



## Pre-Fall – Sistema inteligente para la prevención y predicción de caídas

### **E2.2 – Implementación de un proceso de benchmarking para la evaluación de dispositivos inerciales de medición de la marcha**

Proyecto	Pre-Fall – Sistema inteligente para la prevención y predicción de caídas
Entregable	E2.2 – Implementación de un proceso de benchmarking para la evaluación de dispositivos inerciales de medición de la marcha
Fecha	24/10/2022

## Contenido

Contenido .....	1
Índice de figuras .....	2
Índice de Tablas.....	3
Resumen Ejecutivo .....	4
1 Introducción .....	5
1.1 Metamotion RL+ (Mbientlab Inc.).....	5
1.2 ActiSense (WiseWare Solutions Engineering) .....	7
1.3 LPMS-B2 de LP-Research Inc. ....	8
1.4 Características específicas de sensores.....	9
1.4.1 Fusión de Sensores ( <i>Sensor Fusion</i> ) .....	9
2 Proceso de selección de sensores inerciales para la evaluación de la marcha humana mediante <i>benchmarking</i> .....	11
2.1 Equipamiento requerido .....	11
2.2 Protocolo de benchmarking.....	14
2.2.1 Ubicación.....	14
2.2.2 Usuarios.....	14
2.2.3 Metodología de registro de valoraciones ( <i>scoring</i> ) .....	15
3 Resultados .....	20
4 Conclusiones.....	21
5 Bibliografía .....	22

## Índice de figuras

Figura 1 MetaMotionRL con su carcasa (izq.) y esquema (der.) .....	6
Figura 2. ActiSense IMU .....	7
Figura 3. LPMBS-2 de LP-Research. Vista Carcasa (izq-centro) y placa PCB (derecha). ....	8
Figura 4. Funcionamiento del algoritmo Sensor Fusion para LPMBS-2 de LP-Reserach.....	8
Figura 5: Matrices básicas de rotación en 3D con sistema de referencia XYZ y UVW .....	10
Figura 6: Representación de los ángulos de Euler XYZ o UVW .....	10
Figura 7: Data Adquisition Tool by IBC Biomechanics (arriba) y registro en CSV (abajo). ....	12
Figura 8: MetaWear App (arriba). Registro de en CSV (abajo) .....	13
Figura 9: LPMSControl (arriba) y registro en CSV (abajo) .....	14
Figura 10: Visual3D de C-Motion .....	14
Figura 11: Diagrama de registro de valoración (scoring) de los IMUs .....	18

## Índice de Tablas

Tabla 1: Proveedores y Sensores inerciales seleccionados para el benchmark.....	5
Tabla 2: Especificaciones técnicas MetamotionRL+.....	6
Tabla 3: Especificaciones técnicas Actisense .....	7
Tabla 4: Especificaciones técnicas LPMBS-2 .....	9
Tabla 5: Equipamiento requerido para el <i>benchmark</i> .....	11
Tabla 6: Acceso y extracción .....	15
Tabla 7: Tamaño .....	16
Tabla 8: Autonomía .....	16
Tabla 9: Comunicaciones.....	17
Tabla 10: Facilidad de Uso.....	17
Tabla 11: Matriz de personal y fases del proceso .....	19
Tabla 12: Resultado del <i>scoring</i> del <i>benchmark</i> .....	20

## Resumen Ejecutivo

En la Sección 1 se han identificado tres unidades de medición inercial (IMU: Inertial Measurement Unit) de tres fabricantes. Estos IMUs se han escogido por su coste inferior o igual a 300 € y que tengan tres sensores triaxiales. A partir de aquí se han revisado las características técnicas de cada uno de ellos.

Posteriormente en la Sección 2 se ha establecido un protocolo de *benchmarking* o evaluación de los tres dispositivos. Este proceso tiene como cometido realizar un *Scoring* o puntuación sobre los ítems evaluados que propone el *benchmarking* de la Tarea 2.2.

En la Sección 3 se establece la puntuación (proceso de *scoring*) y que llevará a la elección del IMU que más puntuación ha recogido. Dicho IMU seleccionado será utilizado para la Tarea 2.3 de Registro Inicial de datos y será utilizado en el protocolo de batería de pruebas que se implementó en el Entregable 2.3.

## 1 Introducción

Revisadas metodologías para el estudio de la marcha con sensores inerciales [1] se ha detectado que el uso de los IMUs toma determinadas ventajas sobre otro tipo de sensores. En la <sup>1</sup>comparativa realizada por [2] donde se analizan los sensores clásicos versus los sensores inerciales IMUs en adultos sanos y con patologías, se puede apreciar que los IMUs tienen diversas ventajas como su portabilidad, uso en espacios abiertos, libertad total de movimientos, facilidad de instalación en pacientes, coste económico de hardware, todo conjuntado con una consecución de registros bastante preciso.

Así, en los siguientes puntos se van a analizar 3 sensores inerciales (IMUs):

Proveedor	Sensores inerciales	Precio	Accelerómetro x3	Giroscopio x3	Magnetómetro x3
<b>Mbientlab Inc.</b>	Metamotion RL+	90 USD	Sí	Si	Sí
<b>WiseWare Solutions<sup>2</sup></b>	Actisense	300 €	Sí	Sí	Sí
<b>LP-Research Inc.<sup>3</sup></b>	LPMBS-2	290 USD	Sí	Sí	Sí

Tabla 1: Proveedores y Sensores inerciales seleccionados para el benchmark

Con lo que se va a definir un proceso de *benchmarking* para testear los sensores. Dispositivos de medidas IMU elegidos. A continuación, se revisan las especificaciones técnicas de cada uno de los sensores para realizar la evaluación.

### 1.1 Metamotion RL+ (Mbientlab Inc.)

Este dispositivo inercial *MetamotionRL<sup>®</sup> MMRL* de la empresa *MBENTLAB Inc.* es un dispositivo de 9 grados de libertad (9DOF<sup>4</sup>).

<sup>1</sup> <https://www.mbientlab.com>

<sup>2</sup> <https://wisewaresolutions.com>

<sup>3</sup> <https://lp-research.com>

<sup>4</sup> DoF: Degrees of Freedom. Término para identificar que el IMU tiene tres sensores triaxiales (con valores en X, Y, Z) que son el giroscopio, magnetómetro y acelerómetro.

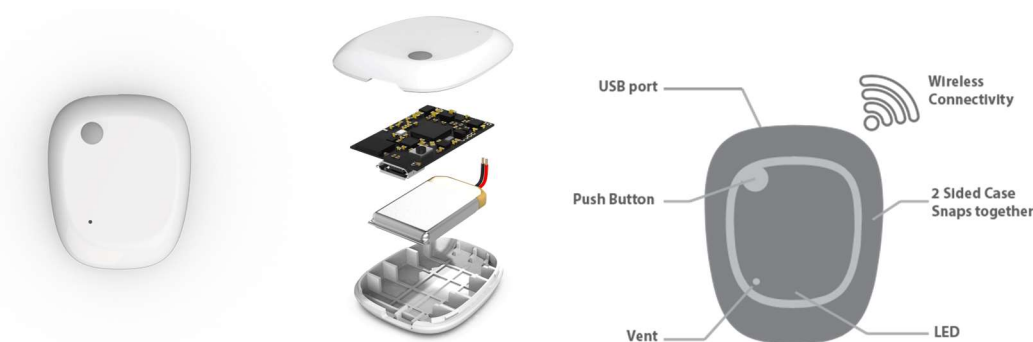


Figura 1 MetaMotionRL con su carcasa (izq.) y esquema (der.)

Los datos técnicos del sensor son los siguientes:

<b>Peso</b>	56.7 gr
<b>FormFactor minituarizado</b>	27mm × 27mm x 4mm con carcasa
<b>Modo de uso</b>	Streaming mode: 8h-24h Recording mode: 2h-48h
<b>Tipo de Batería</b>	70-100mAH micro-USB recargable. Tiempo de carga: 2h
<b>Resistencia</b>	IP40 con carcasa
<b>Cumplimiento normativo</b>	CE, FCC, IC, RoHS
<b>API Programable</b>	Swift, C++, Java, Javascript y Python
<b>Transferencia de Datos</b>	Bluetooth Low Energy 4.0 Smart®
<b>SD Card</b>	8 Mb
<b>Giroscopio</b>	Rango: $\pm 125, \pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000^\circ/\text{s}$ Resolución: 16 bit Tasa de muestreo: 0.001Hz – 100Hz stream – 800Hz log
<b>Acelerómetro</b>	Rango: $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16 \text{ g}$ Resolución: 16 bit Tasa de muestreo: 0.001Hz – 100Hz stream – 800Hz log
<b>Magnetómetro</b>	Rango: $\pm 1300\mu\text{T}$ (x,y-axis), $\pm 2500\mu\text{T}$ (z-axis) Resolución: $0.3\mu\text{T}$ Tasa de muestreo: 0.001Hz – 25Hz
<b>Sensor Fusion</b>	Salidas: Quaternion, Euler Angles (Yaw, Pitch, Roll), Linear Acc, Earth Acc (Gravity), Robust Heading Precisión: $< 1^\circ \text{ RMS}$ Tasa de muestreo: 100 Hz

Tabla 2: Especificaciones técnicas MetamotionRL+

Los 9 grados de libertad se dividen en los siguientes sensores:

- BMI160: 6 grados de libertad Acelerómetro + Giroscopio

- BMM150: 3 grados de libertad Magnetómetro
- BOSCH: 9 grados de libertad sensor fusion

## 1.2 ActiSense (WiseWare Solutions Engineering)

ActiSense es otro sensor inercial con gran capacidad de almacenamiento (16GB) y muy buena autonomía. Este otro sensor 9DOF y el modelo utilizado también puede medir orientaciones como *Quaternions* y Ángulos de Euler. Además, es posible medir temperatura.

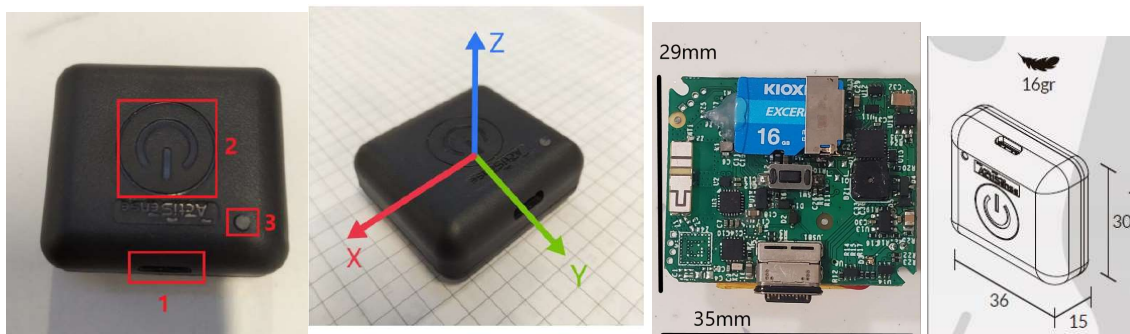


Figura 2. ActiSense IMU

<b>Peso</b>	16 gr
<b>FormFactor minituarizado</b>	36mm × 15 mm x 30mm con carcasa
<b>Modo de uso</b>	50 horas de uso
<b>Tipo de Batería</b>	Litio
<b>Resistencia</b>	IP 20
<b>Cumplimiento normativo</b>	CE, FCC, IC
<b>API Programable</b>	C# y Python
<b>Transferencia de Datos</b>	Bluetooth Low Energy 4.0 Smart® / 5.0 / 5.1
<b>SD Card</b>	16 Gb
<b>Giroscopio</b>	Rango: $\pm 125, \pm 250, \pm 500, \pm 1000$ °/s Precisión: 16b Tasa Muestreo: 25Hz, 100Hz, 200Hz
<b>Acelerómetro</b>	Rango: $\pm 2, \pm 4, \pm 8$ g Precisión: 16b Tasa Muestreo: 25Hz, 100Hz, 200Hz
<b>Magnetómetro</b>	Rango: $\pm 4912$ $\mu$ T Precisión: 16b Tasa Muestreo: 25Hz, 100Hz, 200Hz
<b>Sensor Fusion</b>	Salidas: Quaternion, Euler Angles (Yaw, Pitch, Roll), Linear Acc. Precisión: $< 1^\circ$ RMS Tasa de muestreo: 25Hz, 100 Hz, 200 Hz

Tabla 3: Especificaciones técnicas Actisense



### 1.3 LPMS-B2 de LP-Research Inc.

El LP-Research Motion Sensor Bluetooth versión 2 (LPMS-B2) es una unidad de medición inercial inalámbrica (IMU) en miniatura/sistema de referencia de altitud y rumbo (AHRS).

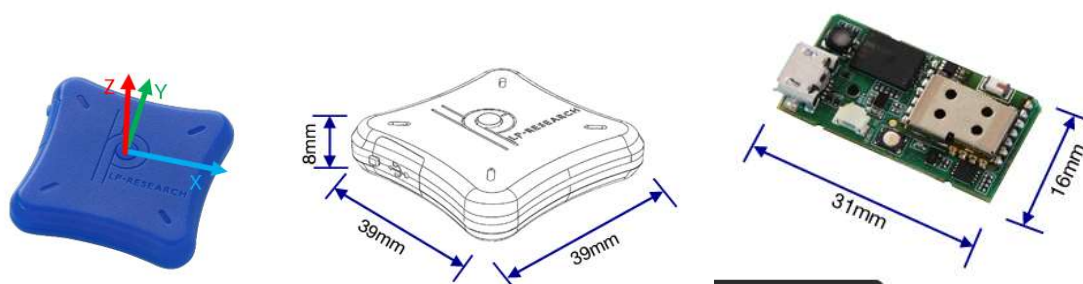


Figura 3. LPMBS-2 de LP-Research. Vista Carcasa (izq-centro) y placa PCB (derecha).

La unidad realiza mediciones precisas de orientación y desplazamiento relativo mediante el uso de tres sensores MEMS<sup>5</sup> diferentes (giroscopio de 3 ejes, acelerómetro de 3 ejes y magnetómetro de 3 ejes) se logran datos de orientación de los 9 grados de libertad. Además, los sensores de temperatura y presión barométrica permiten una determinación precisa de la altitud de la unidad.

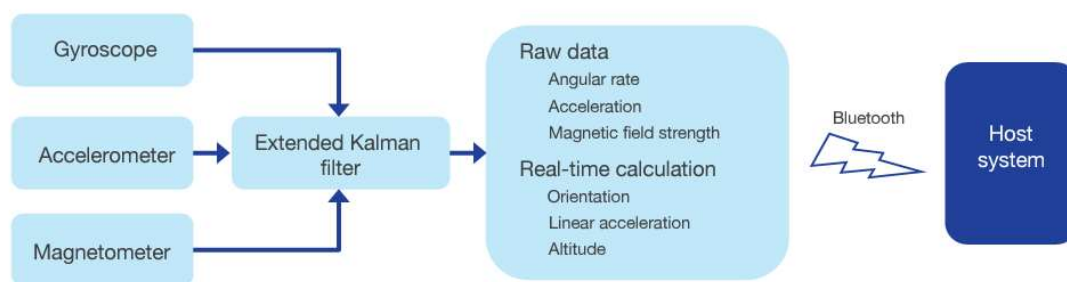


Figura 4. Funcionamiento del algoritmo Sensor Fusion para LPMBS-2 de LP-Reserach.

Datos técnicos:

<b>Peso</b>	12 gr
<b>FormFactor minituarizado</b>	39×39×8mm con carcasa
<b>Modo de uso</b>	

<sup>5</sup> MEMS: Micro-Electro-Mechanical System: se refiere a la tecnología electromecánica de dispositivos microscópicos, sobre todo los que tiene partes móviles.

<b>Tipo de Batería</b>	Lithium battery > 6h (3.7 v@ 230mAh)
<b>Resistencia</b>	
<b>Cumplimiento normativo</b>	FCC, CE
<b>API Programable</b>	Librería C++ para Windows, Libría Java para Android, LpmsControl software y Open Motion Analysis Toolkit (OpenMAT) para Windows
<b>Transferencia de Datos</b>	
<b>Giroscopio</b>	3-axis, $\pm 125 / \pm 245 / \pm 500 / \pm 1000 / \pm 2000$ dps, 16 bits
<b>Acelerómetro</b>	3-axis, $\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16$ g, 16 bits
<b>Magnetómetro</b>	3-axis, $\pm 4 / \pm 8 / \pm 12 / \pm 16$ gauss, 16 bits
<b>Sensor Fusion</b>	Filtro extendido de Kalman

Tabla 4: Especificaciones técnicas LPMBS-2

## 1.4 Características específicas de sensores

### 1.4.1 Fusión de Sensores (*Sensor Fusion*)

Los tipos de dispositivos de medida inercial más frecuentes incorporan una serie de algoritmos que en su conjunto reciben el nombre de fusión sensorial. Dichos algoritmos procesan los datos procedentes de los acelerómetros, giróscopos, y magnetómetros para proporcionar información acerca de la orientación.

En este trabajo se tomará como medida de representación de la orientación referencia los ángulos de Euler, pero existen otros métodos de representación de la orientación en tres dimensiones (3D). Los más comunes son los siguientes

- **Matrices básicas de rotación 3D:** giro en torno a un eje únicamente. La Figura 5 muestra las tres matrices de rotación.

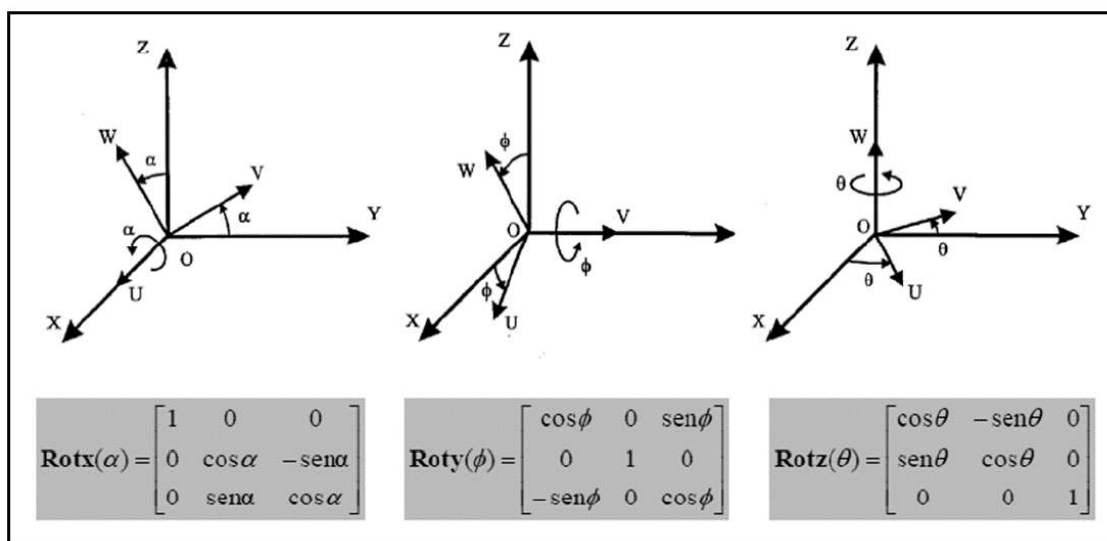


Figura 5: Matrices básicas de rotación en 3D con sistema de referencia XYZ y UVW

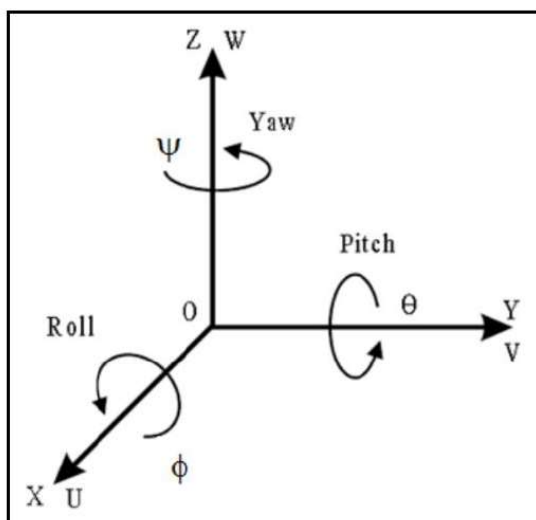
- **Cuaterniones (*Quaternions*):** proporcionan una expresión matemática para representar la orientación y la rotación de un objeto en tres dimensiones. Se trata de una de las representaciones de orientación más comunes en las IMUs, ya que son más eficientes que las matrices de rotación

$$Q = [q_0, q_1, q_2, q_3] = [s, v] \quad (1)$$

$$Q = \left( \cos \frac{\theta}{2}, k * \sin \frac{\theta}{2} \right) \quad (2)$$

La ecuación (1) es la expresión matemática de un *quaternion*, cuyo vector  $Q$  está formado por una parte vectorial  $[q_1, q_2, q_3]$ , que representa la dirección del eje de rotación, y por una parte escalar  $[q_0]$  que especifica la cantidad de rotación sobre el vector. La expresión (2) es otra manera de representación vectorial de un *quaternion*, y representa un giro  $\theta$  en torno al eje  $k$ .

- **Ángulos de Euler XYZ:** es la representación de una rotación por la sucesión de tres giros en torno a los tres ejes de forma independiente (Figura 6). Es la más frecuente y la más intuitiva, y expresan la posición más general de un sistema de referencia con punto fijo mediante tres ángulos. Estos tres ángulos suelen recibir el nombre de Roll, Pitch y Yaw.



Roll: giro en torno al eje X

Pitch: giro en torno al eje Y

Yaw: giro en torno al eje Z

Figura 6: Representación de los ángulos de Euler XYZ o UVW

## 2 Proceso de selección de sensores inerciales para la evaluación de la marcha humana mediante *benchmarking*

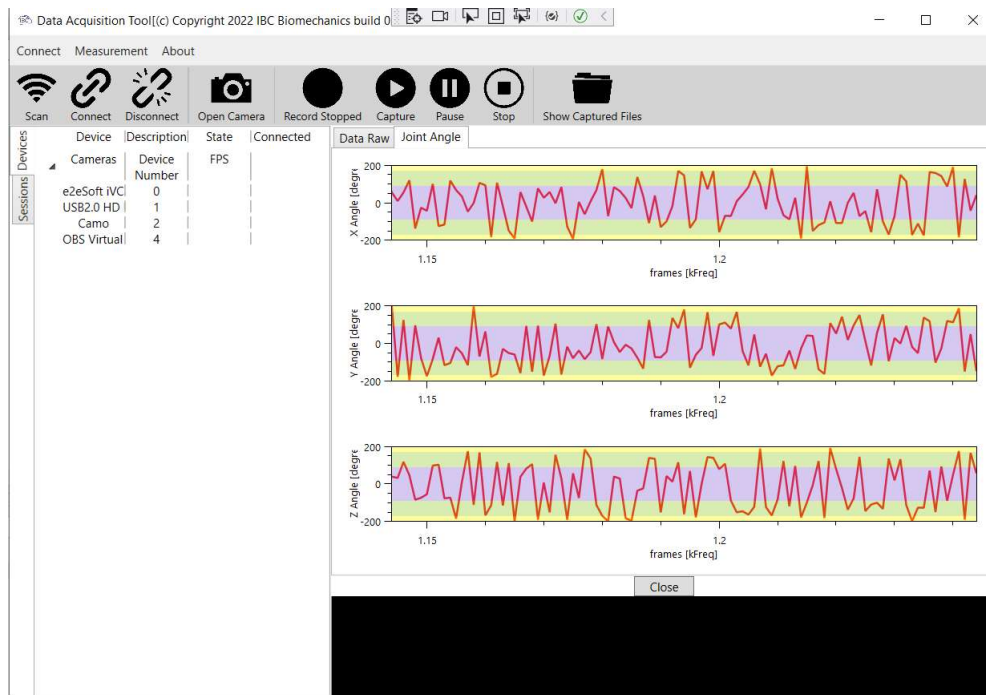
### 2.1 Equipamiento requerido

En el laboratorio que se menciona en el Entregable 2.1 se van a realizar las pruebas para realizar el *scoring* de sensores inerciales. Se dispondrá de:

Aplicación	Sensor	Funcionalidad	Sistema Operativo
<b>Data Acquisition Tool</b> © <b>IBC Biomechanics</b> <b>™ (v0.9.1)</b>	ActiSense ®	Adquisición de datos para Sensores mediante registro en fichero y video	MS Windows 7, 8, 10 y 11 (posibilidad de otras plataformas)
<b>MetaWear</b> ®	MetamotionRL+®	Adquisición de datos para Sensores mediante registro de datos en fichero	Android e iOS
<b>LPMPSControl</b> ® <b>(v1.3.5)</b>	LPMB-2 ®	Adquisición de datos para Sensores mediante registro de datos en fichero	MS Windows 7, 8, 10 y 11
<b>Visual3D Analyzer</b> ® <b>de C-Motion</b> ™	ActiSense ® MetamotionRL+® LPMB-2 ®	Verificador de gráficas y video	MS Windows 7, 8, 10 y 11

Tabla 5: Equipamiento requerido para el *benchmark*

- **Data Acquisition Tool:** es una herramienta desarrollada por IBC y que está adecuada principalmente para los sensores ActiSense. Aparte de otras funciones, se utiliza para registro de datos en *raw* de forma *streaming*. Esto es, datos concernientes al acelerómetro, giroscopio y magnetómetro en tiempo real. Facilita el escaneo de dispositivos de ActiSense, ya que no tienen forma de hacer *pairing* (ligarse al dispositivo Bluetooth)

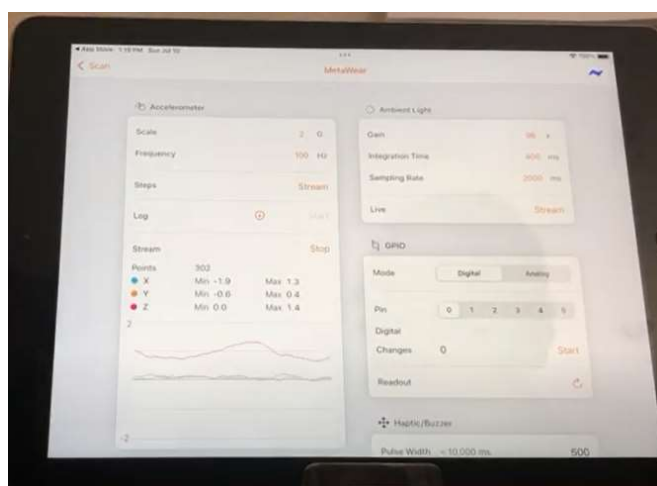


TIME	TIME	ACC_X	ACC_Y	ACC_Z	GYR_X	GYR_Y	GYR_Z	MAG_X	MAG_Y	MAG_Z	ACCL_X	ACCL_Y	ACCL_Z
ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL
ITEM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0	0.45725858221	-9.673959171976998	-0.8128281079099999	-1.20693135	0.07742723	0.2036504	-7.77550411	-18.94182968	-53.7269783	-0.067350503136	-0.08327277620899999	-0.08939379293949999
1	0.01	1	0.4508348499949999	-9.69781553669999	-0.786982289569	-1.41052759	-0.41989878	0.53217524	-7.77550411	-15.2341423	-54.19467926	-0.0613850198745	-0.05738106274599999
1	0.02	2	0.4571523861905	-9.738080334135999	-0.6307384831375	-1.53888893	-0.47456834	0.80997604	-7.77550411	-15.2341423	-54.19467926	-0.0678876133545	-0.01894650038499999
1	0.03	3	0.4239452602027	-9.7604803898665	-0.8284763831819999	-1.61399317	-0.64750899	1.01551759	-8.53551579	-10.47413063	-54.22391129	-0.036447493456499999	0.0035857035059999997
1	0.04	4	0.39811262666349995	-9.772465059823999	-0.862310584647	-1.66502667	-0.71739656	1.11841619	-8.85705948	-10.26951218	-53.93159866	-0.0125465299435	0.015769975794499997
1	0.05	5	0.41276282626549994	-9.762634322472499	-0.876717359284999	-1.59058666	-0.3564483	0.74215281	-0.24320412	-18.82465054	-53.87313461	-0.02981652315199999	0.006129744484899999
1	0.06	6	0.442339539432	-9.766682153265	-0.5152416997219999	-1.30327504	-0.31970331	0.62410426	-8.30166626	-18.7079752	-53.20081711	-0.05922402648049999	0.010375435695999999
1	0.07	7	0.4146009395745	-9.777815507005	-0.9082784400939999	-1.64782512	-0.74559236	0.73153281	-8.30166626	-18.7079752	-53.20081711	-0.03201920582499999	0.021736439725
1	0.08	8	0.41144894179149997	-9.7678043883525	-0.912542151195	-1.55236105	-0.58531487	0.26244426	-8.44782257	-18.38843646	-53.23004913	-0.02994754777	0.011960386473
1	0.09	9	0.4443385269679999	-9.7646193845655	-0.9088526963765	-1.33455014	-0.58840447	-0.08583415	-8.21397209	-18.88336754	-54.106987	-0.062725413523	0.008957694415
1	0.1	10	0.496142351726	-9.798061041730499	-0.9045498034265	-1.2360584	-1.12568831	-0.23728129	-8.33089733	-19.2341423	-53.0546608	-0.11443134718749999	0.0426525531775
1	0.11	11	0.5150106448875	-9.825780224421	-0.916881960001	-1.10665274	-1.54884422	-0.50893241	-8.59397759	-18.64951706	-53.31774139	-0.137048718282	0.070610233596
1	0.12	12	0.618450549366	-9.885436520334959	-0.950818064859999	-1.16021657	-1.6976389	-0.65329293	-0.50628471	-18.59105492	-53.11312485	-0.2331008343055	0.13056534580399999
1	0.13	13	0.6516296314044999	-9.8912361080435	-0.9528740326315	-1.16618371	-2.19684196	-0.50769711	-8.50628471	-10.59105492	-53.11312485	-0.2655022020385	0.136594278121
1	0.14	14	0.6088094825785	-9.845230734030999	-0.962629197719	-1.28546381	-3.10633087	-0.12706584	-7.71704149	-18.76644325	-53.78544235	-0.22271490549	0.09080300854449999
1	0.15	15	0.49817124544449999	-9.778730071316999	-0.95028081823	-1.30748737	-3.39661751	0.02377754	-8.54478269	-17.91873741	-53.17155058	-0.1128343488115	0.02452524851999999
1	0.16	16	0.41715517963349996	-9.692484118828	-0.915128530981	-1.30887485	-3.65307498	-0.0701421	-8.33089733	-18.26951218	-53.63928604	-0.032131292591999996	-0.0615238820385

Figura 7: Data Adquisition Tool by IBC Biomechanics (arriba) y registro en CSV (abajo).

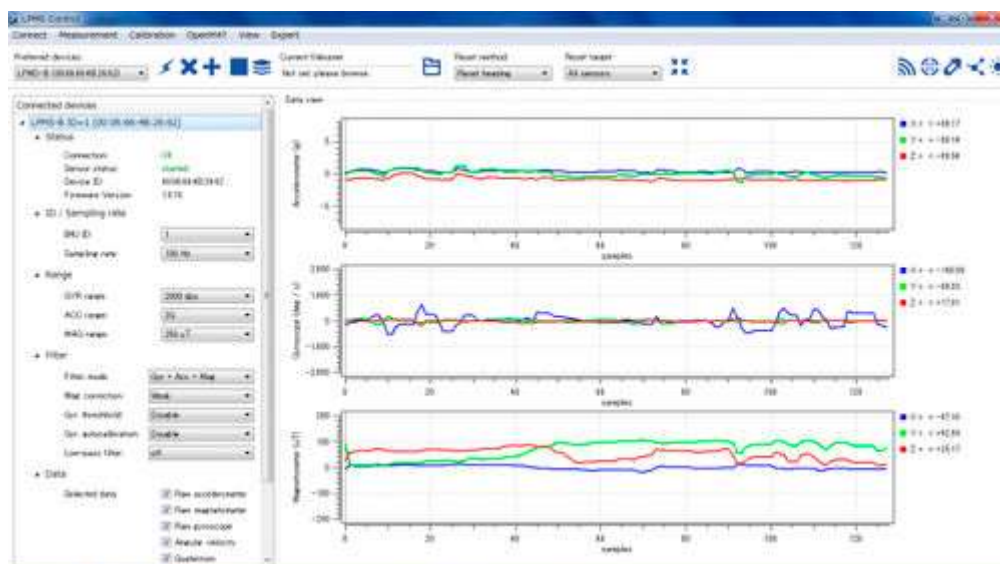
- **MetaWearAPP:** es una herramienta desarrollada (Figura 8) por MblintLab y que su versión más avanzada se encuentra para iOS/iPad. En ella se puede realizar *streaming* y *logging* de datos en raw. Ofrece método de calibración.



[illegible]

**Figura 8: MetaWear App (arriba). Registro de en CSV (abajo)**

- **LPMSControl:** es una herramienta desarrollada (Figura 8) por LP-Research y ofrece bastantes funciones de registro y configuración del IMU. Dando posibilidad de registrar los valores en distintas resoluciones de máximos y mínimos. Además de poder calibrar el sensor en Acelerómetro, Giroscopio y Magnetómetro de forma muy sencilla y eficiente.



SerialID	TimeStamp (s)	FrameNumber	AccX (g)	AccY (g)	AccZ (g)	GyroX (deg/s)	GyroY (deg/s)	GyroZ (deg/s)	MagX (uT)	MagY (uT)	MagZ (uT)
1	-0.0002	0	0.00608886	0.00842969	-0.99836403	-0.15761241	-0.01073755	-0.1143801	57.657795	60.4753532	-43.1031532
1	0.0098	1	0.00644524	0.00827579	-0.99993038	-0.17897885	-0.12719721	-0.00800178	57.834583	62.9563736	-43.5853736
1	0.0198	2	0.00544297	0.00917856	-1.00332832	-0.17429774	-0.02024994	-0.02200161	56.6575241	60.7362595	-43.5121498
1	0.0298	3	0.00675571	0.00995754	-1.00672686	-0.31317031	-0.0238494	-0.0775208	57.8959541	60.7125397	-43.3242343
1	0.0398	4	0.00660118	0.01209507	-0.99991971	-0.35194907	-0.05064792	0.03695098	57.3243675	60.7955589	-42.9705048

Figura 9: LPMSControl (arriba) y registro en CSV (abajo)

- **Visual3D:** es una herramienta desarrollada por C-Motion (Figura 9) y sirve para evaluar tanto registros realizados por los IMUs como el Mocap (descrito en Entregable 2.1). Es una herramienta que se utiliza para validación de datos registrados con IMU.

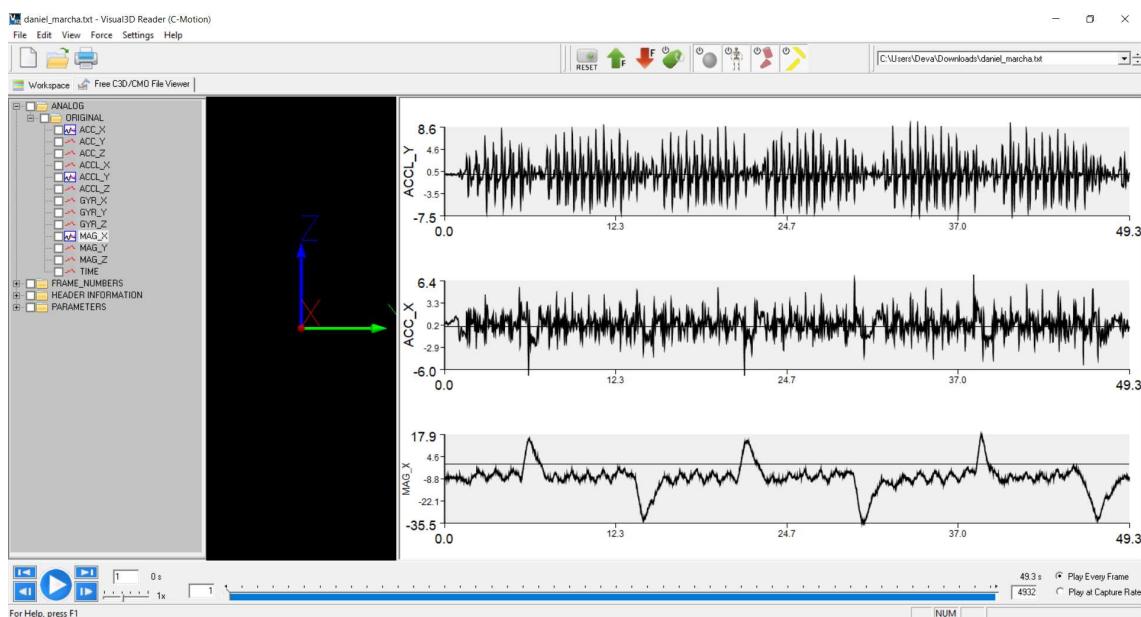


Figura 10: Visual3D de C-Motion

## 2.2 Protocolo de benchmarking

La realización del *scoring* requiere que durante un tiempo los sensores estén puestos a prueba en el laboratorio para realizar pruebas y que todos los usuarios que puedan emitir una valoración de los IMUs.

### 2.2.1 Ubicación

Se realizará en el laboratorio descrito en el entregable 2.1

### 2.2.2 Usuarios

Los tipos de usuarios que pueden participar en la evaluación de los sensores inerciales serán:

- **Usuario experto:** Auxiliares de laboratorio: que trabajan con los pacientes
- **Técnico especialista:** Ingenieros de Software que estén dedicados a la creación de aplicaciones donde intervengan los IMUs

- **Usuario:** Pacientes que puedan emitir valoraciones sobre la comodidad a la hora de llevar el sensor
- **Técnico cualificado:** Cualquier otro personal que tome contacto con los sensores

## 2.2.3 Metodología de registro de valoraciones (*scoring*)

### 2.2.3.1 Instrumentos de valoración

Se utilizará una plantilla donde cada categoría: Acceso y extracción, Tamaño, Autonomía, Comunicaciones y Facilidad de Uso Cotidiano será valorada de 0 a 3 según tablas de más abajo (Tablas de 6 a 10).

- **Formulario 1:** Se valora el acceso y extracción de los datos registrados por el IMU. Los criterios de calificación se muestran en Tabla 6.

Acceso y extracción	Valor
0	Imposibilidad de acceso a los ficheros en su extracción de datos
1	Método no ágil que sólo permite conectar el dispositivo como unidad de almacenamiento externo sin poder acceder al mismo mientras registra
2	Facilidad de API para acceso en streaming y logging
3	API funcional y ayuda de Dongle USB que permita mejor comunicación

Tabla 6: Acceso y extracción

- **Formulario 2:** Se valora el factor de forma (dimensiones) y peso del sensor. Los criterios de calificación se indican en Tabla 7.

Tamaño	Valor (peso y dimensiones)
--------	----------------------------------



0	Peso > 100gr y Tamaño > 50×50×20mm
1	Peso < 100 gr y > 60 gr. Tamaño <= 60×60×20mm
2	Peso < 60 gr y > 30 gr. Tamaño <= 50×50×15mm
3	Peso < 30 gr y tamaño <= 40×40×10mm

Tabla 7: Tamaño

- **Formulario 3:** Se evaluará el tiempo de uso del sensor totalmente cargada hasta su apagado por falta de batería. Los criterios de calificación están en Tabla 8.

Autonomía	Valor
0	Menos de 8 h
1	Entre 8 h y 16 h
2	Entre 8 h y 36 h
3	Más de 36 h

Tabla 8: Autonomía

- **Formulario 4:** Aquí se evalúa la comunicación mediante APIs y otras herramientas de desarrollo. Los criterios de calificación están en Tabla 9.

Comunicaciones	Valor
0	Comunicaciones por USB
1	Inalámbricas: Bluetooth 4.1 (no BLE), Wifi

2	Inalámbricas: Bluetooth LE 4.1 (BLE), Bluetooth 4.1, WiFi
3	Inalámbricas: Bluetooth LE 4.1 (BLE), Bluetooth 4.1, WiFi Utilización de Dongle USB para transmisión de datos por BLE

Tabla 9: Comunicaciones

- **Formulario 5:** Aquí se valora el uso diario, en cuanto a manejo, funcionamiento, registro sin desconexiones, opinión del paciente. Los criterios de calificación están en Tabla 10.

Facilidad de Uso	Valor
0	Usuario: experimenta incomodidad del sensor Auxiliar: dificultad en la instalación. Cortes de comunicación Técnico: API no disponible
1	Usuario: el dispositivo se vuelve incómodo después de un tiempo de uso (1h). Auxiliar: Experimenta algunos fallos de comunicación y su instalación no es del todo sencilla Técnico: API poco desarrollada
2	Usuario: el dispositivo se vuelve incómodo después de mucho tiempo de horas de uso Auxiliar: Experimenta algunos fallos de comunicación Técnico: API desarrollada pero faltan funciones
3	Usuario: el dispositivo es cómodo después de varias horas de uso Auxiliar: No hay fallos de conexión Técnico: API completamente funcional

Tabla 10: Facilidad de Uso

### 2.2.3.2 Protocolo de valoración (scoring)

Se han tomado mediciones a lo largo de varias semanas de tal forma que se busque acoplar el sensor a las necesidades de todos los usuarios que estén en las pruebas. Se ha buscado un uso

común y diario porque es dónde mejor se valorarían y se ha seguido el protocolo de valoración se muestra en la Figura 8.

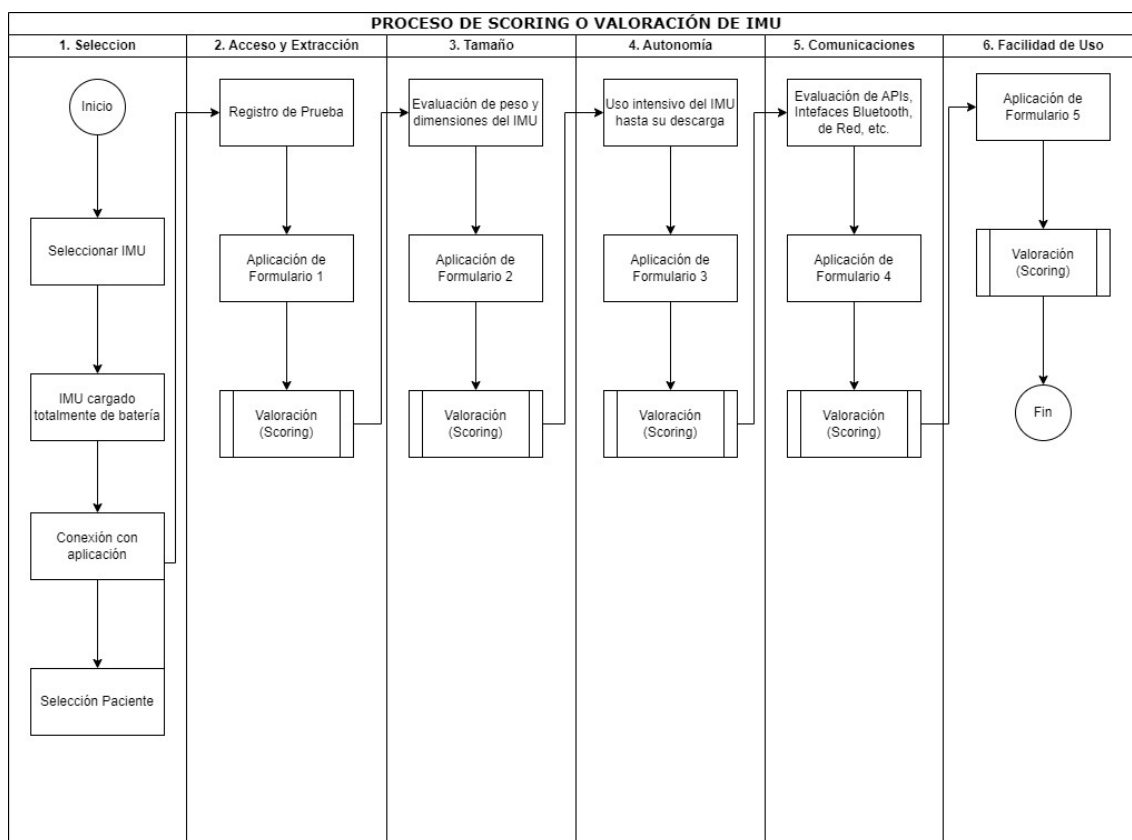


Figura 11: Diagrama de registro de valoración (scoring) de los IMUs

Este proceso de valoración incluye varias fases que concuerdan con la aplicación de cada uno de los instrumentos de valoración dados en la sección 2.2.3.1. Incluyendo una fase inicial: selección, que es el inicio del proceso de *scoring* que se hace preparando previamente el IMU y al paciente. Y configurando todos los dispositivos en el laboratorio.

En este proceso intervienen el personal descrito en la sección 2.2.2. y en la siguiente Tabla 11 se indica la matriz de participación de cada uno de ellos en el proceso. En dicho proceso cada usuario participa tanto el uso como registro, dependiendo la fase y el usuario. Que conformarán un registro en cada uso del IMU.

Tipo de Usuario	Fase
Usuario experto	1, 2, 3, 4, 5, 6
Técnico Especialista	2, 3, 4, 5
Usuario	3 y 6
Técnico Cualificado	1, 2, 3, 4 y 6

**Tabla 11: Matriz de personal y fases del proceso**

### 3 Resultados

Finalmente se ha seleccionado el sensor ActiSense® de WiseWare™ Solutions Engineering debido al resultante de la puntuación obtenida (Score). Llegando a ser el primero en el *ranking*. No obstante, cabe mencionar que los otros sensores también son válidos para el proyecto, pero sus características de conectividad no superan al seleccionado. La autonomía es también un punto importante que hace que ActiSense® sea utilizado en sesiones largas de captación de datos.

Sensores Inerciales	Acceso y Extracción	Tamaño	Autonomía	Comunicaciones	Facilidad de Uso Cotidiano	Score
MetamotionRL2+® (Mbientlab Inc.™)	2	1	1	3	1	8
ActiSense® (WiseWare™ Technologies)	3	2	3	3	3	14
LPMBBS-2® (LP-Research Inc.™)	3	3	1	2	3	12

Tabla 12: Resultado del *scoring* del *benchmark*

## 4 Conclusiones

En conclusión, después de realizar el proceso de *scoring* o puntuación, se ha obtenido que el IMU ActiSense® de WiseWare™ Technologies tiene la mejor puntuación de 14 puntos, seguido por LPMBS-2® (LP-Research Inc.™) con 12 puntos y por último MetamotionRL2+® (Mbientlab Inc.™) con 8 puntos.

Cabe destacar que los tres sensores son utilizables pero el que reúne mejores condiciones es ActiSense. Con lo cual, una vez implementado el Protocolo de Pruebas en Entregable 2.1, y el IMU seleccionado en este Entregable 2.2, se procede a tener en disposición de todos los elementos que se necesitan para el Plan de Captura Inicial en Entregable 2.3.

## 5 Bibliografía

- [1] E. P. Juri Taborri, «Gait Partitioning Methods: A Systematic Review,» *MDPI*, 2016.
- [2] F. Petraglia, L. Scarcella, G. Pedrazzi, L. Brancato, R. Puers y C. Costantino, «Inertial sensors versus standard systems in gait analysis: A systematic review and meta-analysis.,» *Eur. J. Phys. Rehabil. Med*, pp. 55, 265–280, 2019.