

REDISEÑO BIOMECÁNICO DE UNA GUITARRA ELÉCTRICA

Desde que se fabricó la primera guitarra eléctrica se han estado incluyendo cambios morfológicos que aumenten el carácter ergonómico del instrumento con el fin de hacerlo más adaptable al usuario.

✉ Manuel Solás Cabello. Ingeniero Técnico en Diseño industrial EPS.

✉ Antonio Córdoba Roldán. Profesor Escuela Politécnica Superior de Sevilla¹.

¹ Miembro del Grupo de Investigación de Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación de la Universidad de Sevilla.



INTRODUCCIÓN

En un principio, estos cambios eran correcciones de un diseño defectuoso inicial con repercusiones negativas en el usuario [1, 2] y cuya solución de rediseño era clara. Sin embargo, conforme se van solucionando los problemas de diseño ergonómico más evidentes, más difícil resulta identificar y mejorar los restantes.

Por este motivo se ha recurrido al rediseño de dicho producto mediante técnicas profesionales y experimentales para la evaluación biomecánica computarizada de su uso por un tipo de usuario específico, guitarrista profesional, con el fin de identificar: cargas posturales mediante inclinometría, carga articular mediante goniometría, carga de uso mediante electromiografía de superficie; todo ello con el fin de rediseñar el producto determinando el riesgo de lesiones músculo esqueléticas relacionadas con el uso de la guitarra. Como resultado se obtendrá un nuevo producto más confortable, que minimice el riesgo de trastornos músculo esqueléticos relacionados con la etapa de uso del producto, validando las soluciones de diseño adoptadas mediante modelos biomecánicos digitales soportados por el software AnyBody y test de confort subjetivos.

El estudio fue llevado a cabo en un Proyecto de Fin de Carrera desarrollado en la EPS de Sevilla [1], el cual se estructuró en tres fases:

1. Establecimiento del método de trabajo y selección de las herramientas de evaluación de la carga biomecánica de un modelo de guitarra eléctrica.
2. Rediseño y establecimiento de soluciones en base a los datos obtenidos de la evaluación biomecánica.
3. Validación del diseño mediante el software profesional AnyBody.

MÉTODO Y HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN

En esta primera fase se desarrollaron una serie de tareas que pasamos a exponer. Dichas tareas están enfocadas a obtener información de la carga postural, articular y de usos, de modo que permita la realización de un nuevo diseño que sea más confortable, minimice los riesgos de trastornos músculo esqueléticos y la carga de uso.



Análisis de uso y su modelado por HTA

En esta primera fase se realiza un estudio que integra el análisis de uso y su modelado mediante "Análisis Jerárquico de Tareas (HTA)", a partir del cual se desarrolla la realización del análisis biomecánico del usuario. Para éste, se lleva a cabo una simulación con un sujeto real usando el producto, en este caso, tocar la guitarra mientras se toman datos de forma simultánea usando diferentes herramientas destinadas a la evaluación biomecánica computarizada. Con este análisis, se pretende obtener diferentes muestras de la carga biomecánica en cuanto a las posturas, actividades y esfuerzos de los segmentos corporales adoptados por el músico para la realización de su actividad. En este tipo de análisis se ven representadas las tareas y sub-tareas finales que debe realizar el usuario sobre el instrumento durante su uso y que son significativas desde el punto de vista del confort o riesgo músculo esquelético. Las tres sub-tareas finales (Acorde con cejilla, acorde sin cejilla y rasgueo) han recibido una especial atención en el análisis ya que representan el conjunto de posturas necesarias para tocar la guitarra y que se pueden adoptar a lo largo de todo el mástil. Por este motivo, se distinguen tres zonas diferenciadas de este elemento con la intención de realizar un análisis completo y diferenciado que ofrezca información de todas las posibilidades de uso. De esta manera es posible comparar las diferencias de cargas biomecánicas existentes dependiendo de en qué zona se lleve a cabo la acción del guitarrista.

Figura 1. Usuario durante evaluación.

Figura 2. Análisis jerárquico de tareas (HTA).

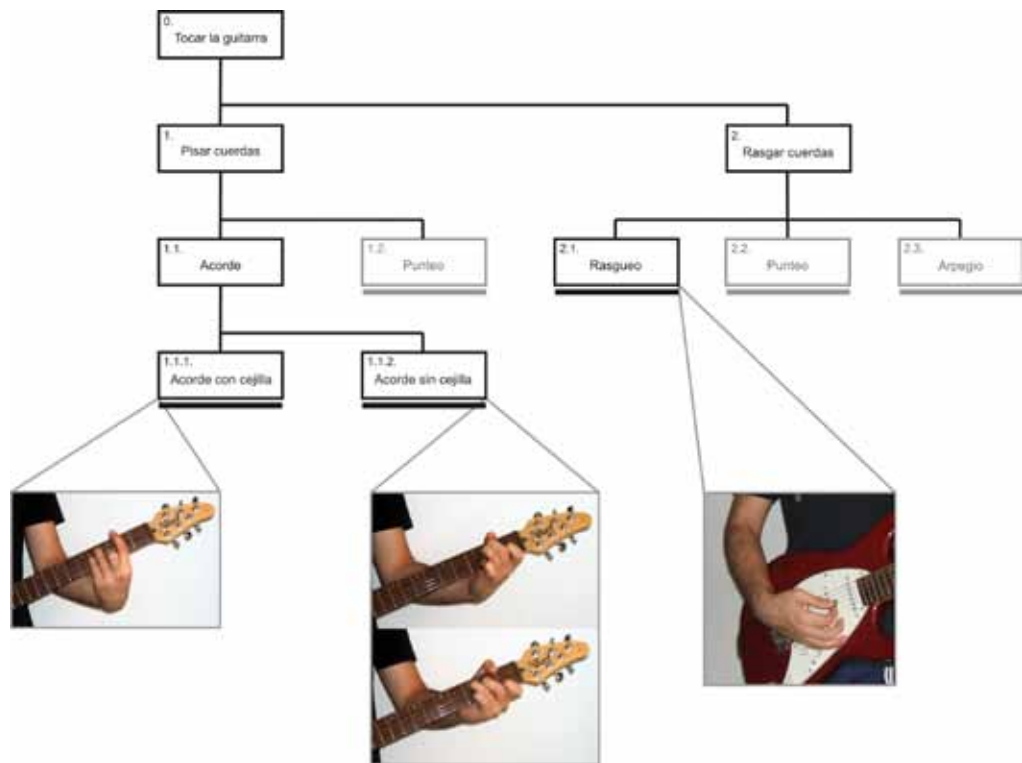


Figura 3. Inclinómetro digital.

Análisis por Inclinometría Electrónica

Este sistema de evaluación de la carga postural mediante inclinometría permite obtener resultados de la desviación en grados de los segmentos corporales respecto a la vertical, a través de unos pequeños inclinómetros digitales. Con este sistema se evalúa la inclinación de la cabeza y tronco durante el desarrollo de la actividad de un músico profesional.

Resultados:

Los resultados obtenidos de ambos inclinómetros muestran valores muy cercanos a la vertical, con un máximo de desviación de 8.31°, lo cual no supone un riesgo postural para el usuario.

En la figura 4, correspondiente a la gráfica temporal obtenida de la lectura de la inclinación de la cabeza (a la que pertenece el pico máximo de inclinación) se puede comprobar cómo los valores permanecen casi invariables.



Figura 4. Gráfica temporal – Inclinómetro cabeza.

Análisis por Goniometría Electrónica.

Al igual que en la inclinometría electrónica, los goniómetros miden rangos de los ángulos, pero en este caso es entre dos segmentos corporales. El goniómetro es un dispositivo que dispone de dos galgas que se han de colocar entre los segmentos



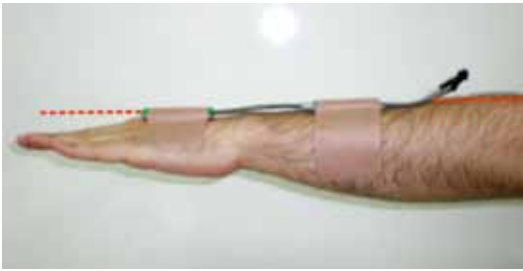


Figura 5. Colocación del goniómetro – Mano- Antebrazo.



Figura 6. Actividad durante la evaluación goniométrica.

corporales a medir, colocando cada una de ellas en sendos segmentos contiguos y dejando entre ellos la articulación, es posible obtener la lectura angular entre los mismos, tanto en el plano sagital como el transversal.

Para una correcta medición, se coloca el goniómetro alineado sobre la longitudinal del segmento corporal en cuestión. En el caso de la figura 5, el goniómetro tomará los datos angulares concernientes a la flexión-extensión y desviación de la muñeca. Una vez se tienen los goniómetros colocados, comienza el inicio de la actividad y registro de la carga articular.

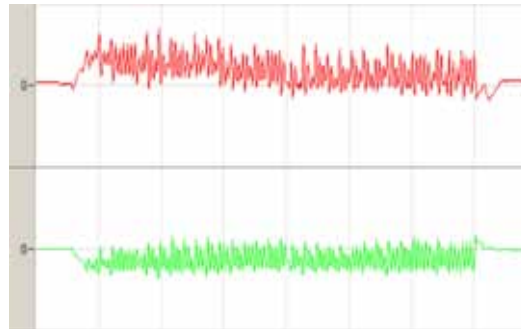


Figura 7. Gráficas temporales – Goniómetros muñeca dcha. e izqda.

Resultados:

La información recogida por los goniómetros es transmitida al software específico, el cual procesa la información mostrándola en forma de datos y gráficas temporales. Estas últimas, además de incorporar datos numéricos de las lecturas en cada instante, permiten visualizar la frecuencia y naturaleza del movimiento, tal y como se muestra en las siguientes figuras.

Resultados cuantitativos.

A través de los datos numéricos y de las gráficas visualizadas, se obtienen los valores angulares para cada postura en las tres zonas diferenciadas del mástil; trastes altos (la zona más alejada del cuerpo de la guitarra), trastes medios y trastes bajos (parte del mástil más cercana al cuerpo de la guitarra).

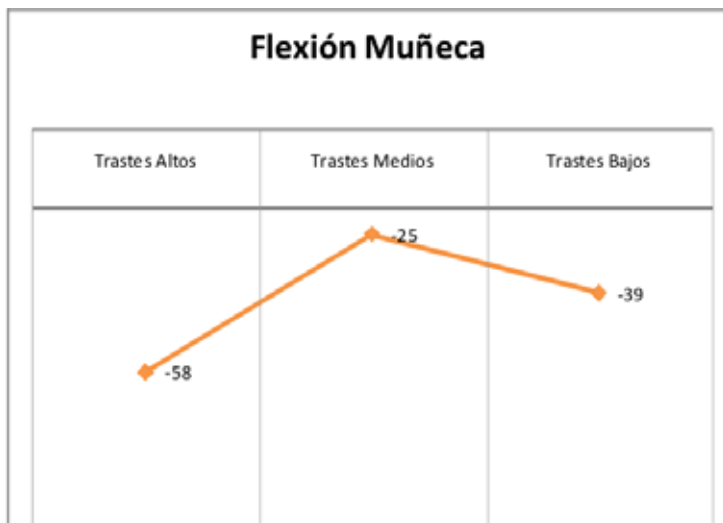
Flexión de la muñeca izquierda.

Resultados cualitativos.

Estos resultados se obtienen mediante observación directa de las gráficas, en concreto la obtenida del miembro superior izquierdo, encargado de realizar las sub-tareas *Acordes con cejilla* y *Acordes sin cejilla*, en las cuales se ha advertido una clara diferencia de valores para la flexión de la muñeca. Tal y como se muestra en la figura 9, realizando los *Acordes con cejilla*, el guitarrista alcanza los valores máximos de flexión para la muñeca, y por tanto, la postura de mayor riesgo para la articulación.

Análisis por Electromiografía de superficie

El sistema de electromiografía de superficie dispone de unos sensores, que adheridos a la piel del usuario, recogen la señal eléctrica emitida desde el ce-



Rango de movimiento: 170°
 Valor del Percentil 50: 20° - 58°

Figura 8. Representación gráfico-numérica de la flexión de la muñeca Izqda.



Figura 9. Gráfica temporal – Goniómetros. Acordes con/sin cejilla.

rebro al músculo. Es decir, mide el nivel de esfuerzo de los grupos musculares que intervienen en la realización de cada una de las tareas requeridas para tocar la guitarra. En la figura 10 se distinguen dos de los sensores colocados en el brazo y antebrazo derecho, los cuales recogen la señal eléctrica de los grupos musculares correspondientes a la sub-tarea Rasgueo.



Figura 10. Actividad durante la evaluación electromiografía.

A través de las gráficas pertenecientes a las lecturas de los sensores se obtienen los valores máximos y mínimos de cada sub-tarea así como su frecuencia. En base a esto, se puede establecer qué segmento corporal se encuentra asociado a una tarea específica y requiere de un mayor esfuerzo muscular, y por consiguiente, tiene mayor riesgo de lesión.

Como se puede apreciar en la figura 12, el miembro con mayor nivel de riesgo de lesión es el antebrazo izquierdo, especialmente realizando *Acordes con cejilla*.

Junto a las pruebas de evaluación experimental objetiva se ha llevado a cabo pruebas de evaluación subjetivas mediante test de confort general y test de molestias, que se integraron con el resto de información para proceder al rediseño del producto.

SOLUCIONES DE DISEÑO ADOPTADAS

Las soluciones de diseño están orientadas a reducir el riesgo del usuario, en primer lugar, para la muñeca y antebrazo izquierdo, que son las zonas de mayor riesgo de lesión. Como se ha podido observar, los *Acordes con cejilla* requieren de una postura más forzada y un mayor esfuerzo muscular, por lo que tendrá preferencia en el diseño solucionar estos problemas.



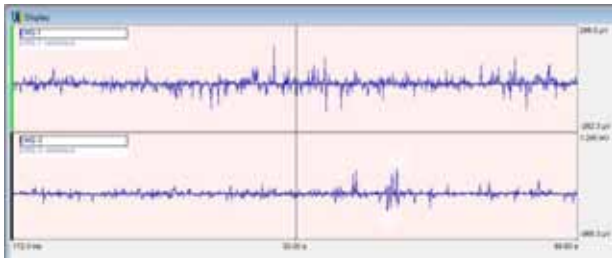


Figura 11. Gráfica temporal – Electromiografía brazo y antebrazo izqdo.



Figura 12. Riesgo por esfuerzo muscular. Segmento corporal – tarea.

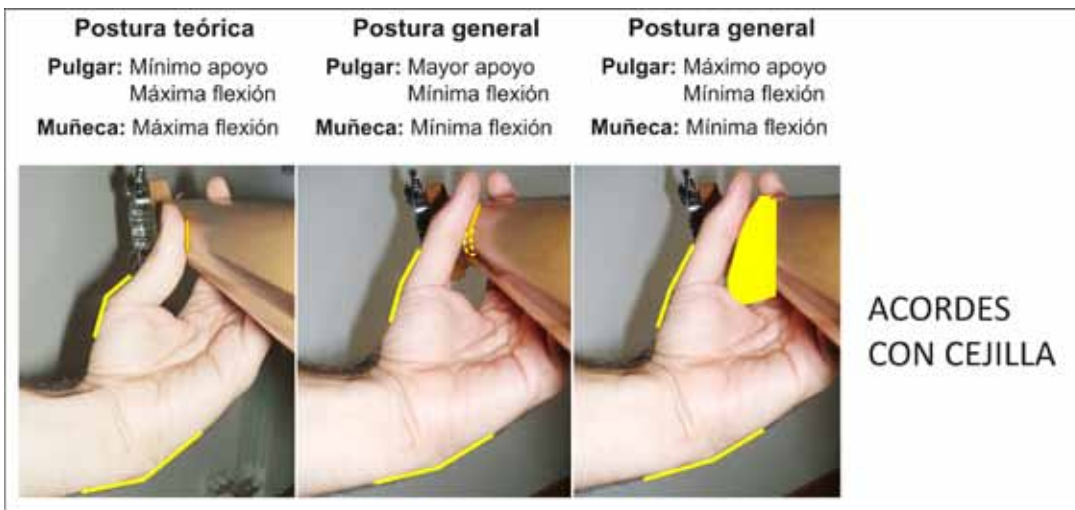


Figura 13. Justificación postural del mástil asimétrico.

Las soluciones de diseño están orientadas a reducir el riesgo del usuario, en primer lugar, para la muñeca y antebrazo izquierdo, que son las zonas de mayor riesgo de lesión

Mástil asimétrico.

La primera solución de diseño se basa en la adaptabilidad morfológica del producto al usuario, que consiste en aumentar la superficie de contacto de la mano con la parte posterior del mástil, consiguiendo así un reparto más equitativo de la fuerza y por consiguiente un menor esfuerzo muscular y la posibilidad de reducir la flexión de la muñeca adoptando la postura más común en la mayoría de guitarristas.



Cuerpo moldeado por el usuario.

La morfología del cuerpo se centra en la necesidad del usuario, de forma que se “moldea” según sus exigencias. Se crea una zona de apoyo para el brazo que realiza la sub-tarea Rasgueo a base de curvas suaves. Se elimina el cuerno inferior tan común en las guitarras eléctricas con el fin de facilitar el acceso a la mano de la sub-tarea Acordes y se dispone en la parte inferior de una curvatura amplia y suave que sirva como apoyo para la pierna en caso de que el usuario la necesite.

Diseño final.

El diseño final de la guitarra eléctrica ergonómica combina las soluciones ergonómicas-biomecánicas



Figura 14. Justificación postural cuerpo.



Figura 16. Renderizado de la guitarra eléctrica ergonómica.

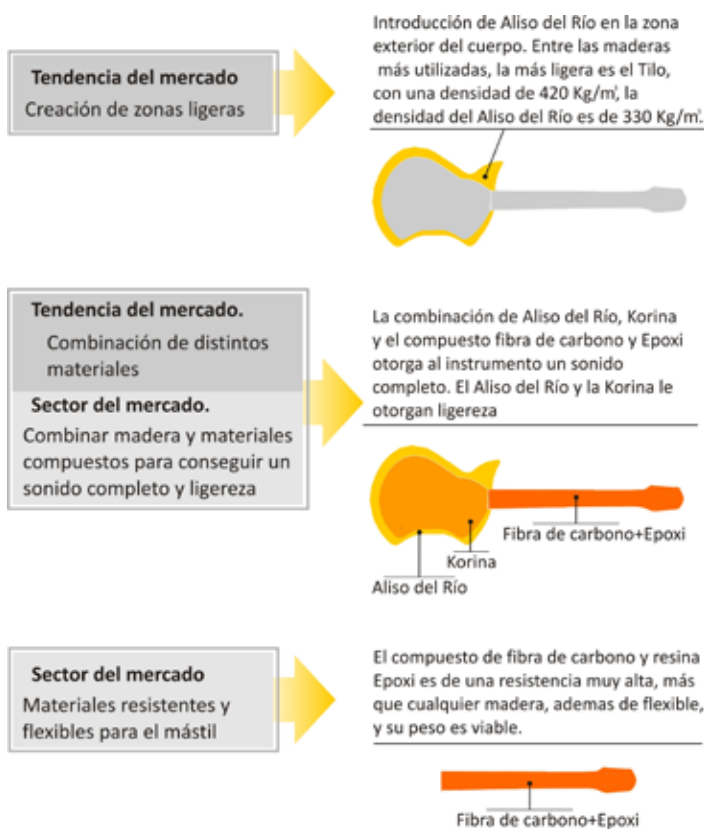


Figura 15. Combinación de los materiales.

supone una reducción considerable del peso (2.62 Kg.), lo que reduce el esfuerzo muscular de los músculos de hombros y espalda. Estos materiales (y su disposición), otorgan al instrumento una buena transmisión del sonido y durabilidad.

Renderizado.

El renderizado del modelo virtual 3D de la guitarra permite visualizar el aspecto final del producto, incluyendo todos sus componentes y sus respectivos materiales, colores y texturas. Su imagen se basa en las líneas generales de modelos clásicos de guitarras eléctricas.

Validación del diseño.

Una vez recopilados y tratados los datos obtenidos por las técnicas aplicadas de goniometría e inclinometría electrónica se procede a introducirlo en el software de evaluación ergonómica con objeto de ser comparado con los obtenidos en la fase de evaluación del rediseño efectuado. Para ello se utiliza el software *AnyBody Modeling System*, un simulador de la actividad humana en el cual se pueden introducir los valores para todas las articulaciones pudiendo obtener las posturas adoptadas por el usuario, diferenciando entre las diferentes zonas del mástil. En la figura 17 se verifica que la postura adoptada a partir de los datos recopilados coincide con la requerida para el uso del producto.

adoptadas en base al análisis realizado anteriormente así como las tendencias del mercado y una combinación innovadora de materiales (Fig. 15) que

Esta fase junto a la construcción de un prototipo se encuentra en fase de realización, sobre el cual se desarrolla una nueva evaluación de carga postural



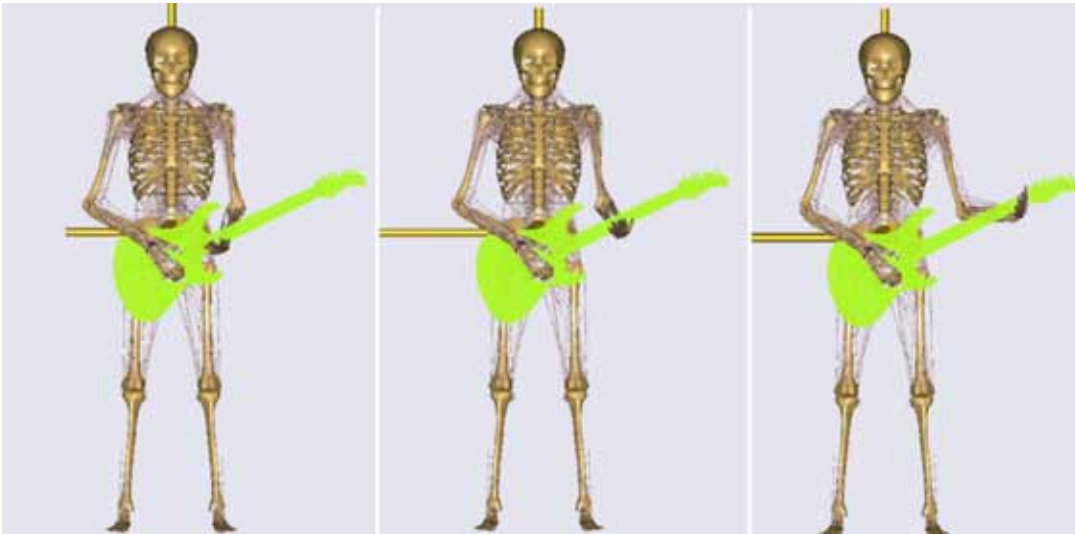



Figura 17. Verificación de los datos posturales. Sistema Anybody Modeling System.

El rediseño final de la guitarra eléctrica ergonómica combina las soluciones ergonómicas-biomecánicas adoptadas en base al análisis realizado, así como una combinación innovadora de materiales que supone una reducción considerable del peso, lo que reduce el esfuerzo muscular

por inclinometría, articular por goniometría y de uso por electromiografía y test subjetivos, para obtener unos datos en comparación con los obtenidos en la primera fase. También en esta fase de realización se llevara a cabo la comparación de los datos con los con el simulador de la actividad humana con *AnyBody Modeling System*. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Solás, M. *Rediseño Biomecánico de una guitarra eléctrica*. Proyecto de Fin de Carrera. Director, Francisco Aguayo. EPS. Sevilla 2011.
- [2] Fjellman-Wiklund, A.; Chesky K. *Musculoskeletal and general health problems of acoustic guitar, electric guitar and banjo players*. Texas, 2006
- [3] Rosset-Llobet, J.; Rosinés-Cubells, D.; Saló-Orfila J.M. *Detección de factores de riesgo en los músicos de Cataluña*. Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Unidad Médicoquirúrgica del Arte. Hospital General de Manresa. Barcelona, 2000.
- [4] “Orden ECO/797/2002, de 22 de marzo, por la que se aprueba el procedimiento de medida y control de la continuidad del suministro eléctrico”, publicada en el B.O.E. de 13 de abril de 2002, pp. 14170-14176.
- [5] Rosset-Llobet, J.; Fabregas, S.; Posinés, D.; Narberhaus, J.; Montero, J. *Análisis clínico de la distonía focal en los músicos*. Revisión de 86 casos. Institut de Fisiología I Medicina de l’Art. Terrassa, 2005.
- [6] “European Standard UNE-EN 61000, sobre Compatibilidad Electromagnética, CEM”. AENOR 2001.
- [7] “Guía sobre la calidad de la onda en las redes eléctricas”. Ed. Unesa S.A., 1996.

– *Herramientas técnicas utilizadas en el estudio.*

- Sistema de inclinometría electrónica “ErgoPose/IBV”. Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Sistema de goniometría electrónica “ErgoMov/IBV”. Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Sistema de electromiografía de superficie “KINE Pro EMG Wireless”. KINEPRO S.R.L