



Prototipo De Plataforma De Estabilometría Para El Análisis Del Equilibrio Corporal.

G. Díaz, S. Mancilla

Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chiapas.

Resumen— El estudio estabilométrico permite relacionar la insuficiencia postural de una persona con patologías de su sistema osteomuscular, mediante el uso de una plataforma que mide el desplazamiento del centro de gravedad de su cuerpo con respecto a un origen en el centro de la plataforma. En este trabajo se presenta el diseño de bajo costo de una plataforma de estabilometría fabricada en aluminio y ocho celdas de carga montadas de forma distribuida, en cuatro bases de plástico. Las celdas se conectan a cuatro módulos HX-711 y un Arduino para conectarlo a una computadora y un entorno gráfico. La visualización de los datos se realiza con un entorno gráfico desarrollado en LabVIEW, con el cual se analiza la posición del centro de gravedad mediante el cálculo de 6 parámetros. Los datos y parámetros calculados se almacenan en una base de datos con MySQL para mantener un historial de pruebas del paciente. Se realizaron pruebas iniciales con personas, con y sin problemas de estabilidad y los resultados demuestran una sensibilidad de ± 4 mm en las variaciones en los parámetros X y Y, así como, valores bajos de QRBG en las personas con patologías de inestabilidad severa.

Palabras clave— Celda de carga, Coeficiente de Romberg, estabilometría.

I. INTRODUCCIÓN

El diagnóstico de patologías asociadas a deformaciones en la columna vertebral por el desempeño de las labores cotidianas es un problema de salud que afecta severamente a un trabajador. La normatividad nacional actual sobre las condiciones laborales de toda institución es de gran relevancia para asegurar que las patologías posturales se reduzcan durante el desempeño de las actividades de los trabajadores y estudiantes. El análisis de los trastornos en la postura y el equilibrio se lleva a cabo por diversos métodos, entre ellos, la prueba de Romberg, cuyos resultados son valores precisos que representan el desplazamiento de la proyección del centro de gravedad (CG) corporal sobre una superficie.

Se define como equilibrio a la alineación de tobillo, columna y cráneo de tal forma que se mantiene la estabilidad corporal en el centro de masa [1]. Estas alineaciones también son conocida como oscilaciones posturales y ayudarán a no sobrecargar otras partes importantes del cuerpo, que pueda provocar deformaciones o dolores severos. Álvarez del Villar [2], afirma que el equilibrio es la habilidad de mantener el cuerpo en posición erguida gracias a los movimientos compensatorios que implican la motricidad global y fina, en equilibrio estático o dinámico (esto es cuando el individuo está quieto o desplazándose, respectivamente). Las vértebras son un factor importante en el soporte de una persona y es el principal punto donde la sobrecarga afecta directamente y es base para iniciar una fisiopatología de postura, por ejemplo: tortícolis o torcimiento del cuello, lumbalgia, lordosis o joroba, escoliosis y miopatías.

El estudio de la oscilación postural se lleva a cabo con un examen de estabilometría estática computarizada que se basa en la prueba de Romberg realizada a una persona de pie, bajo condiciones controladas de perturbaciones, coordinando tres sistemas sensoriales: el vestibular, visual y somato-sensorial. La estabilometría estática utiliza una plataforma dinamo-métrica con una aplicación en computadora que registran la frecuencia y amplitud de las oscilaciones posturales del cuerpo con respecto a una postura vertical correcta en un tiempo aproximado de 51.2 segundos [3]. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas comerciales son: Prokin 254 [4] y ALFA [5]; los cuales tienen costo elevado (superior a los \$500,000.00 MXN) debido a la calidad del diseño, características y accesorios que incluyen. Estos sistemas soportan cargas de hasta 120 Kg con resolución de ± 0.1 Kg. Otros sistemas en desarrollo [6] son de menor costo (\$ 65,000.00 MXN), pero limitan su capacidad de carga a 90 Kg.

El examen permite el análisis basado en los siguientes parámetros: superficie (S) y longitud (L) de la plataforma, desviaciones laterales (X) y desviaciones antero-posteriores (Y) con respecto a un origen en el centro de la plataforma, longitud en función a las dimensiones de la superficie (LFS), varianza de la velocidad de desplazamiento (VFY), cociente o coeficiente de Romberg (QRBG), precisión central (CoP) que indica el centro donde el paciente debe pararse y las “transformadas de Fourier” que permiten analizar los “picos frecuenciales” de las oscilaciones posturales normales y anormales [7]. Esta información se representa mediante un trazo con las variaciones de posición con respecto al centro de gravedad.

II. METODOLOGÍA

El diagrama de bloques de la Fig. 1 muestra como está constituido el sistema propuesto.

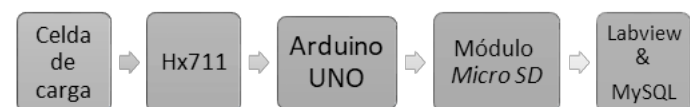


Fig. 1 Diagrama de bloque de la plataforma de estabilometría.

A. Plataforma con celdas de carga

Para formar la estructura inferior de la plataforma de estabilometría se usaron 4 bases de plástico con las mediciones indicadas en la Fig. 2, en cada una se colocaron las 8 celdas de carga de medio puente, 2 celdas por cada punto cardinal representado con las letras (A, B, C, D). Una celda de carga es un transductor de fuerza en señal eléctrica

mediante las galgas extensiométricas. La plataforma permite la medición de pacientes con peso máximo de 100 Kg.

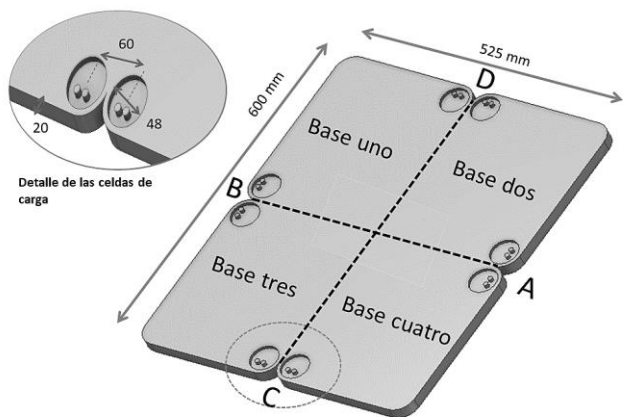


Fig. 2 Cuatro bases de plástico (delimitadas con las líneas punteadas) con las 8 celdas de carga correspondientes de la plataforma.

B. Bloque electrónico

Para registrar los cambios de resistencias en las celdas se usaron: cuatro módulos amplificadores de celda de carga HX711, una tarjeta Arduino UNO y un módulo de almacenamiento para microSD, mismos que se montaron en una caja de plástico. La cubierta de la base de la plataforma está hecha con aluminio de 0.71 mm de espesor y 600x530mm, para soportar el peso de los pacientes, tal como se muestra en la Fig. 3.

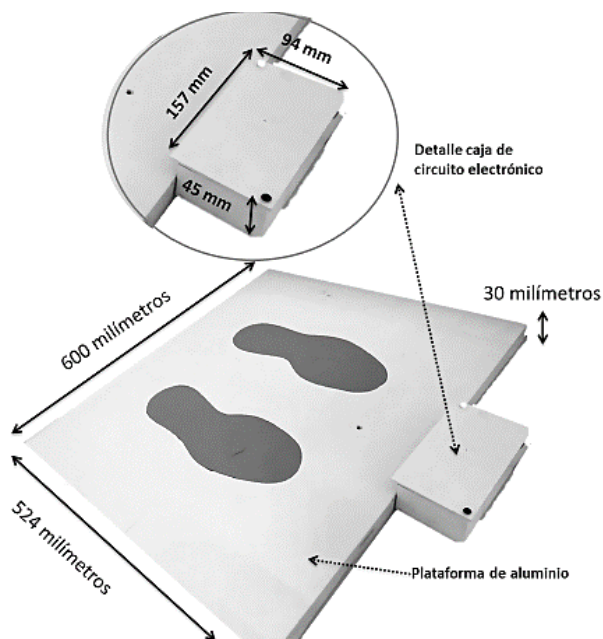


Fig. 3 Diseño exterior de la plataforma de estabilometría, con cotas en milímetros, la caja de circuito electrónico con los módulos HX711, Arduino y microSD.

El circuito se diseñó en una tarjeta PCB tal como se muestra en la Fig. 4.

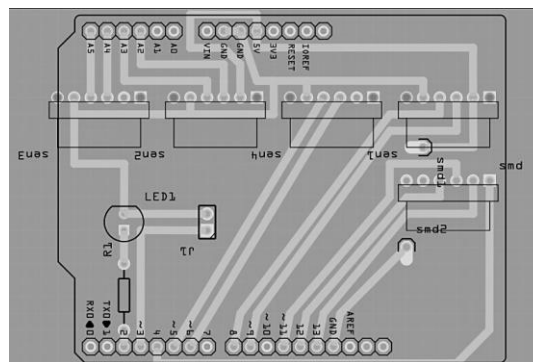


Fig. 4 Circuito electrónico de la plataforma de estabilometría

C. Interfaz gráfica

El procesamiento de datos se realiza con una aplicación usando el entorno LabVIEW y el módulo National Instrument-Virtual Instrument Software Architecture (NI-VISA). La aplicación cuenta con un inicio de sesión para el responsable de realizar la prueba, el cual registra: los datos del paciente, el diagnóstico preliminar del especialista y las observaciones que detecta el responsable al momento de iniciar la prueba. La captura de pantalla de esta etapa se muestra en la Fig. 5. La información recabada se almacena en la base de datos MySQL para mantener el registro del paciente, los resultados obtenidos durante todos los estudios siguientes y las estadísticas comparativos entre sesiones. Además, desde esta etapa se permite la impresión de un reporte final con el concentrado de la información mas importante del paciente, las cuatro pruebas de Romberg y la gráfica resultante.



Fig. 5 Interfaz gráfica de la plataforma de estabilometría, datos de los pacientes

El estudio estabilométrico comienza con la etapa de análisis sensorial en la cual se registran datos usando la plataforma estabilométrica. En la Fig. 6, se muestra la captura de pantalla de la interfaz estabilométrica donde se aprecia la gráfica principal con respecto a las oscilaciones de los centros de masa con respecto al origen de la plataforma. Este valor se expresa en unidades de fuerza (Newton) con un rango de 0 a 200 N. La curva tiene como eje x las unidades de tiempo expresadas en milisegundos. En el costado izquierdo se

observan los resultados del paciente con respecto a los test de Romberg, dichos resultados estan dados en porcentajes. Debajo de los resultados está la tabla de contenido de las muestras de las magnitudes de fuerza del paciente para futuras estadísticas. Las muestras y resultados de los test son guardados en un archivo .csv para mayor control y de fácil acceso a los datos.

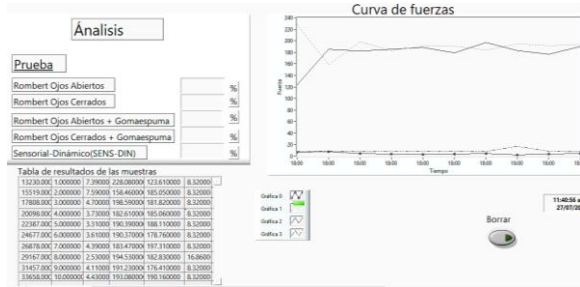


Fig. 6 Interfaz gráfica de la plataforma de estabilometría, análisis sensorial.

D. Valoración Sensorial

Las pruebas de la plataforma consisten en: Pruebas de Romberg con los ojos abiertos (ROA) y con los ojos cerrados (ROC) directamente sobre la plataforma; o bien con ojos abiertos (RGA) y ojos cerrados (RGC) sobre una superficie de gomaespuma para incrementar la dificultad en el equilibrio.

Las ecuaciones utilizadas para calcular las coordenadas del centro de gravedad (CG) son:

$$x = \frac{(B2+B3)-(B1+B4)\left(\frac{L=600\text{ mm}}{2}\right)}{F} \quad (1)$$

$$y = \frac{(B2+B3)-(B1+B4)\left(\frac{L=525\text{ mm}}{2}\right)}{F} \quad (2)$$

donde B1, B2, B3 y B4 son los pesos correspondientes a los sensores de las bases correspondientes; y F es la sumatoria de las celdas de carga. A partir de los cuales se saca el promedio de ambos para obtener los puntos adecuados.

El QRBG se calcula con las expresiones siguientes:

$$QRBG\ normal = \frac{ROC}{ROA} * 100 \quad (3)$$

$$QRBG\ sobre\ goma\ espuma = \frac{RGC}{RGA} * 100 \quad (4)$$

usando las variables correspondientes de cada condición [8]. Los valores del QRBG pueden ser tres: si el QRBG>100 el individuo tiene mayor estabilidad con los ojos abiertos, si el QRBG<100 se trata de una mayor estabilidad con ojos cerrados o si el QRBG≈100 el individuo es ambliope (que tiene la misma estabilidad con ojos abiertos que con ojos cerrados) [9].

Al iniciar la valoración se realiza la calibración de los sensores mientras el paciente se para derecho sobre las marcas de la plataforma, con los brazos sueltos a los costados

mientras mira un punto fijo por un lapso de 30 segundos. Enseguida se baja de la plataforma mientras se almacenan los datos en la memoria SD. Posteriormente se repite el proceso pero con los ojos cerrados.

III. RESULTADOS

Se realizaron pruebas con 3 alumnos de la Universidad Politécnica de Chiapas con edades de 20, 21 y 22 años. La selección de población para las pruebas realizadas se obtuvo con una encuesta para encontrar a personas con problemas de columna, cadera, cuello y tobillos. Posteriormente se hicieron pruebas para obtener las muestras de los desplazamientos del centro de gravedad de cada persona con respecto al centro de la plataforma. Las mediciones correspondientes de los desplazamientos de cada sujeto con respecto a x y con respecto a y se utilizaron para calcular los coeficientes QRBG que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1

PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE TRES SUJETOS DE PRUEBA EXPRESADO EN MILIMETROS CON 3 CIFRAS SIGNIFICATIVAS. LOS CUATRO PRIMEROS VALORES SE EXPRESAN EN mm Y LOS DOS ULTIMOS EN COEFICIENTES.

SUJETO	MEDIA	ROA	ROC	RGA	RGC	QRBG _{Normal}	QRBG _{sobre goma espuma}
1	X	4.580	2.935	2.589	1.856	64.083	71.688
	Y	4.356	2.808	2.456	1.424	64.467	87.459
2	X	10.296	10.569	10.596	10.963	102.652	103.464
	Y	10.369	10.963	10.856	10.990	105.729	101.234
3	X	10.599	10.296	10.856	10.569	97.512	97.356
	Y	10.563	10.369	10.856	10.122	98.163	93.239

Los coeficientes de Romberg realizados para los tres sujetos y calculados con la fórmula (3) están graficados en la Fig. 7.

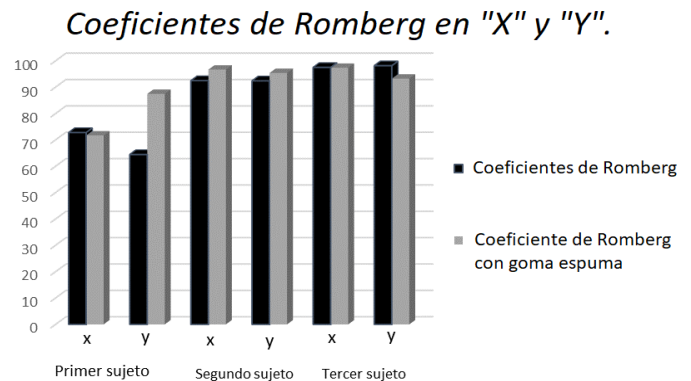


Fig. 7 Pruebas de Romberg de tres sujetos

Las gráficas de radar de los tres sujetos que se obtuvieron con los test de Romberg, indicando a los sujetos con y sin problemas en cadera y columna con estilos de línea distintos, tal como se muestra en la Fig. 8.

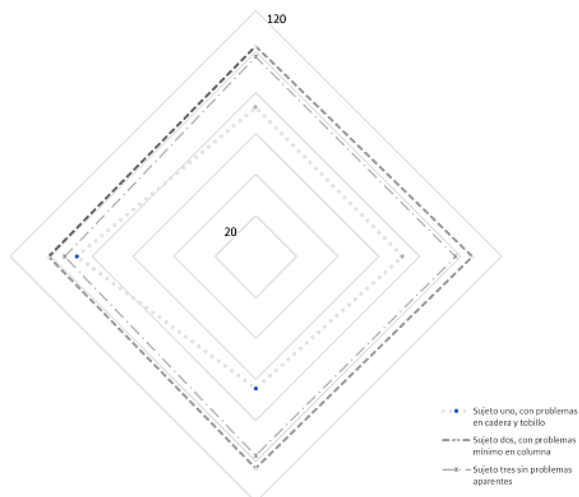


Fig. 8 Gráfica radar de la relación de los coeficientes de Romberg. Cada rombo concéntrico en la grafica representa incrementos del 20.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos entre personas con y sin problemas (en columna, cuello, cadera y tobillo) presentan diferencias importantes al compararlos contra los coeficientes ideales de Romberg, ya que las personas con patologías asociadas obtienen un menor porcentaje que las personas sin patologías. Esta diferencia se debe a que el cuerpo del paciente tiene que realizar movimientos inconscientes y poco notorios para poder mantener su equilibrio en el tiempo de prueba e incluso en ciertos puntos de las curvas se mantuvieron constantes. El sistema detecta oscilaciones inferiores a 4 mm en ambos ejes aun cuando el sistema demostró que la oscilación más frecuente se presenta sobre el eje x .

Los tres sujetos presentaron resultados distintos, puesto que el sujeto uno obtuvo coeficientes muy bajos, dando a conocer que tiene problemas con la estabilidad, al contrario del sujeto dos, que tiene coeficientes mayores a 100, lo que indica que tiene mejor equilibrio con los ojos cerrado. El sujeto tres es ambliope, esto es que no tiene alteraciones en el equilibrio.

Este sistema es uno de los primeros intentos que se implementan para mejorar esta problemática. Dos ventajas importantes que se pueden resaltar de la propuesta son: el uso de materiales de bajo costo y fáciles de comprar favorecieron que la plataforma tenga un costo menor a \$4,000.00 MXN para pacientes con pesos menores a 100 Kg. De modo que el sistema es accesible para médicos, clínicas de fisioterapia, deportistas de alto rango e instituciones de educación superior que aspiren/cuenten con certificaciones de calidad.

Una mejora realizada en el hardware de Arduino fue la incorporación de un lapso adicional inicial de 10 segundos para permitir que los sujetos se acomoden en la plataforma de forma correcta debido a que el sistema registraba información que genera ruido en las mediciones. Una mejora adicional que está en proceso de incorporarse al sistema es el uso de conexiones inalámbricas para mantener actualizado el

expediente del paciente a través del uso de tecnologías de la información.

V. CONCLUSIÓN

La plataforma de estabilometría es una herramienta útil que ofrece múltiples beneficios para la evaluación, diagnóstico, tratamiento y seguimiento de población con problemas para caminar o subir escalones, embarazadas, personas obesas y diabéticos con lesiones en el pie y pierna. La inclusión de la estabilometría en el estudio y tratamiento permite: conocer el grado de alteración funcional del equilibrio, aportar pautas para posteriores diagnósticos, identificar patrones de rehabilitación y monitorear la evolución del paciente. Este proyecto busca incentivar al profesional de la salud, a utilizar sistemas tecnológicos de última generación, permitiéndole cuantificar y mejorar sus procesos de análisis y evaluación fisioterapéutica.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimiento al Dr. José Octavio Vázquez Buenos Aires, el apoyo recibido del proyecto PRODEP DSA/103.5/16/10926, y a la ayuda del Centro de Rehabilitación Infantil Teletón Chiapas

BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. Rodríguez Pérez, A. L. (2007). Tratamiento y valoración del equilibrio mediante estabilometría en jugador de baloncesto en silla de ruedas. A propósito de un caso. Elsevier, 1-7.
- [2] Rodríguez, J. L. (12 de 04 de 2015). Coordinación y equilibrio. Recuperado el 28 de 11 de 2016.
- [3] Gianikellis, K.; Pantrigo, J.J.; Tena, J.A. (2003). Diseño y desarrollo del paquete informático "Biomsoft" que permite realizar análisis biomecánicos y evaluación de la motricidad humana normal y patológica. En las actas de la 1ª Conferencia Internacional Sobre Deporte Adaptado, pp.: 389394. Málaga España. ISBN: 84 88718349.
- [4] ProKin 254P, Technobody(13 de Septiembre de 2017). Obtenido de <http://tecnobody.it/>
- [5] ALFA Balance Platform(13 de Septiembre de 2017). Obtenido de <http://www.arinateb.com/med/alfa-balance-platform>
- [6] Dias, Jonathan Ache, Borges, Lucas, Mattos, Daniela Junckes da Silva, Wentz, Marcelo Diederichs, Domenech, Susana Cristina, Kauffmann, Philippe, & Borges Junior, Noé Gomes. (2011). Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation. Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, 13(5), 367-372.
- [7] Bricot, B. (03 de 12 de 2016). Escoliosis y sistema postural. Revista IPP. Recuperado el 02 de Diciembre de 2016
- [8] Cuesta López, Luisa Fernanda, & Lema Calidonio, José Daniel. (2009). "CGMED": Diseño Y Construcción De Plataforma Para Determinar Posición Del Centro De Gravedad En Bipedestación. Revista Ingeniería Biomédica, 3(6), 26-36.
- [9] Paloma Escudero, A. G. (2013). Procesamiento de señales de estabilometría. Memorias Del Segundo Concurso De Investigación, Desarrollo E Innovación Tecnológica Idit 2013 , 1-6.