenciar de manera más precisa las oscilaciones con respecto al marcador (esternón). Al ser procesadas en frecuencia, se puede comprender qué sistemas contribuyen a la estabilidad postural. Lo anterior da como resultado en cada grupo de actividad física (leve, moderado y vigoroso) aproximaciones de la contribución, en su mayoría, de los sistemas visuales y vestibulares. Solo en el último grupo de actividad física vigorosa se encontró una activación más constante de todos los sistemas.

## Referencias

Bauer, C., Groger, I., Rupprecht, R., Tibesku, C., y Gasssmann, K. (2010). Reliability of static posturography in elderly persons. *Z Gerontol Geriatr*, 4(43), 245-248.

Błaszczuk, J. W., Fredyk, A., y Błaszczuk, P. M. (2020). Transition from double-leg to single-leg stance in the assessment of postural stability. *Journal of Biomechanics*, 110, 109982.

Bobadilla, J., Gómez, P., y Bernal, J. (1999). La transformada de Fourier. Una visión pedagógica. *Estudios de fonética experimental*, 41-74.

Camapaña B., S. E., y Londoño P., J. M. (2013, 6 6). Wireless sensor networks and related applications for collecting and analyzing biomedical signals. *Gerenc Tecnol Inform.*, 12(33), 85-99.

Caña-Pino, A., Apolo-Arenas, M. D., Moral-Blanco, J., Álvaro-de Diego, J., y Fernández Gutiérrez, C. (2015). Valoración del equilibrio postural en bipedestación-sedestación en sujetos sanos mediante acelerometría. Estudio piloto. *Fisioterapia*, 37(6), 271-278. doi:10.1016/j.ft.2014.12.004

Cerda L, Jaime, Villarroel Del P, Luis. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58. Doi: 10.4067/S0370-41062008000100008

Clark, R. C., Saxion, C. E., Cameron, K. L., y Gerber, J. P. (2010). Associations between three clinical assessment tools for postural stability. *North American journal of sports physical therapy*, 5(3), 122.

Cobb, S. C., Bazett-Jones, D. M., Joshi, M. N., Earl-Boehm, J. E., y James, R. C. (2014). The relationship among foot posture, core and lower extremity muscle function, and postural stability. *Journal Of Athletic Trainig*, 2(49), 173-180. Doi: 10.4085/1062-6050-49.2.02.

Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., ... & Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(8), 1381-1395.

Cuahtémoc, G.-P., y Álvarez-Solís, G. A. (2014). The Romberg test and Moritz Heinrich Romberg. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 15(1), 31-35.

Del Rosario, M. B., Redmond, S. J., y Lovell, N. H. (2015). Tracking the Evolution of Smart phone Sensing for Monitoring Human Movement. *Sensors*, 8, 18901-18933. Doi: 10.3390/s150818901

Ferlinc A, Fabiani E, Velnar T, Gradisnik L. (2019). The Importance and Role of Proprioception in the Elderly: a Short Review. *Mater Sociomed*, 31(3), 219-221.

- García, A. F., Varela, A. S., y Pérez, S. S. (2015). ¿Es posible reducir el tiempo de exploración en los estudios posturográficos? *Acta Otorrinolaringológica Española*, 66(3), 154-158.
- Golomer, E., y Dupui, P. (2000). Spectral analysis of adult dancers' sways: sex and interaction vision-proprioception. *International Journal of Neuroscience*, 105(14), 15-26.
- Gómez Echeverry, L. L., Jaramillo Henao, A. M., Ruiz Molina, M. A., Velásquez Restrepo, S. M., Páramo Velásquez, C. A., y Silva Bolívar, G. J. (2018, 05 20). Human motion capture and analysis systems: a systematic review. *Prospectiva*, 16(2), 24-34.
- Gribble, P. A., Kelly, S. E., Refshauge, K. M., y Hiller, C. E. (2013). Interrater Reliability of the Star Excursion Balance Test. *Journal of Athletic Training*, 48(5), 621-626. Doi: 10.4085/1062-6050-48.3.03
- Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., y Liu, Y. (2015, 10 25). The Role of Ankle Proprioception for Balance Control in relation to Sports Performance and Injury. *Biomed Res Int*. NCBI.
- Hrysmallis, C. (2012). Balance Ability and Athletic Performance. *Sports Medicine*, (41), 221-232.
- Kozinc, Ž., y Šarabon, N. (2021). Transient body sway characteristics during single-leg quiet stance in ballet dancers and young adults. *Journal of Biomechanics*, 115, 110-195. Doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.11019.
- Landis, J., y Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 74-195. Pub-Med. 843571
- Laurence Z Rubenstein, Karen R Josephson (2002). The epidemiology of falls and syncope: Falls and syncope in elderly patients. *Clin Geriatr Med*, 18, 141-158.
- Lee, C. H., y Sun, T. L. (2018). Evaluation of postural stability based on a force plate and inertial sensor during static balance measurements. *J Physiol Anthropol*, 37(1), 27. Doi: 1186/s40101-018-0187-5
- Macfarlane, D. J., Lam, T. H., y Stewart, S. M. (2011). Validity of the International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF): a systematic review. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 8, 115.
- Nashner, L., y Peters, J. (1990). Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. *Neurologic clinics*, 8, 331-349.
- Ortiz, G. P. (2020). *Visión artificial y computación para análisis de movimiento: ampliando el alcance del laboratorio*. Eventos Profesionales en Entrenamiento Deportivo.
- Petrocci, K. E., y Cárdenas Sandoval, R. P. (2011). Measurement of Postural Control Through Stabilometry- a Literature Review. *Revista Colombiana de Rehabilitación*, 10, 16-24.
- Plandowska, M., Lichota, M., y Górnjak, K. (2019). Postural stability of 5-year-old girls and boys with different body heights. *PLoS one*, 14(12), e0227119.
- Porto, C., Lemos, T., y Ferreira, A. S. (2020). Reliability and robustness of optimization properties for stabilization of the upright stance as determined using posturography. *Journal of Biomechanics*, 103.
- Rey, E. A., Pico, J. S., y Luengas, L. (2018). PIPLAB baropodometric platform. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 15(2), 139-149.
- Schmid, M., Conforto, S., López, L., Renzi, P., y D'Alessio, T. (2005). The development of postural strategies in children: a factorial design study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2, 29.

Shubert, T. (2011). Prescripción de ejercicio basada en evidencia para la prevención del equilibrio y las caídas: una revisión actual de la literatura, *34*(3), 100-108.

Soto, A. y López, L. (2005). *Análisis y síntesis en cartografía: algunos procedimientos*. Shirley Ryan Ability Lab.

Springer, B. A., Marín, R., Cyhan, T., Roberts, H., y Gill, N. w. (2007). Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, *30*(1), 8-15.

Verschueren, J., Tassignon, B., Pluym, B., Cutsem, J. V., Verhagen, E., y Meeusen, R. (2019). Bringing context to balance: development of a reactive balance test within the injury prevention and return to sport domain. *Archives of Physiotherapy*.

Villalobos-Samaniego, C., Rivera-Sosa, J. M., Ramos-Jiménez, A., Cervantes Borunda, M. S., Lopez Alonzo, S. J., y Hernández-Torres, R. P. (2020). Evaluation methods of static and dynamic balance in children aged 8 to 12 years old. *Retos*, (37), 793-801.

Wilhelmus, A. G. J., Sandberg, L., Ressenman, J., Diamantoglou, N., Johansson, E., y Rasmussen Barr, E. (2018). Reliability and validity of a novel Kinect-based software program for measuring posture, balance and side-bending. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *19*(6). Doi: 10.1186/s12891-017-1927-0

## Anexo 1. Equipos para la evaluación de la estabilidad y equilibrio



a. Sensores inerciales



b. Placas de fuerza



c. Plataforma de estabilometría.



d. Imagen plataforma de estabilometría portátil



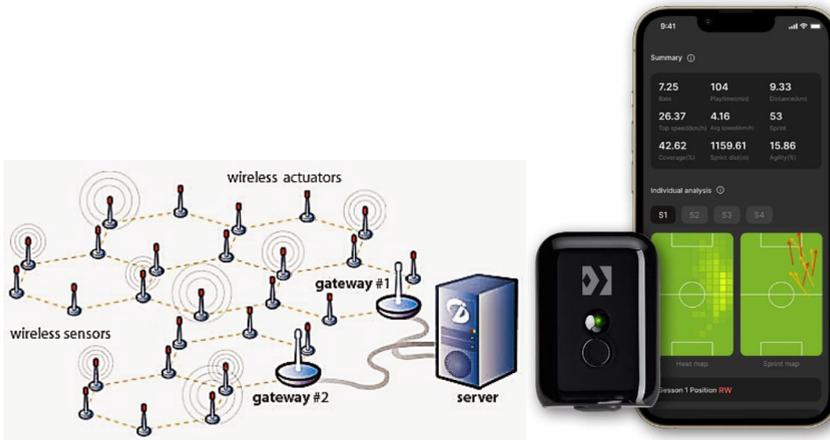
e. Plataforma baropodométrica



g. Sensor inalámbrico



f. Sistemas ópticos de captura movimiento.



g. Redes de sensores inalámbrico