

INVESTIGACIÓN
2008



**DESARROLLO Y EVALUACIÓN
DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN
DE LA FUERZA MUSCULAR**

FUNDACIÓN MAPFRE

www.fundacionmapfre.com

Investigador Principal

Jaume Rosset Llobet

Director Médico
Instituto de Fisiología y Medicina del Arte

Equipo Investigador

Jessica Bonet Bonet

Colaboradora
Laboratorio de Biomecánica del INEFC-Barcelona

Joana Betlem Gomila Serra

Jefe de Proyectos
Fundación y Arte

Josep María Padullés Riu

Profesor
Instituto Nacional de Educación Física (Generalitat de Cataluña)

Silvia Fabregas Molas

Jefe de Fisioterapia
Instituto de Fisiología y Medicina del Arte

Índice

	Página
1. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE ABRIL 09 A JULIO 09	4
1.1. Revisión bibliográfica	4
1.2. Preparación para el diseño del prototipo	4
1.3. Entrevistas con empresas relacionadas	4
1.4. Adquisición del material	5
2. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE AGOSTO 09 A NOVIEMBRE 09	5
2.1. Nueva revisión bibliográfica	5
2.2. Medidas indirectas valoradas y desestimadas	6
2.3. Pruebas piloto	7
2.4. Presentación del material de la prueba piloto con resultado válido	9
3. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE NOVIEMBRE 09 A MARZO 10 Y HASTA SEPTIEMBRE 10	10
3.1. Acuerdos y trabajo en equipo con la empresa del Sistema Plux	10
3.2. Planteo del segundo objetivo del estudio con el Sistema Plux	11
3.2.1. Guitarra	11
3.2.2. Piano	12
4. OBSERVACIONES FINALES	12
5. LIMITACIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	12

1. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE ABRIL 09 A JULIO 09

1.1. Revisión bibliográfica

Se consultaron varias bases de datos especializadas en el tema y se llevó a cabo una cuidadosa revisión bibliográfica con la finalidad de disponer de la máxima información para nuestra investigación.

Artículos que se revisaron en profundidad:

- Fishbein M, Middlestadt SE, Ottati V, Straus S, Ellis A. Medical problems among ICSSOM musicians: overview of a national survey. *Med Probl Perform Art.* 1988; 3: 1-8.
- Furuya S, Nakahara H, Aoki T, Kinoshita H. Prevalence and Causal Factors of Playing-Related Musculoskeletal Disorders of the Upper Extremity and Trunk among Japanese Pianists and Piano Students. *Med Probl Perform Art.* 2006; 21: 112-117.
- Guptill C. Musicians' health: applying the ICF framework in research. *Disabil Rehabil.* 2008; 30 (12-13): 970-977.
- Hoozemans MJ, van Dieën JH. Prediction of handgrip forces using surface EMG of forearm muscles. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005 Aug; 15(4): 358-66. Epub 2004 Dec 9.
- Hurst D. Lecciones desde el green: comprenda el management a través del golf. Ed Empresa activa. Argentina. 2005.
- Marla A, Kernozek T, Wade G. Chin Rest Pressure in Violin Players: Musical Repertoire, Chin Rests, and Shoulder Pads as Possible Mediators. *Med Probl Perform Art.* 1997; 12: 112-121.
- McGorry R, Dempsey P, Casey J. The Effect of Force Distribution and Magnitude at the Hand-Tool interface on the Accuracy of Grip Force Estimates. *Occupational Rehabilitation.* 2004; 14: 255-266.
- Nakada M, Demura S, Yamaji S, Minami M, Kitabayashi T, Nagasawa Y. Relationships between Force Curves and Muscle Oxygenation Kinetics during Repeated Handgrip. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2004; 23: 191-196.
- Nordgren B, Hall J, Andersson A. Development of methods for registration of the force exerted by hand-fingers in industrial work. *Appl Ergon.* 1994 Dec; 25(6): 393-4.
- Riera J. Habilidades en el deporte. Ed Inde. Barcelona. 2005.
- Thomsen JF, Mikkelsen S, Andersen JH et al. Risk factors for Hand-wrist Disorders in Repetitive Work. *Occup Environ Med* 2007; 64: 527-533.
- Wu S. Occupational Risk Factors for Musculoskeletal Disorders in Musicians: A Systematic Review. *Med Probl Perform Art.* 2007; 24: 43-51.
- Yamaji S, Minami M, Demura S, Nagasawa Y, Nakada M. Relationships between Decreasing Force and Muscle Oxygenation Kinetics during Sustained Static Gripping. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2004; 23: 41-47.
- Yassi A. Repetitive strain injuries. *Lancet* 1997; 349: 943-7.

1.2. Preparación para el diseño del prototipo

Los objetivos planteados para este proyecto eran los siguientes:

- 1- **Desarrollar un sistema de medida** (en tiempo real) de la fuerza que ejerce la mano sobre el instrumento al tocar (piano, guitarra y clarinete).
- 2- Estudiar la **presión ejercida por la mano** del músico (en tiempo real) sobre el instrumento para **determinar** hasta qué punto el músico **utiliza más fuerza** de la estrictamente necesaria al tocar.

Antes de iniciar el diseño del prototipo se reflexionó sobre las siguientes cuestiones:

– Tipo de acción muscular que ejercería el músico al presionar sobre el instrumento: isométrica (al mantener la presión de forma continuada) y concéntrica al pulsar. Para su medición se requeriría una medida continua de la presión en tiempo real.

– Debíamos considerar la diferencia entre instrumentos como el piano, en el que el sonido varía mucho en función de la presión que se ejerce y los instrumentos de cuerda o viento, en los cuales a partir de una cierta presión el sonido no se modifica, sea cual sea la fuerza ejercida con la mano apoyada en el traste, tecla o agujero. Éste era un hándicap a tener presente y un reto importante a solventar. Mediríamos la misma variable, probablemente con el mismo sensor, en instrumentos con características diferentes.

– Tipo de valores que sería necesario recoger: Fuerza media, pico de fuerza o Fmax, índice Fuerza Velocidad: fv (Fmax/tpf).

– Ventajas y desventajas del lugar donde se deberían aplicar los sensores: ¿sobre el instrumento?, ¿en el propio cuerpo? y en ese caso, ¿en la yema?, ¿en qué zona exactamente?, ¿en el dorso del dedo?...

En base a las reflexiones anteriores se inició la búsqueda de los diferentes sensores que existen en el mercado y que podrían adecuarse mejor a nuestras necesidades.

De entrada requeríamos de un tipo de sensor que no interfiriese o que obstaculizara lo mínimo posible el gesto técnico musical y que sufriera un nulo o mínimo deterioro al trabajar sobre las cuerdas de la guitarra y en los instrumentos de cuerda en general.

1.3. Entrevistas con empresas relacionadas

Después de la revisión explicada en el punto anterior, seleccionamos a varias empresas fabricantes de distintos tipos de sensores y sistemas de captación de señales y solicitamos reunirnos con ellas. Finalmente mantuvimos varios encuentros con:

- Byomedic. <http://www.byomedic.com/>
- Ergotest. <http://www.ergotest.com/>
- Casio. <http://www.casio-europe.com/es/>
- Flux. <http://www.flux.info/>
- National Instruments. <http://www.ni.com/>

1.4. Adquisición del material

Byomedic y Plux confirmaron que nos facilitarían de forma gratuita varios sensores y equipos para el mes de septiembre de 2009.

Podríamos disponer además de una cámara de alta velocidad Casio así como un sistema de medición de ergotest (musclelab), cedido por el INEFC-Barcelona.

Detalle de estos materiales cedidos por el INEFC, ambos capaces de captar la señal en tiempo real:



Figura 1. Cámara Exilim F1.

Permite filmar a alta velocidad y analizar el movimiento en alta calidad.

Una de sus funciones sería permitirnos observar con precisión las zonas de contacto de los dedos con el instrumento y determinar las zonas más adecuadas para la colocación de los sensores. La frecuencia de 300 a 1000 f/s permite tomar tiempos de cada acción con una alta precisión.

Casio España SL. "Torre Diagonal Litoral B-2" Josep Plà núm 2, B-2. Planta 12. 08019 Barcelona. Telf 34 93485 8400. <http://www.casio-europe.com/es/>



Figura 2. EMG MuscleLab.

El MuscleLab pueden medir casi todo lo relacionado con potencia y velocidad, y por lo tanto extremadamente versátil para una gran cantidad de usos, tales como:

- Controlar y ajustar el proceso de recuperación después de lesiones ofreciendo una retroalimentación inmediata.
- Mide la potencia con la velocidad.
- Los datos de medición se almacenan y se pueden comparar mediante gráficas o tablas.
- Es portátil y puede utilizarse tanto en el laboratorio, en la práctica clínica, así como en otros espacios.

En nuestro caso, nos permitiría medir: posición, ángulo articular, velocidad, aceleración, fuerza, potencia y especialmente EMG al disponer de 16 canales.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE AGOSTO 09 A NOVIEMBRE 09

2.1. Nueva revisión bibliográfica

Las empresas colaboradoras (Byomedic y Plux) nos informaron de que el material (sensores y software) que debíamos recibir de sus empresas para iniciar las pruebas, se retrasaría un tiempo, seguramente un par de meses.

Para que ello no interfiriera en nuestro avance de esta segunda fase, decidimos continuar con la revisión bibliográfica y de mercado con la intención de hallar otros sistemas de medida que se deterioran e interfirieran lo mínimo posible (éste último punto era el que no contemplaban el tipo de métodos que íbamos encontrando).

Tras documentarnos extensamente y después de largas conversaciones con los miembros del equipo, creímos oportuno abrir la búsqueda hacia otras formas de medir la presión. Hasta el momento habíamos optado por sistemas de sensores de medida directa. Los que conocíamos hasta ahora servían para campos del deporte (golf, tenis,...), en trabajadores manuales, etc.

Era necesario cambiar de paradigma, así que seguimos con la revisión de las bases de datos especializadas, ahora con el objetivo de disponer de la máxima información de sistemas de medida indirecta utilizados en la toma y análisis de datos en campos similares.

Algunos de los autores que nos aportaron ideas que podrían sernos útiles fueron los siguientes:

- Beebe DJ, Denton DD, Radwin RG, Webster JG. A silicon-based tactile sensor for finger-mounted applications. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1998 Feb; 45(2): 151-9.
- Bendtsen L, Jensen R, Jensen NK, Olesen J. Muscle palpation with controlled finger pressure: new equipment for the study of tender myofascial tissues. *Pain.* 1994 Nov; 59(2): 235-9.
- Castro MC, Cliquet A Jr. A low-cost instrumented glove for monitoring forces during object manipulation. *Trans Rehabil Eng.* 1997 Jun; 5(2): 140-
- Leijnse JN. A method and device for measuring force transfers between the deep flexors in the musician's hand. *J Biomech.* 1998 Sep; 31(9): 773-9.
- Mascaro ST and Asada HH. Measurement of Finger Posture and Three-Axis Fingertip Touch Force Using Fingernail Sensors. *IEEE Transactions on Robotics and Automation.* 2002.

- Nikonovas A, Harrison AJ, Hoult S, Sammut D. The application of force-sensing resistor sensors for measuring forces developed by the human hand. *Proc Inst Mech Eng H*. 2004; 218(2): 121-6.
- Okuno R, Yokoe M, Fukawa K, Sakoda S, Akazawa K. Measurement system of finger-tapping contact force for quantitative diagnosis of Parkinson's disease. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2007; 2007: 1354-7.
- Sun Y, Nelson BJ. MEMS capacitive force sensors for cellular and flight biomechanics. *Biomed Mater*. 2007 Mar; 2(1): S16-22. Epub 2007 Mar 2.

Procedimos a contactar con algunos investigadores de los artículos que hemos citado anteriormente y que habían elaborado estudios en esta dirección. No logramos recibir respuesta.

Aún así, estudiamos varios de los sistemas en esta línea que finalmente fueron descartados, incluso antes de llegar a probarlos. A continuación se exponen junto con el motivo por el que fueron desechados.

2.2. Medidas indirectas valoradas y desestimadas

Materiales sensibles a la presión

Sensor en papel film (en la imagen inferior), en papel de silicona y en plástico PVC. La hipótesis era que al ser tan finos podrían adaptarse al instrumento sin interferir en el movimiento del músico (probablemente sí afectarían al tacto) y medir de forma indirecta la fuerza. Todos estos tipos de materiales cambian de color al ejercer presión sobre ellos.

Fuji Digital Analysis System marketing@tekscan.com

En función del grado de presión este color se modifica y se convierte en una medida numérica de fuerza, que posteriormente requiere un análisis, con lo cual no nos permitía un seguimiento de la fuerza a tiempo real.



Figura 3. Fuji Digital Analysis System.

Al ser esta una condición básica en nuestra búsqueda, se desestimó esta vía. Otros inconvenientes fueron el elevado precio del software que se precisa para la conversión de las medidas, el también elevado coste en caso de tenerse que cubrir, por ejemplo un mástil completo de guitarra, con el añadido de ser este tipo de papel de un solo uso.

Medida de la presión a partir de la observación del cambio de color de la uña y/o piel

Esta idea consistía en filmar con una cámara ultrasensible de gran velocidad las manos de la persona durante la acción de tocar y extrapolar a partir del cambio de color de las uñas y/o piel la medida de la fuerza. Aunque de entrada parecía asequible, se descartó entre otros motivos porque suponiendo que finalmente se dispusiera de la información de correlaciones color-presión, comportaría calibrar la cámara en cada ocasión, además de ser nuevamente una medida sin feedback inmediato, excesivamente cara y en ningún modo para el uso doméstico, que es hacia donde deseábamos dirigirnos.

Aplicación de los sensores internos utilizados en los teclados

Siguiendo con nuestra exploración de medidas indirectas, se contactó con la empresa Roland (www.rolandiberia.com), marca líder mundial en diseño, producción y distribución de instrumentos musicales electrónicos, teclados y sintetizadores, productos para guitarristas, percusión electrónica, equipos de grabación digital, amplificadores y procesadores de audio/vídeo. Nuestra intención era estimar si los sistemas de sensores internos que ellos utilizan en sus teclados podrían sernos útiles. El resultado fue que en caso de utilizarlos debíamos modificar el instrumento para obtener la señal analógica de fuerza sobre la tecla y hacer un tratamiento posterior con adaptación de la señal, conversión A/D (analógica/digital), registro y tratamiento de los datos. Nos encontrábamos de nuevo con el inconveniente de no poder obtener datos a tiempo real. Por otro lado sería un sistema aplicable al teclado pero no al resto de instrumentos.

Sensor de fuerza aplicado directamente en el instrumento

Comportaría la aplicación de múltiples sensores a lo largo de todo el instrumento. Cada instrumento es diferente y también cada músico contacta con el instrumento a su manera, que podría significar no tocar en el punto exacto donde está ubicado el sensor. El elevado precio de los mismos lo hizo totalmente inviable, sobretodo si nos proponíamos que los músicos pudieran disponer de esta instrumentación en su práctica diaria.

Adquisición y cesión del material

Para no encarecer esta fase del proyecto y limitar con ello los recursos para las siguientes fases, se siguió contactando con otras empresas además de las nombradas anteriormente que ya se habían comprometido a cedernos material sin coste: Plux, Byomedic System, así como el centro universitario Inefc. Después de algunas conversaciones la empresa Infaimon (<http://www.infaimon.com/>) confirmó su deseo de participar en este estudio con una cámara de termografía.

2.3. Pruebas piloto

A continuación procedemos a describir los detalles de los instrumentos con los que experimentamos e iniciamos las pruebas piloto.

El protocolo que se siguió para experimentar con los diversos instrumentos fue específico en cada caso y se expone brevemente en los siguientes apartados.

- **Frecuencia de movimiento mediante el sistema Cronopic.** La tarjeta CronoPic permite cronometrar el tiempo entre eventos producidos por una o más plataformas de contactos y enviarlos a un PC a través del puerto serie. El procedimiento que seguimos fue diseñar un pequeño teclado sobre el cual el sujeto tocaba una escala de DO Mayor. En el momento que contactaban los dedos sobre el teclado teníamos una medida directa de la aceleración y de la frecuencia del impacto ejercido por el sujeto. En realidad estaba presionando sobre dos láminas de un circuito cerrado (v imagen).

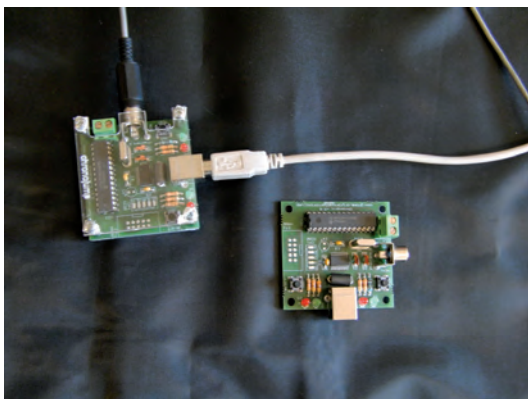
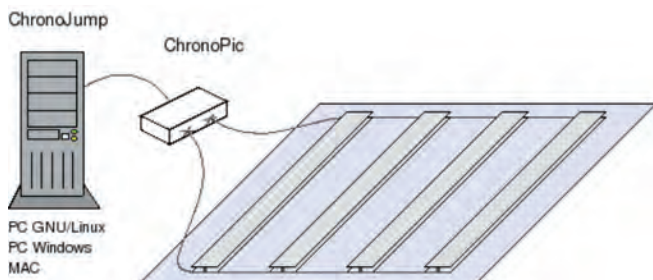


Figura 4. Sistema Cronopic. <http://chronojump.org/>

Aunque inicialmente nos pareció una opción válida, pues permitía el movimiento de las manos totalmente libres de cables y sensores, descartamos este sistema, ya que no era viable aplicarlo directamente sobre el instrumento (piano, guitarra,...). Por otro lado medir con el teclado simulado, tampoco era una opción puesto que la acción efectuada al tocar no se ajustaba al movimiento real de tocar y además nos estábamos desviando de uno de nuestros objetivos: crear un sistema de fácil transporte, aplicación y manejo. Y lo principal, el feedback que nos ofrecía eran variables interesantes de medir y a partir de las que podíamos acercarnos a calcular la fuerza, pero no obteníamos directamente la fuerza.

Aún así, consideramos que para futuras investigaciones relacionadas con la medición de frecuencias de impacto y fatiga muscular, podría ser una muy buena opción.

Electromiografía: esta metodología, EMG MuscleLab, permite medir la actividad eléctrica muscular y convertir este parámetro en un indicador de la fuerza realizada con los dedos.



Figura 5. Colocación de uno de los sensores para realizar una EMG (electromiografía).



Figura 6. Sensores conectados a los cables que transmiten la información al equipo de recogida de datos.

Electromiografía. EMG de superficie con electrodos situados sobre el área del músculo estudiada. Detectan la contracción del músculo y los niveles y los tiempos de activación muscular.

Este sistema nos permitía registrar la lectura de la fuerza de forma indirecta, sin embargo, requería en primer lugar, tipificar los músculos utilizados para cada instrumento (aspecto que no está descrito en amplitud en la literatura médica o técnica) y, en segundo lugar, establecer unos modelos de comportamiento que fueran generalizables para todos los músicos. Aún siendo conscientes de que esta herramienta podría sernos útil, pensamos que invertir un tiempo largo de investigación en documentar estos aspectos nos alejaba de nuestro objetivo y hubiese retrasado ostensiblemente el desarrollo del proyecto, así que se decidió descartar su utilización.

La gráfica que aparece a continuación es una muestra de los datos que obtuvimos con este sistema de medición cuando se le pedía al sujeto que tocara una escala de DO Mayor en el piano a un tempo de 84 pulsaciones por minuto. En ella se observan los parámetros de electromiografía, aceleración y finalmente las repeticiones realizadas cada vez que el sujeto en cuestión presionaba una tecla del piano. Las unidades utilizadas para este sistema son los microVolts.

Se eligió el protocolo: escala de DO Mayor a 84ppm, con la intención de estandarizar la acción, que ésta fuese sencilla técnicamente y con un tempo tranquilo para su ejecución.

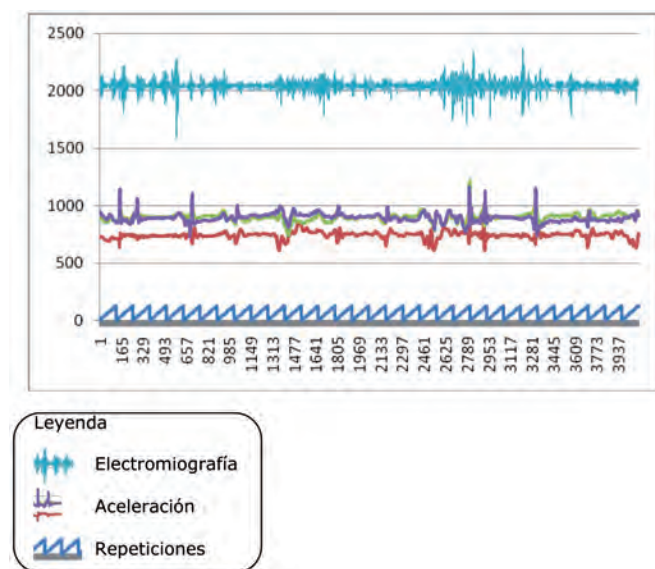


Figura 7. Muestra de datos obtenidos.

• **Cámara de termografía:** se trata de un sistema de medición de la temperatura superficial de los objetos o personas a través de una cámara sin necesidad de con-

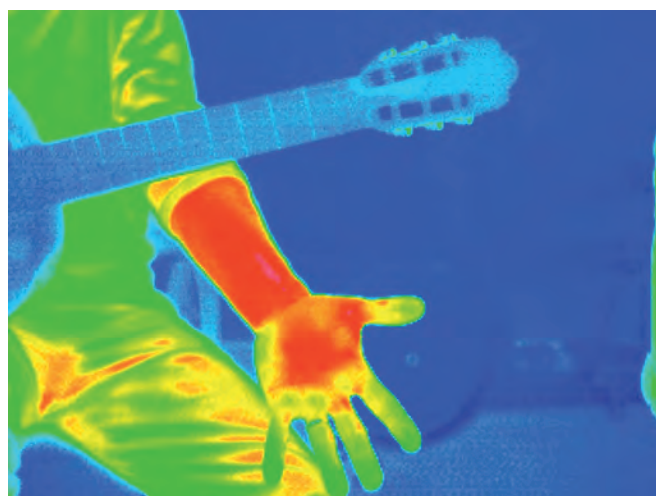


Figura 8. Antes de tocar.

tacto físico con el sujeto. Se mide mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético utilizando una cámara termográfica o de termovisión. La energía radiada se puede obtener como información de temperatura sobre cada zona analizada.

Inicialmente manteníamos la hipótesis de que éste podría ser un buen sistema de medida indirecta de la presión, además de permitir tocar sin ningún tipo de interferencia de cables, etc. Después de las pruebas comprobamos que no se detectaban cambios importantes durante la interpretación musical y, en caso de observarse alguno, tenía una resolución temporal muy baja (se requería mucho tiempo de ejercitación para conseguir apreciar algún cambio). Por otro lado, una vez captados los valores de temperatura, resultaba muy difícil interpretar los cambios observados y, por tanto, se hacía complicado convertir los valores de temperatura (ya fuese en la piel de la zona ejercitada o de la superficie del propio instrumento musical) en indicadores de la presión ejercida. Otro factor limitante fue que resultaba muy complejo calibrar el sistema y establecer la correspondencia de los valores hallados. Por último, se trata de un instrumento poco asequible a nivel económico, con lo cual se descartó definitivamente.

Tras investigar y experimentar con los instrumentos detallados más arriba y a raíz de las problemáticas observadas, nos vimos con la necesidad de redirigir la investigación. El trabajo previo nos ayudó a concretar nuestro enfoque y dadas las circunstancias, decidimos recuperar la idea inicial de utilizar sensores de medida directa y adaptarlos a los dedos, intentando eso sí, atenuar lo máximo posible las interferencias.

• **Colocación del sensor en el dorso del dedo:**

Esta parecía ser una de las mejores alternativas al no haber ningún objeto interfiriendo entre los dedos y el instrumento. Partíamos de la hipótesis de que el sensor aún estando ubicado en la parte posterior del dedo, quedaría

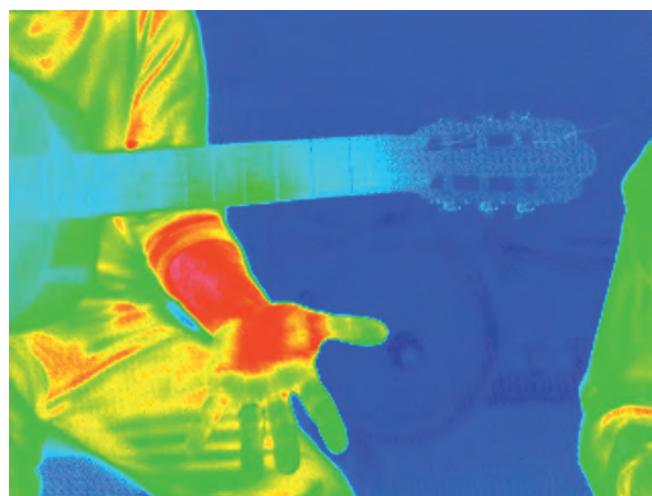


Figura 9. Después de tocar.

Cámara de termografía. Se observa el aumento de la temperatura en algunas zonas de la palma de la mano, pulgar,... (zona verde-amarillo). El cambio de temperatura se refleja también en el mástil. Cámara utilizada cedida por: Infaimon España <http://www.infaimon.com/>.

afectada por la fuerza ejercida y se podría extrapolar la medida. Después de varias pruebas colocando el sensor en posiciones diferentes observamos que en ningún caso se recogía bien la señal.



Figura 9. Posición de máxima distancia, en relación al pulpejo, a la que se llegó a colocar el sensor.

Apreciamos sin embargo que este sistema serviría en futuras investigaciones para el estudio de la aceleración de los dedos en músicos u otros colectivos de trabajadores manuales.

- **Guante textil con sensores incorporados:**

Localizamos un producto abriéndose mercado en el ámbito deportivo, que si bien por sus características era imposible de utilizar con músicos, su idea era muy parecida al objetivo que andábamos buscando. Se trataba de un guante textil con sensores incorporados: el tipo de tejido, grueso en exceso, hubiese imposibilitado el gesto técnico del músico y la percepción del instrumento. Sin embargo nos animó a retomar una de nuestras ideas iniciales, descartada por considerarla demasiado básica, pero que después de todo el proceso vivido, parecía ser la mejor opción.

Consistía en aplicar un sensor, lo más discreto posible, directamente sobre el músico, sujetándolo con un guante ultrafino para evitar que el sensor no sufriera daños y a la vez no se desplazara al tocar.

El guante de látex ultrafino permitía un perfecto ajuste al dedo del músico y de esta forma interfería mínimamente en sus movimientos.

En el futuro se esperaba que este guante ultrafino, fuese inalámbrico y llevase el sensor incorporado emitiendo una señal a un receptor que recogería los datos medidos en tiempo real. Si bien en esta investigación era inviable conseguir el producto final, puesto que estaba totalmente fuera del alcance de nuestro presupuesto, sí que era posible iniciar las pruebas con el sistema más primario, para determinar su posible potencial. Esa fue la línea que seguimos y cuyo proceso viene explicado en el resto de la memoria.



Figura 10. Colocación sensor.

2.4. Presentación del material de la prueba piloto con resultado válido

- **BioPlux mini**

Llegaron los materiales esperados de las empresas Plux y Byomedic. Optamos por iniciar el diseño del prototipo utilizando bioPlux mini. Éste nos proporcionaba 8 canales análogos y la posibilidad de supervisar hasta 6 variables con el juego de sensor suministrado.

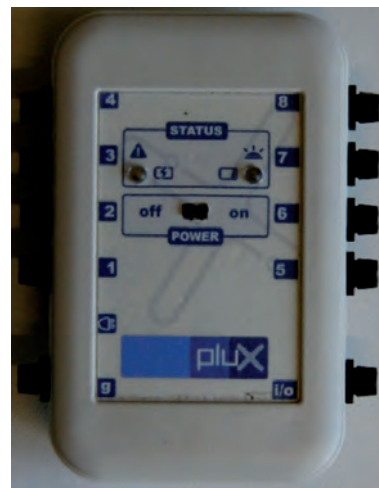


Figura 11. BioPlux mini
PLUX, Ida. (Lisboa) Portugal
<http://www.plux.info>

El sistema puede ser usado para el procesamiento a tiempo real.

En nuestro caso se utilizó el canal para los sensores xyzPlux Triaxial Accelerometer y los sensores miniaturizados sEMG.

Este sistema de medición consta de tres elementos: sensor, acondicionador para el registro - emisión de la señal y receptor. Cuenta también con un software para visualización, almacenado y tratamiento de los datos recibidos. Los indicadores nos proporcionaban una señal visual

instantánea de la variable medida, con lo cual observábamos de inmediato, en la pantalla del ordenador, los registros de presión que estaba ejerciendo el sujeto, de este modo podíamos realizar modificaciones inmediatas según fuera conveniente (ej: cambios de posición del sensor, etc). A su vez nos permitía registrar estos datos y posteriormente generar una serie numérica para poderla examinar.

Observamos que el sistema Plux además de proporcionarnos los 8 canales análogos y la posibilidad de supervisar hasta 6 variables con el juego de sensor suministrado, nos permitía medir simultáneamente pruebas de fuerza y electromiografía, que a pesar de haberla descartado para esta ocasión y puesto que ahora disponíamos del material cedido por Plux, quisimos comprobar su utilidad en vistas a futuras investigaciones.



Figura 12. Las señales de EMG raw (señal sin filtrar) y aceleración en cada uno de los ejes cartesianos recogidas en la pantalla.

- **Sensores**

Cuando hacemos referencia a la palabra sensor nos referimos a un elemento que modifica sus características



A. Sensor mediano con cable de conexión.

Figura 13. Sensores A y B.

en función de un estímulo (variable) externo y produce una señal proporcional a la intensidad de dicho estímulo.

Podemos encontrar hasta seis tipos de señales distintas: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares. En nuestro estudio se utilizaron: las mecánicas, térmicas y eléctricas.

En la imagen de la derecha se aprecia el material con el que contábamos: receptor bluetooth (a la izquierda de la imagen), en el centro: emisor-procesador y el resto, varios sensores xyzPlux Triaxial Accelerometer circulares y en tira de diferentes tamaños con diferentes capacidades de medida de la presión.

Los sensores miniaturizados sEMG activos tienen niveles bajos de ruido, que permiten ser utilizados en condiciones adversas. Todos ellos permiten captar la información a tiempo real de aceleración, están adaptados para el uso de investigación y se utilizan para el análisis biomecánico.

La carga máxima de este tipo de sensores depende de su área. El límite de todos ellos es 10 kg/cm^2 y como los más pequeños tienen un área de $\pm 0.1 \text{ cm}^2$, su límite es aproximadamente 1 kg. Los sensores mayores tienen $\pm 1 \text{ cm}^2$ siendo su límite 10 kg. De los que aparecen en la imagen de la derecha, el menor fue el que nos ofreció mejores resultados a nivel de tacto, sin embargo era tan sensible que se saturaba al medir las presiones máximas de los músicos, con lo que no podíamos conocer el pico de fuerza máxima, ni los valores por encima de 1kg de fuerza.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE NOVIEMBRE 09 A MARZO 10 Y HASTA SEPTIEMBRE 10

3.1. Acuerdos y trabajo en equipo con la empresa del Sistema Plux

Desde un inicio, la empresa del sistema Plux ubicada en Portugal (Lisboa), además de facilitarnos el material, de



B. Diferentes tamaños de sensores con los que experimentamos.

otro modo económicamente fuera de nuestras posibilidades (sensores, software, procesador), nos ofreció su colaboración, participando en nuestros debates con sus investigadores, expertos en este sector. Para debatir algunas de las dificultades que nos íbamos encontrando en las pruebas piloto mantuvimos varias videoconferencias e incluso uno de los integrantes de su equipo viajó a Barcelona donde realizamos diferentes encuentros.

3.2. Planteo del segundo objetivo del estudio con el Sistema Plux

Para desarrollar el segundo objetivo de la investigación “estudiar la presión ejercida por la mano del músico (en tiempo real) sobre el instrumento para determinar hasta qué punto el músico utiliza más fuerza de la estrictamente necesaria al tocar”, medimos la presión ejercida sobre la guitarra, el piano y el clarinete. Se decidió que con los dos primeros instrumentos (guitarra y piano) era suficiente para nuestras pruebas piloto por lo que decidimos descartar las pruebas con el clarinete y en todo caso experimentar con él en futuras ocasiones, con el prototipo más avanzado.

3.2.1. Guitarra

Se discutió largamente sobre cuál era el dedo más adecuado para medir la presión y la posición del sensor. Inicialmente consideramos el pulgar, por el hecho de interferir menos al no tocar ninguna cuerda y se pensó en la posibilidad que el esfuerzo de presión se trasladaría a los pulgares. Posteriormente se desestimó al observar que los sujetos no siempre lo colocaban de la misma forma sobre el mástil, con lo que la señal recibida era diferente en un y otro caso. Por otro lado, los datos recibidos con el sensor en el pulgar no resultaban interesantes para estudiar la fuerza continua; como se ve en la gráfica inferior sólo daban medidas discontinuas. La conclusión fue que el dedo índice era el más indicado para los registros de fuerza continua.

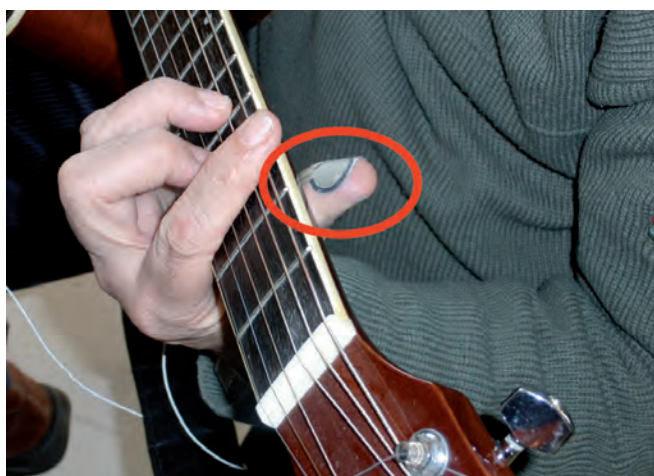


Figura 14. Presión y posición sobre el pulgar.

En la gráfica del monitor izquierdo (sensor en el pulgar), se aprecian puntos sin transmisión, en cambio, en el

monitor derecho (sensor en el índice) la señal de fuerza es continua.



Figura 15. Gráfica monitor izquierdo.

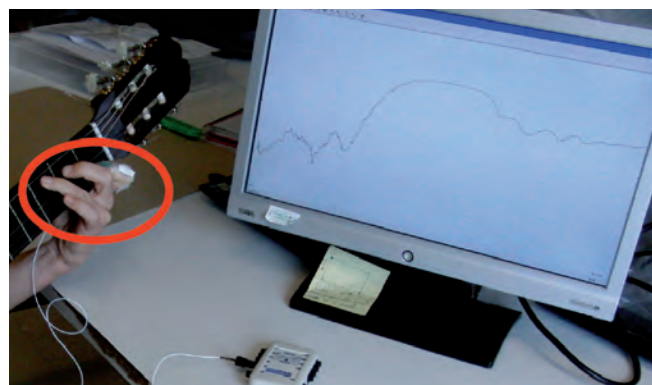


Figura 16. Gráfica monitor derecho.

Para evitar que el sensor sufriera daños y a la vez no se desplazara, se experimentó la colocación del sensor sin guante de látex ultrafino y con guante. Los resultados más satisfactorios fueron con la utilización del guante ultrafino (imagen guante textil con sensores incorporados).

Gráficas de diferentes momentos en los que el sujeto está tocando la guitarra. El protocolo seguido para la toma de medidas eran: acordes de DO Mayor y escala de La Mayor a 84ppm.



Figura 17. Canales del sistema Plux.

En la imagen anterior aparecen cuatro canales del sistema Flux, donde se puede ver la aceleración y la electro-miografía. Se podrían utilizar los otros dos canales para evaluar otros factores condicionantes a la hora de tocar un instrumento. En la imagen siguiente se puede leer de nuevo la presión continua durante la acción de tocar, llegando a detectarse fuerzas con un pico máximo de 9,14 Newtons.



Figura 18. Presión continua durante la acción de tocar.

3.2.2. Piano

En el caso del piano se utilizó el sensor menor (como en la guitarra) y se colocó en el dedo anular utilizando el mismo sistema de guante que en la guitarra. En el protocolo seguimos experimentado con la escala de DO Mayor, aunque incorporamos la de RE Mayor para probar con las teclas de sostenidos. El tempo siguió siendo 84 ppm (andante) y añadimos 126 ppm (allegro).

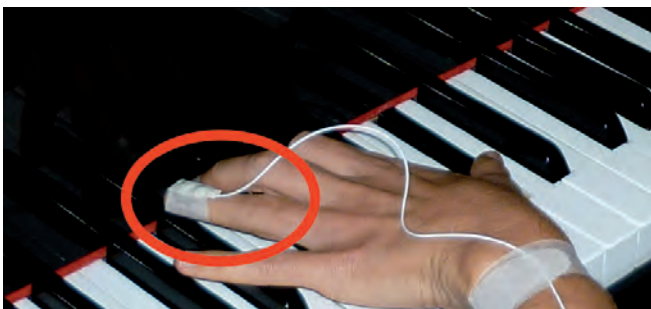


Figura 19. Prueba previa a colocación del guante.

En la imagen apreciamos una de las pruebas previas a la colocación del guante. Contrariamente a nuestra hipótesis inicial, interfería más tocar sin guante que con el guante ultrafino de látex.

4. OBSERVACIONES FINALES

Después de las pruebas realizadas y de utilizar distintos instrumentos de medición, consideramos que el mejor sistema para responder a nuestras preguntas iniciales es el sistema Flux.

El dedo de guante ultrafino de látex ha dado mejor resultado de lo esperado, pues no supone una gran interferencia y permite medir adecuadamente la presión.

Las principales dificultades fueron:

- Los sensores tenían tan alta sensibilidad que al sobrepasar cierto grado de presión la señal quedaba saturada.
- Los sensores más pequeños se ajustaban mucho mejor a los dedos. Como sólo disponíamos de uno de estos sensores, era necesario obtener más sensores de ese tamaño, que les modificaran el margen de saturación y además obtener otros con forma alargada para poderlos ajustar al mástil de la guitarra. La empresa Flux nos ofreció la posibilidad de enviarnos hacia finales de junio 2010 más sensores del tamaño pequeño y otros nuevos de 1cm de ancho por 50cm de largo. La espera de los nuevos sensores suponía pedir una prórroga para el estudio; finalmente consideramos que era una oportunidad muy valiosa, puesto que el coste, en circunstancias normales sería imposible de asumir. Llegaron los sensores un poco más tarde de la fecha prevista y seguimos con el estudio.
- Por otra parte seguimos las conversaciones con Flux para intentar aumentar el rango de medida de los sensores pequeños. Desgraciadamente no fue posible alterar el límite máximo de su capacidad de medida, aunque en la fecha de hoy seguimos en el intento.
- Referencias para obtener los valores de fuerza registrados (ver página siguiente):
- No se ha llegado a trabajar con el clarinete.
- En relación al segundo objetivo del estudio, podemos afirmar que nuestro sistema nos permite determinar la presión ejercida por el músico, aunque tiene el inconveniente que es un sistema caro, y está en fase embrionaria, pues necesita desarrollarse más para que lo puedan tener los músicos a su alcance y para evaluar su trabajo en sus sitios de ensayo sin necesidad de desplazarse a un centro especializado para utilizar este sistema.

5. LIMITACIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

- En estos momentos, seguimos trabajando en el proyecto con la intención de modificar la sensibilidad de los sensores y experimentar con otras formas y tamaños.
- Aún habiendo acabado el período de esta investigación, nuestra intención es utilizar este sistema con una muestra de unos 30 músicos, con el objetivo de recoger registros y valores de fuerza.
- Nuestra intención es además, dar a conocer el sistema de medida y los resultados obtenidos con el fin de que otros colectivos (trabajadores manuales, entre ellos) puedan aplicarlo en sus campos.

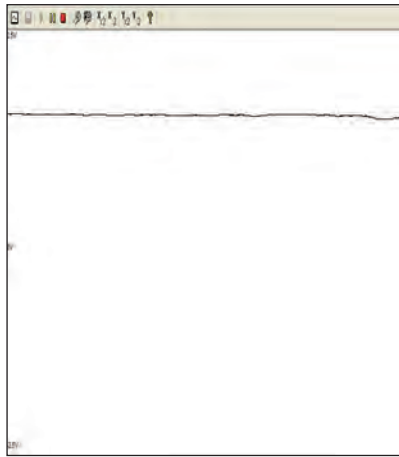


Figura 20. Señal de referencia de 1kg de aplicación de fuerza. Presión= $F/\text{superf sensor}$. $1\text{kg} = 9,8 \text{ Newtons} = 3,75 \text{ milivolts}$.

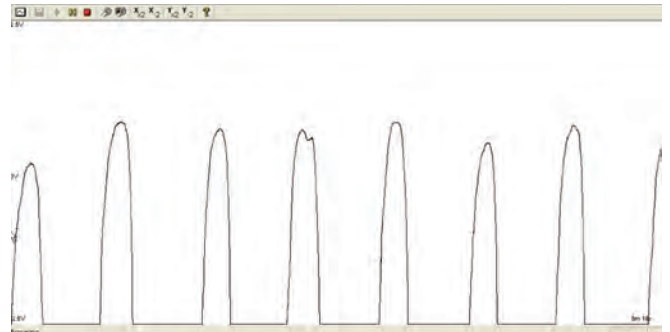


Figura 21. Ensayo con guitarra en La Mayor. Vemos como se alcanzan valores inferiores a los 3,75 milivolts. En algunas ocasiones, a causa de la saturación del sensor, se superaba el pico de fuerza y por lo tanto no podíamos conocer la Fuerza máx de ese instante. Ésta ha sido una de las limitaciones más importantes de nuestro estudio que esperamos resolver en un futuro no muy lejano.

- Aunque se descartaron todos aquellos instrumentos que nos ofrecían posibilidad de medir la frecuencia de los impactos, ha sido importante descubrir que pueden resultar muy útiles en futuras investigaciones (en músicos y otras poblaciones) relacionadas con el estudio de la fatiga muscular, así como también lo ha sido la termografía también para estudios de fatiga.
- En el caso del piano, sería interesante probar una nueva idea: medir la intensidad del sonido y correlacionarlo con la presión, entonces quizás no sería necesario la utilización de sensores. Con pianos diferentes se debería calibrar.

Conflicto de intereses

Los autores hemos recibido ayuda económica de FUNDACIÓN MAPFRE para la realización de este proyecto. No hemos firmado ningún acuerdo por el que vayamos a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial o de FUNDACIÓN MAPFRE.

