

## **Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

### **Análisis y calibrado de sensores de movimiento 3D para las manos**

**MEMORIA**

**HECTOR MONTALVO RUIZ**

**PONENTE: MARCOS FAÚNDEZ**

**CURS 2019/2020**



## **Agradecimientos**

Quiero darle las gracias a Marcos Faúndez por toda la ayuda e implicación invertida en este proyecto.

A mis profesores por transmitirme su conocimiento durante estos cinco años.

Y finalmente, a mis padres por su paciencia y apoyo a lo largo de mi vida.



## **Resumen**

En este proyecto se ha realizado un estudio del estado del arte de los productos que hay en el mercado para el análisis del movimiento de las manos en 3D así como sus tecnologías asociadas dentro del marco del grupo de investigación de Tratamiento de señal y datos de la ESUPT. A partir del estudio del estado del arte se han diseñado diversas pruebas para cada producto. Las primeras para poder calibrar los productos de manera individual y la segunda de manera conjunta, para poder testarlos y dictaminar cual es mejor para la detección de temblores. El resultado obtenido, debido a las complicaciones por la pandemia mundial COVID-19 no se pueden extraer unos resultados concluyentes porque la prueba de testeo se realizó de una manera manual y no con un robot, como se había previsto anteriormente. Mencionar también que a causa del COVID-19 es de esperar un mayor interés e implantación de dispositivos sin contacto como los estudiados en este trabajo.

## **Resum**

En aquest projecte s'ha realitzat un estudi de l'estat de l'art dels productes que hi ha al mercat per a l'anàlisi de el moviment de les mans en 3D així com les seves tecnologies associades dins el marc de el grup de recerca de Tractament de senyal i dades de la ESUPT. A partir de l'estudi de l'estat de l'art s'han dissenyat diverses proves per a cada producte. Les primeres per poder calibrar els productes de manera individual i la segona de manera conjunta, per poder testejar i dictaminar quina és millor per a la detecció de tremolors. El resultat obtingut, a causa de les complicacions per la pandèmia mundial COVID-19 no es poden extreure uns resultats concloents perquè la prova de test es va realitzar d'una manera manual i no amb un robot, com s'havia previst anteriorment. Mencionar també que a causa del COVID-19 cal esperar un major interès i implementació de dispositius sense contacte com els estudiats en aquest treball.

## **Abstract**

In this project, a study of the state of the art of the products on the market has been carried out for the analysis of hand movement in 3D, as well as their associated technologies

within the framework of the research group Signal Processing and Data of the ESUPT. From the study of the state of the art, various tests have been designed for each product. The first to be able to calibrate the products individually and the second jointly together, to be able to test them and decide which is best for detecting tremors. The result obtained, due to the complications of the global pandemic COVID-19, cannot reach conclusive results because the test was carried out manually and not with a robot, as previously planned. Worth to mention that because of COVID-19 it is to be expected a higher interest and implementation of contactless devices such as those studied in this work.

# Índice

Índice de figuras .....	I
Índice de Tablas .....	V
Glosario de términos y acrónimos.....	VII
Normativa y estándares .....	IX
1. Objetivos .....	1
1.1. Propósito .....	1
1.2. Finalidad .....	1
1.3. Objeto.....	1
1.4. Alcance .....	1
1.5. Contexto en las líneas de búsqueda del Tecnocampus .....	1
2. Introducción .....	3
2.1. Objeto.....	3
2.2. Revisión de antecedentes y necesidades de información.....	4
2.3. Alcance .....	4
3. Objetivos y especificaciones técnicas .....	5
3.1. Iniciales .....	5
3.2. Modificados por Covid-19 .....	6
4. Marco Conceptual .....	9
4.1. Electromagnetismo .....	9
4.1.1. Fenómeno ondulatorio.....	9
4.1.2. Ondas electromagnéticas.....	12
4.2. Gesture Recognition (Reconocimiento de gestos).....	15
4.3. Productos a estudiar .....	17

4.3.1. KIT DV102014 de Microchip.....	18
4.3.2. MOCAP PERCEPCION NEURON .....	25
4.3.3. Leap Motion.....	27
5. Descripción de la solución técnica .....	33
5.1. Variaciones respecto al anteproyecto .....	33
5.2. Zona de calibración para el estudio del Leap Motion .....	34
5.2.1. Elección del material.....	34
5.2.2. Pruebas previas .....	38
5.2.3. Estudio de calibración.....	43
5.2.4. Conclusión final .....	57
5.3. Estudio del Guante MOCAP PERCEPCION NEURON .....	57
5.3.1. Metodología de calibración MOCAP PERCEPCION NEURON .....	57
5.3.2. Prueba estabilización WRIST/HAND/FINGER STRAPS MOCAP PERCEPCION NEURON .....	64
5.4. Estudio comparativo entre los productos.....	70
5.4.1. Configuración para la prueba, cambios por el COVID-19 .....	70
5.4.2. Preparación de la prueba .....	70
5.4.3. Adecuación de los productos .....	71
5.4.4. Ejecución de la prueba .....	75
5.4.5. Resultados de la primera prueba .....	76
5.4.6. Resultados de la segunda prueba .....	80
5.4.7. Conclusión final de la prueba .....	84
6. Impacto Medioambiental.....	87
7. Perspectiva de género.....	89
8. Planificación .....	91



8.1. Planificación inicial .....	91
8.2. Ejecución de la planificación. Modificación COVID-19 .....	94
8.3. Desviaciones .....	96
9. Conclusión.....	99
10. Referencias .....	101



## Índice de figuras

Fig. 4.1. Ejemplo de una onda. Elaboración propia. $\lambda$ =longitud de onda, $a$ =amplitud.....	10
Fig. 4.2. Ley del cuadrado inverso. [3] .....	11
Fig. 4.3. Espectro electromagnético. [4] .....	12
Fig. 4.4. Clasificación de las regiones de onda en función de su distancia [2] .....	13
Fig. 4.5. KIT DV102014.....	18
Fig. 4.6. Explicación del E-FIELD de GestIC. [7] .....	19
Fig. 4.7. Distorsión producida al introducir la mano. [7] .....	19
Fig. 4.8. Diagrama de bloques del KIT DV102014. [8] .....	20
Fig. 4.9. Desglose del sensor del Kit DV102014. [11] .....	23
Fig. 4.10. Ejemplo de la pantalla inicial de Aurea [12]. La parte superior izquierda muestra el movimiento de la mano en 2D y la parte derecha el mismo movimiento en 3D. Se trata de un movimiento de arriba abajo, tal como detecta el software e indica en la parte inferior de la ventana. ....	24
Fig. 4.11. Múltiples estructuras neuronales. [13].....	25
Fig. 4.12. Fotografía Leap Motion.....	27
Fig. 4.13.Estructura física de Leap Motion. [16] .....	27
Fig. 4.14. Ejemplo de resultado del algoritmo de procesamiento de Leap Motion con una mano de madera. ....	28
Fig. 5.1. Características RS 1 Copy Stand de kaiser-fototechnik. [23] .....	35
Fig. 5.2. Características mano madera HANDSKALAD de IKEA. [24] .....	36

Fig. 5.3. Visualización del conjunto mano de madera-sujeción. ....	36
Fig. 5.4. Boceto de la zona de Calibración para Leap Motion.....	37
Fig. 5.5. Diseño final del conjunto pie-estructura-mano.....	37
Fig. 5.6 Ejemplo de imagen Visualizer a la mano de madera HANDSKALAD. ....	38
Fig. 5.7. Posición Leap Motion totalmente horizontal 0°. ....	38
Fig. 5.8. Rotación Leap Motion a -37°. ....	39
Fig. 5.9. Resultado final del diseño. ....	39
Fig. 5.10. Ejemplos de los errores del Visualizer durante las pruebas .....	42
Fig. 5.11. Medida de la estructura-mano.....	45
Fig. 5.12 Representación en 3D del 1er procedimiento. ....	46
Fig. 5.13 Representación de las muestras obtenidas en 2D. 1er Procedimiento .....	47
Fig. 5.14 Representación del error en contraste a una pendiente=1. Las líneas horizontales representan la variabilidad de los resultados. 1er Procedimiento. .....	47
Fig. 5.15. Representación de las muestras obtenidas en 2D. 2º Procedimiento. .....	49
Fig. 5.16. Representación del error en contraste a una pendiente=1. Las líneas horizontales representan la variabilidad de los resultados. 2º Procedimiento.....	49
Fig. 5.17. Representación de las muestras obtenidas en 2D. 3er Procedimiento.....	51

Fig. 5.18. Ampliación del movimiento realizado para tomar los datos de Leap Motion. 3er Procedimiento.....	51
Fig. 5.19. Crecimiento de la distancia a lo largo del procedimiento. Las líneas verticales corresponden a la variabilidad. 3er Procedimiento. ....	52
Fig. 5.20. Valores máximos y mínimos obtenidos.. 3er Procedimiento. ....	52
Fig. 5.21. Representación de las muestras obtenidas en 2D. 4rto procedimiento.....	54
Fig. 5.22. Crecimiento de la distancia a lo largo del procedimiento. Las líneas verticales corresponden a la variabilidad. 4rto Procedimiento. ....	55
Fig. 5.23. Ampliación del movimiento realizado para tomar los datos de Leap Motion. 4rto procedimiento. ....	55
Fig. 5.24. Valores máximos y mínimos obtenidos.4rto Procedimiento.....	56
Fig. 5.25. Detección del HUB en modo calibrado de neurona. ....	59
Fig. 5.26.Revisión del calibrado de la neurona.....	59
Fig. 5.27. Metodología para la realización de la prueba.....	60
Fig. 5.28. Área de detección para el calibrado de la prueba Los puntos verdes son tomas de puntos del software de calibración.....	60
Fig. 5.29. Conexión del HUB con Axis Neuron.....	61
Fig. 5.30 Imagen inicial del programa sin conectar el HUB (izquierda), Imagen del programa una vez detectado el HUB con la parte del traje correspondiente (derecha). ....	61
Fig. 5.31. Detección por parte de Axis Neuron de la zona del traje activa ....	62
Fig. 5.32. Menú para la generación de un perfil objeto de estudio.....	62
Fig. 5.33. Asistente para la modificación de parámetros del perfil generado.	63

Fig. 5.34. Realización “Steady Pose”.....	63
Fig. 5.35. Realización “A pose”.....	64
Fig. 5.36. Realización “T pose”. .....	64
Fig. 5.37. Prototipo de mano para la prueba de estabilización. ....	65
Fig. 5.38. Muestra de los archivos grabados en Axis Neuron. ....	66
Fig. 5.39. Ventana “Contact editing” .....	66
Fig. 5.40. Ventana “Data Visualizer”.....	67
Fig. 5.41. Leap Motion no detecta el guante de MOCAP.....	71
Fig. 5.42. Incorporación del guante de látex al MOCAP.....	72
Fig. 5.43 Colocación Leap Motion (izquierda), estructura para realizar la prueba (derecha). ....	72
Fig. 5.44. Perfil de usuario utilizado en Axis Neuron.....	73
Fig. 5.45. Prueba “Steady pose”.....	74
Fig. 5.46. Prueba “A pose” (izquierda), “T pose” (derecha). ....	74
Fig. 5.47. Comparativa entre realidad (izquierda) y avatar (derecha). ....	75
Fig. 5.48. Representación de las oscilaciones a lo largo de la prueba. ....	78
Fig. 5.49. Variación de las oscilaciones respecto a su valor medio a lo largo de la prueba. ....	78
Fig. 5.50. Representación de las oscilaciones a lo largo de la prueba.....	82
Fig. 5.51. Variación de las oscilaciones respecto a su valor medio a lo largo de la prueba .....	83
Fig. 8.1. Gantt de la fase de diseño de la planificación.....	93
Fig. 8.2. Gantt de la fase de ejecución .....	95

## Índice de Tablas

Tabla 4.1. Características M6303. [9].....	21
Tabla4.2 Características MTCH652. [10].....	21
Tabla 5.1. Día 1, prueba con luz. ....	40
Tabla 5.2. Día 2, prueba sin luz. ....	40
Tabla 5.3. Día 3, prueba con luz. ....	40
Tabla 5.4 Día 4, prueba con luz. Posición1, Leap Motion estaba en posición normal, Posición 2, Leap Motion rotación 180°. ....	41
Tabla 5.5. Muestra de los resultados del programa. ....	44
Tabla 5.6. Resultados del estudio del programa. 1 <sup>er</sup> Procedimiento.....	48
Tabla 5.7. Resultados del estudio del programa. 2 <sup>ndo</sup> Procedimiento.....	50
Tabla 5.8. Resultados del estudio del programa. 3 <sup>er</sup> Procedimiento.....	53
Tabla 5.9. Resultados del estudio del programa. 4 <sup>to</sup> Procedimiento. ....	56
Tabla 5.10. Excel propio para el cálculo de los datos de Axis Neuron obtenidos (solo se muestran 20 resultados).....	68
Tabla 5.11. Diferencia Máx-Mín en los ejes (x,y,z). ....	69
Tabla 5.12. Desviación de los datos en los ejes (x,y,z).....	69
Tabla 5.13. Comparación entre los datos obtenidos de Axis Neuron y Leap Motion. ....	69
Tabla 5.14. Tabla del programa Leap Motion obtenida a partir de la detección que realiza sobre el guante MOCAP.....	73
Tabla 5.15. Características resultantes en la prueba 1 para Leap Motion. ....	76

Tabla 5.16. Características resultantes en la prueba 1 para WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS. ....	76
Tabla 5.17. Comparativa de las características entre Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS. Prueba 1.....	77
Tabla 5.18. Valores del offset. Prueba 1. ....	79
Tabla 5.19. Características resultantes en la prueba 2 para Leap Motion.....	80
Tabla 5.20. Características resultantes en la prueba 1 para WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS. ....	81
Tabla 5.21. Comparativa de las características entre Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS. Prueba 2.....	82
Tabla 8.1. Descripción de los recursos.....	92
Tabla 8.2 Trabajo a realizar en el proyecto.....	92
Tabla 8.3.Ejecución de la planificación .....	94



## Glosario de términos y acrónimos

AFE	Analog Front-end. Conjunto de circuitos de acondicionamiento de señal analógica necesarios para conectar una variedad de sensores a un convertidor de antena, o a un microcontrolador.
API	Interface encargada de proporcionar un conjunto de funciones y procedimientos que puedan ser usados por otro software
C	Velocidad de la luz
Centroide	Punto donde se produce la intersección de las medias que forman parte de un elemento geométrico
DSP	Digital signal processor. Sistema basado en un microprocesador que posee un conjunto de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad.
DP	Diferencia pie
E	Campo eléctrico
EM	Electromagnéticos
Fps	Frames per second
H	Campo magnético
HCI	Human-Computer Interaction
Host	Ordenadores u otros dispositivos conectados a una red que proveen y utilizan servicios de ella
HUB	Concentrador de puertos USB
I	Intensidad en la superficie de la esfera

## VIII

IA	Inteligencia Artificial
IMU	Inertial Measurement Unit
IR	Infrared
LMC	Leap Motion Controller
MOCAP	Motion capture
NIR	Near Infrared
Pd	Densidad de potencia
PD	Parkinson disease
r	Distancia al centro de emisión
S	Magnitud de la fuente radiante
SDK	Software Development Kit. Kit que reúne un grupo de herramientas que permiten la programación de aplicaciones
TCP	Transmission Control Protocol,. Protocolo que proporciona un servicio orientado a conexión y fiable
UDP	User Datagram Protocol. Protocolo que proporciona un servicio no orientado a conexión y no fiable, es decir intentar que los datos lleguen por todos los medios posibles, pero no se garantiza

## **Normativa y estándares**

### **Directivas**

- 2014 / 35 / EU Directiva de compatibilidad electromagnética (EMC). .
- 2014 / 35 / EU. Directiva de baja tensión (LVD)
- 2014 / 53 / EU: Directiva de equipos de radio.
- 2012 / 19 / EU Directiva de residuos para equipos eléctricos y electrónicos
- 2014 / 32 / EU Directiva de instrumentos de medida
- 2006 / 42 / CE Directiva de seguridad de maquinas
- 2009 / 125 / CE Directiva de diseño ecológico

### **Normas UNE**

- UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración
- UNE-EN 61000-4-3:2007/A2:2011 Compatibilidad electromagnética (CEM)
- UNE-EN 61508-1:2011 Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relacionados con la seguridad



# **1. Objetivos**

## **1.1. Propósito**

Estudiar los diferentes productos que ofrece el mercado actual para medir los movimientos de las manos en formato 3D.

## **1.2. Finalidad**

Hallar el mejor producto disponible en la actualidad para llevar acabo mediciones de los movimientos de las manos de una manera no invasiva para el usuario.

## **1.3. Objeto**

Búsqueda, caracterización y parametrización de diferentes modelos actuales para el análisis del movimiento de las manos en 3D.

## **1.4. Alcance**

Se incluye la búsqueda y preparación de los productos, la creación de un sistema de calibrado y testeado simulando un temblor para poder realizar un estudio.

No se incluirá el desarrollo de un código software para cada producto, ya que se dispone de éste por un proyecto paralelo.

## **1.5. Contexto en las líneas de búsqueda del Tecnocampus**

La línea de búsqueda correspondiente a este proyecto se encuentra dentro del marco del grupo de investigación de Tratamiento de señal y datos. Único grupo de la ESUPT reconocido como consolidado por la AGAUR (Agencia de Gestión de Ayudas Universitarias y de Investigación).



## **2. Introducción**

### **2.1. Objeto**

El objeto de este proyecto es tratar de hallar el mejor producto disponible en el mercado actual para realizar mediciones en los movimientos de las manos en 3D. Dado que se usaran productos comerciales diseñados con otro propósito y aplicación, es objeto del trabajo final de grado calibrar la precisión de estos aparatos.

El valor que aporta este estudio es dar importancia a este tipo de sistemas electrónicos para la detección precisa de temblores humanos, que con la ayuda de programas de tratamientos de datos, permitan realizar un estudio más en profundidad de enfermedades como el Parkinson e incluso poder realizar ejercicios interactivos para la mejora de la enfermedad.

Debido a los últimos acontecimientos de este año 2020 (COVID-19) este trabajo tiene un plus más de importancia, ya que plantea un primer paso para obtener datos sobre temblores sin ningún tipo de contacto con ningún objeto externo, ya que la toma de medidas se realiza a cierta distancia, evitando propagaciones de posibles enfermedades entre usuarios. Así mismo, los resultados serán de relevancia para otras aplicaciones donde no se pretende realizar mediciones con finalidades médicas, sino controlar equipos sin contacto (ascensores, puertas, maquinaria industrial, etc.).

Para llevarlo a cabo, se realizará un estudio de diversos modelos comerciales incluyendo la tecnología en que se basa cada uno. Se diseñará una estación para el análisis de cada modelo, donde se realizará el calibrado de cada uno de ellos, testeando además sus límites de recepción de señal y su precisión mediante un método que consistirá en el uso de una mano artificial y un sistema de sujeción. Posteriormente se testearán en otra estación, donde se pondrán a prueba los productos en una simulación real de un temblor gracias a la programación de un brazo robótico que imite los temblores humanos.

Debido a la pandemia COVID-19, la metodología de análisis de los productos se ha visto modificada. La estación de análisis ha sido modificada por la preparación y ejecución de un conjunto de pruebas individualizadas para el calibrado de cada producto. La estación de

donde se debía de simular un temblor real mediante el uso de un robot ha sido modificada por la simulación de temblores mediante el uso de un sujeto humano. Téngase en cuenta que poner en marcha un robot colaborativo requiere soporte de otras personas ajenas a este proyecto.

## **2.2. Revisión de antecedentes y necesidades de información**

Para poder realizar este estudio, es necesario analizar los distintos productos que ofrece el mercado actual para la lectura de movimientos de las manos en 3D y estudiar su funcionamiento tanto a nivel de hardware como a nivel de software.

## **2.3. Alcance**

El proyecto se centrará en el estudio de los diversos productos escogidos para averiguar cuál es el mejor en la detección de temblores. Para ello se realizará:

- La búsqueda y preparación de una zona y equipamientos/dispositivos para poder realizar la calibración de los productos.
- Un estudio de los productos en la zona de calibración.
- La búsqueda y preparación de una zona para poder realizar el testeado de los productos ante un temblor.
- El análisis del estudio de los productos simulando un temblor. Al simularlo, conseguimos que sea replicable y fácil de medir durante la calibración. Esto no pasaría con un usuario humano.
- El uso de SDK asociado a cada producto
- No se incluirá el desarrollo de un código software para cada producto, ya que se dispone de éste por un proyecto paralelo.



## **3. Objetivos y especificaciones técnicas**

### **3.1. Iniciales**

1. Generación de una zona de calibración.
  - Buscar una zona adecuada en la universidad.
  - Elegir de un pie milimétrico adecuado.
  - Seleccionar y comprar manos artificiales.
2. Crear una base de sujeción
  - Utilizar los recursos disponibles del área de mecánica y fabricación de Tecnocampus para poder adaptar la mano comprada a los equipos de laboratorio (trípode y brazo robótico).
3. Muestreo de la respuesta de los productos evaluados en la zona de calibración.
  - Establecer unos criterios de calibración para cada dispositivo.
  - Establecer un área efectiva para el calibrado.
  - Utilizar los software asociados a cada producto.
4. Generación de una zona de testeo.
  - Buscar una zona adecuada en la universidad.
  - Usar un brazo robótico disponible en el Tecnocampus para generar un temblor constante.
5. Análisis de los productos ante los temblores generados.
  - Establecer un área efectiva de medición.

- Utilizar los software asociados a cada producto.

### **3.2. Modificados por Covid-19**

Debido a la pandemia Covid-19 los objetivos y especificaciones técnicas han sido modificados, adaptándose a los cambios drásticos sufridos debidos principalmente a la imposibilidad del uso de un robot para la realización de la prueba final ya que requiere de soporte de otras personas ajenas a este proyecto y las instalaciones de Tecnocampus han permanecido cerradas por protocolo de seguridad.

1. Generación de una zona de calibración para el estudio Leap Motion.
  - Buscar una zona adecuada en la universidad.
  - Elegir de un pie milimétrico adecuado.
  - Seleccionar y comprar manos artificiales.
  - Utilizar los recursos disponibles del área de mecánica y fabricación de Tecnocampus para poder adaptar la mano comprada a los equipos de laboratorio.
2. Muestreo de la respuesta de Leap Motion evaluado en la zona de calibración.
  - Establecer unos criterios de calibración focalizando en la obtención de un área efectiva.
  - Utilizar el software asociado.
3. Análisis de MOCAP NEURON.
  - Selección de las partes objeto de estudio.
  - Estudio del ruido del producto en estático.
  - Estudio del funcionamiento (calibración) del producto a través del software asociado.

4. Estudio Comparativo.

- Buscar una zona adecuada en el domicilio.
- Crear un espacio válido para las pruebas.
- Utilizar los software asociados a cada producto.
- Análisis de los productos ante temblores simulados por 1 usuario humano.



## **4. Marco Conceptual**

En este apartado se ha realizado un barrido de diferentes conceptos para la posible detección de movimientos de mano y se han escogido los sistemas adecuados para el análisis de los temblores. Además, incluye un apartado con una explicación del reconocimiento de gestos hoy en día por parte de la tecnología.

### **4.1. Electromagnetismo**

En los próximos apartados relacionados con este ámbito, no se profundizará en el electromagnetismo como tal sino que se hará una generalización de distintos términos con el objetivo de facilitar el entendimiento de los productos elegidos.

#### **4.1.1. Fenómeno ondulatorio**

Es necesario hacer una pequeña introducción a lo que se conoce como fenómeno ondulatorio. La ondulación está definida como el transporte de energía e impulso de un punto en el espacio a otro sin transporte de materia. Según el análisis de Fourier, toda onda está compuesta por al menos una onda sinusoidal o bien por una onda con aspecto no sinusoidal que es combinación de varias ondas sinusoidales a frecuencias diferentes siempre y cuando se cumplan unas características determinadas en referencia a sus senos y cosenos.

Si se generaliza en el tipo de onda, podemos encontrar 2 tipos: [2]

Las mecánicas, que podrían ser por ejemplo las ondas del agua, donde la energía y el impulso son transportados a través de una perturbación en el medio con propiedades elásticas.

Las electromagnéticas, donde la energía es transportada por campos eléctricos y magnéticos siendo posible su propagación hasta en el vacío.

En cuanto a las características más generalizadas de una onda podemos encontrar: [1]

**La amplitud (a):** Se considera como la variación máxima del desplazamiento de la onda, esta informa de su fuerza. A medida que una onda se propaga, la energía irradiada desde el punto de origen sigue siendo la misma pero su fuerza no, esta disminuye a medida que aumenta la distancia al punto de origen debido a que se expande en un área más grande debido a la teoría de la ley del cuadrado inverso que posteriormente se explicara.

**Longitud de onda ( $\lambda$ ):** Es la distancia que recorre una onda durante un período de tiempo en un ciclo completo de oscilación. En el caso de una EM puede considerarse como la velocidad de desplazamiento de la onda dividida por la frecuencia de la onda, el metro es su unidad de medida.

$$\lambda = C / f. \quad (4.1)$$

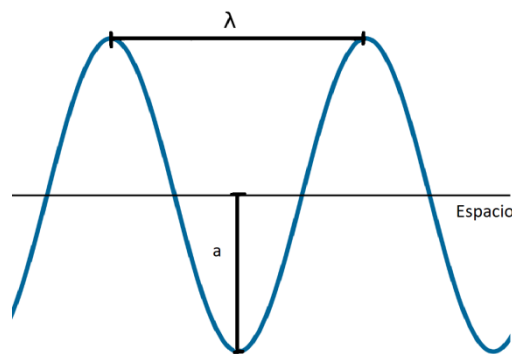


Fig. 4.1. Ejemplo de una onda. Elaboración propia. Lamba=longitud de onda, a=amplitud.

**La frecuencia (f):** En el caso de una onda periódica se considera como el número de ciclos completos (distancia =  $\lambda$ ) que pasan por cada segundo, medida Hz.

**El periodo (T):** Es el tiempo que una onda tarda en cumplir  $\lambda$  siendo inversamente proporcional a la frecuencia, medido en segundos (s).

$$T = \frac{1}{f} \quad (4.2)$$

Existe también una relación entre el periodo y la frecuencia con la amplitud de onda y la velocidad de desplazamiento de la onda.

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad (4.3)$$

**La potencia:** Cantidad de energía que se transporta se consume en una determinada unidad de tiempo. La encargada de la emisión de la potencia es la fuente de radiación. Se mide en W.

**La densidad de potencia:** Es la cantidad de potencia distribuida en un área perpendicularmente a la dirección de desplazamiento, un símil sería una barrera. Se mide  $W / m^2$  o  $mW / cm^2$ .

**La ley del cuadrado inverso:** Como se explicó en apartados anteriores, esta ley se aplica para entender como a medida que una onda se propaga desde la fuente de radiación, la fuerza de la onda disminuye a medida que aumenta la distancia desde el origen a razón del cuadrado de la distancia desde la fuente emisora. Esta ley tiene un símil más sencillo, si nos fijamos en las ondas que se generan cuando tiramos una piedra a un río, las ondas se van expandiendo, el área aumenta en proporción al cuadrado de la distancia desde el punto donde cayó la piedra y empezó a generarse la onda, debido a que la energía es constante, la densidad energética, al aumentar el área de propagación disminuye y eso provoca que al final las líneas de las ondas en el río vayan disminuyendo hasta desaparecer. En ondas electromagnéticas esto pasa en las 3 dimensiones en el espacio. [3]

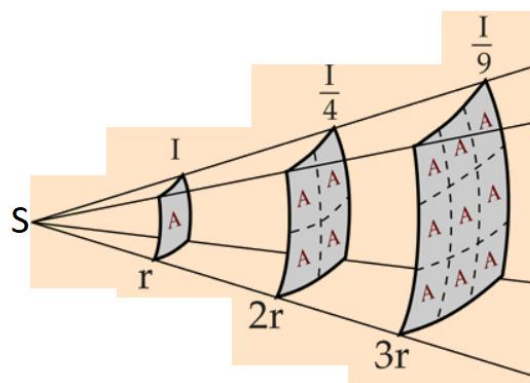


Fig. 4.2. Ley del cuadrado inverso. [3]

$$I = \frac{S}{4\pi r^2} \quad (4.4)$$

### 4.1.2. Ondas electromagnéticas

Se considera una EM una onda formada por las variaciones de campos eléctricos y magnéticos. Pueden extenderse desde una frecuencia baja (HZ) hasta frecuencias altas. A este abanico de frecuencias se le conoce como el espectro electromagnético.

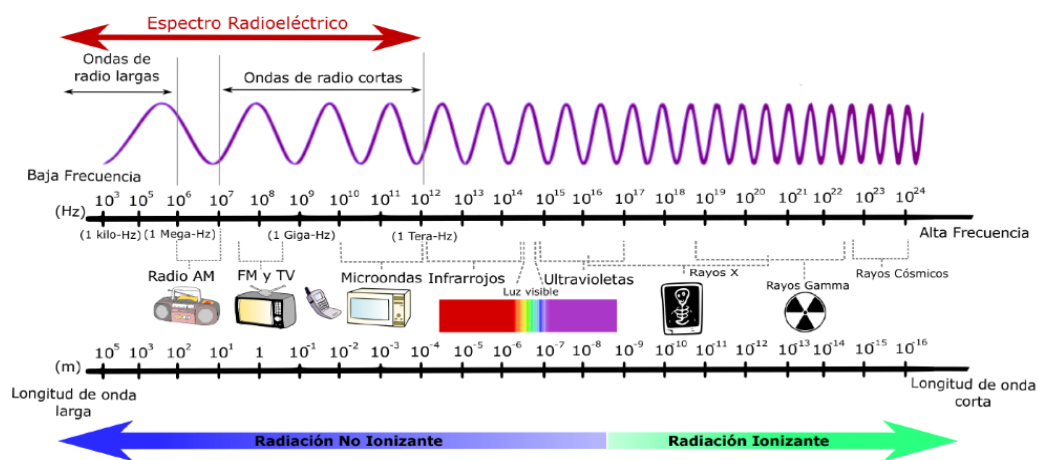


Fig. 4.3. Espectro electromagnético. [4]

La potencia en electromagnetismo se considera como

$$Pd = E \times H \quad (4.5)$$

Los campos eléctricos (E) y magnéticos (H) se miden en voltios por metro y en tesla (aunque algunos prefieren usar la medición de amperios por metro), respectivamente. Donde hay un campo H, también hay un campo E asociado. En 4 dimensiones, la relación matemática entre estos dos campos (E y H) ha sido reducida gracias a ecuaciones como las de Maxwell, Gauss y Ohm. Como resultado en condiciones del espacio libre la relación queda reducida en [2]:

$$E = H \times 377 \quad (4.6)$$



Donde 377 es la impedancia característica del espacio libre.

La relación simple indicada anteriormente se aplica a distancias de aproximadamente dos o más longitudes de onda ( $\lambda$ ) desde la fuente radiante. Hay que considerar que la separación de los campos eléctrico y magnético en componentes viene definida por la amplitud y esta disminuye a medida que aumenta la distancia desde el elemento radiante.

Las características de comportamiento de los campos EM pueden variar en función de la distancia a la fuente emisora de radiación, lo que puede dominar a corta distancia puede dejar de hacerlo en la larga distancia, gracias a esta variación de comportamiento se pueden distinguir tres regiones principales de menor a mayor distancia de la fuente (antena).

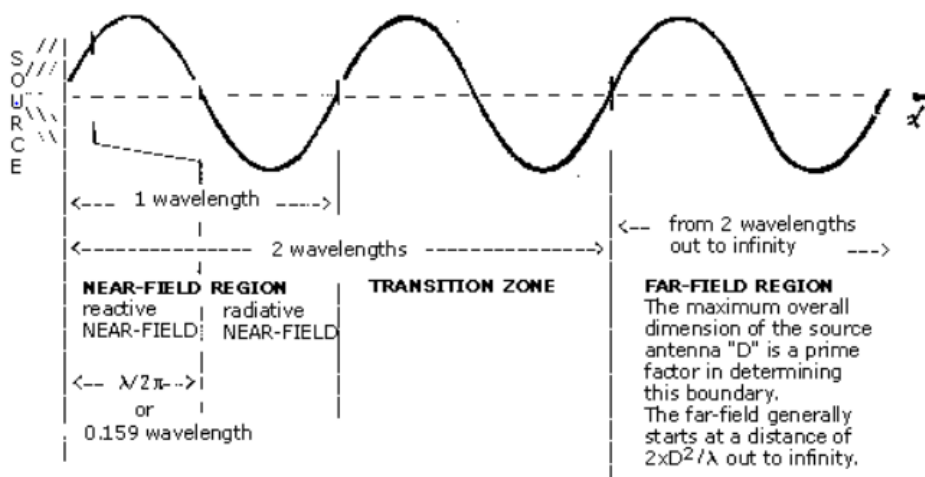


Fig. 4.4. Clasificación de las regiones de onda en función de su distancia [2]

Hay que considerar que en la ilustración anterior los valores de distancia expuestos son estandarizados para poder clasificar tanto las características como los comportamientos de las ondas en las distintas regiones. Debido a que no se ha considerado como primordial la dimensión total ( $D$ ) de la fuente emisora de radiación o antena, en el caso de la ilustración anterior se consideró que  $D = \lambda$ . Normalmente  $D = \lambda/4$  hasta  $\lambda$  pero para casos en que  $D > 2\lambda$  el límite del campo lejano es conocido como la distancia de Fraunhofer  $df = 2D^2/\lambda$  siendo necesario tomar medidas de E y H mas allá de  $2\lambda$ . [2]

**Far-field:** Consideraremos esta zona a partir de la distancia equivalente a dos longitudes de onda desde la fuente emisora de EM o antena. En esta región, las ondas se caracterizan por un solo tipo de polarización (horizontal, vertical, circular o elíptica), un símil podría ser pensar en un dipolo eléctrico. Las consideraciones (fórmulas) antes comentadas respecto E, H y la densidad de potencia son directamente aplicables obteniendo como resultado. [2]

$$Pd = H^2 \times 377 \quad (4.7)$$

$$Pd = E^2 \div 377 \quad (4.8)$$

Las amplitudes en esta región caen del orden de  $1/r$  a medida que se expande.

**Transition Zone:** Tan solo es una región de poco uso, combinación de las características de las otras dos regiones, pierde las características de la Near-field y adopta las de la Far-field.

**Near-field:** Se entiende como la región situada a menos de una longitud de onda de la fuente emisora o antena. En esta región, a diferencia de la Far-field la relación entre E y H se complica drásticamente, siendo necesario una medición independiente de cada uno de los campos para poder determinar una densidad de potencia aproximada, además, a diferencia del campo lejano, los cuatro tipos de polarización de las ondas EM pueden estar presentes, podría considerarse como un multipolo cada uno con una relación independiente.

Dentro del Near-field se pueden distinguir dos divisiones más:

- Campo Reactivo.
- Campo radioactivo.

En el primer campo, el Reactivo, la distancia de la región se sitúa desde la superficie de la antena hasta  $\lambda / 2\pi$ . La relación entre los campos E y H es impredecible, cualquiera de los dos puede dominar en un punto por encima de la otra, por tanto no es posible encontrar con exactitud una densidad de potencia. Además hay que considerar la relación de fase de los vectores entre los campos (E y H). En este campo se produce un fenómeno sobre la

superficie de la antena como un efecto rebote, se retiene y se almacena energía EM. Esta energía es llevada de ida y vuelta desde la antena al campo cercano reactivo por radiación, cambiando lentamente los efectos electrostáticos y magnetostáticos debido a efectos auto-inductivos y auto-capacitivos. Si además dicha energía es absorbida por otro conductor cercano (produce cambios de impedancia resultante), puede como resultado llegar a producir mediciones erróneas en este campo siendo incluso potencialmente peligroso en alta potencia. Las amplitudes en esta región caen del orden de  $1/r^3$  a medida que se expande.

En el segundo campo, el Radiactivo, cubre desde  $\lambda / 2\pi$  hasta  $\lambda$ . No hay efectos extraños, toda la energía tiene componente radiante. Aunque la relación entre E y H sigue siendo compleja debido a que todavía nos encontramos en el Near-Field, no es recomendable aproximar objetos metálicos, pero en cambio se pueden generar antenas secundarias para aumentar la potencia de la emisión aunque esta tendrá sus propios campos E y H asociados. Las amplitudes en esta región caen del orden de  $1/r^2$  a medida que se expande. [2]

## **4.2. Gesture Recognition (Reconocimiento de gestos)**

Según la RAE [22], un gesto está considerado como “Movimiento del rostro, de las manos o de otras partes del cuerpo, con el que se expresan afectos o se transmiten mensajes”, hoy en día, el estudio del reconocimiento de gestos por parte del mundo tecnológico está desarrollándose a pasos agigantados. Hay numerosos artículos publicados focalizados en el entendimiento de los gestos mediante la combinación de Hardware y Software. Desde la simplicidad de mover un brazo en una habitación para encender una luz, hasta la toma de datos de las vibraciones de la mano para obtener resultados coherentes en el estudio de enfermedades como el Parkinson. La búsqueda de un buen sistema de obtención de datos fiables es un camino que muchos estudiosos están tratando de lograr, debido a que como resultado puede dar una mayor facilidad al entendimiento entre computador y humano (HIC en inglés) al tratar de mezclarlo con IA.

A grandes rasgos y basándose en, se utilizan dos enfoques distintos para interpretar estas interacciones HIC. [6]

- **Métodos que usan guantes electrónicos:** Recogen datos mediante el uso de sensores acoplados a ellos convirtiendo los movimientos de los dedos en señales eléctricas, donde un sistema software los interpreta para poder determinar la postura de la mano. El nivel de cableado dificulta el movimiento interactivo del usuario.
  
- **Métodos visuales:** Se tratan de sistemas no invasivos como los anteriores pero debido a su complejidad e uso interdisciplinar de varias especialidades, requiere cumplir unos requisitos mínimos para poderse dar por bueno entre ellos encontramos:
  - Robustez.
  - Eficiencia computacional (algoritmos) al tratarse de un sistema en tiempo real.
  - Tolerancia del usuario frente a errores momentáneos.
  - Escalabilidad para poder adaptarse en diferentes ambientes.

Cuando se quiere reconocer el gesto que se realiza, es difícil determinar cuál es el correcto debido a que no solo entra en juego las características geométricas de las manos que ya de por sí son infinitas sino también, variaciones en las texturas e incluso la propia iluminación de la sala a la hora de tomar las muestras, por eso es importante entender en que características se debe focalizar para poder obtener unos resultado favorables. Para ello existen 3 posibles enfoques: [6]

- **Model based Approaches (Kinematic Model):** Consiste en buscar parámetros cinemáticos proyectados en 2D de un modelo 3D basándose en el estudio de sus bordes. El problema principal para poder sacar datos fiables tiene relación con la poca textura de la mano. Para poder solucionarlo es necesario el uso de fondos homogéneos o con alto contraste respecto a la mano para poder sacar buenos resultados en los límites de oclusión.

- **View based Approaches:** Modelan la mano mediante una colección de imágenes en formato 2D. Para poder obtener los gestos se toman muestras de las diferentes vistas de las imágenes.
- **Low Level Features based Approaches:** Se basan en la obtención de imágenes de bajo nivel donde el ruido no afecta de una manera importante. a partir de ahí se sacan características como pueden ser el centroide de la mano, los ejes que delimitan el contorno de la mano, etc., para poder trabajar con ellas y sacar símiles al movimiento en directo de la mano.

Si especificamos en las manos, tenemos dos enfoques extra a los anteriormente mostrados [6]:

- **Rule based Approaches:** Codificadas manualmente, permiten comparar características con reglas establecidas, cuando se cumplen una serie de reglas consecutivas, se obtiene un gesto asociado, tienen el inconveniente que la calidad de la muestra obtenida dependerá de las reglas generadas por su creador.
- **Machine Learning based Approaches:** Utiliza un proceso estocástico para poder determinar cada vez con mayor exactitud la ejecución de un gesto

### **4.3. Productos a estudiar**

En esta sección se explicará qué productos se han escogido para ser objeto de análisis y estudio, en qué consisten sus tecnologías, haciendo referencia a diferentes estudios sobre ellos, debido a que en algunos, las patentes tecnológicas limitan la búsqueda de información sobre sus características.

### 4.3.1. KIT DV102014 de Microchip



Fig. 4.5. KIT DV102014.

#### 4.3.1.1. Tecnología GestIC

El kit comprado está basado en la tecnología de Microchip llamada GestIC[11], donde trata la sensorica 3D. Utiliza un campo eléctrico tridimensional generado por cargas eléctricas que se propagan alrededor de la superficie. GestIC utiliza la aplicación de voltajes continuos para generar un campo eléctrico constante y la aplicación de voltajes alternos para provocar variaciones en dicho campo para la detección de proximidad. Cuando la carga eléctrica resultante varía sinusoidalmente y la longitud de onda es mucho mayor que la geometría del electrodo generador de campo, el componente magnético es prácticamente nulo. En consecuencia, no se produce propagación de onda. Como resultado se produce un Near-Field eléctrico que puede detectar objetos conductores. GestIC utiliza frecuencias de transmisión (Tx) alrededor de 100kHz equivalentes a una longitud de onda de 3km que comparado con los electrodos que generalmente son de menos de 14x14cm, produce como resultado el Near-Field deseado.

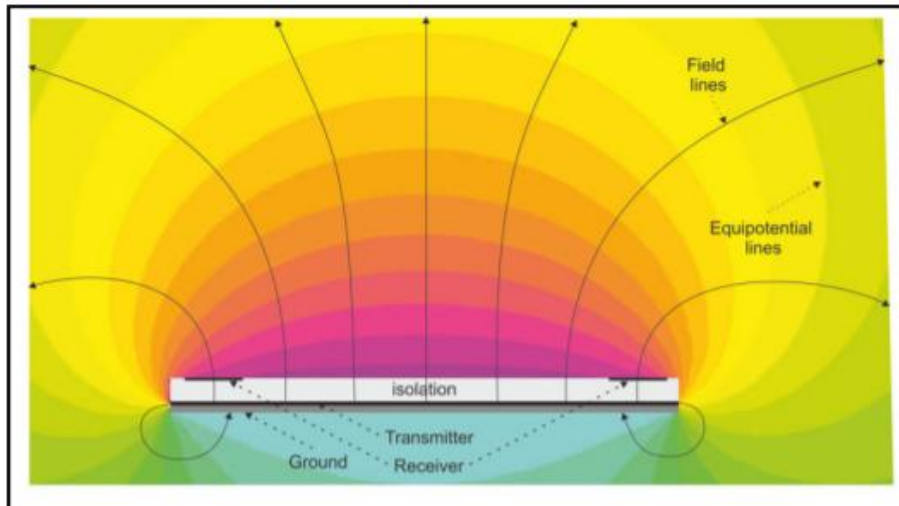


Fig. 4.6. Explicación del E-FIELD de GestIC. [7]

Permite la realización de nuevas aplicaciones de interfaz de usuario mediante la detección, seguimiento y clasificación de los gestos con las manos de un usuario en el espacio libre. Si una parte de una persona interfiere en el campo eléctrico, este se distorsiona.

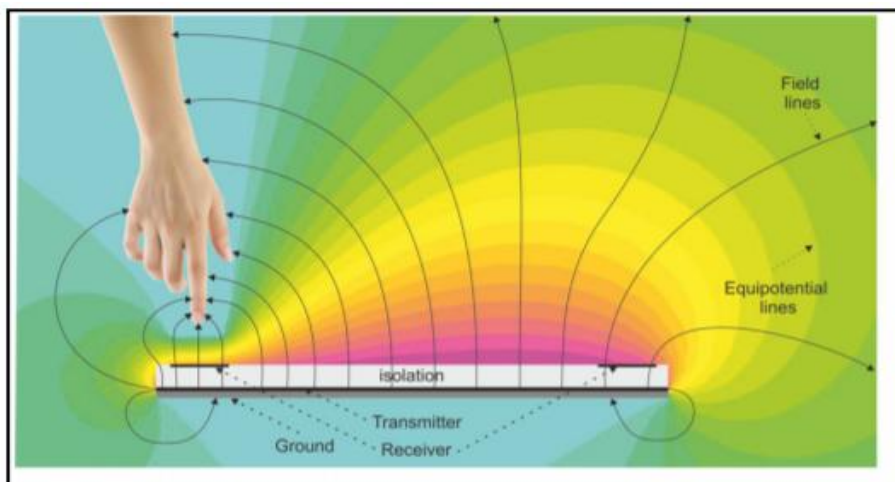


Fig. 4.7. Distorsión producida al introducir la mano. [7]

Las líneas de campo se dibujan en la mano debido a la conductividad del propio cuerpo humano. El campo eléctrico tridimensional disminuye focalmente. Para detectar esta variación en el campo producida por la distorsión de la mano, GestIC utiliza 4 electrodos receptores (RX) en distintas posiciones para poder localizar y medir el origen de la distorsión.

La información obtenida se utiliza para el cálculo de la posición y los movimientos mediante el chip (MGC3130) para poder clasificar los patrones de movimiento con el uso de la herramienta de software Aurea.

#### 4.3.1.2. Hardware

Tabla electrónica 2D / 3D formada por:

- Controlador MTCH6303 2D PCAP.
- Controlador MGC3130 3D GestIC®.
- Controlador de alto voltaje MTCH652.

Módulo de sensor 2D / 3D.

- Pantalla táctil PCAP de 8 ".
- Electrodo de placa de circuito impreso (PCB) 3D.

Cable micro-USB. [8]

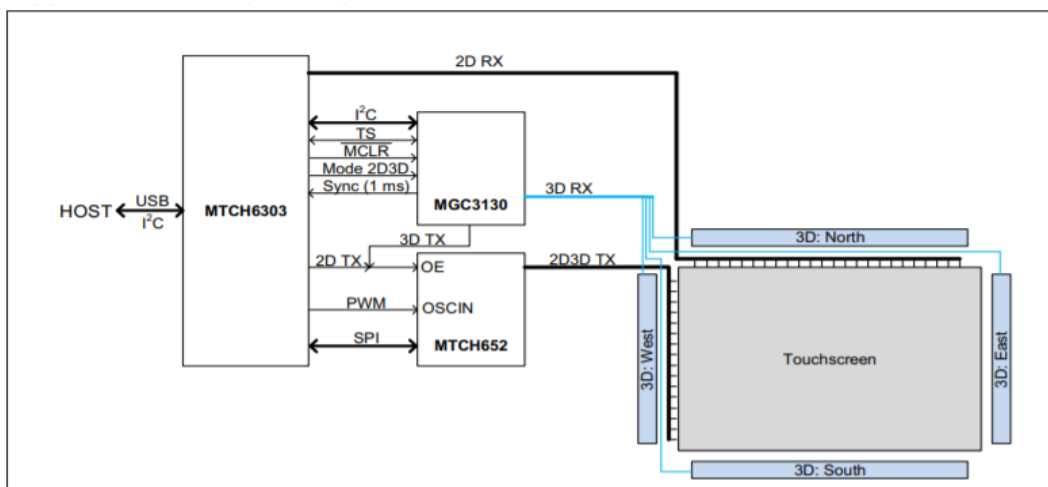


Fig. 4.8. Diagrama de bloques del KIT DV102014. [8]

#### MTCH6303

Controlador táctil capacitivo que proporciona coordenadas multitáctiles, así como un conjunto de gestos de superficie táctil de varios dedos, como puede ser, pellizcar, hacer zoom, traducir desplazamiento y deslizamientos dactilares. [9]



Product type	Projected Capacitive Controller
Input channels	27
Measurement Principle	Self/Mutual Capacitance
Report Rate (pps)	100
Number of Touches	10
Position Resolution	16-bits
Features	Gestures, USB or I2C com, 27RX 19TX
Voltage Range	2,60V-3,60V

Tabla 4.1. Características M6303. [9]

### MTCH652

El MTCH652 es un compact boost conversor con hasta 19 cambiadores de nivel, lo que le permite ser un controlador de línea de alto voltaje. Junto con MTCH6303, logra una relación señal / ruido de calidad para que la función táctil del sistema funcione correctamente en entornos ruidosos. [10]

Product type	Projected Capacitive Driver
Output channels	19
Power Modes	Normal/Boost
Interface	SPI
I/O, LED Drivers	19 High Voltage
Features	Internal Boost
Voltage Range	1,80V-5,50V
Low Quiescent Current	<200 $\mu$ A
Low Shutdown Current	1.5 $\mu$ A

Tabla4.2 Características MTCH652. [10]

### MGC3130

Controlador de seguimiento y gestos (3D) a través de la generación de un campo eléctrico tridimensional de tecnología patentada GestIC y el uso de GestIC Colibri Suite como base para establecer un conjunto de gestos predefinido, permite la configuración de diferentes estados para reducir el consumo. [7]

Product type	3DPositioning/Gesture
Input Channels	5
Detection Range	0-20 cm
Output Channels	1
Measurement Principle	E-FIELD
Report Rate (pps)	200
Resolution	200

Number of Touches	5
Power	3,3 Vdc $\pm$ 5%
Power Modes	3
Interface	I2C
I/O, LED Drivers	5
Voltage Range	3,14V-3,47V
Temperature Range	-20 a 80C

Tabla 4.3. Características MGC3130. [7]

Dentro de la memoria flash de controlador MGC3130 3D GestIC® encontramos la librería, formada por:

- Colibri Suite: combina adquisición de datos, DSP y interpretación de los datos.
- System Control: incluye características de control de hardware como Analog Front End (AFE), control de interfaz y almacenamiento de parámetros.
- Library Loader: la biblioteca GestIC se actualiza usando la interfaz del host de la aplicación.

### Colibri Suite

Para poder llevar a cabo el seguimiento de la posición, el chip proporciona una posición tridimensional de la mano en tiempo y área referenciándose con el origen definido por el sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z). La velocidad media de seguimiento es de 200 posiciones/s consiguiendo una resolución en el espacio de aproximadamente 150dpi. [7]

### Pantalla táctil PCAP de 8 ", electrodos de placa de circuito impreso (PCB) 3D

Para el diseño de esta parte del kit se han seguido un conjunto de requisitos explicados en [11]:

Sensor GestIC: Está construido por dos capas Rx y Tx como si fueran un condensador, la distancia entre ellos es relativa al material de aislamiento (GND) entre las 2 capas, en este caso encontramos el PCB, con un grosor de 1mm, además la capacitancia entre Tx y GND no debe exceder 1 nF.

Los electrodos Rx se colocan dentro de la capa superior del sensor. La placa consta de cuatro electrodos Rx (Norte, Oeste, Sur y Este) alineados como un marco rectangular a lo largo de los bordes de manera simétrica. La distancia recomendada entre los electrodos Rx es de 1.5 mm. El ancho de los electrodos Rx debe ser de alrededor a 4 al 7% de su longitud. Una mayor área de los electrodos RX limita el reconocimiento de gestos siendo necesario optimizar la desviación de la señal, pero es útil para sistemas con una tierra débil.

El electrodo Tx es el encargado de generar el campo eléctrico. Se encuentra localizado debajo de los electrodos Rx. Otra función que tiene es la de protector. Protege los electrodos Rx y las líneas de alimentación del cuerpo humano y de posibles perturbaciones eléctricas en la parte posterior del sensor. Para un blindaje óptimo, es recomendable superponer todas las estructuras Rx con Tx alrededor de entre un 50-100% del ancho de los electrodos Rx.

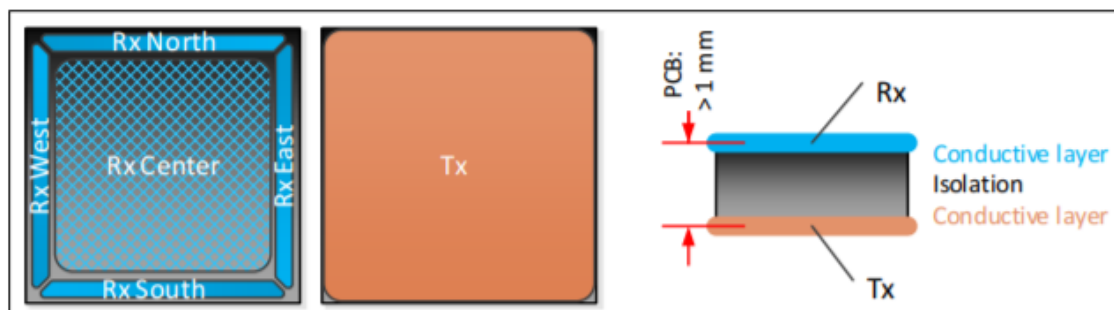


Fig. 4.9. Desglose del sensor del Kit DV102014. [11]

### 4.3.1.3. Aurea

Cuando el usuario realiza un movimiento en el área efectiva del campo eléctrico (E-FIELD), estos movimientos son convertidos en datos en el chip MGC3130. La plataforma encargada de visualizar los datos obtenidos a través del chip es el software Aurea. Aurea, permite la visualización de la posición de la mano y los gestos del usuario en 2D/3D, registrar el gesto que realiza el usuario en tiempo real comparándolo con la biblioteca interna de GestIC, permitiendo además el acceso a los controles y parámetros de configuración de la biblioteca con el fin de ir añadiendo o modificando gestos, permite visualizar datos del sensor como por ejemplo, a qué distancia se encuentra la mano de cada uno de los sensores Rx, o bien el tiempo de ejecución de las funciones sensoriales, puede parametrizar el procesamiento de la señal del Colibri y el bloque funcional electrónico configurable de acondicionamiento de la señal analógica para poder interconectar los sensores (AFE).

Esta plataforma permite la grabación durante “x” tiempo de todos los movimientos realizados en ese periodo, muy útil para el experimento ya que permite ver las fluctuaciones de señal y realizar estudios, para contrastar detecciones de ruido en grabaciones con los mismos gestos pero en diferentes entornos, o bien ver dónde están los límites de recepción del gesto. [12]

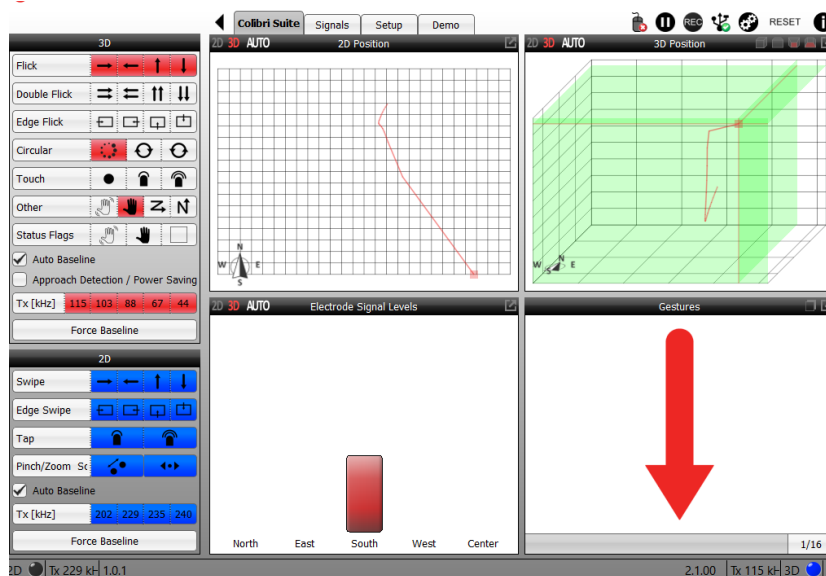


Fig. 4.10. Ejemplo de la pantalla inicial de Aurea [12]. La parte superior izquierda muestra el movimiento de la mano en 2D y la parte derecha el mismo movimiento en 3D. Se trata

de un movimiento de arriba abajo, tal como detecta el software e indica en la parte inferior de la ventana.

### 4.3.2. MOCAP PERCEPCION NEURON

Perception Neuron (2014), es un traje cuya tecnología permite la captura de movimiento de manera adaptativa, versátil y asequible siendo de un tamaño reducido. Basado en un sistema llamado Neuron: una IMU formada por un giroscopio que mide la orientación en el espacio, un acelerómetro para medir la fuerza de la aceleración y un magnetómetro para cuantificar en fuerza o dirección de la señal magnética, todos de 3 ejes. El traje completo cuenta con un total de 32 neuronas (aseguradas al cuerpo mediante correas) emisoras de información de los movimientos del usuario, siendo posible la utilización de partes individuales del traje, reduciendo el número de neuronas y su análisis. El sistema cuenta con algoritmos patentados “Embedded Data Fusion”, “Human Body Dynamics” y “Physical Engine de Perception Neuron”, con el objetivo de ofrecer un movimiento suave y veraz con una latencia reducida. Es tanto una herramienta simple para la captura de movimiento directa como una plataforma experimental avanzada para la exploración del movimiento como dato. [13] [14]

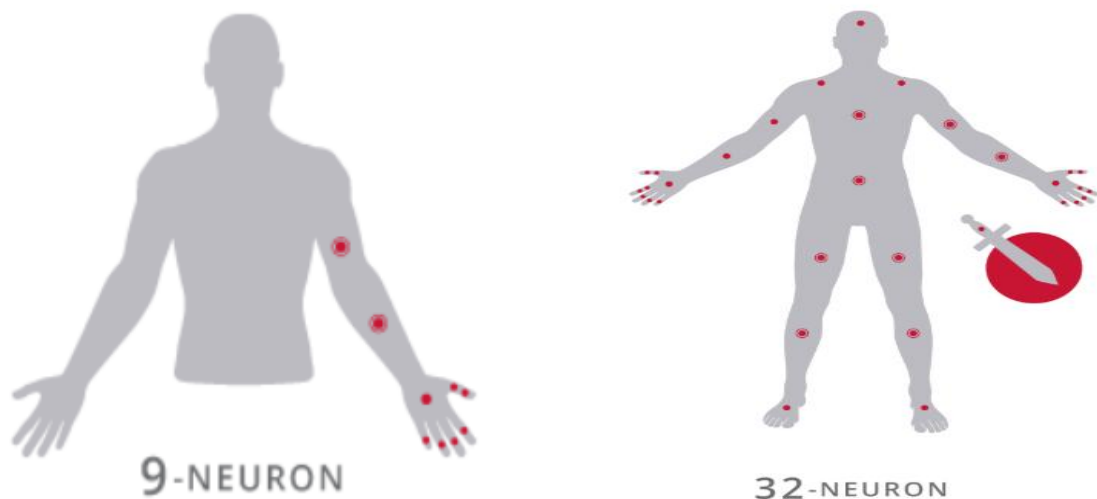


Fig. 4.11. Múltiples estructuras neuronales. [13]

## Funcionamiento

Los sensores de 9 ejes de Perception Neuron emiten datos a 60 fps (para una configuración entre 18 y 32 neuronas) o 120fps (número de neuronas < 18). Este flujo de datos se canaliza al HUB, donde será emitido a un ordenador vía WI-FI, USB o almacenado en una Micro-SD. El ordenador cuenta con el software AXIS Neuron, para la calibración y administración del sistema. Así convierte las señales de las neuronas en datos de movimiento para la visualización, grabación y transmisión en tiempo real a través de redes TCP / UDP para su manipulación en herramientas profesionales de 3D y desarrollo de juegos.

### 4.3.2.1. Hardware:

<b>Neurona</b>	
Tamaño (mm)	12,5x13,1x4,3
Rango dinámico (°)	360
Rango del acelerómetro (g)	±16
Rango del giroscopio (dps)	2000
Resolución (°)	0,02
Cabeceo	< 1
Alabeo	< 1
Guiñada	< 2

Tabla 4.4 Características de cada neurona.

<b>HUB</b>	
Tamaño (mm)	59x41x23
Nº máximo de sensores conectados	32
Salida	USB 2.0, WIFI or Onboard Micro-SD Card Recording
Tasa de Salida	60 fps con 32 Neuronas, 120 fps con 17 neuronas
Power	USB External Battery

Tabla 4.5 Características del HUB.

### 4.3.2.2. Axis Neuron

Es una aplicación software de la marca NOITOM encargada de recibir y procesar datos de movimiento de alta calidad para exportarlos hacia un software de terceros como puede ser Unity, Maya, MotionBuilder. Para poder empezar a ejecutar el programa, primero el usuario deberá conectar todas las neuronas que desee al HUB y este al ordenador mediante

un cable USB, una vez el software ha detectado el sistema, será necesario calibrarlo tanto indicando las dimensiones del cuerpo como la pose desde la que iniciemos, con el fin de mejorar la precisión a la hora de tomar los datos de grabación del movimiento generado en los sensores. Utiliza un lenguaje de programación en C.

### 4.3.3. Leap Motion



Fig. 4.12. Fotografía Leap Motion.

#### 4.3.3.1. Hardware

Dispositivo periférico USB de tamaño reducido, utiliza la tecnología NIR para poder detectar los movimientos de la mano. En cuanto al hardware, este consiste en 2 cámaras monocromáticas y 3 LED IR. Usa una longitud de onda de 850nm (fuera del espectro de luz visible). Los LED emiten luz IR sin ningún patrón y gracias a la gran angulosidad de sus lentes, proporciona alrededor de  $527\text{cm}^3$  de espacio de interacción ( $78\text{cm}$  en cada eje  $x,y,z$ ) en forma de pirámide invertida. El espacio queda limitado debido a la luz LED, a distancias fuera del rango de visibilidad no es posible detectar con exactitud la posición de la mano ya que se hace mucho más difícil determinar la posición. [15] [16]

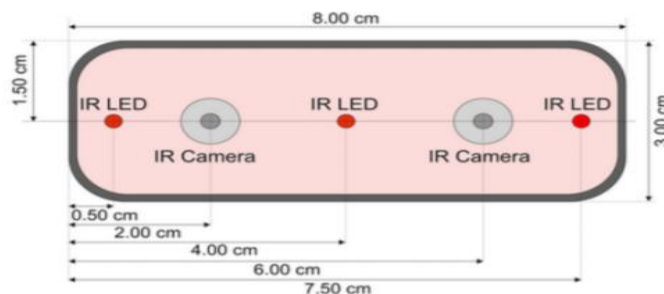


Fig. 4.13. Estructura física de Leap Motion. [16]

### Metodología teórica de Leap Motion

Los creadores de Leap Motion tienen registradas sus patentes algorítmicas de funcionamiento del controlador. Los usuarios que han ido realizando diversos estudios sobre su funcionamiento han coincidido en cierto grado de similitud en el posible proceso del software. Este consiste en: Cuando Leap Motion enfoca la imagen, lee los datos de su sensor registrados en la memoria y realiza ajustes de resolución para posteriormente poder ser enviados vía USB al Leap Motion Service (software). Cuando los datos se han transmitido al ordenador, se aplican algoritmos de procesamiento de imágenes filtrando objetos de fondo, luz ambiental, generando como resultado datos de posición en 3D a partir de la comparación con fotogramas 2D generados por las cámaras. Obtenidos los datos de posición, mediante algoritmos de seguimiento interpreta los datos en 3D. Finalmente se ejecuta un protocolo de transporte de información para organizar los datos en la biblioteca de estructura API (orientada a objetos), donde se generan funciones asociadas al movimiento. Leap Motion permite utilizar diversos lenguajes de programación para su SDK (Orion Beta) como puede ser python, Unreal Engine 4 o Unity por ejemplo, además la empresa está centrando sus esfuerzos en el uso de Leap Motion en la realidad virtual, ya que puede ser utilizado en el Oculus Rift o el HTC vive como complemento. [15] [16]

El problema relacionado con este producto es la falta de datos de su potencial de uso. Para tratar de solventarlo se ha realizado una búsqueda de artículos científicos que utilizan el dispositivo para diversos fines.



Fig. 4.14. Ejemplo de resultado del algoritmo de procesamiento de Leap Motion con una mano de madera.



**Artículos asociados para el entendimiento de Leap Motion:**

En cuanto a sus características. El artículo [17] contrasta el uso de Leap Motion con el uso de un mouse para un mismo ejercicio en parámetros como son: la tasa de error el tiempo, el tiempo de movimiento, el rendimiento y el esfuerzo mental. Se demostró que:

- Leap Motion tiene una tasa de error 4 veces más que la del ratón.
- El tiempo de movimiento es mayor.
- El rendimiento es peor debido a que Leap Motion tiene mayores grados de libertad y requisitos específicos de coordinación de los movimientos de los dedos y las manos que pueden introducir ruido adicional en la implementación de los movimientos.
- El esfuerzo mental es superior. Este último parámetro puede estar relacionado con la diferencia de práctica entre los dos sistemas.

Como dato extra aportó que el hecho de haber jugado a videojuegos o no, no influía en el estudio y que las mujeres tenían una mejoría superior a los hombres a medida que se repetía el experimento con Leap Motion. En el artículo [18] se realiza una evaluación para averiguar si Leap Motion es un reemplazo para un sistema de captura de movimiento óptico rápido y de alta precisión en un espacio limitado y con un número limitado de objetos, tratando como objetivo la precisión y fiabilidad tanto en estático como en dinámico. Las pruebas dictaminaron que:

- La desviación estándar era inferior a 0,5mm.
- Demostraron que no todos los objetos se identifican como válidos. Los detecta en primera instancia pero pasados 8-10 segundos deja de considerarlos válidos. Por tanto, para que Leap Motion los reconozca todo el tiempo, deben parecerse a una mano humana.
- Se descubrió que para una distancia del eje “z”>0 las medidas no eran estables. Es decir, cuando se investigaba la repetitividad de una posición más allá de esa condición, el error de posicionamiento era mayor viéndose incrementado además

contra mayor fuera la distancia en los ejes “x” e “y”. mayor era la inestabilidad para investigar.

- En la prueba dinámica se demostró que el aparato tiene una limitación de velocidad de muestreo alrededor de 40Hz con una desviación estándar de unos 12Hz, lo que produce que para conectarse con aparatos en tiempo real, no sea muy fiable. Se constató que la desviación estándar aumentaba con el radio y el ángulo acimut  $\varphi$  (ya que de manera dinámica no se usan coordenadas cartesianas, sino esféricas) pero no con la inclinación ( $\theta$ ) del objeto a seguir.
- En cuanto al rendimiento dinámico encontraron inconsistencias. Como pasa en estático, a medida que se alejan del sensor, la distorsión aumenta.

En cuanto a su funcionalidad biomédica el artículo [19] evalúa el efecto de un protocolo de rehabilitación incorporando una plataforma interactiva con Leap Motion al tratamiento convencional, frente a únicamente el tratamiento convencional para pacientes afectados en la función motora de la extremidad superior, a pacientes que habían sufrido un accidente cardiovascular (leve, moderado).

- El uso de Leap Motion proporcionó mejoras en la capacidad motora y en la reorganización neuronal.

En el artículo [20] se exponen un conjunto de ejercicios virtuales a un grupo de pacientes con la enfermedad del Parkinson, que son un símil a los que los pacientes realizan físicamente. Se demuestra que más de la mitad de los pacientes mejora y que incluso su capacidad cerebro-hombro-brazo-mano funciona con una mayor capacidad debido a que con los ejercicios virtuales hace falta una mayor coordinación de los gestos y movimientos.

El artículo [21] se estudia si el Leap Motion es útil para la clasificación objetiva y automática de la enfermedad de Parkinson. Se demostró que LMC representa un dispositivo muy prometedor para la implementación en la detección de enfermedades neurodegenerativas y otros trastornos o debilidades relacionadas con el envejecimiento; sin embargo, se requieren mejoras en la precisión y usabilidad del algoritmo SDK para consolidar su uso en contextos sanitarios debido a que no en todos los ámbitos del tipo de

movimiento mostraba unos buenos resultados. Por ejemplo, en el antebrazo no es capaz de percibir los cambios producidos por el temblor y distinguir si es un paciente afectado por la enfermedad o no. En cambio en ejercicios como abrir o cerrar las manos sí que diferencia a un paciente afectado por la enfermedad o no.



## **5. Descripción de la solución técnica**

Este es un TFG enfocado al estudio de aparatos disponibles comercialmente. Los aparatos han sido previamente seleccionados por el ponente y el proyectista en base a la diferencia de tecnologías y cada uno de ellos ya ha sido utilizado por profesionales del sector en otros ámbitos de prueba. Por tanto la solución técnica mostrará cómo son las zonas tanto de calibración como de testeo y que pruebas se han realizado con los distintos productos para obtener resultados a comparar.

### **5.1. Variaciones respecto al anteproyecto**

Ha habido variaciones respecto a lo propuesto en el anteproyecto, debido principalmente a la aparición de la pandemia mundial “COVID-19”. Estos cambios serán descritos a continuación:

- El estudio del KIT DV102014 de Microchip ha quedado descartado, debido a que era un producto muy inestable a la hora de tomar muestras, el campo eléctrico que generaba era tal que cualquier pequeña perturbación alrededor provocaba cambios drásticos en la posición resultante de la mano y esto hacía que no fuera coincidente ni de lejos con la posición real. Se procuró apantallarla con placas diferentes materiales para tratar de dirigir y reducir el área de perturbación del campo, pero igualmente daba resultados erróneos.
- El traje MOCAP PERCEPCION NEURON una vez realizado el estudio de su funcionamiento, tan solo será útil en la prueba de testeo, ya que tan solo toma datos de variaciones de movimiento y no es necesario en consecuencia parametrizarlo. Lo que si se hará es una pequeña prueba para determinar el ruido que pueda llegar a tener la señal que emite estando totalmente en estático
- El estudio al final será realizado sobre un único tipo de mano, la de madera, debido a que el otro modelo del que se disponía no daba buenas lecturas debido a su forma y tamaño insuficiente, provocaban que en Leap Motion por ejemplo no distinguiera si la mano estaba del derecho o del revés.

## **5.2. Zona de calibración para el estudio del Leap Motion**

En esta área se pretende crear un lugar con unas condiciones estándar para poder realizar las pruebas pertinentes con el fin de realizar una correcta calibración de cada uno de los aparatos que son objeto de estudio.

Para ello se ha buscado una sala en Tecnocampus donde las condiciones de iluminación sean invariables, es decir donde se pueda encender y apagar la luz para realizar pruebas y no haya variabilidad lumínica relevante más que el propio encendido o apagado de las luces que ya están instaladas. Esto es vital para el Leap Motion, ya que al ser tecnología basada en NIR, la luz puede ser un factor determinante y vale la pena averiguarlo. La sala elegida es el laboratorio de robótica.

Una vez encontrada la sala adecuada, siguiendo el boceto propuesto en el anteproyecto se ha adquirido especialmente para este proyecto un pie milimétrico con una base grande y sólida donde poder colocar los aparatos a estudiar, una mano artificial y un sistema de sujeción para poder conectar la mano con el pie milimétrico.

### **5.2.1. Elección del material**

#### **5.2.1.1. Pie milimétrico**

##### **RS 1 Copy Stand de kaiser-fototechnik**

Es un soporte pensado para hacer el positivado, en el revelado de fotografías analógicas. En conjunto este soporte está formado por una placa base de color gris mate no reflectante con una rejilla fina impresa, un pie ajustable en altura y una columna ancha y resistente a las vibraciones hecha de tubos de aluminio anodizados de color negro mate con marcadores (centímetros y pulgadas) y un nivel de burbuja en su parte frontal. Además adherida a la columna tiene un sistema para introducir un brazo (modelo RA1), que mediante una manivela (accionamiento por fricción sobre cojinetes de plástico) permite mover el brazo de manera vertical. Aunque el brazo horizontal no se usará con su funcionalidad estándar, sino como sujeción para las manos en la parte experimental.

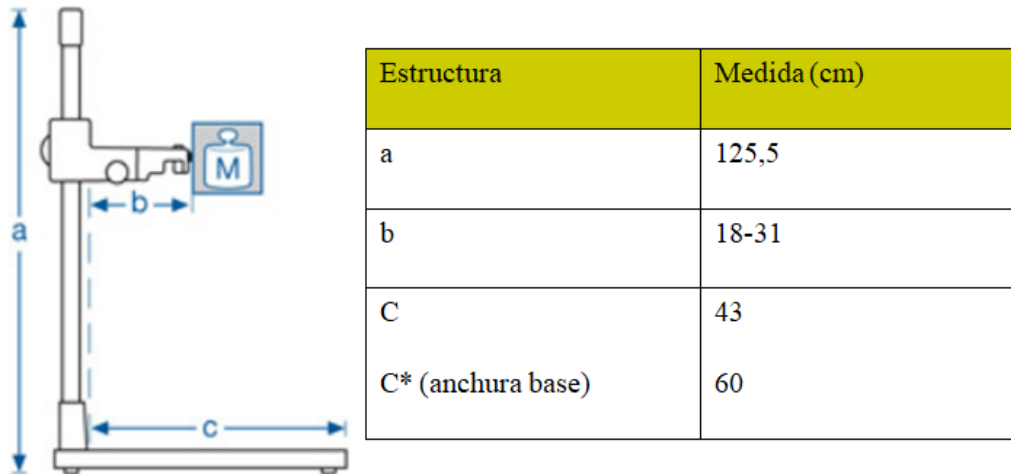


Fig. 5.1. Características RS 1 Copy Stand de kaiser-fototechnik. [23]

Para la toma de muestras será necesaria una mano sintética para valorar si los materiales y la forma de las manos inciden a la hora de tomar muestras y de calibrar los sensores. Así como el diseño de un elemento de sujeción para poderlo mover con la manivela del pie milimétrico y adaptarlo al brazo robótico.

El modelo de mano escogido que cumple todos los requisitos para ser objeto de estudio ha sido, la mano de madera HANDSKALAD de la marca IKEA [3]

**5.2.1.2. Mano artificial y elemento de conexión con el pie milimétrico**

**HANDSKALAD de IKEA**

Mano hecha con madera de haya maciza con dedos articulados mediante un conjunto de muelles internos con junta de plástico amídico.

En cuanto al elemento de sujeción para conectar la mano al pie milimétrico, este ha sido diseñado por el departamento de mecánica de la universidad TECNOCAMPUS, se les prestó la mano y ellos crearon una estructura adecuada al experimento, proporcionando una sujeción y una inmovilización adecuada para llevar a cabo el estudio con éxito.



Características	
Altura (cm)	24
Diametro base (cm <sup>2</sup> )	10
Peso (Kg)	0.43Kg

Fig. 5.2. Características mano madera HANDSKALAD de IKEA.  
[24]



Fig. 5.3. Visualización del conjunto mano de madera-sujeción.



### 5.2.1.3. Diseño final

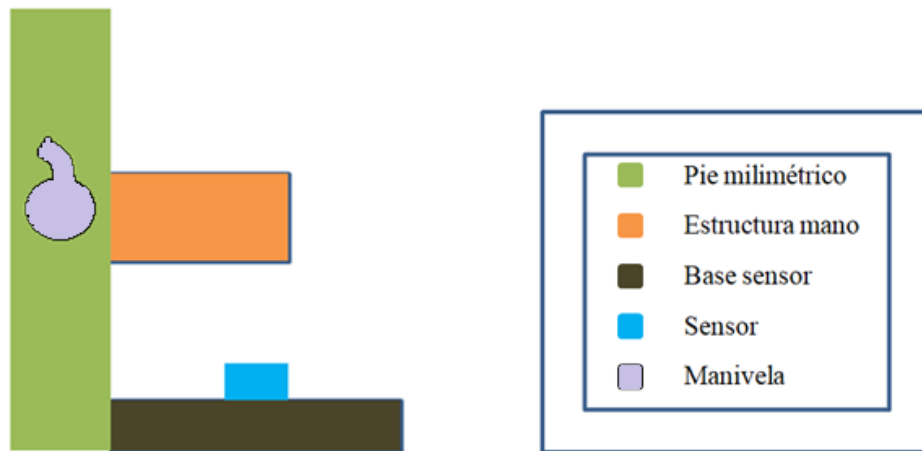


Fig. 5.4. Boceto de la zona de Calibración para Leap Motion.

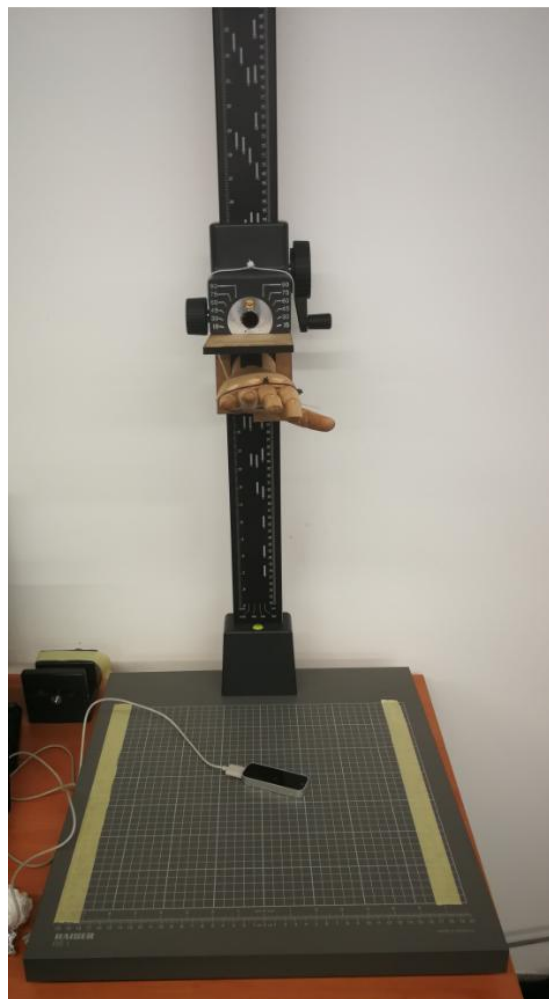


Fig. 5.5. Diseño final del conjunto pie-estructura-mano.

### 5.2.2. Pruebas previas

Como se ha comentado en [5.1], debido a la dificultad a la hora de muestrear con el KIT DV102014 de Microchip por la problemática en las perturbaciones con su campo eléctrico cercano generado, este estudio va enfocado al dispositivo Leap Motion.

Antes de realizar el estudio de calibración, se decidió testear el programa que traía consigo Leap Motion, básicamente este consistía en un Visualizer, donde aparecía por pantalla la mano con sus ejes y puntos de detección. Para ello se situó el Leap Motion en una posición perpendicular al eje de la palma de la mano de madera.

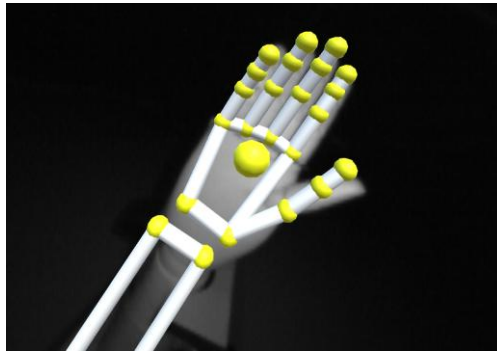


Fig. 5.6 Ejemplo de imagen Visualizer a la mano de madera HANDSKALAD.

Para poder precisar mejor la geometría de la mano junto con lo mostrado a través de Visualizer, se fue rotando el Leap Motion hasta obtener la mejor imagen coincidente entre la mano artificial y la representación que hacía el Visualizer de ella. La rotación fue de  $-37^\circ$ .

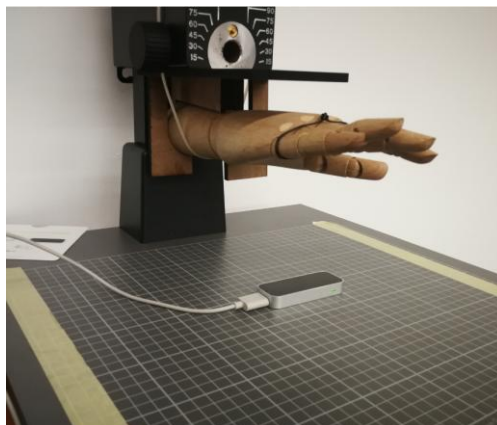


Fig. 5.7. Posición Leap Motion totalmente horizontal  $0^\circ$ .

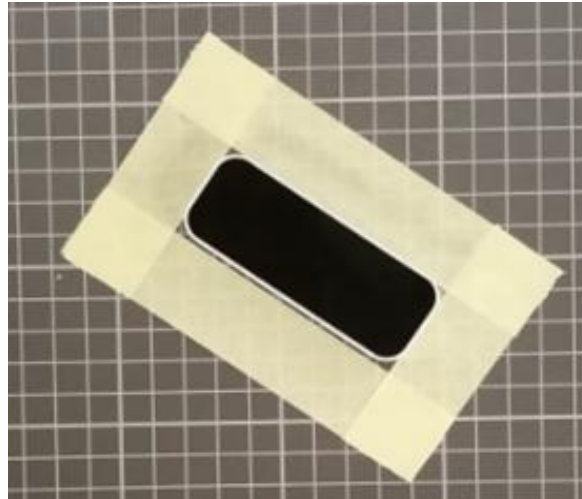


Fig. 5.8. Rotación Leap Motion a  $-37^\circ$ .



Fig. 5.9. Resultado final del diseño.

Una vez optimizada la dirección del Leap Motion y la mano, se probó el dispositivo para observar como actuaba a medida que se alejaba la mano, mediante el accionamiento de la manivela del pie milimétrico. Estas pruebas se realizaron repetidamente para obtener patrones de comportamiento en Leap Motion y descubrir posibles fallas del programa. Estos fueron los resultados:

Gesto \ Prueba	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)
Meñique cae un poco	40	41	41,5	39,7	42,2
Límite caída meñique	51	52,5	51,8	52	52,2
Meñique toca anular	48	48,2	48,3	49	50
Dedo gordo para dentro	39	39,5	39,2	39,3	38,8
Límite dedo gordo	62	62,8	62,6	62,4	61,8
Índice se inclina	47	50,2	50	49,8	50,3
Límite índice	56,5	56	56	55,5	55,2
Distorsión anular-corazón	58,9	59	59,5	58,7	58,3
Dedos anular-corazón pegados	64	64,2	64,5	63,8	63,5
Pérdida posición dedos	65,5	65	65,5	64,8	64
Error	66	65,5	66,5	66,7	66,2

Tabla 5.1. Día 1, prueba con luz.

Gesto \ Prueba	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)
Meñique cae un poco	45,4	44,6	46	44
Límite caída meñique	55	55,3	55,2	52,5
Meñique toca anular	48,5	49,5	51	49
Dedo gordo para dentro	42,4	39,5	38	40,3
Límite dedo gordo	32,5	57	60	57,2
Índice se inclina	47,3	47,5	49	51
Límite índice	62,8	55,5	57	59
Distorsión anular-corazón	60,7	62	61	61
Dedos anular-corazón pegados	65,5	61	59	60,5
Pérdida posición dedos	66	63,5	62,5	63
Error	68	66	66,5	70

Tabla 5.2. Día 2, prueba sin luz.

Gesto \ Prueba	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)
Meñique cae un poco	39,5	41,3	40,5	40,8	43
Límite caída meñique	53	52	52,8	54	53,6
Meñique toca anular	49	49,3	49,5	49	49,8
Dedo gordo para dentro	40	40,8	39,7	38,9	39,2
Límite dedo gordo	63	62,4	62,5	62,7	61,9
Índice se inclina	46,8	50,1	50	48,7	48,4
Límite índice	57	55	55,2	56	56,3
Distorsión anular-corazón	58,9	59	59,5	58,7	58,3
Dedos anular-corazón pegados	63	62,7	64	63,7	63,5
Pérdida posición dedos	65	64,7	65,5	64,8	65,2
Error	67,2	66,5	67	65,8	66,8

Tabla 5.3. Día 3, prueba con luz.

Gesto	Prueba		Posición1		Posición2	
	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)		
Meñique cae un poco	39	40	39,8	40,5		
Límite caída meñique	53	58	55	56		
Meñique toca anular	48,5	49,5	51	49		
Dedo gordo para dentro	40,8	39,8	40	40,5		
Límite dedo gordo	62,5	62,8	62,7	63		
Índice se inclina	50	52	53	52,5		
Limite índice						
Distorsión anular-corazón	-59,5	60,7	60,9	60,4		
Dedos anular-corazón pegados	63	64,8	63,4	62,8		
Pérdida posición dedos	65	67,6	68	67		
Error	72	75	72	76		

Tabla 5.4 Día 4, prueba con luz. Posición1, Leap Motion estaba en posición normal, Posición 2, Leap Motion rotación 180°.

Las pruebas se realizaron en 4 días diferentes, el segundo de los cuatro días fue sin ningún tipo de luz, para saber si la luz ambiental de la sala influía sobre la toma de gestos. En el cuarto día de prueba se quiso comprobar si había alguna variación si se rotaba 180° el Leap Motion,

En estas tablas se muestran un total de 18 pruebas, en ellas encontramos los gestos o mejor dicho los errores de visionado que daba el programa, estos son iguales para todas, tan solo varía la distancia en los que suceden, demostrando que la luz ambiental no influye en la sala a la hora de tomar muestras (no se aprecia ningún cambio sobresaliente), que la rotación es corregida automáticamente y que esta diferenciación en la distancia de las muestras es debido al propio programa interno del Visualizer de Leap Motion.. Todos los valores de distancia en las tablas se han considerado vistos desde el pie milimétrico.

El objetivo de este previo estudio era averiguar principalmente a qué altura el Leap Motion perdía el control y posteriormente la señal de detección, pero a resultado más práctico al mostrar que había errores coincidentes en todas las muestras tomadas, al menos en su propio programa interno.

A continuación se muestran algunos de los errores expuestos en las tablas anteriores.

- En la primera imagen se puede observar el error de inclinación del dedo meñique

- En la segunda imagen se producen dos errores, como el dedo pulgar se va acercando a la palma y el dedo meñique se inclina acercándose al dedo anular
- En la tercera imagen se aprecia la unión entre el dedo meñique y el anular
- En la cuarta imagen se hace referencia a como el programa empieza a perder los puntos de referencia de la mano, donde los dedos anular y corazón están pegados y la parte del antebrazo queda desconfigurado.
- En la quinta imagen muestra que sucede cuando se supera el rango de lectura del Visualizer, el programa no sabe si la mano esta boca arriba o boca abajo.

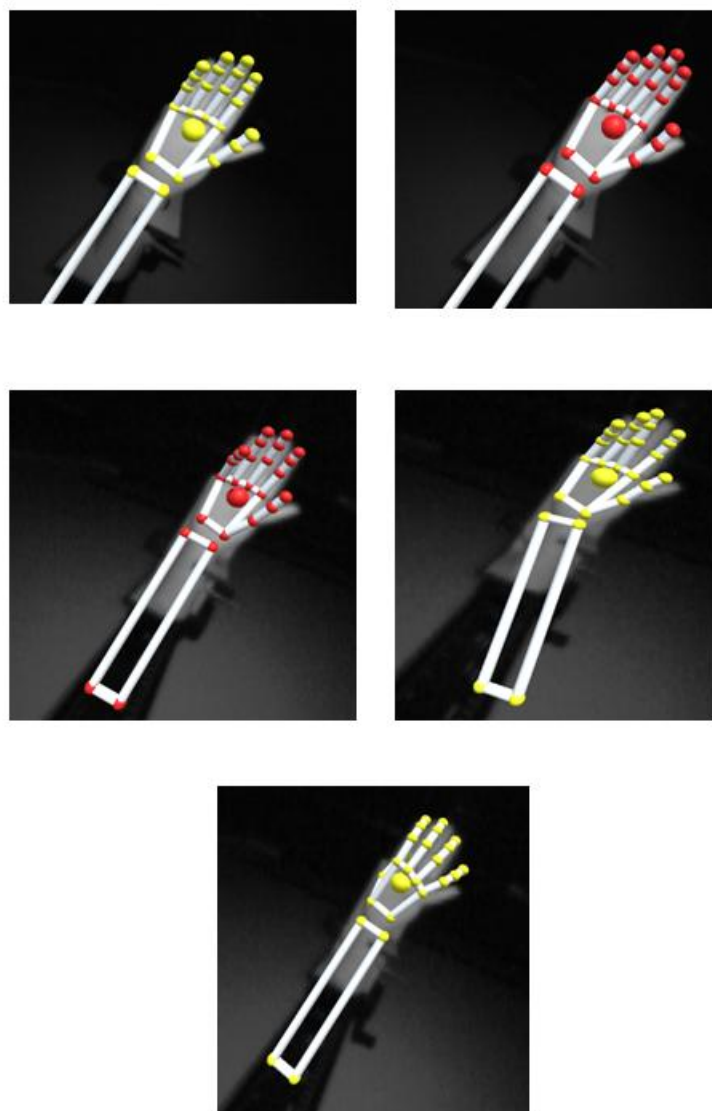


Fig. 5.10. Ejemplos de los errores del Visualizer durante las pruebas

### **5.2.3. Estudio de calibración**

Una vez finalizado el estudio previo para observar el comportamiento de Leap Motion, se ha querido ir un paso más allá y con la colaboración de Jonathan Schaust, un estudiante procedente de Alemania, el cual estuvo cursando una Estancia IASTE en el grupo de tratamiento del señal en Tecnocampus, diseño un programa de calibración en código Phyton para este proyecto, permitiendo gracias a este, un estudio de para la calibración del Leap Motion.

El programa de Jonathan Schaust, en resumen, convierte los datos que muestrea el Leap Motion en código Excel. Una vez seleccionados los datos necesarios se obtienen diferentes gráficas de interés con la ayuda de la herramientas de programación, en este caso particular se usa MATLAB.

En la [Tabla 5.5] se puede observar los FPS a los que muestrea el programa creado para Leap Motion, el cronomarcador (código de tiempo), el frame en el que se encuentra, entendiendo que cada frame es un conjunto de todas las tomas de los dedos y la palma de la mano (1 frame por cada unidad de tiempo), en cada frame se puede observar un conjunto de valores asociados como puede ser que mano detecta en este caso la derecha, que zona de la mano,(palma muñeca o dedo), los tipos de dedo (pulgar, anular, corazón, anular, meñique) con la posición inicial y final en los tres ejes (x,y,z) de cada dedo y la rotación de la mano para cada frame.

Para llevar a cabo este estudio utilizando el programa se han realizado 4 procedimientos distintos:

- La toma de medidas en estático dejando enfriar el dispositivo cada x centímetros.
- La toma de medidas en estático sin dejar descansar el dispositivo cada x centímetros, tan solo al terminar una serie completa de medición (35-61cm).
- La toma de medidas dinámicas cada 2cm.
- La toma de medidas dinámicas cada 1cm.

	FPS	Timestamp(microsec)	Number of Frame	Hand	WristF	Bone	Position X Start(mm)	Position Y Start(mm)	Position Z Start(mm)	on X End	Position Y End(mm)	Position Z End(mm)	Pitch(deg)	Roll(deg)	Yaw(deg)
0	28.78		34752	2	Right han	Palm	22.98554671	345.1315308	32.87591553	22.99	345.1315308	32.87591553	-2.0375776	-3.2238229	-41.532386
1	28.78		34752	2	Right han	Thumb	43.16034485	342.5177307	85.1815643	43.15	342.5177307	85.1815643	0	0	0
2	28.78		34752	2	Right han	Thumb	43.16034485	342.5177307	85.1815643	6.437	326.81427	63.21573257	0	0	0
3	28.78		34752	2	Right han	Thumb	6.437493801	326.81427	63.21573257	-11	312.875024	43.40797424	0	0	0
4	28.78		34752	2	Right han	Thumb	-10.91744482	312.875024	43.40797424	-18.3	301.9519958	27.72649193	0	0	0
5	28.78		34752	2	Right han	Index	43.17218399	359.28125	71.45388958	-9.108	348.7296753	30.66601181	0	0	0
6	28.78		34752	2	Right han	Index	-9.078482083	348.7296753	30.66601181	-34.2	344.7735596	2.944873333	0	0	0
7	28.78		34752	2	Right han	Index	-34.1502037	344.7735596	2.944873333	-48	338.856781	-11.92258549	0	0	0
8	28.78		34752	2	Right han	Index	-47.97370911	338.856781	-11.92258549	-57.7	334.6743164	-22.4321174	0	0	0
9	28.78		34752	2	Right han	Middle	49.6043129	359.5960083	62.24822235	5.969	348.7125549	17.20359802	0	0	0
10	28.78		34752	2	Right han	Middle	5.968662262	348.7125549	17.20359802	-20	345.3203735	-15.84751129	0	0	0
11	28.78		34752	2	Right han	Middle	-19.99860191	345.3203735	-15.84751129	-35.5	341.2860522	-34.83998634	0	0	0
12	28.78		34752	2	Right han	Middle	-35.5470047	341.2860522	-34.83998634	-45.8	338.2547302	-47.29428864	0	0	0
13	28.78		34752	2	Right han	Ring	57.23282623	357.5175781	54.30311966	24.76	346.9094849	8.490169525	0	0	0
14	28.78		34752	2	Right han	Ring	24.75818062	346.9094849	8.490169525	0.202	343.1637878	-21.68997192	0	0	0
15	28.78		34752	2	Right han	Ring	0.201655686	343.1637878	-21.68997192	-15.4	338.6388855	-39.63955444	0	0	0
16	28.78		34752	2	Right han	Ring	-15.37172794	338.6388855	-39.63955444	-25.9	335.0683556	-51.65117264	0	0	0
17	28.78		34752	2	Right han	Pinky	66.36141968	341.4541016	49.34740067	42.63	341.4541016	2.795543432	0	0	0
18	28.78		34752	2	Right han	Pinky	42.63126373	341.4541016	2.795543432	23.42	337.7219543	-21.16220093	0	0	0
19	28.78		34752	2	Right han	Pinky	23.42210171	337.7219543	-21.16220093	12.43	334.3581848	-33.83549118	0	0	0
20	28.78		34752	2	Right han	Pinky	12.42735004	334.3581848	-33.83549118	2.739	331.3937378	-45.00421906	0	0	0
21	28.77		69514	3	Right han	Palm	22.97700119	345.2087708	32.90153503	22.98	345.2087708	32.90153503	-2.09772	-3.1793592	-41.547556

Tabla 5.5. Muestra de los resultados del programa.



Debido al constante movimiento del conjunto pie milimétrico-soporte-mano por estar una aula efectiva para dar clases, se ha tomado como punto referente al estudio el punto de la palma, ya que por la estructura del conjunto, es el que menos variaciones podría sufrir al tomar muestras en distintos días. La diferencia entre el valor de la distancia marcada en el pie milimétrico (valor teórico) y la que realmente hay entre la palma de la mano y el Leap Motion es una diferencia de 20,64 cm, para poder realizar una buena comparativa con la distancia marcada por el pie milimétrico se le ha añadido este valor a los datos tomados por el programa.

Por ejemplo si en el pie milimétrico marca 35cm, para saber la altura a la que está el punto de estudio de la palma y el Leap Motion se debe restar los 19,55cm del conjunto además de la propia altura de Leap Motion que ha sido medida con un pie milimétrico con un valor de 1,09cm.

$$DP - Leap = y(\text{medida PM})\text{cm} - 19,55(\text{sujeción})\text{cm} - 1,09(\text{altura LP})\text{cm} \quad (5.1)$$

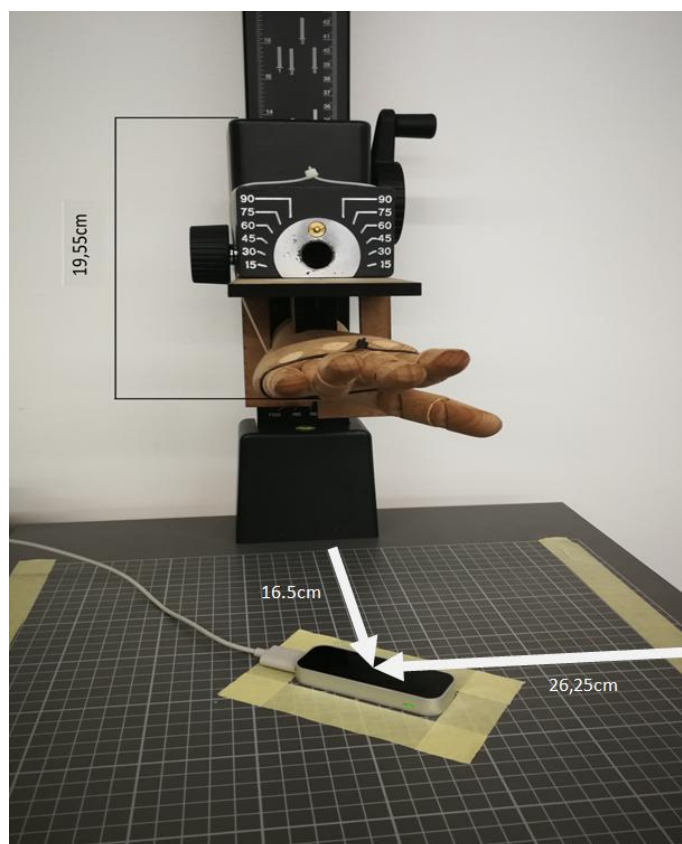


Fig. 5.11. Medida de la estructura-mano

### 5.2.3.1. Toma de medidas en estático dejando enfriar el dispositivo cada x centímetros

Este primer procedimiento consiste en tomar muestras de cada centímetro de medida de un mínimo hasta un máximo, desconectando cada 5 cm el Leap Motion, para observar tanto la variabilidad de datos muestreados en cada uno de los centímetros objeto de estudio como el error de muestro entre la medida teórica marcada en el pie milimétrica y la real que muestrea Leap Motion. Se ha establecido un margen de fallo de alrededor de  $\pm 2$ cm, para limitar la distancia de error en el muestreo. Gracias al estudio previo, la distancia de inicio es de 35 cm (medida pie milimétrico) lo que sería 14,36cm desde el Leap Motion a la palma de la mano (35-20,64). Para cada centímetro objeto de estudio se ha realizado un muestreo (sampling) de 50 muestras.

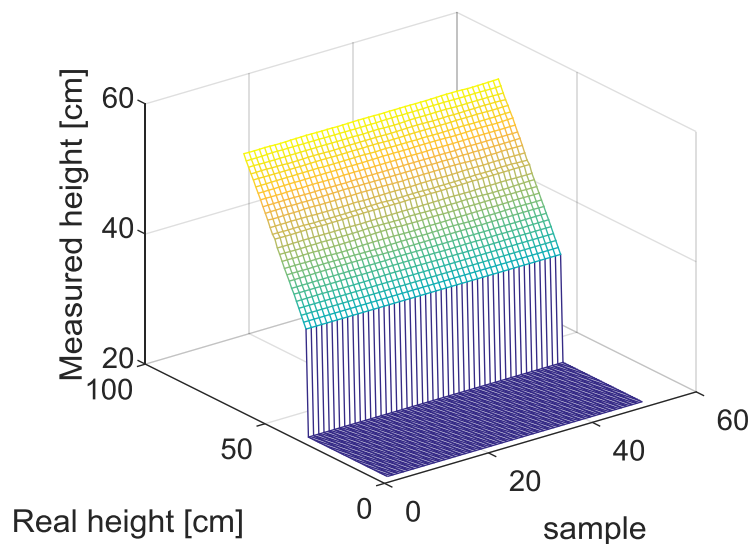


Fig. 5.12 Representación en 3D del 1er procedimiento.

En esta primer ilustración se muestra el modelo en 3D de la toma de datos referente al estudio, pudiéndose observar el crecimiento y el número de muestras.

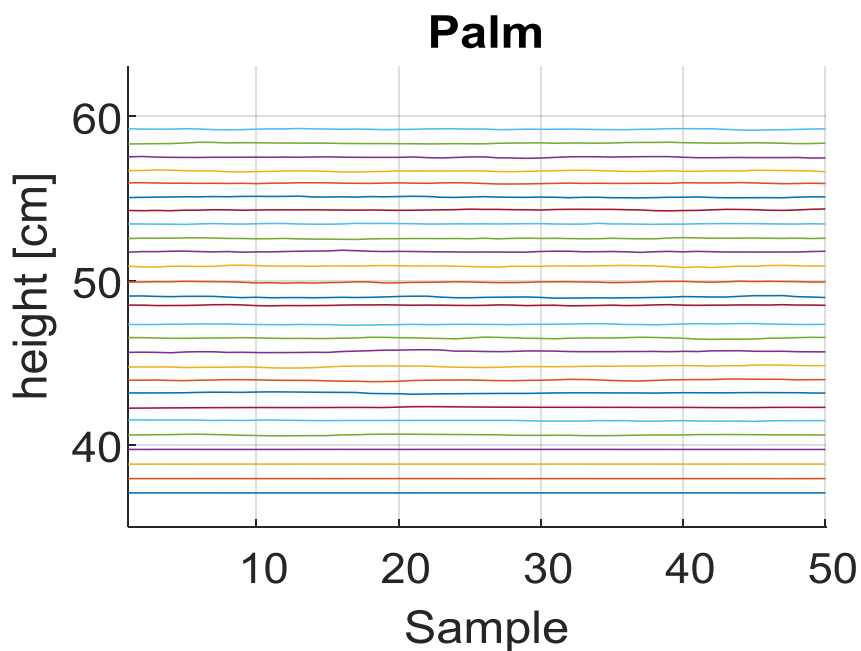


Fig. 5.13 Representación de las muestras obtenidas en 2D. 1<sup>er</sup> Procedimiento

En esta imagen se ve representada las 50 muestras de cada medida de 35-61 cm, el error que tienen respecto a la medida real y su variabilidad a lo largo del muestreo, de una manera visual.

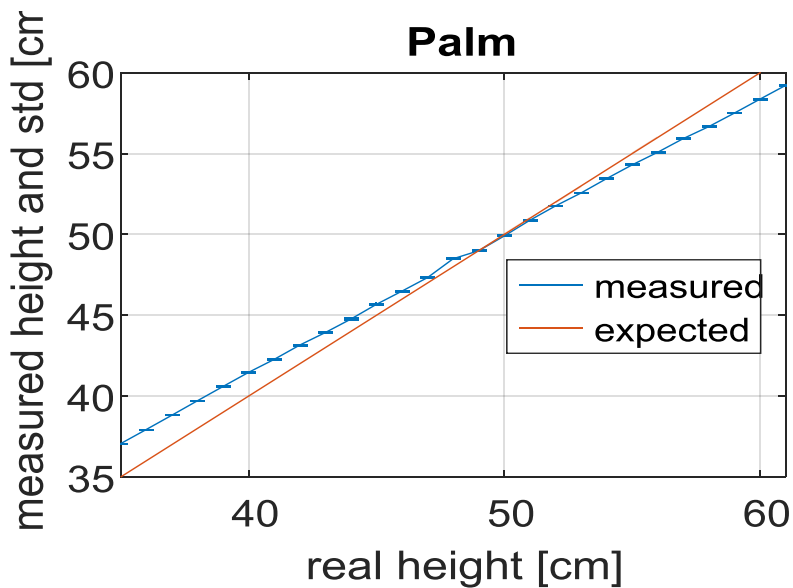


Fig. 5.14 Representación del error en contraste a una pendiente=1. Las líneas horizontales representan la variabilidad de los resultados. 1<sup>er</sup> Procedimiento.

Se aprecia el error entre lo que sería la medida teórica y la medida real, queda más o menos reducida a lo largo de todas las distancias estudiadas. A partir de 50 cm el error pasa a ser de positivo a negativo.

Gracias a este conjunto de ilustraciones y la tabla obtenida a partir del muestreo de los datos, puede concluirse para este procedimiento que la zona donde el error entre el valor teórico y el real es menor, se sitúa entre 49-50cm. Hay que mencionar que esta zona marca el límite en que Leap Motion pasa de tener errores con valor positivo a obtener errores con valor negativo. Superados los 50cm, el valor del error se muestra negativo, es decir, Leap motion resuelve que la mano está más cerca de lo que en realidad esta teóricamente, por debajo de 50cm pasa el caso contrario, lo que muestra el programa de Leap Motion es una distancia inferior a la marcada por el pie milimétrico.

Medida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)	Desviación de los datos (cm)	Medida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)	Desviación de los datos (cm)
35	2,063065063	0,0006319684	49	0,0350171875	0,0414756527
36	1,935503662	0,0010760234	50	0,0920240479	0,305847617
37	1,818546814	0,0011558339	51	-0,1205175171	0,327338103
38	1,712471985	0,0013770385	52	-0,2375431519	0,0253468409
39	1,595206482	0,0288630299	53	-0,4344990234	0,0229609386
40	1,469763794	0,0230435396	54	-0,5456202393	0,0158026753
41	1,271568542	0,0188559104	55	-0,6956148071	0,0268701561
42	1,156561615	0,0335450268	56	-0,9133053589	0,0281312583
43	0,9319732056	0,0381412832	57	-1,068190552	0,0200142224
44	0,7646272278	0,0475672129	58	-1,325704956	0,0303449848
45	0,6784211731	0,0450034385	59	-1,489385864	0,025859517
46	0,4956141968	0,0329906479	60	-1,627978394	0,0276910775
47	0,3340661011	0,0233633379	61	-1,778103149	0,235740125
48	0,4980936279	0,0187496165			

Tabla 5.6. Resultados del estudio del programa. 1<sup>er</sup> Procedimiento.

### 5.2.3.2. La toma de medidas en estático sin dejar descansar el dispositivo

El segundo procedimiento es idéntico al primero pero con la diferencia de que en este caso el aparato de Leap Motion no recibe ningún tipo de descanso cada 5 centímetros, el objetivo es averiguar si el sobrecalentamiento del dispositivo perturba las medidas tomadas. Para realizar una buena comparativa se ha limitado la distancia de la muestra entre 35-61, esta limitación se aplica a todos los procedimientos restantes.

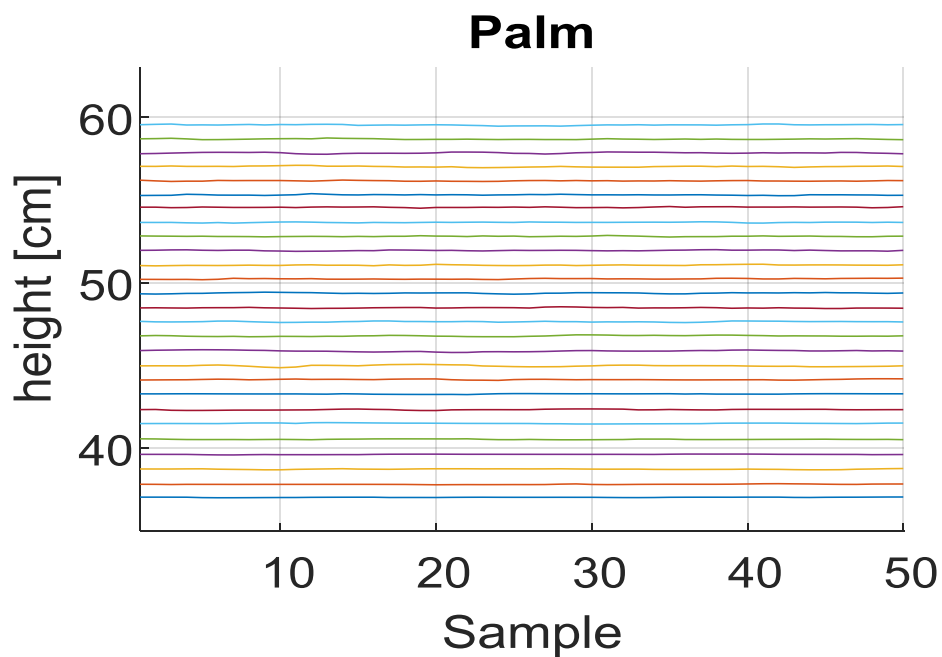


Fig. 5.15. Representación de las muestras obtenidas en 2D. 2º Procedimiento.

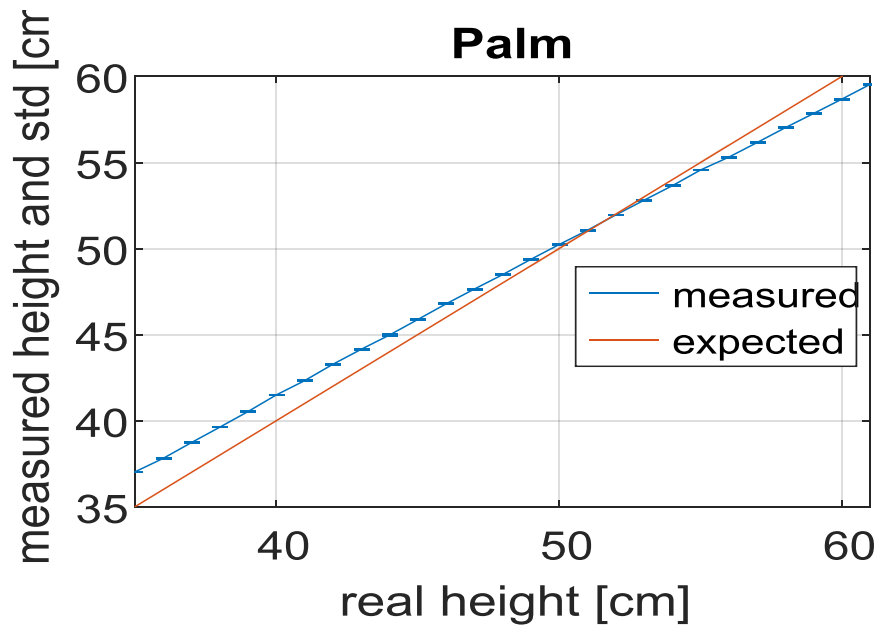


Fig. 5.16. Representación del error en contraste a una pendiente=1. Las líneas horizontales representan la variabilidad de los resultados. 2º Procedimiento.

Medida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)	Desviación de los datos (cm)	Medida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)	Desviación de los datos (cm)
35	2,025441956	0,0110163714	49	0,3736264648	0,0282884
36	1,811901642	0,0145887456	50	0,2343566284	0,0243515856
37	1,729435638	0,0196220389	51	0,0639501953	0,0219674135
38	1,621591858	0,0130160294	52	-0,0480551758	0,243260519
39	1,530917816	0,0175165693	53	-0,1937133179	0,0188492306
40	1,467137805	0,0209541272	54	-0,3506038208	0,0184257292
41	1,325552673	0,0256183501	55	-0,4344484863	0,0201419313
42	1,277004791	0,0144258136	56	-0,6891246948	0,0231561278
43	1,146628754	0,0234962657	57	-0,8095579834	0,0199084861
44	0,9748762207	0,0448078524	58	-0,9749989624	0,0319797799
45	0,8761088562	0,0420176765	59	-1,150275574	0,353890715
46	0,784723877	0,0314123087	60	-1,315576721	0,240057892
47	0,6450691528	0,0244620854	61	-1,457101746	0,307518231
48	0,4825650635	0,022598017			

Tabla 5.7. Resultados del estudio del programa. 2º Procedimiento.

Comparando los resultados con el primer procedimiento, se puede observar que respecto a la desviación de los datos no hay cambios muy significativos, podría decirse que se ha debido simplemente a la variabilidad de resultados durante la muestra, en cambio si se observa desde el punto de vista de la distancia, la zona de mejor rendimiento cambia, de 49-50 a 51-52 cm, lo que implica indirectamente que a 61cm el error también sea inferior, además la distancia que separa los errores positivos y negativos se sitúa a 51cm no a 50cm. La comparativa entre los dos procedimientos, hace que para los próximos procedimientos no sea necesario hacer ningún tipo de descanso cada 5cm.

### 5.2.3.3. La toma de medidas dinámicas cada 2cm

En el caso del 3er procedimiento, se pretende realizar ya un primer estudio sobre cómo responde Leap Motion a variaciones de movimiento repetitivas.

El procedimiento ha consistido en realizar movimientos ascendentes y descendentes cada 2 cm de manera manual, gracias al uso de la manivela del pie milimétrico. El objetivo de nuevo es medir el error del muestreo de Leap Motion contrastando con los valores teóricos.

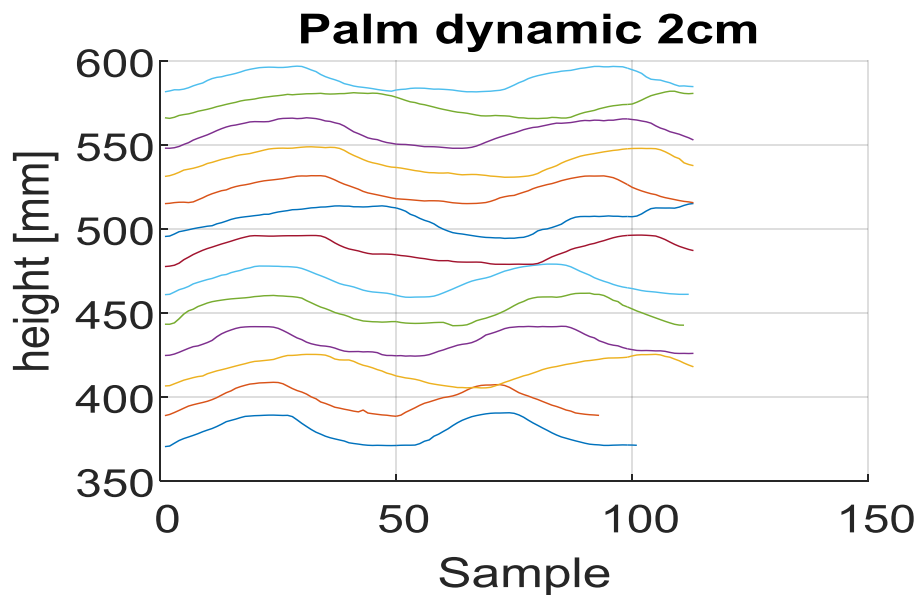


Fig. 5.17. Representación de las muestras obtenidas en 2D. 3<sup>er</sup> Procedimiento.

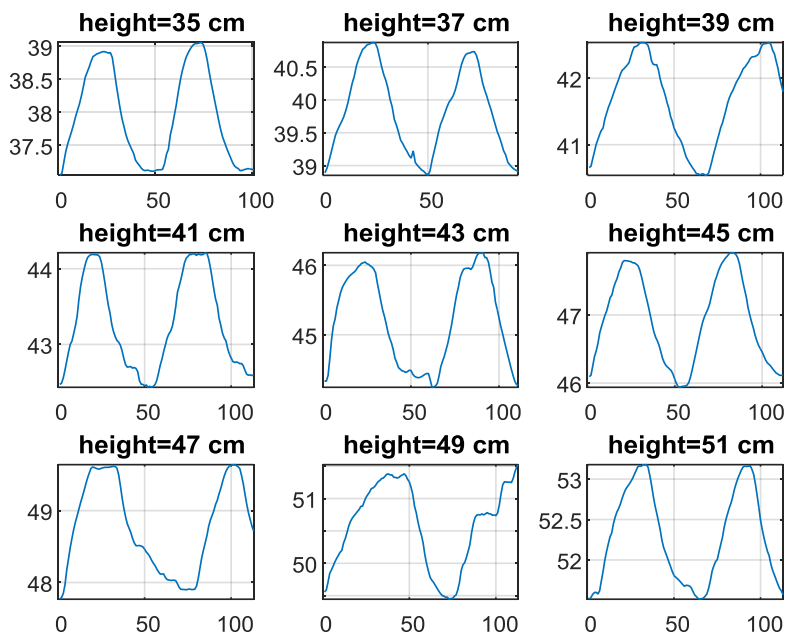


Fig. 5.18. Ampliación del movimiento realizado para tomar los datos de Leap Motion. 3<sup>er</sup> Procedimiento.

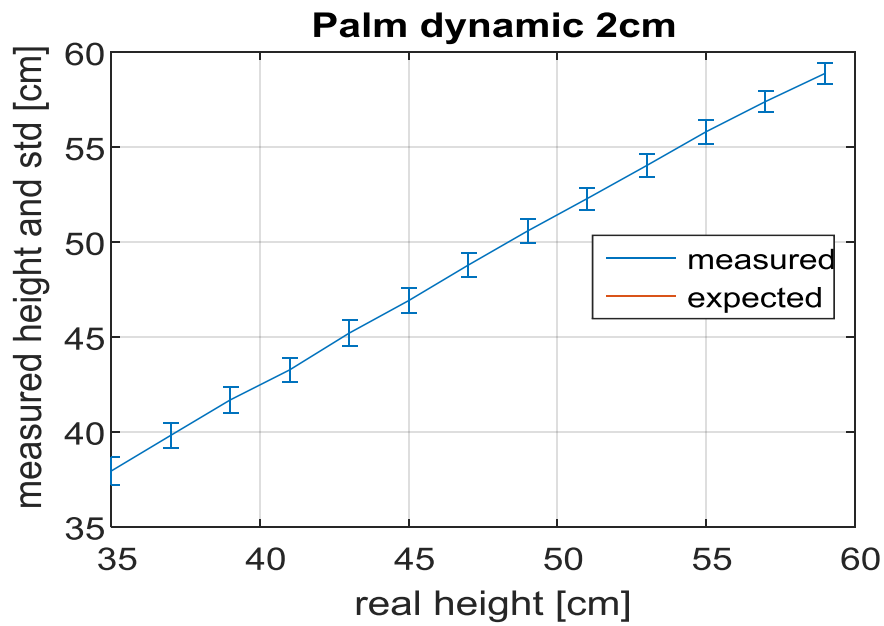


Fig. 5.19. Crecimiento de la distancia a lo largo del procedimiento. Las líneas verticales corresponden a la variabilidad. 3<sup>er</sup> Procedimiento.

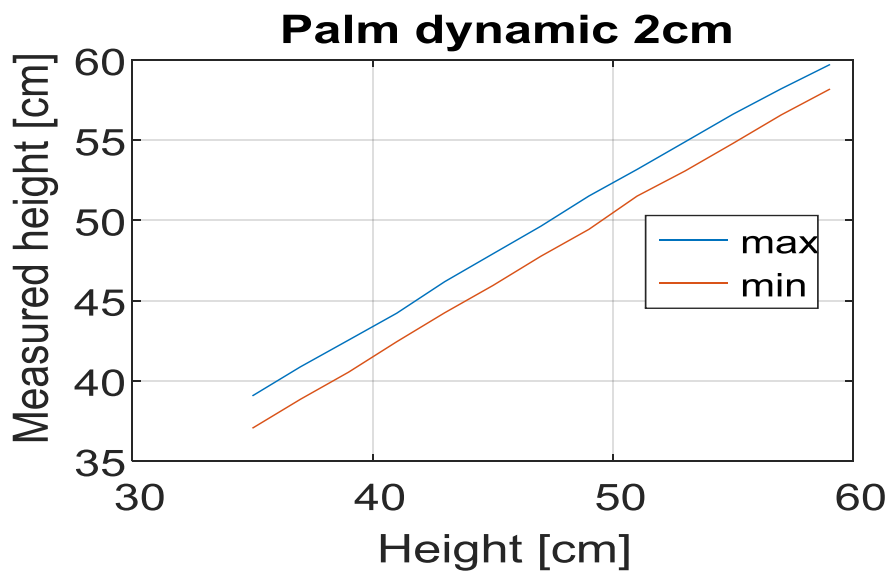


Fig. 5.20. Valores máximos y mínimos obtenidos.. 3<sup>er</sup> Procedimiento.



Para poder llevar a cabo una buena comparativa entre los valores dados por Leap Motion y los teóricos, debido a que todo se ha hecho de manera manual y la velocidad del desplazamiento del movimiento no es constante, se ha hecho uso de una sencilla técnica para tratar de ajustar los valores, esta consiste en calcular la pendiente tanto ascendente como descendente a partir de:

$$\text{Cálculo pendiente teorica} = \frac{y}{x} \tag{5.2}$$

Donde “y” es el desplazamiento vertical, en este caso 2cm y “x” es el número de puntos donde Leap Motion crece o decrece, lo que nos da para cada oscilación de 2cm dos pendientes diferentes, una ascendentes y una descendentes. El motivo por el que hay resultados que tienen valor positivo y negativo en una misma casilla, es porque se ha preferido hacer una diferenciación entre el error positivo y negativo para cada zona de muestro, queriendo demostrar que a partir de cierto punto los errores se invierten en valor de más positivo a más negativo a medida que aumenta la distancia respecto al Leap Motion

Medida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)	Medida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)
35-37	1,949858281	49-51	0,5414143
37-39	1,828096914	51-53	-0,1264402 0,350908718
39-41	1,597751078	53-55	-0,204646472 0,1864506462
41-43	1,266078956	55-57	-0,3891642497 0,1252032761
43-45	1,214564052	57-59	-0,5927380168
45-47	1,093910828	59-61	-1,149900601
47-49	0,7673834229		

Tabla 5.8. Resultados del estudio del programa. 3<sup>er</sup> Procedimiento.

Como se ha comentado anteriormente la [Fig. 5.18] refleja la no constancia del movimiento realizado con la manivela. También cabe destacar que el número de muestras para cada cm no es igual en todas. Esto puede ser debido al propio Leap Motion (velocidad de captura no constante) o a la generación obtención de los datos de manera manual con la manivela. Se puede observar que el área óptima para la medición de datos para 2cm es entre 53-55cm.

#### 5.2.3.4. La toma de medidas dinámicas cada 1cm

Siguiendo los pasos del 3er procedimiento, se ha querido ajustar aún más la distancia de toma de puntos, ahora el desplazamiento será de 1cm por cada toma de medida.

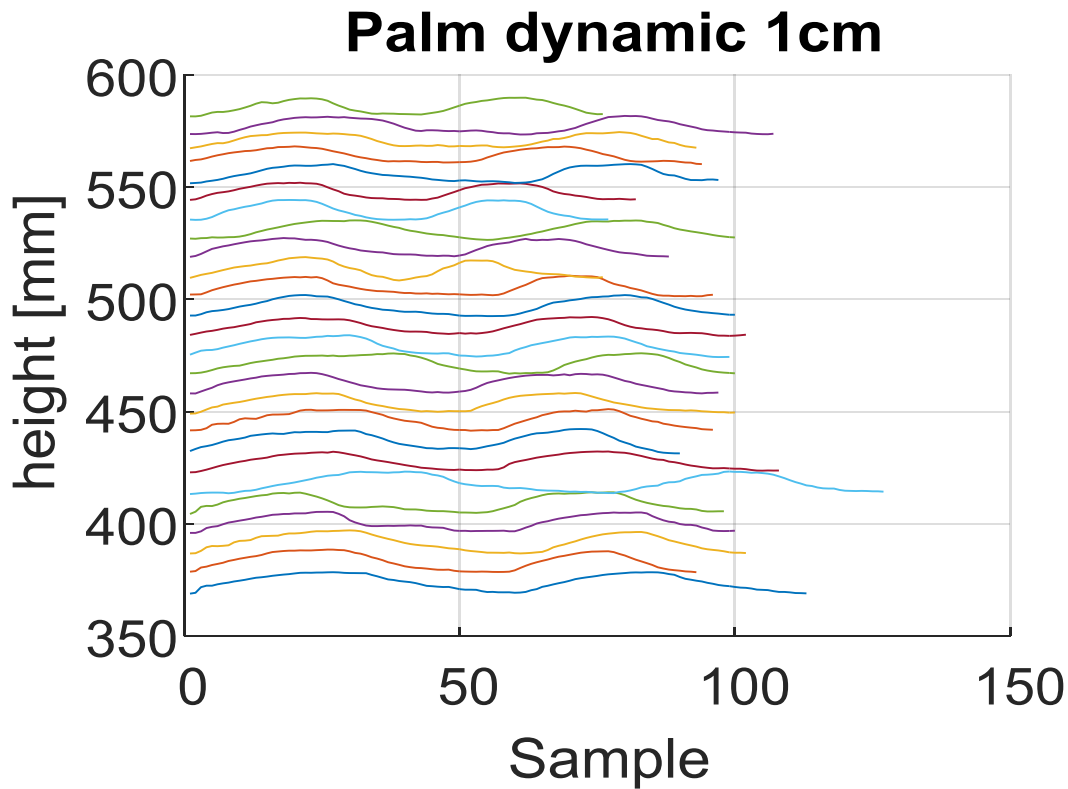


Fig. 5.21. Representación de las muestras obtenidas en 2D. 4º procedimiento.

El hecho de que hayan curvas que durante el muestreo de las diferentes distancias coincidan en algún punto es debido al propio error de la muestra, por ejemplo en la 6 curva, la que correspondería con la distancia de 40-41cm y la 7 curva, distancia de 41-42cm, tienen un punto común de medición a 41cm, que sumados a que la velocidad de ejecución del muestreo no es idéntica para todos los casos, hace que aparezcan estas coincidencias.

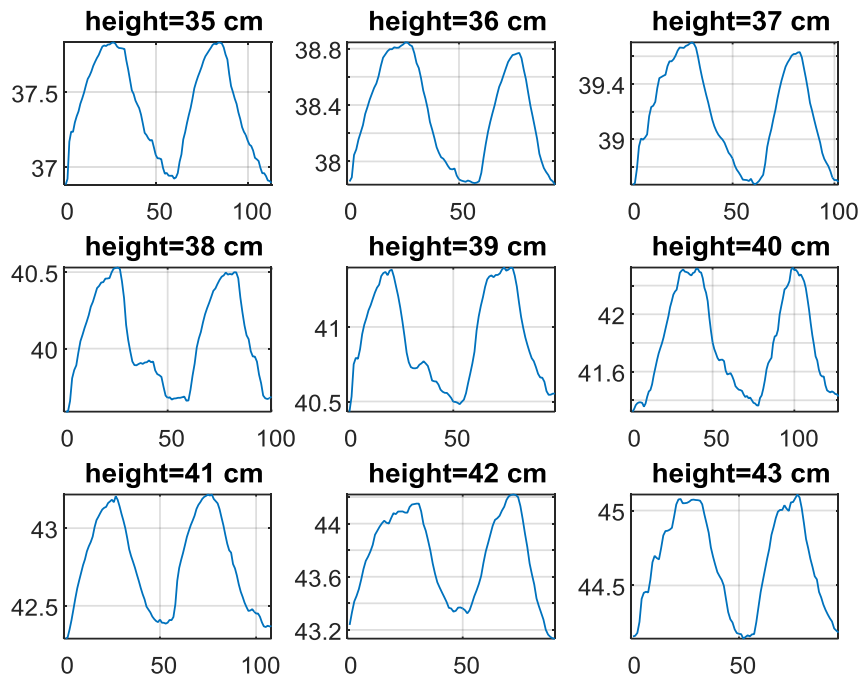


Fig. 5.23. Ampliación del movimiento realizado para tomar los datos de Leap Motion. 4º procedimiento.

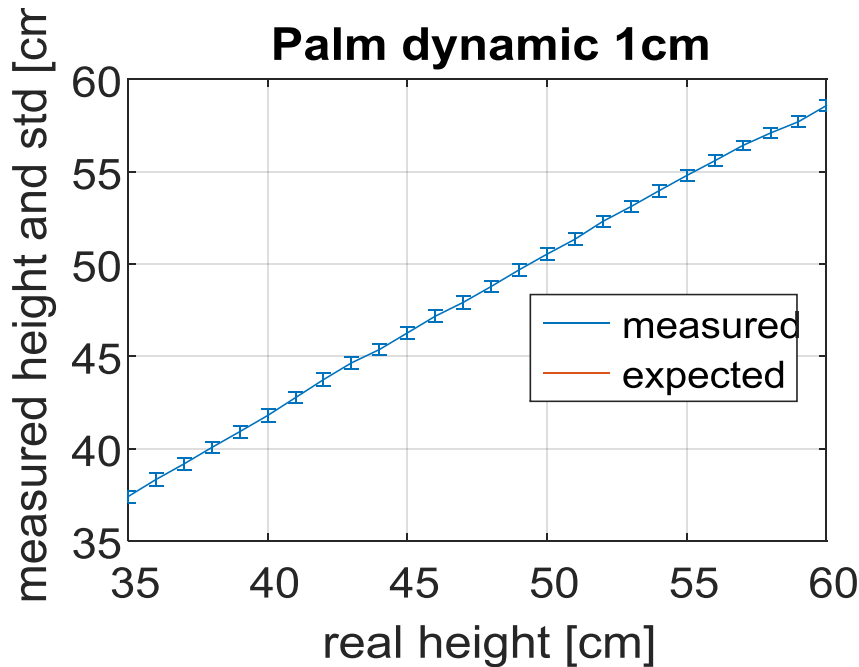


Fig. 5.22. Crecimiento de la distancia a lo largo del procedimiento. Las líneas verticales corresponden a la variabilidad. 4º Procedimiento.

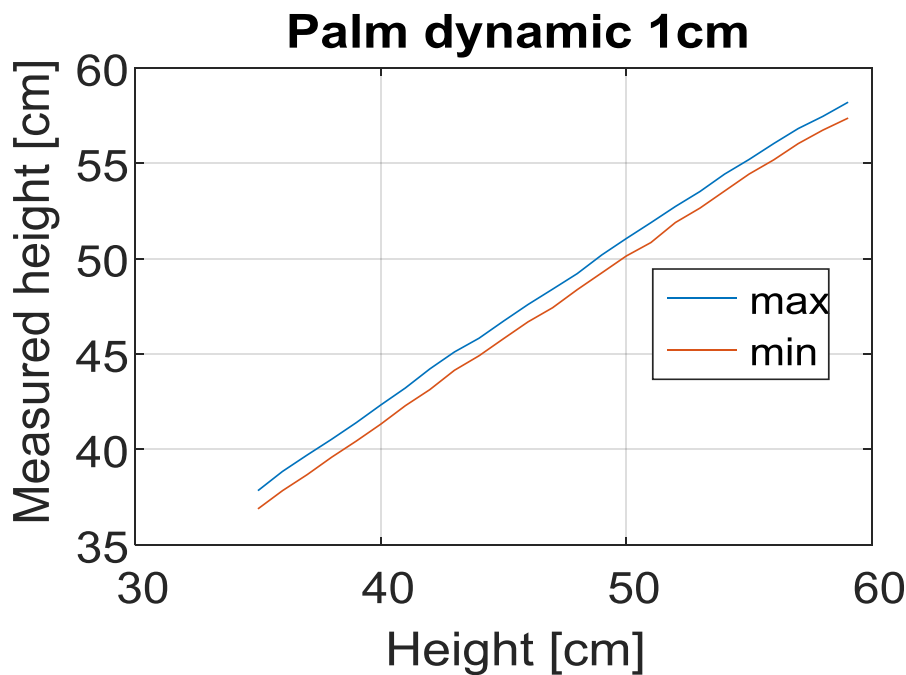


Fig. 5.24. Valores máximos y mínimos obtenidos.4º Procedimiento.

ida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)	Medida pie milimétrico (cm)	Error distancia Leap Motion (cm)
35-36	1,906727495	48-49	0,2893961708
36-37	1,83394971	49-50	0,1928516846
37-38	1,675299757	50-51	-0,1565463566 0,2045746964
38-39	1,568592834	51-52	-0,161446 0,0206129819
39-40	1,426512632	52-53	-0,2073157789 0,030028849
40-41	1,301021543	53-54	-0,3848669128
41-42	1,272462424	54-55	-0,5288521348
42-43	1,247666066	55-56	-0,6965651945
43-44	1,153573074	56-57	-0,902471
44-45	0,8752533569	57-58	-1,076330703
45-46	0,7748462606	58-59	-1,394381366
46-47	0,6815207825	59-60	-1,783902736
47-48	0,4306494757	60-61	-2,104940507

Tabla 5.9. Resultados del estudio del programa. 4º Procedimiento.

Como sucede en el tercer procedimiento la [Fig. 5.23] refleja la no constancia del movimiento realizado con la manivela. También cabe destacar que el número de muestras para cada cm no es igual en todas. Esto puede ser debido al propio Leap Motion o a la

obtención de los datos de manera manual con la manivela. Se puede observar que el área óptima para la medición de datos para 1cm es entre 51-52cm. Como en el tercer procedimiento, también encontramos zonas de muestra con valores positivos y negativos en una casilla resultado. En cuanto a las cuadrículas con resultados dobles, esto es debido a que se muestreaban datos con error positivo y otros en negativo a lo largo de la muestra.

#### **5.2.4. Conclusión final**

Como conclusión final a este experimento, todo y que el procedimiento para obtener y comparar los datos obtenidos con el Leap Motion no haya sido con una maquina con una precisión y velocidad elevada, si que se ha usado un método útil, que demuestra que la zona de actuación óptima para tomar las muestras a variaciones de movimiento se encuentra a una distancia de entre 51-53cm, lo que correspondería a 30,36-32,36cm, si lo miramos desde el punto de vista de Leap Motion.

### **5.3. Estudio del Guante MOCAP PERCEPCION NEURON**

Como se ha explicado antes 5.1, para el guante MOCAP PERCEPCION NEURON no es posible realizar un estudio de calibración como en el caso de Leap Motion, ya que el guante no necesita una zona de actuación óptima, debido a que solo calcula variaciones dentro del propio rango de movimiento del usuario gracias al acelerómetro y giroscopio incorporados en las neuronas del traje.

MOCAP a cambio nos ofrece un software propio llamado Axis Neuron, que permite la conexión y comprensión de los movimientos realizados por su hardware (traje).

#### **5.3.1. Metodología de calibración MOCAP PERCEPCION NEURON**

Pese a que el traje MOCAP PERCEPCION NEURON llega a ser hasta de cuerpo completo, ya que incluye sensorización de las extremidades superiores e inferiores y el tronco (todos ellos divididos en paquetes), para este estudio se usará el paquete llamado WRIST/HAND/FINGER STRAPS. Consiste en un guante con neuronas en muñeca palma y dedos, además se añadirá junto a esto la parte superior del brazo del paquete ARM STRAPS, Este añadido extra se debe a que es necesario una conexión con el brazo para tener una correcta orientación de todo el conjunto brazo-antebrazo-palma-dedos y poder

extraer datos de manera fiable (se probó sin la parte extra y la posición del antebrazo y la mano era incorrecta) de cara a la segunda prueba.

Hay diferentes modos de configuración para la conexión del HUB con Axis Neuron (software que debe ser instalado previamente en el ordenador): Estos modos son:

- Mediante conexión directa con USB,
- Vía Wi-fi, donde se necesita establecer una conexión inalámbrica entre HUB y ordenador.
- Offline, se necesita una tarjeta micro-SD para poder grabar los datos de movimiento en el HUB para poder después transmitirlos al ordenador con la información de la micro-SD.

Debido a la falta de una batería portátil que alimente al HUB (necesario en cualquier método que no sea conexión directa vía USB), y la sencillez de los movimientos a realizar en este estudio, se ha decantado por la opción de conexión directa vía USB entre HUB y ordenador.

#### **5.3.1.1. Pasos para la correcta inicialización del calibrado**

Lo primero que hay que hacer es calibrar cada neurona de manera individual. Para ello será necesario conectar el cable PROP CABLE (con la neurona colocada) al HUB y el HUB al ordenador. Si todo es correcto el HUB emitirá un pitido de conexión y la luz parpadeará de manera lenta. Una vez realizado esto, abrir AXIS Neuron, el programa avisará que no hay herramienta conectada. Se ignora ese mensaje y se accede a “Tool-Calibrate Sensor”. Aquí es cuando pedirá una conexión con el dispositivo.

Si la conexión es correcta dejará saltar al siguiente paso donde se inicializarán las pruebas de calibración, que son dos:

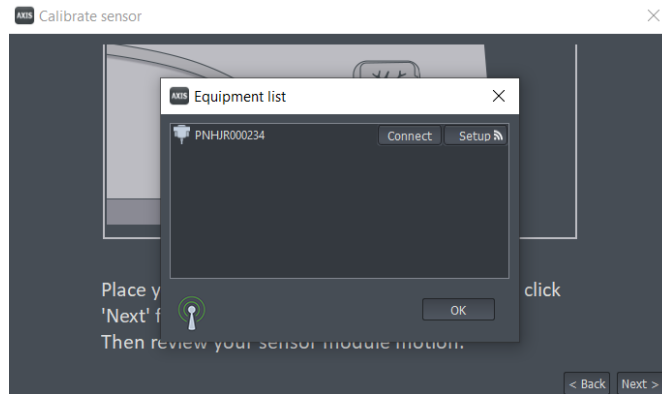


Fig. 5.25. Detección del HUB en modo calibrado de neurona.

La primera prueba hace referencia a la posición estática. Se debe tener la neurona lo más plana posible a la superficie (se puede usar el dedo para apretar la neurona contra la superficie). Si todo va bien, debería salir una imagen como la mostrada en [Fig. 5.26].

Para confirmar que la primera prueba ha sido correcta, es necesario mover la neurona y observar en la pantalla que no hay errores de orientación, si se mueve la neurona o se inclina la imagen también.

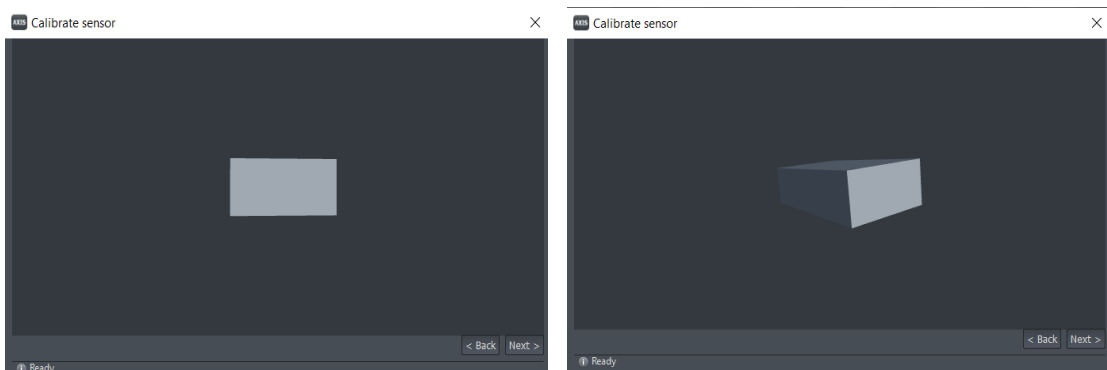


Fig. 5.26.Revisión del calibrado de la neurona.

En el caso de que la prueba de errores de orientación o inclinación será necesaria la segunda prueba.

Segunda prueba (debido a que la primera prueba falló): Se requiere mejorar la precisión de la neurona. Para ello pulsar “Next”. Aparecerá un aviso informativo avisando que para esta prueba es necesario no tener dispositivos electrónicos cerca de la neurona. “Next” de nuevo y da inicio la secuencia de prueba.

Para realizar esta prueba hay dos metodologías. La primera (recomendable) es coger el cable a cierta distancia de la neurona, la segunda es coger la neurona sin dejar margen al cable [Fig. 5.27].

La prueba consiste en realizar movimientos circulares verticales, horizontales, frontales, con la neurona (como si se quisiera jugar con un lazo de rodeo) para que así el programa vaya tomando puntos de información y poder mejorar la precisión de la neurona. [Fig. 5.28].

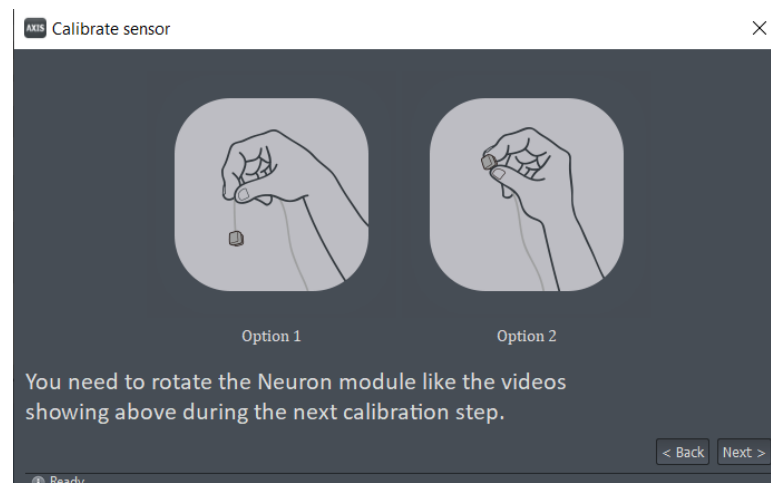


Fig. 5.27. Metodología para la realización de la prueba.

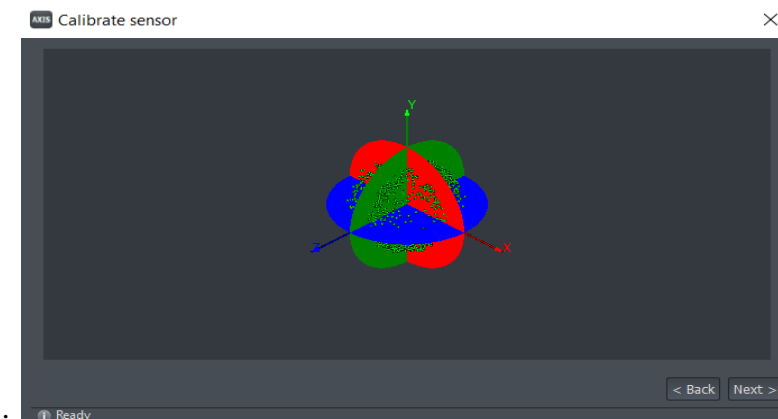


Fig. 5.28. Área de detección para el calibrado de la prueba Los puntos verdes son tomas de puntos del software de calibración.

Este proceso se realiza para cada neurona que se decida utilizar en el experimento.



5.3.1.2. Pasos para la conexión del traje

- Colocarse la parte del traje a la que se le quiera realizar el estudio.
- Conectar el dispositivo HUB al ordenador y esperar al pitido de conexión. La luz que emitirá el HUB será intermitente pero lenta.
- Abrir el software Axis Neuron, el sistema detectara el HUB.

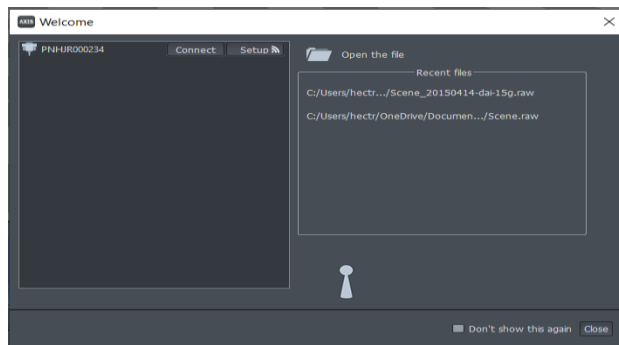


Fig. 5.29. Conexión del HUB con Axis Neuron

- Conectar HUB-AXIS pulsando en “Connect”. Si todo es correcto debería salir el avatar estándar y la zona de conexión del traje en verde, en este caso la zona de la palma, el antebrazo y el brazo junto con los dedos de la mano, la luz que emitirá HUB y neuronas tendrá una mayor intermitencia.

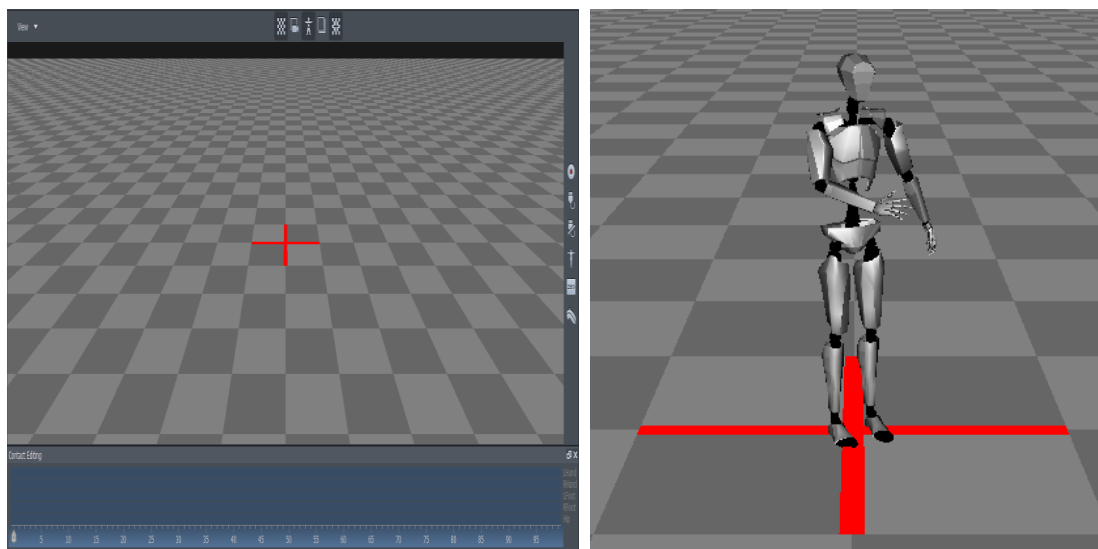


Fig. 5.30 Imagen inicial del programa sin conectar el HUB (izquierda), Imagen del programa una vez detectado el HUB con la parte del traje correspondiente (derecha).

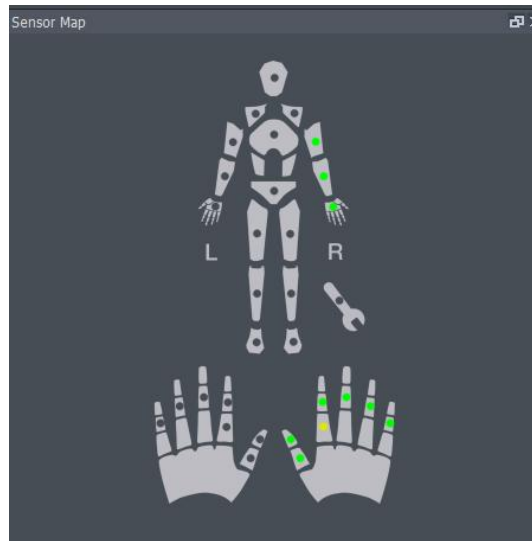


Fig. 5.31. Detección por parte de Axis Neuron de la zona del traje activa

### 5.3.1.3. Pasos para la generación del perfil de usuario

Una vez realizada la detección, y antes de realizar la calibración de las neuronas con el traje, será necesario generar un perfil de usuario, para que el software establezca unas medidas estándar para cada parte del cuerpo conectada.

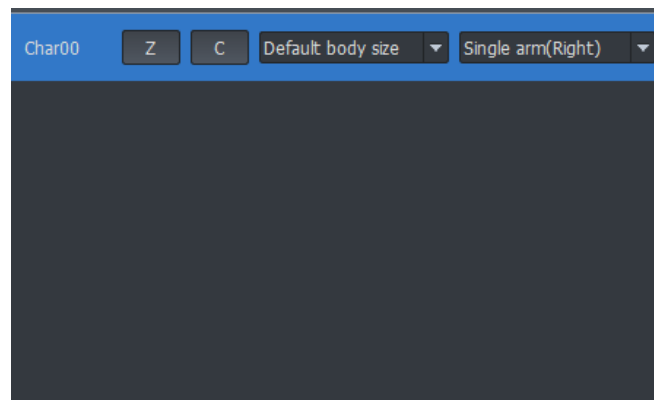


Fig. 5.32. Menú para la generación de un perfil objeto de estudio

- “Char00”- Es el nombre del usuario al que se le realiza el estudio
- “Z”- Borra posibles errores de referencia con el cero
- “C”- Iniciar calibración
- “Default body size”- Permite la elección de la altura de la persona objeto de estudio
- “Single arm (Right)”- Es la zona del traje que detecta AXIS Neuron

Si se desea cambiar algún parámetro de “body size”, hay que ir a la pestaña Body Size Manager y cambiar el parámetro que se desea.

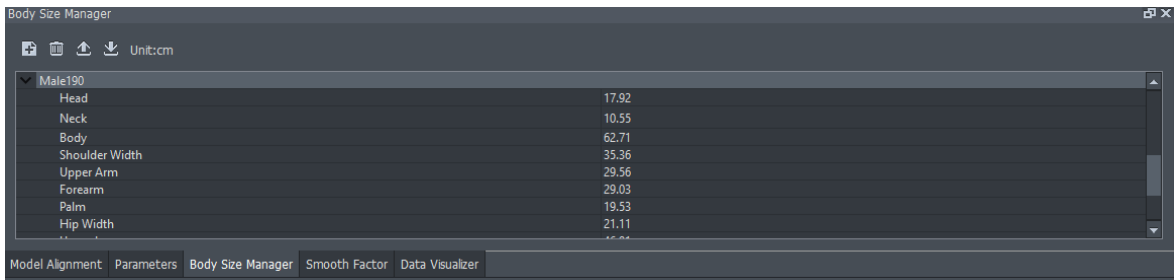


Fig. 5.33. Asistente para la modificación de parámetros del perfil generado

Realizado el perfil correctamente ya se puede calibrar el traje.

#### 5.3.1.4. Pasos para la calibración del traje

El software permite la calibración de las neuronas con el traje. La ejecución es simple siempre y cuando todo esté bien puesto. Es importante que no haya ningún aparato electrónico a menos de 10cm, ya que eso podría provocar la inestabilidad en la calibración. Los ejercicios a realizar son:

- “Steady pose” (Reposo): El usuario apoyara la mano sentado en una superficie el tiempo que se realice la calibración.

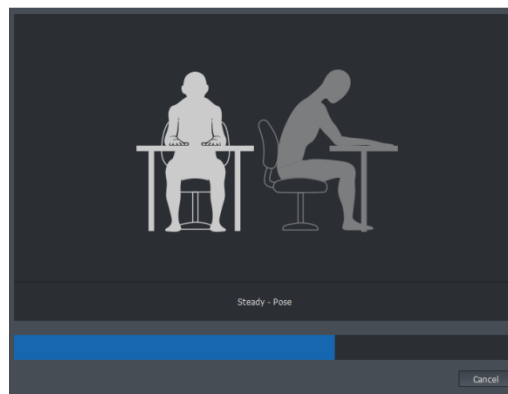


Fig. 5.34. Realización “Steady Pose”

- “A Pose”: El usuario se pondrá de pie y estirara el brazo en dirección al suelo con dedos y palmas estirados el tiempo que se realice la calibración.

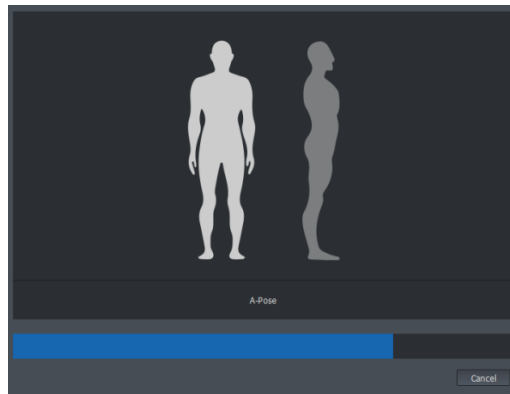


Fig. 5.35. Realización “A pose”.

- “T Pose”: El usuario estará de pie y estirará el brazo en cruz con la palma y los dedos estirados, separando el dedo gordo un ángulo de 35-45° horizontalmente y 30° verticalmente.

Si hubiera algún error en la calibración Axis nos lo hará saber. Si está todo correcto ya será posible iniciar la toma de medidas con fiabilidad.

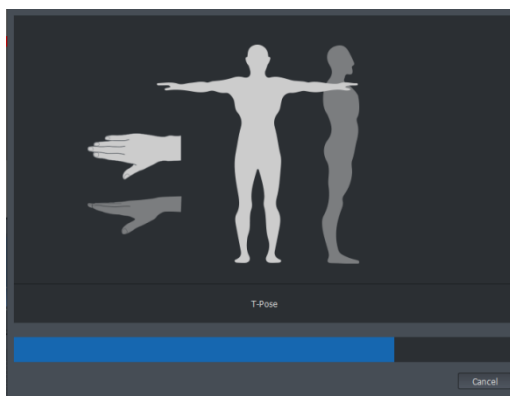


Fig. 5.36. Realización “T pose”.

### **5.3.2. Prueba estabilización WRIST/HAND/FINGER STRAPS MOCAP PERCEPCION NEURON**

Explicada la inicialización del sistema AXIS-HUB y su calibración, es la hora de realizar una prueba con este sistema. Para tratar de averiguar la calidad del muestreo AXIS-HUB-

WRIST/HAND/FINGER STRAPS, se tratara de observar si tiene ruido interno estando en una posición estática.

Para llevar a cabo este procedimiento, no es posible usar a un sujeto humano ya que los micromovimientos impulsivos del cuerpo humano podrían dar paso a ruidos mayores a los que produce el propio guante, por eso se ha decidido rellenar un guante de látex e introducirlo en WRIST/HAND/FINGER STRAPS quedando de esta manera.



Fig. 5.37. Prototipo de mano para la prueba de estabilización.

No se utilizará el complemento del brazo de ARM STRAPS debido a que nos es indiferente la posición de la mano en esta prueba, tan solo que se quede lo más inmóvil posible y este complemento tan solo añadiría ruido a la muestra de estudio.

A continuación se detallara el procedimiento para poder realizar una grabación para su posterior estudio:

- Crear un usuario tal y como se ha explicado en el apartado anterior, se usa el que viene por defecto, debido a que solo se usa una mano artificial.
- Calibrar solo el “Steady pose”, el resto no aportara nada ya que no hay puntos de referencia y el programa situara la mano del avatar donde crea.
- Realizar una grabación de la mano pulsando el botón de “Record”.

- Detener la grabación al cabo de unos segundos para que el programa lo guarde y almacene en su carpeta de datos.

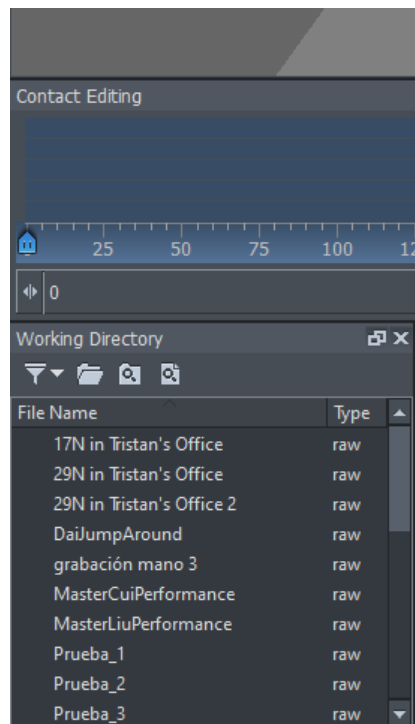


Fig. 5.38. Muestra de los archivos grabados en Axis Neuron.

- Ejecutar la grabación para poder realizar el estudio.

Una vez finalizada la grabación es conveniente explicar un conjunto de ventanas necesarias para realizar el estudio de la grabación.

### “Contact editing”.

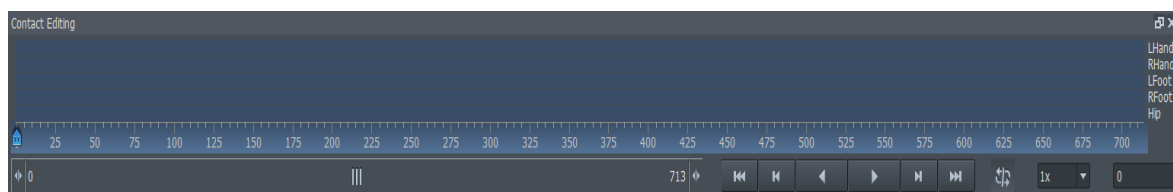


Fig. 5.39. Ventana “Contact editing”

Esta parte del programa se subdivide en 2 partes;

- En la parte inferior se encuentra la barra de control de la grabación, donde hay el número total de muestras de la grabación (un total de 713) y a la derecha, el cuadro de mando para la grabación donde se puede: pausar/reanudar (en ambas direcciones) la grabación en cualquier punto, ir muestra por muestra de la grabación (visualizándose en que muestra se está) o bien acelerar la grabación.
- En la parte derecha se encuentra el indicador de contactos, es un modo especial que se activa cuando interesa saber de las colisiones contra objetos durante la grabación (salen representados en el cuadro azul), no hace falta activarlo para este caso.

### “Data Visualizer”.



Fig. 5.40. Ventana “Data Visualizer”

El “data visualizer” permite:

- Visualizar datos de la grabación pudiéndose modificar el tipo de dato en función del tratamiento final, bien siendo en formato “BVH” para poder ser manipulados en programas de motion como el UNITY, o bien en “Calculation”, donde Axis muestra los datos en el cuadro de medidas.
- Corregir la curva de datos siendo fija o adaptativa,
- La parte del cuerpo la cual se quiere visualizar.
- El tipo de parámetro a estudiar, por ejemplo, la distancia, la velocidad.

- Hacer un plot de la grabación en función de cómo se hayan configurado las especificaciones anteriores del “Data Visualizer”.

Para poder realizar el estudio de estabilización de la señal emitida por WRIST/HAND/FINGER STRAPS se ha configurado el sistema de la siguiente manera.

En el Data visualizer, el “Data type” se ha puesto en modo “Calculation” ya que se trabaja directamente sobre los datos que calcula el propio AXIS, en “BVH” no será necesario porque no se usa ningún programa de análisis en motion, el “Curve mode” está en “Adaptative Mode” para que el propio Axis autocorrija, en cuanto a la parte objeto de estudio es la “Right Hand” porque interesa el cálculo en la zona de la mano únicamente y finalmente lo que AXIS hace un plot es del componente distancia tanto en X,Y,Z.

Configurado el sistema, la metodología para calcular la estabilidad de la muestra de datos obtenida en la grabación, consiste en coger dato por dato, trasladarlo a una hoja Excel para poder trabajar con ellos. En este caso se ha realizado manualmente, no como en el caso del Leap Motion, donde había un programa que ya realizaba la función. El motivo es que después de mucha búsqueda, no hay creado un código de programa que pueda exportar estos datos directamente y la automatización no es sencilla.

Medidas estatico mano	Eje x	Eje y	Eje z	Eje X (cm)	Eje Y (cm)	Eje Z (cm)
1	0,31243	0,4559102	0,540037	31,243	45,59102	54,0037
2	0,312465	0,459108	0,540048	31,2465	45,9108	54,0048
3	0,312461	0,459103	0,540024	31,2461	45,9103	54,0024
4	0,312485	0,459107	0,540043	31,2485	45,9107	54,0043
5	0,312469	0,459097	0,540049	31,2469	45,9097	54,0049
6	0,312482	0,459107	0,540031	31,2482	45,9107	54,0031
7	0,312479	0,459104	0,540037	31,2479	45,9104	54,0037
8	0,312497	0,459102	0,540035	31,2497	45,9102	54,0035
9	0,31247	0,459096	0,540034	31,247	45,9096	54,0034
10	0,312489	0,459111	0,540049	31,2489	45,9111	54,0049
11	0,312489	0,459105	0,540059	31,2489	45,9105	54,0059
12	0,312193	0,459103	0,540053	31,2193	45,9103	54,0053
13	0,312501	0,459103	0,540047	31,2501	45,9103	54,0047
14	0,312527	0,4591	0,540064	31,2527	45,91	54,0064
15	0,31251	0,45909	0,540051	31,251	45,909	54,0051
16	0,31252	0,459102	0,540063	31,252	45,9102	54,0063
17	0,312537	0,459098	0,540071	31,2537	45,9098	54,0071
18	0,312537	0,459091	0,540071	31,2537	45,9091	54,0071
19	0,31253	0,459092	0,540059	31,253	45,9092	54,0059
20	0,312545	0,459094	0,540058	31,2545	45,9094	54,0058

Tabla 5.10. Excel propio para el cálculo de los datos de Axis Neuron obtenidos (solo se muestran 20 resultados).



Aunque solo se muestren 20 datos para cada eje, se ha trabajado sobre los 713 de la grabación, en total 2139 datos convertidos a cm (Axis toma la medida en m). Con este conjunto de datos se han hecho diversos análisis.

El primero observar que eje tiene menos error de muestra. Para ello se ha observado la diferencia entre el valor máximo de la muestra y el valor mínimo en cm.

Diferencia Máx-Min (x)	Diferencia Máx-Min (y)	Diferencia Máx-Min (z)
0,6107	0,907	0,1447

Tabla 5.11. Diferencia Máx-Mín en los ejes (x,y,z).

El segundo la variabilidad de los datos de todo el conjunto de la muestra para cada eje en cm.

Desviación datos (x)	Desviación datos (y)	Desviación datos (z)
0,050706978	0,070778506	0,014656917

Tabla 5.12. Desviación de los datos en los ejes (x,y,z).

El tercero comparar los resultados obtenidos en la prueba estática con el Leap Motion (en la zona óptima) del eje Y (estudio realizado anteriormente) con los obtenidos por el eje Z de Axis, los dos hacen referencia al parámetro altura.

Diferencia Máx-Min (z). AXIS	Diferencia Máx-Min (y). Leap Motion
0,1447	0,976257324
Desviación datos (z). AXIS	Desviación datos (y). Leap Motion
0,014656917	0,219674135

Tabla 5.13. Comparación entre los datos obtenidos de Axis Neuron y Leap Motion.

Como resultado a esta primera comparación entre los dos dispositivos objeto de estudio, se puede dictaminar que para una posición absolutamente estática, el dispositivo MOCAP PERCEPCION NEURON obtiene mejores resultados en cuanto a la diferencia máxima-mínima entre puntos para una muestra y menor desviación en los datos. A cambio el software de Leap Motion permite obtener datos con una mayor resolución en cuanto al número de decimales.

## **5.4. Estudio comparativo entre los productos**

La parte final del proyecto consiste en una comparativa entre Leap Motion y el dispositivo de MOCAP NEURON. Se realizará un pequeño movimiento oscilante, simulando una cadena de temblores para valorar que dispositivo capta mejor estas variaciones en el movimiento. En él [Anexo I] se incluye una guía resumida para poder poner en marcha este estudio paso a paso.

### **5.4.1. Configuración para la prueba, cambios por el COVID-19**

En el planteamiento inicial de esta fase del proyecto, estaba previsto realizar la prueba con la mano de madera expuesta en el apartado [5.2.1.2], unida a un robot antropomórfico “ABB IRB 120” proporcionado por Tecnocampus, con el objetivo de poder realizar los movimientos oscilantes con una elevada precisión y repetitividad. Debido a la pandemia esto no ha sido posible, ya que no se dispone ni de la mano ni el robot, por encontrarse estos dentro de las instalaciones de Tecnocampus.

### **5.4.2. Preparación de la prueba**

Para tratar de solventar los problemas consecuencia de COVID-19 antes expuesto, se ha cambiado por completo el planteamiento de la solución para esta parte del proyecto.

El robot antropomórfico, será sustituido por una mano de usuario, los datos que se obtendrán no serán tan precisos ni repetitivos, pero será un resultado más cercano a la realidad a la que se quieren someter estos productos en posibles trabajos posteriores. Será necesario el uso de un guante de latex interno siguiendo el protocolo sanitario estipulado.

La sala del Tecnocampus, preparada para el estudio, ha sido cambiada por un espacio situado en un parking, comprobando que la luminosidad no afecta al Leap Motion.

Como no se ha podido programar la distancia óptima donde Leap Motion obtiene los mejores resultados ya que no hay un robot, se ha procurado diseñar una configuración sustitutiva, esta consiste en una mesa de base 50x50cm donde poner el Leap Motion y un área marcada en la pared que indica la zona óptima donde situar la mano del usuario para el Leap Motion.

### **5.4.3. Adecuación de los productos**

Para poder obtener unos datos de muestra simultáneos para ambos productos, hay que utilizar el guante de MOCAP Neuron y Leap Motion a la vez, siendo este último capaz de reconocer al primero.

#### **5.4.3.1. Preparación Leap Motion**

En primera instancia Leap Motion no reconoce al guante de MOCAP Neuron, esto es debido a que el guante es negro. Leap Motion está basado en tecnología NIR, este tipo de tecnología absorbe el negro y no lo detecta, puesto que no existe rebote de la iluminación infrarroja.



Fig. 5.41. Leap Motion no detecta el guante de MOCAP.

La solución ha sido cubrir el guante de Leap Motion con un guante de látex azul y ponerle la configuración de las neuronas encima.

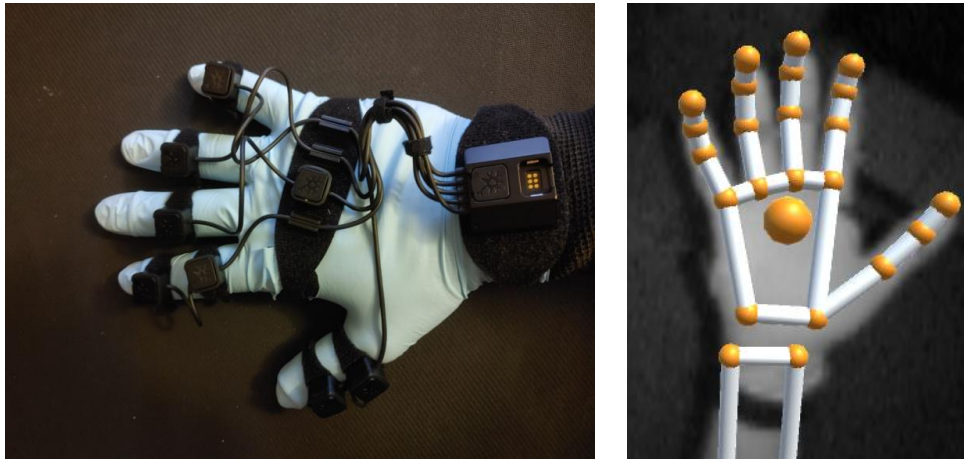


Fig. 5.42. Incorporación del guante de látex al MOCAP.

Como se han cambiado los parámetros de la prueba, incluida la fisionomía de la mano objeto de estudio, se han realizado diversos cambios respecto a la prueba realizada en el apartado[5.2.2].El cambio más importante hace referencia a la rotación del Leap Motion, pasa de unos  $-37^\circ$  a tan solo unos  $-3^\circ$ ,  $-37^\circ$  era la posición en la que el Visualizer de Leap Motion mejor hacia coincidir sus puntos de referencia con la mano de estudio del usuario, criterio que se uso para el apartado 5.2. La posición del Leap Motion se sitúa en la zona céntrica de la mesa.



Fig. 5.43 Colocación Leap Motion (izquierda), estructura para realizar la prueba (derecha).

Finalmente se ha realizado una pequeña prueba para calibrar el Leap Motion, el objetivo es comprobar que el área marcada como óptima para el Leap Motion entre 30,36-32,36 cm, salía reflejado en su programa con la mano del usuario con el nuevo diseño de guante.

	FPS	Time (ms)	Number of Frames	Hand	Wrist/Finger	Bone	Position X (mm)	Position Y (mm)	Position Z (mm)	Orientation X (deg)	Orientation Y (deg)	Orientation Z (deg)	Pitch (deg)	Roll (deg)	Yaw (deg)
0	27,674	36135	2	Right hand	Palm		-25,9654	312,1357	-3,56069	-25,9654	312,1357	-3,56069	-3,26641	5,048504	-7,10179
1	27,674	36135	2	Right hand	Thumb	Metacarpal	-39,0747	307,1874	56,86096	-39,0747	307,1874	56,86096	0	0	0
2	27,674	36135	2	Right hand	Thumb	Proximal	-39,0747	307,1874	56,86096	-75,9671	305,0481	22,60569	0	0	0
3	27,674	36135	2	Right hand	Thumb	Intermediate	-75,9671	305,0481	22,60569	-93,1874	300,4075	-3,15277	0	0	0
4	27,674	36135	2	Right hand	Thumb	Distal	-93,1874	300,4075	-3,15277	-102,795	296,1789	-21,9219	0	0	0
5	27,674	36135	2	Right hand	Index	Metacarpal	-34,0954	329,8805	44,21469	-54,2526	310,8203	-25,4346	0	0	0
6	27,674	36135	2	Right hand	Index	Proximal	-54,2526	310,8203	-25,4346	-57,9501	312,6633	-64,6955	0	0	0
7	27,674	36135	2	Right hand	Index	Intermediate	-57,9501	312,6633	-64,6955	-59,187	306,9411	-86,1199	0	0	0
8	27,674	36135	2	Right hand	Index	Distal	-59,187	306,9411	-86,1199	-59,2162	297,5649	-98,7123	0	0	0
9	27,674	36135	2	Right hand	Middle	Metacarpal	-22,7531	329,2955	39,74116	-32,483	314,7941	-28,4867	0	0	0
10	27,674	36135	2	Right hand	Middle	Proximal	-32,483	314,7941	-28,4867	-32,024	317,5978	-72,6863	0	0	0
11	27,674	36135	2	Right hand	Middle	Intermediate	-32,024	317,5978	-72,6863	-32,0556	311,5748	-98,1125	0	0	0
12	27,674	36135	2	Right hand	Middle	Distal	-32,0556	311,5748	-98,1125	-32,3299	301,6032	-112,207	0	0	0
13	27,674	36135	2	Right hand	Ring	Metacarpal	-10,6195	329,1769	37,18114	-9,87275	316,9589	-24,8547	0	0	0
14	27,674	36135	2	Right hand	Ring	Proximal	-9,87275	316,9589	-24,8547	-6,09634	319,8964	-65,6305	0	0	0
15	27,674	36135	2	Right hand	Ring	Intermediate	-6,09634	319,8964	-65,6305	-4,51889	314,5157	-90,4603	0	0	0
16	27,674	36135	2	Right hand	Ring	Distal	-4,51889	314,5157	-90,4603	-4,31917	304,6138	-104,484	0	0	0
17	27,674	36135	2	Right hand	Pinky	Metacarpal	2,192477	322,7796	38,33363	10,80536	314,6733	-18,9921	0	0	0
18	27,674	36135	2	Right hand	Pinky	Proximal	10,80536	314,6733	-18,9921	19,29549	317,6411	-50,2136	0	0	0
19	27,674	36135	2	Right hand	Pinky	Intermediate	19,29549	317,6411	-50,2136	22,76935	314,3858	-67,544	0	0	0
20	27,674	36135	2	Right hand	Pinky	Distal	22,76935	314,3858	-67,544	24,09047	306,3094	-81,1046	0	0	0
21	27,83887	72056	3	Right hand	Palm		-26,0145	311,7433	-3,19715	-26,0145	311,7433	-3,19715	-3,26891	5,141288	-7,12479

Tabla 5.14. Tabla del programa Leap Motion obtenida a partir de la detección que realiza sobre el guante MOCAP.

### 5.4.3.2. Preparación WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ ARM STRAPS

Para el guante WRIST/HAND/FINGER STRAPS se añade el componente superior del ARM STRAPS, es necesario para que el programa Axis Neuron entienda la orientación y situación del guante en todo momento.

Para poder verificar que Axis Neuron toma buenos datos del guante modificado, es necesario calibrarlo todo de nuevo para ello es necesario:

- Crear un usuario virtual en Axis con unas condiciones fisionómicas parecidas a la del usuario físico. Se crea a partir de lo expuesto en el apartado [5.3.1.3].

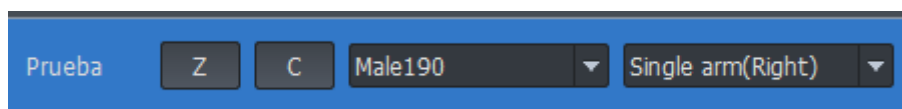


Fig. 5.44. Perfil de usuario utilizado en Axis Neuron.

- Realizar los tres tipos de prueba de calibración expuesta en el apartado “5.3.1.4 Pasos para la calibración del traje”.

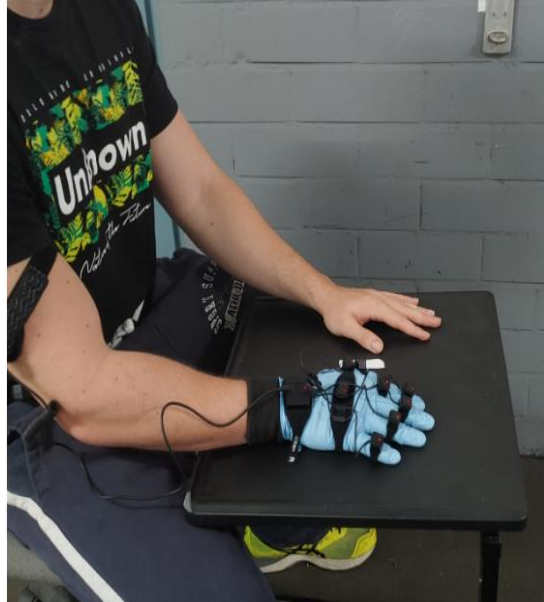


Fig. 5.45. Prueba “Steady pose”.



Fig. 5.46. Prueba “A pose” (izquierda), “T pose” (derecha).

- Verificar la correcta calibración realizando movimientos que se verán traducidos en el avatar de Axis Neuron.

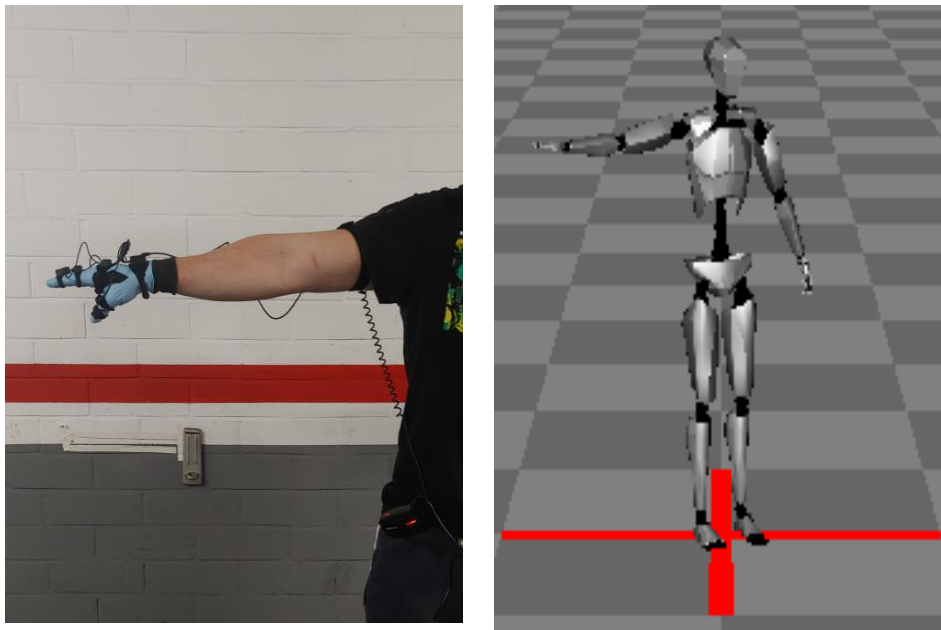


Fig. 5.47. Comparativa entre realidad (izquierda) y avatar (derecha).

#### 5.4.4. Ejecución de la prueba

Calibrados los productos es la hora de realizar la comparativa de Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS para saber qué diferencias hay entre ellos. Se requieren 2 personas para la ejecución. El usuario 1 se encargara de ser el usuario que simula un temblor y el Usuario 2 será el encargado de iniciar y finalizar las grabaciones.

La ejecución de la prueba consta de los siguientes pasos:

- El usuario 1 se sitúa en la zona de testeo y posiciona la mano en la zona marcada.
- El usuario 2 inicia la grabación simultanea de Leap motion y Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS.
- El usuario 1 empieza a realizar oscilaciones, imitando a los temblores humanos, sin sobresalir del área marcada.
- Cuando el usuario 1 lo indique, el usuario 2 finalizara la grabación de los dos programas.

- Se recopilan los datos y se estudian para finalmente compararlos.

### 5.4.5. Resultados de la primera prueba

En esta primera prueba el Usuario 1 ha procurado mantener 3.5hz de frecuencia de oscilación tratando de imitar el temblor humano medio. Se han recopilado 9 oscilaciones comprendidas en el área marcada como correcta. El total de la prueba analizada ha sido de 2,57s.

#### Leap Motion.

Características	Valores
Número de muestras	130
Máximo (cm)	32,33527222
Mínimo (cm)	29,9109375
Variabilidad	0,690242126
Media del valor de las muestras	31,16156773
Media de muestras por oscilación	14,4444
Distancia entre muestras (cm)	0,01864872
Resolución decimal en cm	8

Tabla 5.15. Características resultantes en la prueba 1 para Leap Motion.

#### WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS.

Características	Valores
Número de muestras	626
Máximo (cm)	32,3268
Mínimo (cm)	28,6933
Variabilidad	0,969064664
Media del valor de las muestras	30,4894
Media de muestras por oscilación	69,55555556
Distancia entre muestras (cm)	0,0058
Resolución decimal en cm	4

Tabla 5.16. Características resultantes en la prueba 1 para WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS.



**Comparativa entre Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS.**

Características	Leap Motion	WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON	Comparativa respecto WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON
Número de muestras	130	626	4,8153846*Muestras Leap Motion
Máximo (cm)	32,33527222	32,3268	- 0,00847222
Mínimo (cm)	29,9109375	28,6933	-1,2176375
Variabilidad	0,690242126	0,969064664	1,4039488*Variabilidad Leap Motion
Media del valor de las muestras	31,16156773	30,48945495	-0,67211278
Media de muestras por oscilación	14,4444	69,5555	55,1111
Distancia entre muestras (cm)	0,01864872	0,0058	0,03110133*Distancia Leap Motion
Resolución decimal en cm	8	4	0.5*Resolución Leap Motion

Tabla 5.17. Comparativa de las características entre Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS. Prueba 1.

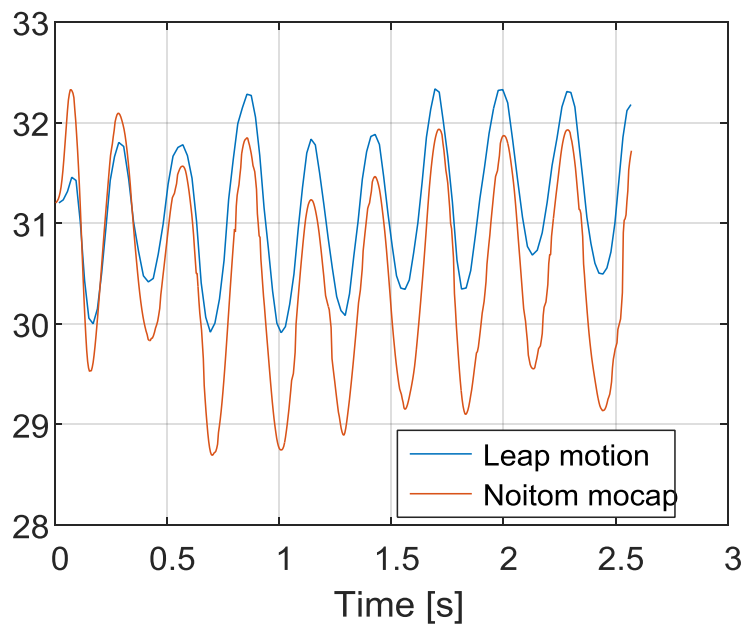


Fig. 5.48. Representación de las oscilaciones a lo largo de la prueba.

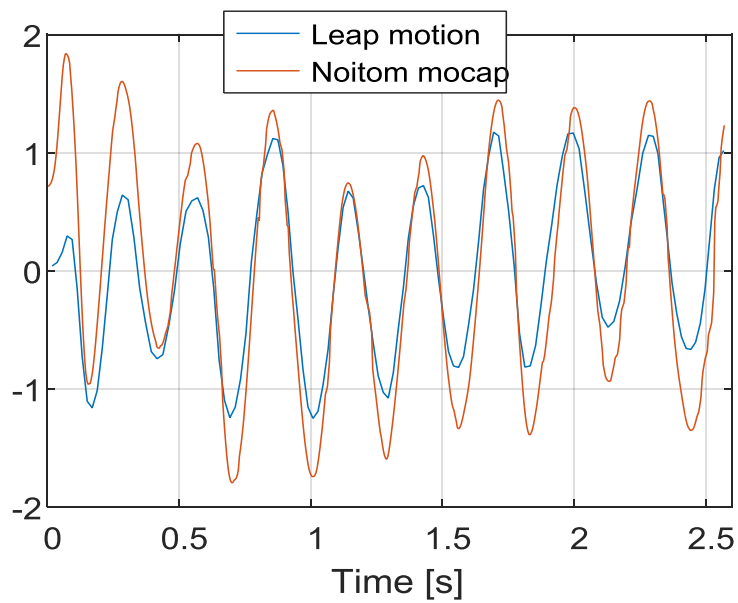


Fig. 5.49. Variación de las oscilaciones respecto a su valor medio a lo largo de la prueba.

	Leap Motion	WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON	Offset
Altura superior(media)cm	32,14316406	31,9199	-0,22326406
Altura inferior (media)cm	30,24390089	29,1816	-1,06222311

Tabla 5.18. Valores del offset. Pueba1.

Los resultados de esta primera prueba muestran diferencias entre los dos dispositivos.

Si se observan las figuras se puede observar que Leap Motion obtiene unos resultados más regulares debido a que en la [Fig. 5.49] la variación de las oscilaciones respecto al valor medio obtenido en la simulación es menor que en el caso de WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS. Por otro lado si se observa la gráfica [Fig. 5.48] las oscilaciones de Leap Motion tienden a obtener resultados en valor de altura superior a las de WRIST/HAND/FINGER STRAPS +ARM STRAPS de MOCAP NEURON, se podría decir que tiene un offset positivo con un valor medio de aproximadamente 0,223mm para los máximos. WRIST/HAND/FINGER STRAPS +ARM STRAPS de MOCAP NEURON, profundiza mucho más en los resultados bajos obteniendo un offset negativo medio de valor 1.06cm. [Tabla 5.18].

Si se observa la [Tabla 5.17] WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAP obtiene casi 5 veces más muestras que Leap Motion para un conjunto de 9 oscilaciones, esto quiere decir que la frecuencia de muestreo es cinco veces superior, pudiendo detectar variaciones más rápidas, puesto que para no tener aliasing la frecuencia de muestreo debe ser como mínimo igual al doble de la frecuencia máxima que se desea adquirir, en consecuencia la variabilidad en sus datos es superior y su distancia entre muestras es menor.

Como conclusión a esta primera prueba, cabe decir que probablemente la mayor regularidad en Leap Motion sea producida por su falta de velocidad de muestreo. El dispositivo al tomar valores en dirección descendiente no es tan bueno como para obtener valores ascendentes.

Para tratar de constatarlo, se realizará una segunda prueba donde el Usuario 1 acelerará el movimiento de sus oscilaciones, para ver si Leap Motion es menos receptivo.

#### **5.4.6. Resultados de la segunda prueba**

El muestreo de Leap Motion es notablemente inferior al de WRIST/HAND/FINGER STRAPS +ARM STRAPS de MOCAP NEURON lo que puede suponer un gran problema, sobre todo a frecuencias superiores, esta prueba va orientada a descubrir si esto es cierto o no.

En la segunda prueba el Usuario 1 ha procurado mantener aproximadamente 8hz de frecuencia de oscilación, incrementando la velocidad respecto a la anterior. Se han recopilado 9 oscilaciones comprendidas en el área marcada como correcta. El total de la prueba analizada ha sido de 1,125s.

A continuación se presentan los datos de cada uno de los dispositivos y una comparativa entre ellos:

#### **Leap Motion.**

Características	Valores
Número de muestras	57
Máximo (cm)	34,258255
Mínimo (cm)	31,2666748
Variabilidad	0,733561684
Media del valor de las muestras	32,86718557
Media de muestras por oscilación	6,3333
Distancia entre muestras (cm)	0,05248386
Resolución decimal en cm	8

Tabla 5.19. Características resultantes en la prueba 2 para Leap Motion.

**WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS.**

Características	Valores
Número de muestras	276
Máximo (cm)	34,8522
Mínimo (cm)	30,3716
Variabilidad	1,070558092
Media del valor de las muestras	32,7730
Media de muestras por oscilación	30,6666
Distancia entre muestras (cm)	0,01623
Resolución decimal en cm	4

Tabla 5.20. Características resultantes en la prueba 1 para WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS.

**Comparativa entre Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS.**

Características	Leap Motion	WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON	Comparativa respecto WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON
Número de muestras	57	276	4,8421053*Muestras Leap Motion
Máximo (cm)	34,258255	34,8522	0,593945
Mínimo (cm)	31,2666748	30,3716	-0,8950748
Variabilidad	0,733561684	1,070558092	1,45939749*Variabilidad Leap Motion
Media del valor de las muestras	32,86718557	32,7730	-0,09418557
Media de muestras por oscilación	6,3333	30,6666	55,1111
Distancia entre muestras (cm)	0,05248386	0,01623	0,3092379*Distancia Leap Motion
Resolución decimal en cm	8	4	0.5*Resolución Leap Motion

Tabla 5.21. Comparativa de las características entre Leap Motion y WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS. Prueba 2.

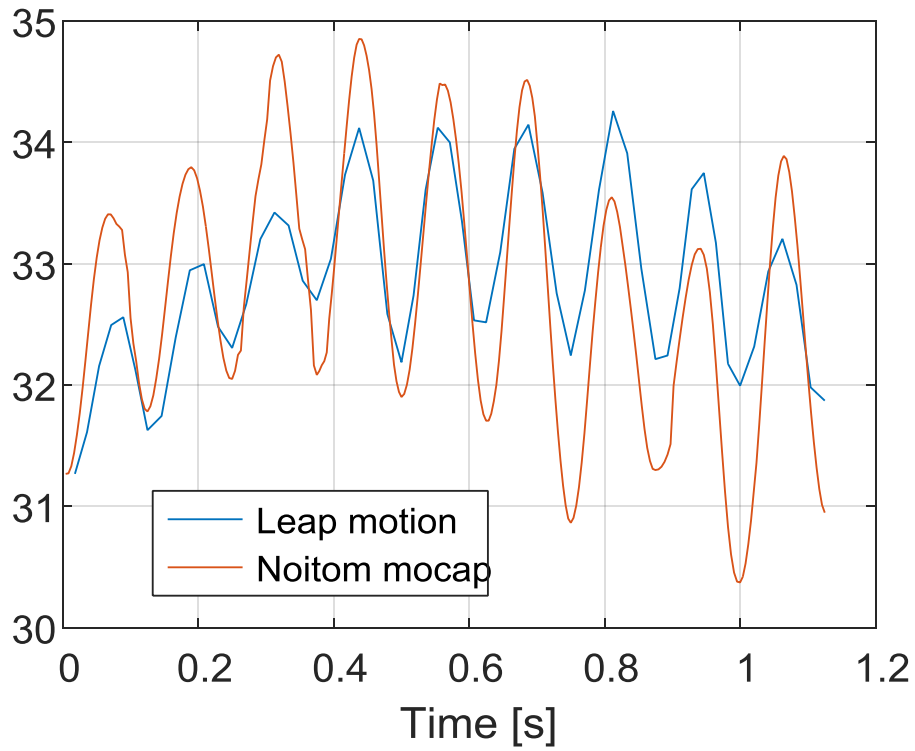


Fig. 5.50. Representación de las oscilaciones a lo largo de la prueba

Los resultados de esta segunda prueba muestran diferencias entre los dos dispositivos.

	Leap Motion	WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON	Offset
Altura superior(media)cm	33,61886868	34,0370	0,41820901
Altura inferior (media)cm	32,0775021	31,2595	-0,81804655

Tabla 5.22. Valor del offset. Prueba 2.

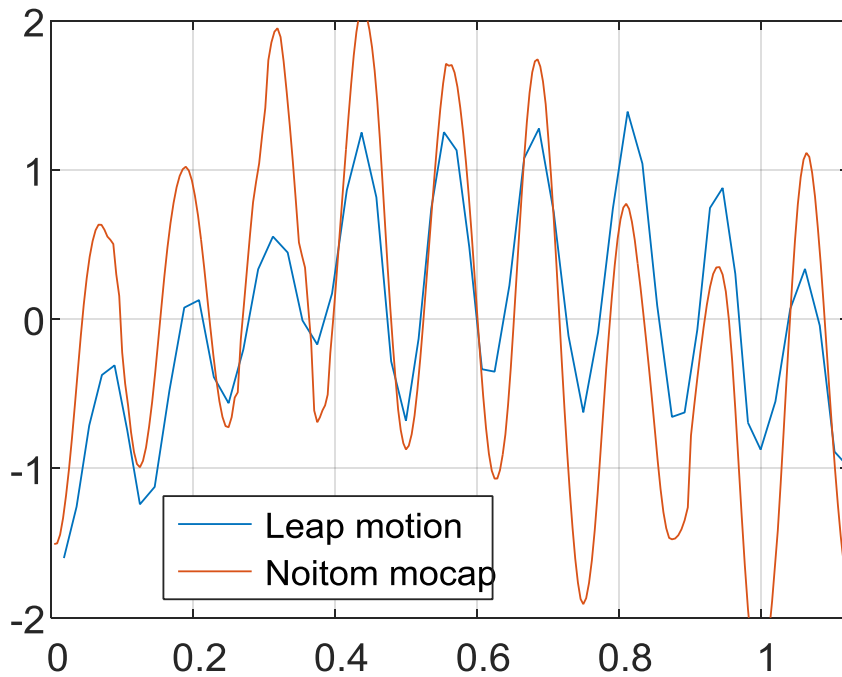


Fig. 5.51. Variación de las oscilaciones respecto a su valor medio a lo largo de la prueba

Si se visualizan las figuras se puede observar que Leap Motion obtiene unos resultados más regulares debido a que en la [Fig. 5.51], la variación de las oscilaciones respecto al valor medio obtenido en la simulación es menor que en el caso de WRIST/HAND/FINGER STRAPS de MOCAP NEURON+ARM STRAPS como en el

caso anterior, pero con una sustancial diferencia, parece que el dispositivo Leap Motion no responde a la misma velocidad a cambios de posición rápidos, al aumentar la frecuencia de la prueba, se observa que siempre va tarde, sobretodo en cuanto se realizan movimientos descendentes, este no es capaz de visualizarlos correctamente y tomar datos fiables, como ya se sospechaba en la prueba 1. En la [Fig. 5.50] queda constatada la falta de sensibilidad de Leap Motion respecto a su competidor en la prueba, Leap Motion no es capaz de registrar los cambios tan afinadamente como hace su competidor, es más, hay oscilaciones como la número 3 o la 9 donde se ve que Leap Motion está completamente perdido, y aunque capta la oscilación, los valores que obtiene son tan reducidos que no se pueden considerar como buenos. Esta teoría coge más fuerza en cuanto se echa un vistazo a la [Tabla 5.22], existe un offset en ambas zonas de la oscilación por parte de WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON respecto a Leap Motion, en cambio en en la prueba1, Leap Motion ganaba en la zona superior y WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON en la zona inferior. Esto constata que Leap Motion pierde sensibilidad y precisión a la hora de muestrear

Debido a que es imposible de manera humana simular dos pruebas iguales a diferente velocidad. El objetivo de las tablas de la segunda prueba, es constatar que ciertas medidas mantienen una proporción muy parecida a las de la prueba 1, como puede ser la del número de muestras, o la distancia entre muestras, por ejemplo.

#### **5.4.7. Conclusión final de la prueba**

La conclusión que se extrae de estas dos pruebas, queda reflejada principalmente en los resultados obtenidos en la prueba 2.

Por un lado, si nos centramos en los resultados de la prueba, para frecuencias similares al temblor medio humano, es decir, alrededor de 5hz, ambos productos pueden llegar a ser útiles, pese a que Leap Motion obtenga casi 5 veces menos muestras que WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON. Los resultados gráficos muestran que Leap Motion si puede seguir el ritmo de toma de captura de movimiento, aunque para movimientos descendentes se denote un poco de lentitud en la respuesta. En cambio en la prueba 2, los resultados de Leap Motion pierden credibilidad,



su incapacidad para tomar suficientes capturas de movimiento hace que se obtengan unos resultados muy dispares a los de su competidor, donde esa lentitud que se hablaba en la prueba 1 se incrementa sustancialmente, haciendo que la velocidad de captación de movimiento sea sumamente inferior a la de WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON, en consecuencia, los valores en altura obtenidos por parte de Leap Motion son menores.

Por otro lado si observamos las características de los dispositivos, la frecuencia máxima a la que puede captar cada uno de los dispositivos es de 12-14Hz para el Leap Motion y 60Hz para el MOCAP de AXIS NEURON, esta diferenciación en la velocidad de muestreo (fps) se hace más notable a medida que se aumenta la frecuencia del temblor, como se ha demostrado en las pruebas comparativas.

Por tanto para pruebas que tienen relación con el estudio del temblor de las personas, como este puede ser variable a lo largo de la ejecución de la prueba, se considera recomendable el uso de WRIST/HAND/FINGER STRAPS + ARM STRAPS de MOCAP NEURON, respecto a Leap Motion.



## **6. Impacto Medioambiental**

El impacto medio ambiental no es transcendental en este proyecto, dado que la finalidad no es generar un producto de consumo sino demostrar mediante un estudio el mejor producto para el análisis de temblores. Tan solo se podría observar que contaminación lumínica emiten a nivel energético tanto la iluminación de las zonas utilizadas para la realización de las pruebas como los elementos objetos de estudio o bien el ordenador portátil utilizado para la ejecución del proyecto, así como su consumo eléctrico. Puede ser considerado como contaminación la posible degradación de los elementos comprados para realizar las pruebas así como el desgaste de los propios elementos objeto de estudio. El valor en conjunto es tan ínfimo que no resulta relevante.

Lo que sí es cierto, es que cabe considerar por otro lado que puede llegar a haber una contaminación indirecta, puede darse el caso que la demostración de este estudio pueda llegar a aumentar en parte la demanda del producto elegido como el más adecuado, esto provocara una mayor fabricación y en consecuencia una mayor contaminación ambiental. En cualquier caso valoramos que el impacto medioambiental de este estudio es muy positivo teniendo en cuenta que el objetivo es reutilizar un dispositivo ya existente para poder hacer mediciones de temblores en diversas patologías médicas. Siempre tendrá menos impacto medioambiental aprovechar un dispositivo ya existente que diseñar y construir uno nuevo desde cero.

En el anexo [Anexo II], están las tablas referentes al impacto medioambiental del proyecto.



## 7. Perspectiva de género

Este proyecto cumple con la perspectiva de género de acuerdo con las recomendaciones de la agencia de calidad universitaria (AQU) en su documento de diciembre de 2018 disponible en [http://www.aqu.cat/doc/doc\\_19381922\\_1.pdf](http://www.aqu.cat/doc/doc_19381922_1.pdf)

La integración de la perspectiva género en ingeniería es relevante siempre que la temática o los resultados y aplicaciones puedan afectar directa o indirectamente a seres humanos. En los campos tecnológicos, es muy frecuente que hombres y mujeres puedan verse afectados de manera diferente, por ejemplo, por su mayor o menor facilidad de acceso al producto o servicio desarrollado, por el tipo de aplicaciones que más necesitan, etc.

Es necesario evitar sesgos de género en los desarrollos tecnológicos que no identifican conscientemente las diferencias o posibles omisiones de género, en diversos aspectos.

En este TFG se aspira a garantizar que los servicios y productos resultantes de este estudio sean de aplicación tanto para hombres como para mujeres sin introducir ningún sesgo. En este sentido cabe destacar que:

- Los temblores como manifestación patológica de diversas enfermedades son presentes tanto en hombres como mujeres e igualmente importantes en ambos casos.



## **8. Planificación**

### **8.1. Planificación inicial**

En este apartado se muestra el proceso que se pretende seguir para desarrollar el estudio y desarrollo del proyecto, describiendo de forma general cada una de las tareas para poder extraer finalmente una conclusión al estudio.

En la parte correspondiente al anteproyecto se buscará:

- Estudiar los productos seleccionados (funcionamiento, características, artículos asociados).
- Establecer las posibles soluciones a cada objetivo estipulado.
- Desarrollar un boceto de lo que se consideraría la futura solución de detalle en función del problema identificado.

En la parte correspondiente al proyecto de detalle:

- Buscar una sala adecuada para realizar las pruebas del estudio.
- Buscar los elementos necesarios para el montaje de las zonas de prueba.
- Estudiar los softwares asociados a cada producto.
- Realizar pruebas tanto visuales como de software.
- Contrastar los diferentes productos.

Para llevar a cabo esta planificación se ha considerado que:

- La fecha de inicio es el 18/11/2019.
- La fecha de entrega del anteproyecto es el 14/2/2020.
- La fecha del documento final es el 12/6/2020.

En cuanto a los recursos se ha querido diferenciar que en función del desarrollo de la tarea que se está ejecutando en cada momento, el coste puede no ser el mismo. Por tanto en el proyecto se dispone de:

Código	Nombre	Descripción
1.1	Proyectista Analista	Horas de proyectista destinadas al análisis de antecedentes documentación e información previa necesaria
1.2	Proyectista Diseñador	Horas de proyectista destinadas al diseño de las zonas de pruebas
1.3	Proyectista Pruebas	Horas de proyectista destinadas al ensayo y tests de los productos a estudiar en las diferentes zonas
1.4	Proyectista Redactor	Horas de proyectista destinadas a la redacción del documento a entregar

Tabla 8.1. Descripción de los recursos

A continuación una tabla indica cual es la planificación diseñada para este proyecto.

	Tarea	Horas	Predecesoras	Recursos
1	<b>PROYECTO</b>	669		
2	<b>1. Anteproyecto</b>	267		
3	1.1. Identificación del problema	15		Proyectista Analista
4	1.2. Estudio del estado del arte	144	3	Proyectista Analista
5	1.3. Alcance	6	4	Proyectista Analista
6	1.4. Viabilidad Técnica	30	4	Proyectista Diseñador
7	1.5. Viabilidad Económica	6	4	Proyectista Analista
8	1.6. Viabilidad Medioambiental	4	4	Proyectista Analista
9	1.7. Planificación	6	5;6;7	Proyectista Analista
10	1.8. Revisión normativa	6	9	Proyectista Analista
11	1.9 Preparación documento	78	6;7;8	Proyectista Redactor
12	<b>2. Proyecto de Detalle</b>	402	2	
13	2.1. Revisión anteproyecto	9	2	Proyectista Analista
14	2.2. Montaje sala de calibrado	15	13	Proyectista Diseñador
15	2.2.1. Elección de la sala	3	13	Proyectista Diseñador
16	2.2.2. Instalación elementos	12	15	Proyectista Diseñador
17	2.3. Pruebas calibración	120	16	Proyectista Pruebas
18	2.3.1. Pruebas visuales	30	16	Proyectista Pruebas
19	2.3.2. Pruebas programa	90	18	Proyectista Pruebas
20	2.4. Montaje sala de testeo	6	13	Proyectista Diseñador
21	2.4.1. Instalación y montaje	6	13	Proyectista Diseñador
22	2.5. Pruebas testeo	105	21	Proyectista Pruebas
23	2.5.1. Pruebas visuales	15	21	Proyectista Pruebas
24	2.5.2. Pruebas programa	90	23	Proyectista Pruebas
25	2.6. Estudio económico	24	24	Proyectista Analista
26	2.7. Planos	15	24	Proyectista Diseñador
27	2.8. Preparación documento	105	2	Proyectista Redactor
28	2.9. Entrega Final	3	27	Proyectista Redactor

Tabla 8.2 Trabajo a realizar en el proyecto



El Gantt asociado a esta planificación es el siguiente:

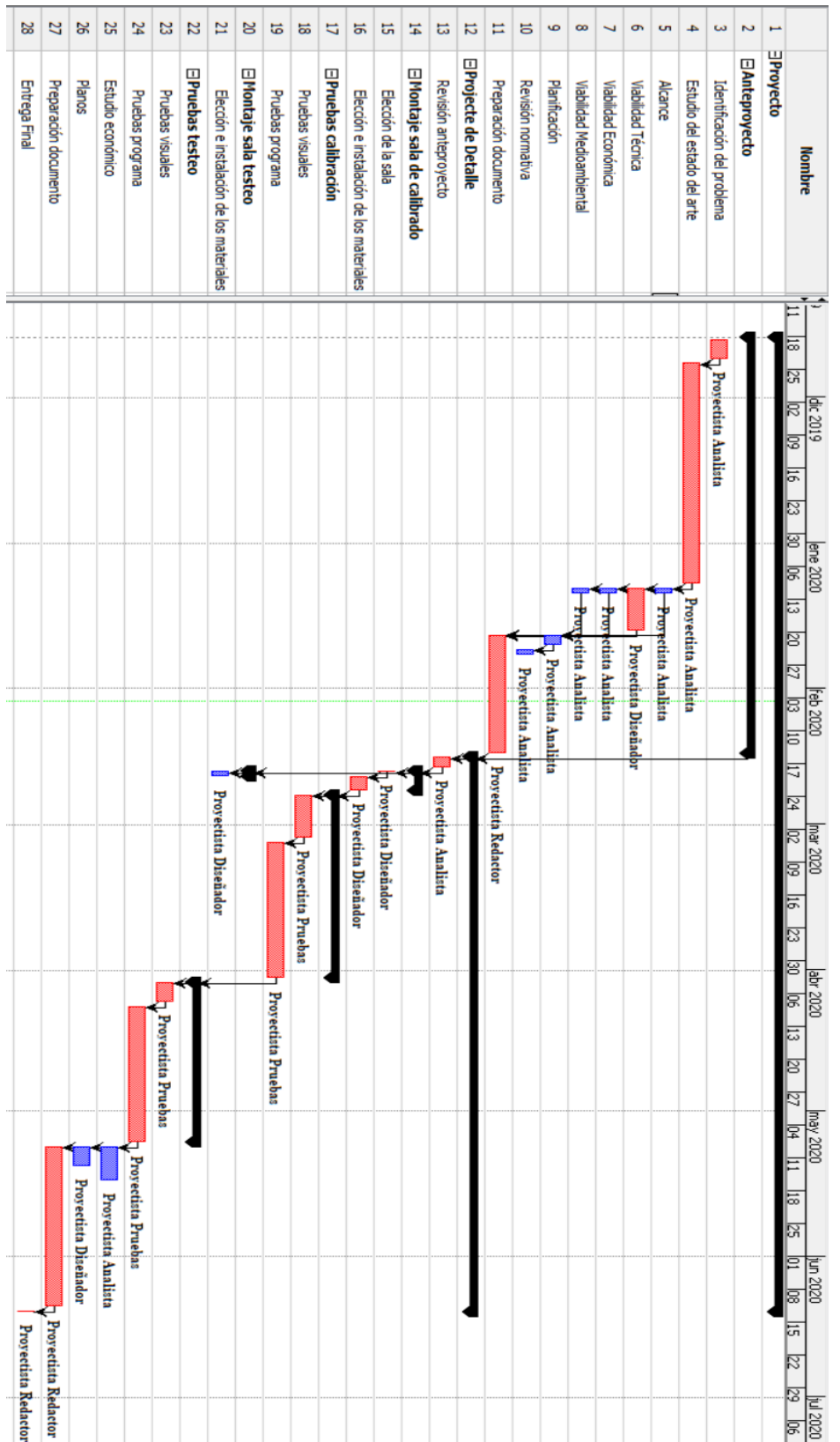


Fig. 8.1. Gantt de la fase de diseño de la planificación

## 8.2. Ejecución de la planificación. Modificación COVID-19

En este apartado se muestra la fase de ejecución del proyecto junto con sus desviaciones

	Tarea	Horas	Predecesoras	Recursos
1	<b>PROYECTO</b>	684		
2	<b>1. Anteproyecto</b>	267		
3	1.1. Identificación del problema	15		Proyectista Analista
4	1.2. Estudio del estado del arte	144	3	Proyectista Analista
5	1.3. Alcance	6	4	Proyectista Analista
6	1.4. Viabilidad Técnica	30	4	Proyectista Diseñador
7	1.5. Viabilidad Económica	6	4	Proyectista Analista
8	1.6. Viabilidad Medioambiental	4	4	Proyectista Analista
9	1.7. Planificación	6	5;6;7	Proyectista Analista
10	1.8. Revisión normativa	6	9	Proyectista Analista
11	1.9 Preparación documento	78	5;6;7;8	Proyectista Redactor
12	<b>2. Proyecto de Detalle</b>	417	2	
13	2.1. Revisión anteproyecto	9	2	Proyectista Analista
14	2.2. Montaje sala de calibrado para Leap Motion	15	13	
15	2.2.1. Elección de la sala	3	13	Proyectista Diseñador
16	2.2.2 Elección e instalación de los materiales	12	15	Proyectista Diseñador
17	2.3 Pruebas calibración Leap Motion	138	16	
18	2.3.1. Pruebas visuales	36	16	Proyectista Pruebas
19	2.3.2. Pruebas programa	102	18	Proyectista Pruebas
20	2.4. Estudio guante MOCAP	27	13	
21	2.4.1. Elección y preparación de los materiales	12	13	Proyectista Diseñador
22	2.4.2. Prueba estática	15	21	Proyectista Pruebas
23	2.5. Comparativa entre productos	141	19	
24	2.5.1. Preparación de la sala	15	19	Proyectista Diseñador
25	2.5.2. Adecuación de los objetos de estudio	21	24	Proyectista Pruebas
26	2.5.3. Ejecución de las pruebas	60	25	Proyectista Pruebas
27	2.5.4. Comparación de resultados y conclusión	45	26	Proyectista Pruebas
28	2.6. Estudio económico	24	27	Proyectista Analista
29	2.7. Preparación documento	111	27	Proyectista Redactor
30	2.8. Entrega Final	3	27	Proyectista Redactor

Tabla 8.3. Ejecución de la planificación

La pandemia conocida como COVID-19 ha producido enormes cambios en cuanto a la realización de este proyecto, conceptualmente la parte del anteproyecto no se ha visto

modificada, lo que se trata de buscar en el apartado [8.1] respecto al proyecto de detalle tampoco, pero si ha cambiado el cómo se realiza esta búsqueda.

El Gantt asociado referente a la ejecución de la planificación

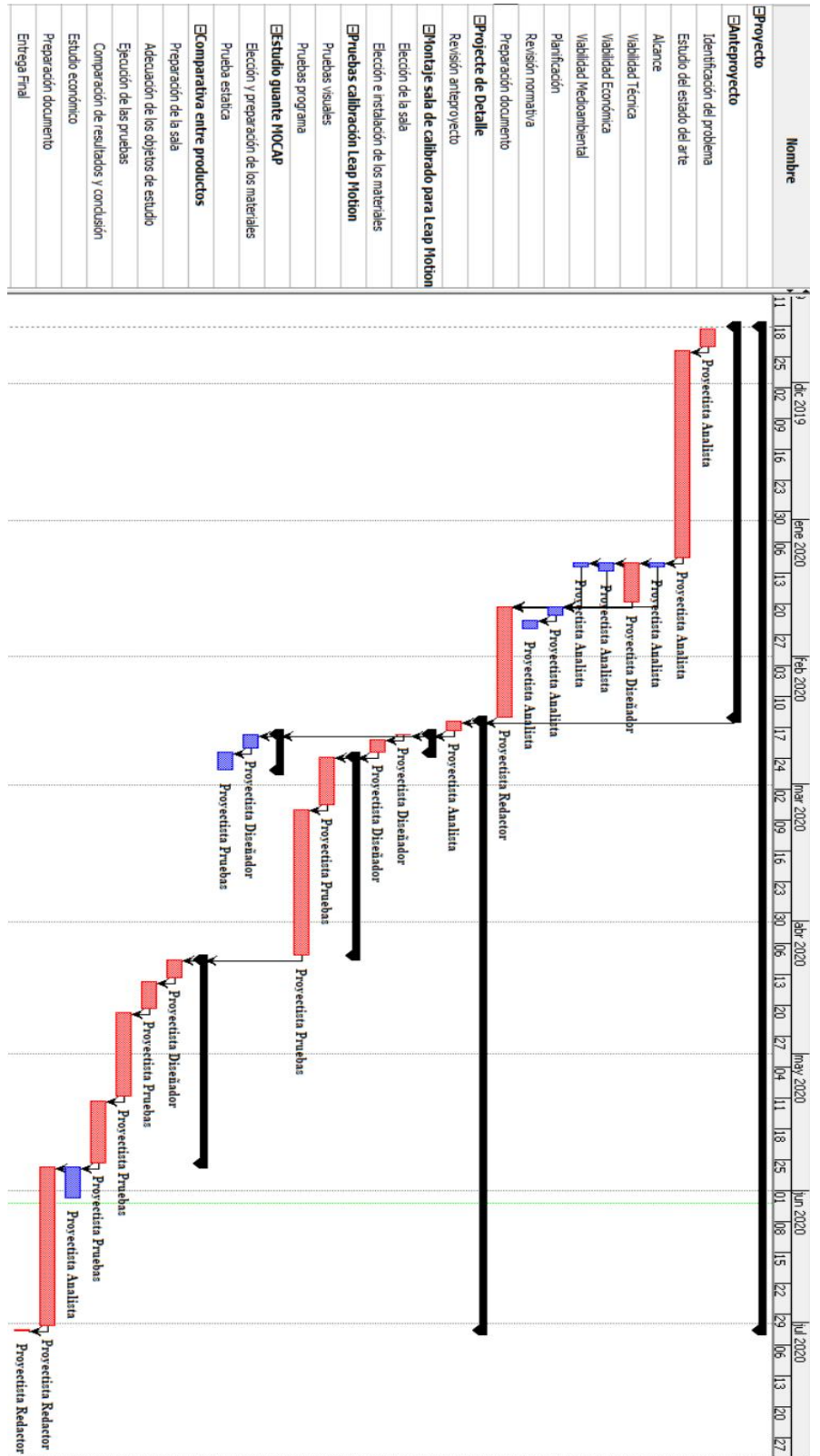


Fig. 8.2. Gantt de la fase de ejecución

### 8.3. Desviaciones

Tal y como se ha expresado en el apartado anterior, este proyecto ha sido modificado respecto a su planificación inicial [8.1] debido a la pandemia COVID-19.

Las desviaciones que se han producido son diversas:

- La fecha de entrega de la entrega del documento final se ha visto modificada del 12/6/2020 al 2/7/2020.
- La parte referente al proyecto de detalle ha sido modificada conceptualmente. La creación de una sala para la calibración de los productos ha sido cambiada por un estudio individual de cada uno con pruebas distintas. La parte de crear una sala para el testeado de los productos mediante el uso de un robot proporcionado por Tecnocampus, ha sido modificada por una metodología para poder comparar Leap Motion y el guante de MOCAP a través del estudio del movimiento de una mano humana a 2 velocidades diferentes en un espacio improvisado por las dificultades endémicas. El producto de Axis quedó descartado tal y como se explica en el apartado 5.1.
- La desaparición del concepto “planos” debido a dos motivos. El primero es que ya no se han generado esas dos salas como concepto principal del estudio, y la segunda es la no disponibilidad de planos de los soportes de la mano (usados en el apartado 5.2) debido a que fueron creados externamente (Trabajadores del laboratorio de mecánica de Tecnocampus).

Este conjunto de modificaciones han provocado cambios en las horas totales de este proyecto, incrementándose las horas invertidas por cada uno de los recursos, debido a la improvisación resultante de la pandemia, que provocó la reformulación de todo el proyecto, con el objetivo de poder obtener un resultado lo más válido posible respecto a la idea inicial.

Código	Descripción	Planificación	Ejecución
1.1	Horas de proyectista destinadas al análisis de antecedentes documentación e información previa necesaria	225	231
1.2	Horas de proyectista destinadas al diseño de las zonas de pruebas	66	72
1.3	Horas de proyectista destinadas al ensayo y tests de los productos a estudiar en las diferentes zonas	225	279
1.4	Horas de proyectista destinadas a la redacción del documento a entregar	186	192



## **9. Conclusión**

En este proyecto se ha realizado un estudio teórico y del estado del arte de diversos productos en el mercado actual para realizar mediciones en los movimientos de las manos en 3D. Gracias a este estudio se ha podido realizar el diseño de un conjunto de pruebas individuales para poder calibrar cada producto, así como una prueba final con el objetivo de poder compararlos entre ellos y discernir que dispositivo es el supuestamente el que obtiene mejores resultados.

Debido a la pandemia COVID-19, El proyecto ha dado un giro drástico en cuanto a la prueba final, debido a la imposibilidad de asistir a la Universidad Tecnocampus, no se ha podido realizar la prueba comparativa entre dispositivos con el robot ABB 120 del que disponen, hecho que habría proporcionado un estudio mucho más preciso, en cambio se ha tratado de improvisar una simulación de estudio con un temblor humano a diferentes velocidades.

Durante la realización de este proyecto se han adquirido conocimientos sobre la influencia de los campos eléctricos y magnéticos, la metodología que sigue el concepto “Gesture Recognition”, las distintas tecnologías utilizadas por los dispositivos estudiados y la utilidad que suponen los distintos dispositivos en diversos trabajos ajenos.

Como posibles líneas de futuro que se pueden realizar, sería interesante poder realizar la prueba sobre un robot para comprobar si las resoluciones expuestas en este proyecto son válidas. Otro aspecto interesante de cara a futuros proyectos iría más enfocado al campo de la informática, el objetivo sería diseñar entornos virtuales donde poder testear los dispositivos mediante la realización de ejercicios relacionados con enfermedades como el Parkinson..





## 10. Referencias

- [1] Constantine A. Balanis, *Antenna, Theory, Analysis and Design (3rd. Edition)*, Wiley-Interscience, 2005.
- [2] <<*ELECTROMAGNETIC RADIATION and HOW IT AFFECTS YOUR INSTRUMENTS*>>, Cincinnati Technical Center. Occupational Safety and Health Administration. U.S Department of Labor. 20 mayo 1990. [En línea]. Available: [https://www.osha.gov/SLTC/radiofrequencyradiation/electromagnetic\\_fieldmemo/electromagnetic.html#section\\_6](https://www.osha.gov/SLTC/radiofrequencyradiation/electromagnetic_fieldmemo/electromagnetic.html#section_6) [Último acceso: 5 de Diciembre]
- [3] M. Olmo R. Nave, <<*Ley general del cuadrado inverso*>>, Hyperphysics. [En línea]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Forces/isq.html> [Último acceso: 5 de Diciembre]
- [4] <<*Espectro Electromagnético*>>, ESOPO. En línea. Available: <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/> [Último acceso: 7 de Diciembre]
- [6] G. R. S. Murthy y R. S. Jadon <<*A review of visión based hand gestures recognition*>>, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management* vol.2, Julio-diciembre 2009, pp 405-410
- [7] <<*MGC3030/3130 3D Tracking and Gesture Controller Data Sheet*>> Microchip Technology Inc. 15 Agosto 2018. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MGC3030-3130-3D-Tracking-and-Gesture-Controller-40001667F.pdf> [Último acceso: 10 Diciembre 2019]

- [8] <<DV102014 Projected Capacitive Multi-Touch with 3D GestIC® Sensing Development Kit User's Guide>> Microchip Technology Inc. 2016. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40001834a.pdf> [Último acceso: 11 Diciembre 2019]
- [9] << MTCH6303 Projected Capacitive Touch Controller Data Sheet>> Microchip Technology Inc. 27 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001803A.pdf> [Último acceso: 14 Diciembre 2019]
- [10] << Programmable Voltage Boost with Built-in Level Shifters and Serial Interface with Output Enable>> Microchip Technology Inc. 25 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001749A.pdf> [Último acceso: 16 Diciembre 2019]
- [11] <<GestIC® Design Guide>> Microchip Technology Inc. 14 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001716C.pdf> [Último acceso: 17 Diciembre 2019]
- [12] << Aurea Graphical User Interface User's Guide>> Microchip Technology Inc. 2018. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Aurea-GUI-User-Guide-40001681E.pdf> [Último acceso: 18 Diciembre 2019]
- [13] <<Perception Neuron>>, Neuron Mocap. [En línea]. Available: [https://neuronmocap.com/products/perception\\_neuron](https://neuronmocap.com/products/perception_neuron) [Último acceso: 20 Diciembre 2019]
- [14] <<Axis Neuron Manual>>, Neuron Mocap. [En línea]. Available: [https://neuronmocap.com/system/files/software/Axis%20Neuron%20User%20Manual\\_V3.8.1.5.pdf](https://neuronmocap.com/system/files/software/Axis%20Neuron%20User%20Manual_V3.8.1.5.pdf) [Último acceso: 20 Diciembre 2019]
- [15] A. Colgan. <<How Does the Leap Motion Controller Work? >> Leap Motion Blog, 9 Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://blog.leapmotion.com/hardware-to-software-how-does-the-leap-motion-controller-work/> [Último acceso: 20 Noviembre 2019]

- [16] L. Shao, G. Wetzstein y R. Konrad. <<*Hand movement and gesture recognition using Leap Motion Controller*>> Stanford EE 267, Virtual Reality, Course Report. [En línea]. Available: [https://stanford.edu/class/ee267/Spring2016/report\\_lin.pdf](https://stanford.edu/class/ee267/Spring2016/report_lin.pdf) [Último acceso: 25 Noviembre 2019]
- [17] D. Bachmann, F. Weichert y G. Rinkeauer. <<*Evaluation of the Leap Motion Controller as a New Contact-Free Pointing Device*>> Researchgate, Diciembre 2014. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/270508429\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Leap\\_Motion\\_Controller\\_as\\_a\\_New\\_Contact-Free\\_Pointing\\_Device](https://www.researchgate.net/publication/270508429_Evaluation_of_the_Leap_Motion_Controller_as_a_New_Contact-Free_Pointing_Device) [Último acceso: 27 Noviembre 2019]
- [18] F. Weichert, D. Bachmann y D. Fisseler. <<*Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller*>> MDPI Sensors, Mayo 2013. [En línea]. Available <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3690061/> [Último acceso: 3 Diciembre 2019]
- [19] Z. Wang, P. Wang y Tong Zhan. <<*Leap Motion-based virtual reality training for improving motor functional recovery of upper limbs and neural reorganization in subacute stroke patients*>> Natural Regeneration Research, Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5745836/> [Último acceso: 4 Diciembre 2019]
- [20] C. Balaguer, R. Cano-de la Cuerda, S. Collado-Vázquez y A. Jardón. <<*Effectiveness of Serious Games for Leap Motion on the Functionality of the Upper Limb in Parkinson's Disease: A Feasibility Study*>> Hindawi. 11 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2018/7148427/> [Último acceso: 28 Noviembre 2019]
- A. H. Butt, E. Rovini, C. Dolciotti, G. De Petris, P. Bongioanni, M.C. Carboncini & F. Cavallo <<*Objective and automatic classification of Parkinson disease with Leap Motion controller*>> BMC. 12 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-018-0600-7> [Último acceso: 8 Diciembre 2019]

- [22] <<Definición de gesto>> REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/gesto> [Último acceso: 19 Noviembre 2019]
- [23] << *RSI Copy Stand*>>, Kaiser Fototechnik. [En línea]. Available: [http://www.kaiser-fototechnik.de/en/produkte/2\\_1\\_produkthanzeige.asp?nr=5510](http://www.kaiser-fototechnik.de/en/produkte/2_1_produkthanzeige.asp?nr=5510) [Último acceso: 15 Febrero 2020]
- [24] <<*HANDSKALAD*>>, IKEA. [En línea]. Available: <https://www.ikea.com/es/es/p/handskalad-adorno-mano-natural-90424146/> [Último acceso: 17 Febrero 2019]