

# Evaluación del registro y transmisión de señales electromiográficas mediante un dispositivo inalámbrico

J. Estévez-Piorno<sup>1,2</sup>, M. Ràfols-de-Urquía<sup>1,2</sup>, A. Torres<sup>1,2,3</sup>, L. Estrada<sup>1,2,3</sup>, R. Jané<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Institute for Bioengineering of Catalonia (IBEC), Barcelona, España

{jestevez, mrafols, atorres, lestrada, atorres, rjane}@ibecbarcelona.eu

<sup>2</sup>Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) – Barcelona Tech, Barcelona, España

<sup>3</sup>Biomedical Research Networking Center in Bioengineering, Biomaterials and Nanomedicine (CIBER-BBN), España

## Resumen

*Los dispositivos vestibles son aquellos dispositivos que se incorporan a piezas de ropa u otros accesorios que se puedan llevar cómodamente en el cuerpo. Estos dispositivos funcionan habitualmente mediante la comunicación inalámbrica. Esta comunicación consiste en la transmisión de información entre dos o más puntos que no están conectados mediante un conductor eléctrico. Shimmer es un dispositivo multisensor vestible con unas prestaciones muy altas que lo diferencian de otros dispositivos y que permite de una forma simple la medida de parámetros cinemáticos y fisiológicos que pueden ser capturados y visualizados en tiempo real. Sin embargo, estos dispositivos pueden presentar pérdidas de datos durante la adquisición de señales biomédicas. En este estudio se ha evaluado la pérdida de datos durante la adquisición de señales cinemáticas y fisiológicas. Se han realizado registros electromiográficos de músculos esqueléticos usando las distintas vías de registro y configuraciones que ofrece el dispositivo. Los registros se han realizado en un sujeto sano. Se ha observado que a medida que se incrementa la frecuencia de muestreo y a un mayor número de canales, la cantidad de pérdidas aumenta. En general, a una frecuencia de muestreo de 512 Hz el dispositivo Shimmer es capaz de obtener señales sin pérdidas sin importar la vía de registro utilizada.*

## 1. Introducción

La medida de señales bioeléctricas por medio de electrodos superficiales es hoy en día una práctica común en el ámbito de la medicina y el deporte, tanto para el diagnóstico clínico, como para la investigación o la asistencia clínica y deportiva. Al tratarse de señales de baja amplitud, se requieren equipos instrumentales de amplificación y filtrado que permitan acondicionar las señales de interés para luego ser estudiadas. En general, dichos sistemas requieren cables y una fuente de alimentación, lo que dificulta la monitorización de parámetros en entornos reales fuera del ambiente de laboratorio. En los últimos años, gracias al desarrollo de la tecnología inalámbrica, un gran número de dispositivos médicos han sido diseñados con un gran potencial para la adquisición de señales fisiológicas. Muchos de estos dispositivos no se consideran tan robustos como los equipos de adquisición convencionales. En el presente trabajo han sido adquiridas señales electromiográficas (EMG) y electrocardiográficas

(ECG), además del movimiento respiratorio de baja frecuencia utilizando un dispositivo inalámbrico. Estos dispositivos poseen la ventaja de ser ligeros y de pequeña dimensión permitiendo registrar distintas señales de origen fisiológico. Sin embargo, los dispositivos móviles e inalámbricos pueden presentar pérdidas de información durante el registro y transmisión de datos [1].

El objetivo de este estudio es la evaluación de la pérdida de datos del dispositivo Shimmer a distintas configuraciones y usando las diferentes vías de registro. Para ello se pretende evaluar y cuantificar la fiabilidad de registro de las distintas vías de adquisición a partir del número de muestras grabadas. Los resultados del presente estudio se utilizarán en un estudio posterior en el que se evaluará el dispositivo Shimmer para el registro de la señal electromiográfica del músculo diafragma

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Dispositivo Shimmer3

La evaluación de pérdida de datos se ha realizado usando un dispositivo Shimmer3 (Shimmer Research Ltd, Dublin, Ireland). Este dispositivo ofrece la medida de parámetros cinemáticos, fisiológicos [2, 3]. Esta plataforma almacena los datos registrados de tres formas distintas: (1) en una tarjeta SD interna, (2) en un ordenador mediante su software propietario (Consensus) donde los datos se transmiten vía Bluetooth® y en un dispositivo Android®, mediante la aplicación ShimmerCapture. Este sistema también ofrece la posibilidad de registrar a diferentes frecuencias de muestreo (desde 51.2 Hz hasta 2048 Hz).

### 2.2 Registro de señales electromiográficas

El protocolo de evaluación de pérdida de datos se ha realizado a un sujeto masculino sano de 23 años y de condición física normal. Este protocolo se ha realizado tras ser aprobado por el Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC) y tras firmar un acuerdo de participación con el sujeto.

Para evaluar la pérdida de datos los registros de ensayo se han llevado a cabo de la forma más realista posible. Por ello, se han conectado los dos canales EMG del dispositivo a dos músculos antagonistas (bíceps y tríceps brachii) del sujeto mediante electrodos EMG de superficie. Se han seleccionado estos dos músculos por su fácil y estandarizado proceso de adquisición, ya que lo importante

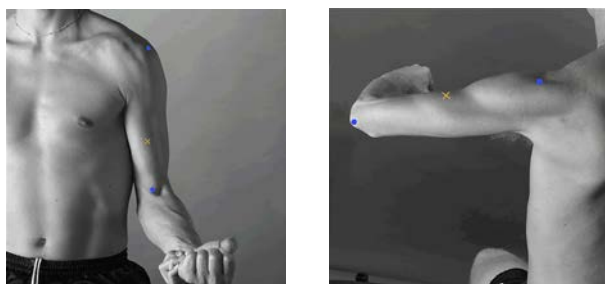


Figura 1. Ubicación de los electrodos superficiales EMG: Biceps (izquierda) y tríceps braquial (derecha). Tomado de [www.seniam.org](http://www.seniam.org)

de este estudio no es el tipo de señal registrada, sino evaluar si existen pérdidas de datos en el registro.

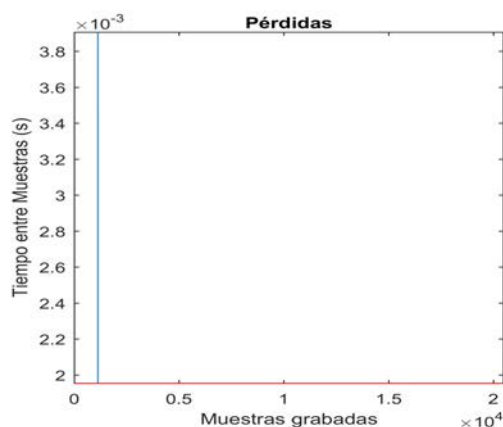
La colocación de los electrodos (Figura 1) [4] se ha realizado siguiendo las recomendaciones del SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the NonInvasive Assessment of Muscles), proyecto europeo cuya finalidad es unificar una metodología en la colocación de los electrodos para el registro de EMG y el posterior procesado de las señales eléctricas.

Para que la impedancia de la piel sea baja y conseguir así una señal de mejor calidad, se exfolia la piel con un gel abrasivo para medidas de potenciales y posteriormente se limpia la zona con alcohol. También se aplicó un gel conductor en el electrodo para mejorar su conductividad.

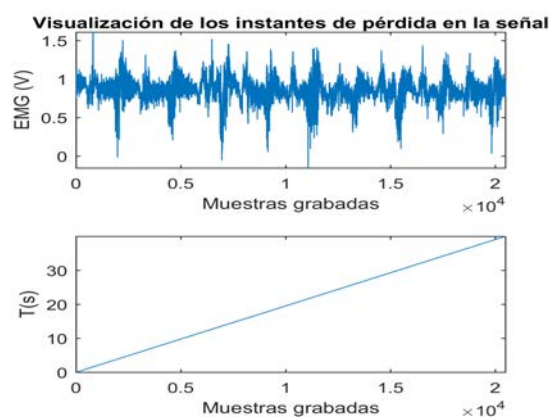
Este protocolo se ha realizado a dos niveles: usando dos canales EMG de registro y usando dos canales EMG y el acelerómetro (Wide Range Accelerometer o Low Range Accelerometer). Estos dos niveles han sido registrados a diferentes frecuencias de muestreo (512 Hz, 1024 Hz y 2048 Hz) y con las tres vías de registro que ofrece Shimmer3. Se ha usado el Wide Range Accelerometer (WRA) para registrar guardando los datos directamente en la tarjeta SD y y para registrar los datos en un PC, mientras que se ha usado el Low Range Accelerometer (LRA) para registrar los datos en un dispositivo móvil. En total, por lo tanto, se han realizado 18 registros de duración variable. Para el registro mediante un dispositivo móvil Android vía Bluetooth se ha utilizado un Sony Xperia M2.

### 2.3 Evaluación de la pérdida de datos

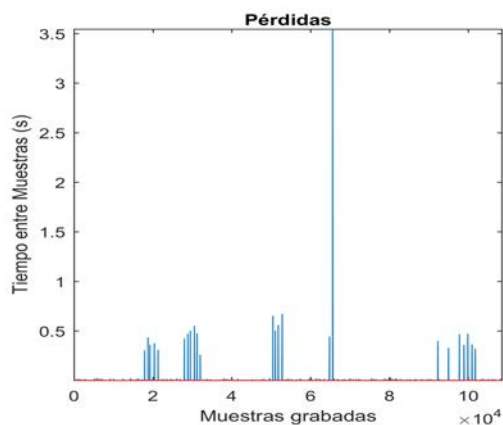
Para realizar la evaluación de pérdida de datos en estos registros se ha creado un algoritmo que analiza el vector de tiempo de las señales registradas y comprueba si el periodo entre muestras es superior al correspondiente según la frecuencia de muestreo preestablecida. Cuando hay un desfase entre estos dos parámetros significa que se ha iniciado un periodo en el que el dispositivo no guarda las muestras que debería. Teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo el programa cuenta el tiempo que hay de más entre muestra y muestra y calcula su equivalencia en muestras perdidas. De esta forma, la función distingue los periodos de pérdidas y las muestras perdidas.



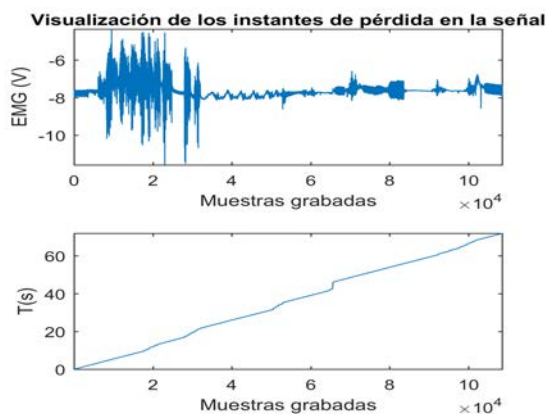
(a1)



(a2)



(b1)



(b2)

Figura 2. (a) Gráficos de un registro con un periodo de pérdidas. (b) Gráficos de un registro con muchos periodos de pérdidas.

		Configuración	2 EMG + WRA			2 EMG		
		Fm (Hz)	512	1024	2048	512	1024	2048
Adquisiciones guardadas en la tarjeta SD	T(s)	57	75.75	78.27	41.23	70.5	37.73	
	MT	29186	77572	160294	21109	72194	77280	
	NPP	2	2349	4713	0	4	1479	
	TP(s)	0.0137	2.3213	4.6304	0	0.0332	0.7319	
	MP(%)	0.02	3.06	5.92	SP	0.05	1.94	
Adquisiciones grabadas en el PC vía Bluetooth®	T(s)	52.03	57.37	71.91	36.57	65.42	33.11	
	MT	26641	58744	147104	18724	66906	67814	
	NPP	5	1789	108523	1	11	14061	
	TP(s)	0.0137	1.7557	18.872	0	0.0996	2.06	
	MP(%)	0.03	3.06	26.23	SP	0.02	6.22	
		Configuración	2 EMG + LRA			2 EMG		
		Fm (Hz)	512	1024	2048	512	1024	2048
Adquisiciones grabadas en un dispositivo móvil vía Bluetooth®	T(s)	33.49	57.02	35.04	40.93	47.69	35.16	
	MT	17149	58391	72502	18922	48831	72008	
	NPP	16	18	366	3	9	231	
	TP(s)	1.123	38.4326	27.258	0.3867	28.167	26.3828	
	MP(%)	3.35	67.40	77.00	1.05	59.07	75.04	

Tabla 1. Resultado de las pérdidas sufridas por las tres diferentes vías de registro, a las dos configuraciones y a las tres frecuencias de muestreo. *Fm*: Frecuencia de muestreo, *T*: tiempo de adquisición en segundos, *MT*: muestras totales que debería contener la señal registrada, *NPP*: número de periodos perdidos sufridos durante el registro, *TP*: sumatorio del tiempo de todos los periodos de pérdidas en segundos, *MP*(%): muestras perdidas durante el registro en tanto por ciento.

En la Figura 2 se muestran dos registros realizados durante el estudio (a y b). En la Figura 2 (a2) superior se muestra una señal registrada, mientras que en la parte inferior se presenta la evolución del tiempo respecto a las muestras grabadas. En la parte (a1) de la figura se muestran los periodos de pérdidas. El primer registro (a) presenta sólo un periodo de pérdidas (a1) y tan corto que no se aprecia en el gráfico de la evolución del tiempo (a2). El segundo registro (b) presenta muchos más periodos de pérdidas (b1) y de mayor duración. Cuanto más alto es el pico del gráfico (b1), más tiempo ha estado el dispositivo perdiendo muestras. También se aprecia en el gráfico de evolución del tiempo (b2) el cual pierde la linealidad en varios puntos.

### 3. Resultados

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos del estudio realizado sobre la pérdida de datos que se produce en el dispositivo Shimmer3 durante el registro inalámbrico de señales electromiográficas. En la tabla 1 se muestra el tiempo, las muestras grabadas, el número de periodos de pérdidas, el tiempo total perdido y el tanto por ciento de muestras perdidas con respecto a las muestras totales grabadas de cada uno de los registros realizados con las tres vías de registro, a las dos configuraciones especificadas anteriormente (2 canales EMG y acelerómetro, y sólo 2 canales EMG) y a frecuencias de muestreo de 512, 1024 y 2048 Hz.

Con la primera vía de registro, es decir, grabando los datos en la tarjeta SD interna de Shimmer3 apreciamos que el dispositivo sufre pocas pérdidas o en algunos casos nulas a

las diferentes configuraciones. En el peor de los casos, en el que los dos canales EMG y el Wide Range Accelerometer se hayan activados, se pierden alrededor de 4.6 segundos de un registro de 78.3 segundos, repartidos en un total de 4713 periodos de pérdidas. En resumen, un 5.92% de las muestras totales. Esta vía de registro es la que ofrece menores pérdidas de las tres que ofrece el dispositivo Shimmer3.

Con la segunda vía de registro, grabando los datos en un PC mediante Bluetooth usando el software proporcionado por la empresa ShimmerSensing™ (Consensys®) se pierden más paquetes de datos que en el caso anterior aunque la magnitud de las pérdidas es similar menos con los dos canales EMG y el WRA activados y registrando a una frecuencia de muestreo de 2048 Hz, que se obtiene una cantidad de pérdidas sustancialmente mayor. Concretamente se pierden alrededor de 18.9 segundos de un registro de 71.9 segundos, repartidos en 108523 periodos de pérdidas. Estas pérdidas corresponden a un 26,23% de las muestras totales.

Finalmente, transmitiendo los datos registrados directamente a un dispositivo mediante la aplicación Shimmer Capture para Android se han obtenido muchas más pérdidas que con las anteriores vías de registro. Registrando a una frecuencia de muestreo de 512Hz las pérdidas con las dos configuraciones (2 EMG+LRA y 2 EMG) no son muy significantes. Son de un 3,35% y un 1.05% respectivamente. Por otro lado, los registros realizados a frecuencias de muestreo sufren pérdidas muy significantes, igual o superiores al 59.07% y llegando a perder hasta un 77% de las muestras totales. En estos casos se pierden más muestras de las que se registran.

#### 4. Discusión y conclusión

En este trabajo se ha demostrado que el dispositivo Shimmer3 únicamente permite una adquisición prácticamente sin pérdidas cuando se registran los datos utilizando una frecuencia de 512 Hz y guardando los datos directamente en la tarjeta SD o en el PC vía Bluetooth. A esta frecuencia y con los dos canales EMG y el WRA registrando solo se sufre un 0.02% (SD) y un 0.03% (PC) de pérdidas. Únicamente con los dos canales EMG registrando no se sufren pérdidas en el registro.

Aunque el software de Shimmer ofrece la posibilidad de adquirir a una frecuencia de muestreo de hasta 2048 Hz, no se garantiza un muestreo uniforme a tales frecuencias, y se ha comprobado que en muchos casos el sistema termina muestreando a frecuencias inferiores.

El registro directo en la tarjeta SD es el que ha funcionado mejor. Usando este método de registro las pérdidas son mínimas, y tienen más posibilidad de ocurrir cuanto mayor es la frecuencia de muestreo y cuantos más canales se encuentran registrando. (Pérdidas máximas: 5.92% con 2 canales EMG y WRA registrando a 2048 Hz).

Recientemente Estrada et al registró la actividad electromiográfica del diafragma [6] utilizando este mismo dispositivo a una frecuencia de muestreo de 1024 Hz y registrando los datos en un PC vía Bluetooth, pero no reportó la pérdida de datos. Sin embargo, en el presente estudio, al realizar el protocolo de evaluación de pérdida

de datos a las mismas condiciones se han sufrido pérdidas de un 3.6% de las muestras totales.

Cuando se realizan adquisiciones vía Bluetooth con un dispositivo móvil, se produce siempre una pequeña oscilación alrededor de la frecuencia predeterminada. En adquisiciones vía Bluetooth y/o a altas frecuencias de muestreo se recomienda el uso del Low Range Accelerometer (LRA) en lugar del Wide Range Accelerometer (WRA).

Finalmente, no se recomienda el uso del Bluetooth para transmitir datos a un dispositivo Android registrados a frecuencias de muestreo superiores a 512 Hz, ya que las pérdidas son muy abundantes. Muestreando a frecuencias más altas, y con dos o más canales registrando, se obtienen pérdidas mayores o iguales al 59.07% de las muestras totales que se deberían haber registrado.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue financiado en parte por la Secretaria de Universidades e Investigación del Departamento de Economía y Conocimiento del Gobierno de Cataluña (Grupo de Investigación Consolidado GRC 2014 GR 1596) y por el Ministerio de Economía y Competitividad, ref. DPI2015-68820-R (MINECO/FEDER). El cuarto autor ha sido financiado por el Instituto para la Formación y Aprovechamiento de Recursos Humanos y de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Programa IFARHU-SENACYT, beca 270-2012-273).

#### Referencias

- [1] Estrada L, Torres A, Sarlabous L, Jane R. Respiratory Signal Derived from the Smartphone Built-in Accelerometer during a Respiratory Load Protocol. *37th Annual International Conference of the IEEE*, Milan, 2015, pp 6768-6771.
- [2] Donovan KJ. SHIMMER: A new tool for temporal gait analysis. In *Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine*, EMBC 2009. pp. 3826–3829.
- [3] Ritcher R. Real-time ECG and EMG analysis for biking using android-based mobile devices. *Proceedings, 11th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, BSN 2014, pp.104–108.
- [4] Hermens HJ, Frerik B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, Disselhorst-Klug C, Hägg G. European Recommendations for Surface Electromyography, 1999, *Rosseigh Research and Development*, vol 8, pp. 13-54.
- [5] Burns A, Greene B, McGrath M, O'Shea T, Kuris B, Ayer S. y otros, SHIMMER™ – A Wireless Sensor Platform for Noninvasive Biomedical Research, *IEEE Sensors J.*, vol. 10, n.º 9, 2010, pp. 1527-1534
- [6] Estrada L, Torres A, Sarlabous L, Jané R. Evaluating Respiratory Muscle Activity using a Wireless Sensor Platform, *2016 38th Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Orlando, FL, USA, 2016, pp.104-108.