



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

Identificación de patrones de marcha mediante un análisis de movimiento para su aplicación a un exoesqueleto

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

Autor: Diego José Ramos González

Director: Julio José Ibarrola Lacalle

Codirector: José Manuel Cano Izquierdo



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, 4 de mayo de 2020

RESUMEN

Este trabajo fin de grado se centra en el estudio del comportamiento humano al andar, donde se realizarán experimentos para conseguir datos y poder extraer características que definan el patrón de marcha normal humana obteniéndose así el objetivo principal de este proyecto.

Los datos extraídos de las diferentes pruebas realizadas a dos sujetos son procesados desde su captura hasta obtener el resultado final con los ángulos que se generan en las articulaciones con el movimiento de andar. Para ello, se ha usado un sistema medición de los ángulos del tobillo, rodilla y cadera de ambas piernas en un solo plano con el que se obtendrán los datos.

Finalmente, se ha hecho una simulación en 3D con el resultado obtenido para facilitar la visualización del objetivo final, en la que se mostrará cómo es la marcha humana.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción y Objetivo	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo	1
1.2.1 Subobjetivos.....	2
1.3 Motivación	2
2. Estado del arte	5
2.1 Planos de referencia.....	5
2.2 Partes y Articulaciones de la pierna humana.	6
2.2.1 Partes de la pierna humana.....	6
2.2.2 Articulaciones de la Pierna Humana	7
2.3 Marcha Humana normal.	10
2.3.1 Ciclo de marcha y sus fases	10
2.4 Investigación de la Marcha	13
2.4.1 Análisis cinemático de la marcha humana en el plano sagital.....	14
2.5 Exoesqueleto.....	21
3. Hardware	24
3.1 Teoría de adquisición de datos.....	24
3.2 Componentes del Hardware	26
4. Descripción de los escenarios	35
4.1 Escenario 1 (Sentarse Y Levantarse)	36
4.2 Escenario 2 (Andar).....	36
4.3 Escenario 3 (Paso inicio Y Paso fin)	37
5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab	39
5.1 Software	39
5.2 Desarrollo de la programación en Matlab	42
5.2.1 Configuración inicial de la tarjeta en matlab.....	42
5.2.2 Calibración	47
5.2.3 Grabación de Sonido.....	48

5.2.4	Pruebas (Muestreo, Filtrado y Transformación a ángulos).....	49
5.2.5	Eliminación del offset.....	53
5.2.6	Separación de la señal en secuencias.....	53
5.2.7	Media del sujeto	58
5.2.8	Comparación y Media entre sujetos.....	58
5.2.9	Reconstrucción.....	58
6.	Obtención de datos y Resultados	60
6.1	Escenario 1 (Sentarse Y Levantarse)	61
6.1.1	Ensayo 1 del Escenario 1	61
6.1.2	Ensayo 2 del Escenario 1	61
6.1.3	Obtención de valores medios del sujeto 1 para el Escenario 1	62
6.2	Escenario 2 (Andar).....	64
6.2.1	Ensayo 1 del Escenario 2	64
6.2.2	Ensayo 2 del Escenario 2	64
6.2.3	Obtención de valores medios del sujeto 1 para el Escenario 2.....	65
6.3	Escenario 3 (Paso Inicio Y Paso Fin).....	67
6.3.1	Ensayo 1 del Escenario 1	67
6.3.2	Ensayo 2 del Escenario 1	67
6.3.3	Obtención de valores medios del sujeto 1 para el Escenario 3.....	68
6.4	Resultados de la comparación y media entre dos sujetos.....	70
6.4.1	Estudio comparativo entre dos sujetos para el Escenario 1	70
6.4.2	Obtención de valores medios entre dos sujetos para el Escenario 1	71
6.4.3	Estudio comparativo entre dos sujetos para el Escenario 2	72
6.4.4	Obtención de valores medios entre dos sujetos para el Escenario 2	73
6.4.5	Estudio comparativo entre dos sujetos para el Escenario 3.....	74
6.4.6	Obtención de valores medios entre dos sujetos para el Escenario 3	75
6.5	Resultado de la Reconstrucción	77
7.	Simulación 3D.....	82
8.	Conclusión.....	86

8.1	Conclusión.....	86
8.2	Trabajo Futuro.....	87
8.3	Opinión Personal.....	88
9.	Anexos	90
9.1	Script: Configuración_Inicial.m.....	90
9.2	Script: Calibracion.m.....	90
9.3	Script: Grabar_Sonido.m	90
9.4	Script: Prueba.m.....	91
9.5	Script: Eliminacion_offset.m.....	95
9.6	Script: Separación_de_Secuencias.m	97
9.7	Script: Media_del_Sujeto.m	100
9.8	Script: Comparación_y_Media_entre_Sujetos.m	102
9.9	Script: Reconstrucción.m	105
9.10	Script: Simulacion_3D.m.....	107
9.10.1	Función: grafica_angulos_y_cuerpo.m	108
10.	Bibliografía.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Prototipo de exoesqueleto de la UPCT [4]	3
Figura 2: Planos del cuerpo humano	5
Figura 3: Estructura de la pierna humana	6
Figura 4: Rangos de movimiento de la articulación de la cadera	8
Figura 5: Rango de movimiento de la rodilla humana	8
Figura 6: Articulación del tobillo	9
Figura 7: Movimientos de Dorsiflexión y flexión plantar del tobillo.....	9
Figura 8: Rangos de movimiento del tobillo humano [5].....	10
Figura 9: Ciclo completo de la marcha.....	11
Figura 10: Subdivisiones de la fase de apoyo.....	12
Figura 11: Subdivisiones de la fase de balanceo	12
Figura 12: Secuencia de las fases de apoyo y balanceo durante la marcha	13
Figura 13: Longitud del paso y Longitud del paso completo.....	13
Figura 14: Estudio cinemático del tobillo en el Intervalo I de la marcha	15
Figura 15: Estudio cinemático de la rodilla en el intervalo I de la marcha.....	15
Figura 16: Estudio cinemático de la cadera en el Intervalo I de la marcha.....	16
Figura 17: Estudio cinemático del tobillo en el Intervalo II de la marcha	17
Figura 18: Estudio cinemático de la rodilla en el Intervalo II de la marcha.	17
Figura 19: Estudio cinemático de la cadera en el Intervalo II de la marcha.....	18
Figura 20: Estudio cinemático de las articulaciones en el Intervalo III de la marcha ...	19
Figura 21: Goniómetro.....	20
Figura 22: Electrogoniometría.....	20
Figura 23: Exoesqueleto	21
Figura 24: Partes de un Sistema DAQ	24
Figura 25: Prototipo para la medición de ángulos	26
Figura 26: Unión entre dos barras planas	27
Figura 27: Unión entre dos articulaciones.....	27
Figura 28: Potenciómetros y puntos de sujeción del prototipo	28
Figura 29: Potenciómetro [12].....	29
Figura 30: Tarjeta de adquisición de datos del modelo ECON DT9812-2.5V de Data Translation.....	30
Figura 31: Cableado de los potenciómetros.....	31
Figura 32: Arquitectura de la adquisición de datos.....	32
Figura 33: a) Cara Lateral Izquierdo. b) Cara Anterior. c) Cara Lateral Derecho. d) Cara Posterior	33

Figura 34: QuickDAQ.....	39
Figura 35: Logotipo de MATLAB.....	40
Figura 36: DAQ Adaptador para MATLAB	41
Figura 37: Posición de referencia 90 ^a	47
Figura 38: Posición de referencia 0 ^o	47
Figura 39: Ejemplo de Voltaje Sin Filtrado	51
Figura 40: Ejemplo de Voltaje Filtrado.	51
Figura 41: Ejemplo de Voltaje Filtrado en Voltios.....	52
Figura 42: Ejemplo Transformación de Voltaje a Ángulos.....	52
Figura 43: Ejemplo de separación de las 5 secuencias.....	55
Figura 44: Cadera Derecha SIN Normalizar.....	56
Figura 45: Cadera Derecha Normalizado.....	56
Figura 46: Media de las 5 secuencias de la Cadera Derecha	57
Figura 47: Las 5 secuencias de la Cadera Derecha.....	57
Figura 48: Pierna Izquierda Escenario 1 Ensayo 1 Sujeto 1.....	61
Figura 49: Pierna Derecha Escenario 1 Ensayo 1 Sujeto 1.....	61
Figura 50: Pierna Izquierda Escenario 1 Ensayo 2 Sujeto 1.....	61
Figura 51: Pierna Derecha Escenario 1 Ensayo 2 Sujeto 1.....	61
Figura 52: Pierna Izquierda Repeticiones Totales Escenario 1 Sujeto 1.	62
Figura 53: Pierna Derecha Repeticiones Totales Escenario 1 Sujeto 1.....	62
Figura 54: Pierna Izquierda Media Escenario 1 Sujeto 1.....	63
Figura 55: Pierna Derecha Media Escenario 1 Sujeto 1.....	63
Figura 56: Pierna Izquierda Escenario 2 Ensayo 1 Sujeto 1.....	64
Figura 57: Pierna Derecha Escenario 2 Ensayo 1 Sujeto 1.....	64
Figura 58: Pierna Izquierda Escenario 2 Ensayo 2 Sujeto 1.....	64
Figura 59: Pierna Derecha Escenario 2 Ensayo 2 Sujeto 1.....	64
Figura 60: Pierna Izquierda Repeticiones Totales Escenario 2 Sujeto 1	65
Figura 61: Pierna Derecha Repeticiones Totales Escenario 2 Sujeto 1.....	65
Figura 62: Pierna Izquierda Media Escenario 2 Sujeto 1.....	66
Figura 63: Pierna Derecha Media Escenario 2 Sujeto 1.....	66
Figura 64: Pierna Izquierda Escenario 3 Ensayo 1 Sujeto 1.....	67
Figura 65: Pierna Derecha Escenario 3 Ensayo 1 Sujeto 1.....	67
Figura 66: Pierna Izquierda Escenario 3 Ensayo 2 Sujeto 1.....	67
Figura 67: Pierna Derecha Escenario 3 Ensayo 2 Sujeto 1.....	67
Figura 68: Pierna Izquierda Repeticiones Totales Escenario 3 Sujeto 1	68
Figura 69: Pierna Derecha Repeticiones Totales Escenario 3 Sujeto 1	68
Figura 70: Pierna Izquierda Media Escenario 3 Sujeto 1.....	69

Figura 71: Pierna Derecha Media Escenario 3 Sujeto 1.....	69
Figura 72: Pierna Izquierda Comparación Escenario 1 Sujeto 1 y 2.....	70
Figura 73: Pierna Derecha Comparación Escenario 1 Sujeto 1 y 2.....	70
Figura 74: Pierna Izquierda Media Escenario 1 Sujeto 1 y 2.....	71
Figura 75: Pierna Derecha Media Escenario 1 Sujeto 1 y 2.....	71
Figura 76: Pierna Izquierda Comparación Escenario 2 Sujeto 1 y 2.....	72
Figura 77: Pierna Derecha Comparación Escenario 2 Sujeto 1 y 2.....	72
Figura 78: Pierna Izquierda Media Escenario 2 Sujeto 1 y 2.....	73
Figura 79: Pierna Derecha Media Escenario 2 Sujeto 1 y 2.....	73
Figura 80: Pierna Izquierda Comparación Escenario 3 Sujeto 1 y 2.....	74
Figura 81: Pierna Derecha Comparación Escenario 3 Sujeto 1 y 2.....	74
Figura 82: Pierna Izquierda Media Escenario 3 Sujeto 1 y 2.....	75
Figura 83: Pierna Derecha Media Escenario 3 Sujeto 1 y 2.....	75
Figura 84: Pierna Izquierda Sentarse y Levantarse.....	77
Figura 85: Pierna Derecha Sentarse y Levantarse.....	77
Figura 86: Pierna Derecha Paso Completo.....	78
Figura 87: Pierna Izquierda Paso Completo.....	78
Figura 88: Pierna Izquierda Paso Inicial y Paso Final.....	78
Figura 89: Pierna Derecha Paso Inicial y Paso Final.....	78
Figura 90: Pierna Izquierda Marcha.....	79
Figura 91: Pierna Derecha Marcha.....	79
Figura 92: Pierna Izquierda Prueba 2 (Marcha) Ensayo 1 Sujeto 1.....	80
Figura 93: Pierna Derecha Prueba 2 (Marcha) Ensayo 1 Sujeto 1.....	80
Figura 94: Simulación 3D.....	83

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

1.1 INTRODUCCIÓN

El caminar es uno de los movimientos más difíciles que comete el ser humano, por esta razón es de gran importancia realizar un estudio que nos ayude a entender mejor los movimientos que se producen con el desplazamiento. Este trabajo se centra en la identificación un patrón de marcha en un plano mediante un análisis de movimiento de las extremidades inferiores de una persona.

En primer lugar, se verán algunos conceptos teóricos para aprender y conocer el significado de los términos que se usarán constantemente en el trabajo y que también servirán para comprender y justificar algunas decisiones tomadas. Se verán conocimientos sobre el plano de referencia en que se trabajara, las partes y articulaciones de la pierna humana, rango de movimientos de las articulaciones de la pierna, la teoría de la adquisición de datos y la definición, funcionamiento y aplicación de un exoesqueleto.

Después, se ha configurado el software y hardware necesario para conseguir un correcto funcionamiento del prototipo. Este prototipo es un sistema de medidas angulares para extremidades inferiores compuesto principalmente por una estructura de aluminio, una tarjeta de adquisición de datos y potenciómetros. A continuación, se realizarán las distintas pruebas sobre dos sujetos que no presentan dificultad al andar, para así adquirir los datos en voltaje que proporcionan los sensores del prototipo al moverse las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo en función del tiempo. Estos datos serán procesados hasta conseguir el patrón de la marcha humana medidos en ángulos con la unidad de grados. A partir de estos datos, se mostrarán el resultado final en forma de gráfica con todos los ángulos que forman las articulaciones de las dos extremidades inferiores al andar.

Por último, se podrá hacer un análisis visual del resultado de la locomoción humana al aplicar el resultado final en una simulación en 3D.

1.2 OBJETIVO

En este trabajo final de grado el objetivo principal que se busca es conseguir extraer las pautas básicas en el movimiento de las piernas en la marcha de una persona, es decir, las diferentes posiciones que adoptan las articulaciones de las piernas cuando una persona anda, con el fin de obtener el ángulo que forman las articulaciones de la

cadera, rodilla y tobillo de ambas piernas en la marcha humana para su posterior aplicación en un exoesqueleto. Además, otro aspecto importante es el de diseñar una simulación para visualizar las consignas angulares con los resultados obtenidos.

1.2.1 SUBOBJETIVOS

Para conseguir llegar al resultado final se han decidido una serie de subobjetivos a cumplir:

- Encontrar la mejor manera de mejorar el prototipo mediante el análisis previo de las piernas, aprovechando su coordinación.
- Poner en funcionamiento y hacer las mejoras necesarias del hardware y software del sistema de adquisición de datos ya existente.
- Conseguir una correcta obtención de datos y calibración del prototipo.
- Establecer las condiciones y definir los pasos a seguir en la realización las diferentes escenarios o pruebas para la obtención de datos.
- Analizar y obtener datos del movimiento de las piernas de los distintos experimentos llevados a cabo.
- Tener una base de datos que guarde los resultados obtenidos de cada prueba, ensayo y sujeto.
- Comparativa entre dos sujetos con los datos arrojados y obtención un patrón de movimiento en común para dos personas.
- Realizar una simulación 3D con ordenador aplicando los resultados que se han conseguido.

1.3 MOTIVACIÓN

Existen millones de individuos en el mundo que no pueden caminar por sí mismo o que presentan alguna dificultad para hacer la marcha con normalidad, por lo que dependen de las sillas de ruedas para su movilidad. No obstante, aunque es una buena solución, no es el estado natural del ser humano el estar sentado, al mismo tiempo que presenta otros problemas como la de causar lesiones en las manos por el impacto con las llantas, músculos de las piernas atrofiados y huesos frágiles.

Por otro lado, investigadores y profesores de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) desarrollaron un prototipo de exoesqueleto dentro del proyecto europeo Exolegs (Exoskeleton Legs for Elderly Persons) [3]. El trabajo iba dirigido a su aplicación en personas con algún tipo de dificultad para andar, de manera que con la ayuda de esta estructura robótica fuesen capaces de realizar acciones de movimiento en la cadera, rodillas y tobillos, permitiendo que mejore su movilidad a lo largo del

proceso de rehabilitación. En la figura 1 se muestran el prototipo de exoesqueleto de la Universidad.



Figura 1: Prototipo de exoesqueleto de la UPCT [4]

La motivación principal para empezar este proyecto es establecer las bases de conocimiento y obtención del patrón en la marcha humana normal para su posterior aplicación al prototipo de exoesqueleto que se encuentra en el laboratorio de la Universidad y al que continuamente se le aplican mejoras.

2. ESTADO DEL ARTE

El resumen, en esta sección se va a ver todos los conocimientos referenciados a la marcha humana normal, así como las articulaciones y su rango de movimientos. en el plano más importantes para este propósito. También, se ha detallado el análisis cinemático del de la marcha humana observado desde el plano principal de este proyecto el cual se determinará a continuación, ya que el prototipo solo es capaz de medir en un solo plano. En ese estudio se muestra los distintos ángulos que se van generando durante la marcha entre la cadera, rodilla y tobillo de la pierna, esto nos proporciona información y datos de gran utilidad que más adelante nos servirán para entender mejor el funcionamiento y calibración del prototipo, también ayudara para la programación y sobre todo para comparar el resultado de la pierna real obtenido de las pruebas con un ciclo teórico de marcha. Para finalizar se explicará la definición, componentes y aplicaciones que tiene un exoesqueleto.

2.1 PLANOS DE REFERENCIA

En este proyecto se busca ver los ángulos que se originan entre los diferentes segmentos que forman la pierna al realizar la marcha humana en un plano, por eso con el fin de obtener una disposición adecuada y que resulte más cómodo concebir los conceptos del proyecto, el cuerpo humano se dividirá en tres planos:

- Plano Transversal o Horizontal.
- Plano Sagital.
- Plano Frontal o Coronal.

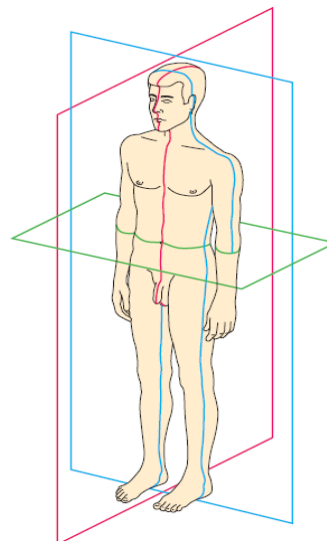


Figura 2: Planos del cuerpo humano

En la figura 2 se ve el cuerpo humano dividido en sus tres planos característicos, que serán el sistema de referencia para el proyecto.

- En el plano coronal o frontal se hacen los movimientos de cara y separa el cuerpo en parte anterior y parte posterior.
- En el plano sagital se hacen los movimientos de perfil y separa el cuerpo en parte derecha y parte izquierda.
- En el plano horizontal o transversal se hacen los movimientos vistos desde arriba o desde abajo y separa el cuerpo en parte inferior y parte superior.

Los movimientos angulares de las extremidades inferiores, vistos desde el plano frontal son muy pequeños comparados con el plano sagital. Al ser tan pequeños estos ángulos del plano frontal se han depreciado para este proyecto, además en el plano horizontal o coronal no nos proporciona mucha información para el propósito buscado-y tampoco se ha tenido en cuenta. El plano sagital es el sistema de referencia más importante para el proyecto ya que en él se pueden ver con mayor claridad el rango de los ángulos que toman las piernas al realizar un movimiento y es el plano donde el prototipo es capaz de medir.

2.2 PARTES Y ARTICULACIONES DE LA PIERNA HUMANA.

A continuación, se explica las diferentes partes de la extremidad inferior y las articulaciones más implicadas en la marcha humana, así como sus movimientos y el rango de estos.

2.2.1 PARTES DE LA PIERNA HUMANA

Una pierna humana es una estructura compuesta principalmente por tres partes que son la cadera, la pierna y el pie, como se muestra en la siguiente figura 3:

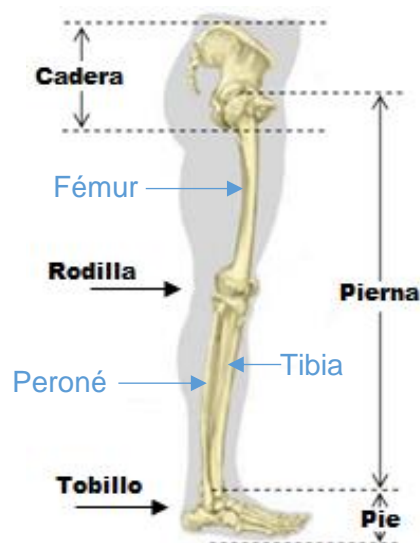


Figura 3: Estructura de la pierna humana

- **La cadera:**

La cadera es la articulación que une la pierna con la parte superior del cuerpo. Además, está diseñada para proveer de movilidad y estabilidad al cuerpo humano.

- **La Pierna:**

La pierna es el segmento que va desde la cadera hasta el tobillo. La estructura ósea de la pierna está formada por 4 huesos: en la parte superior el fémur y la rótula, en la parte inferior la tibia y el peroné. (ver figura 3).

- **El pie:**

El pie es la porción terminal de la extremidad inferior. Esta parte del cuerpo humano que va desde el tobillo hasta la punta de los dedos. Está compuesto por muchos hueso y articulaciones, por eso el pie permite la locomoción y sirve para sostener el cuerpo.

2.2.2 ARTICULACIONES DE LA PIERNA HUMANA

Las articulaciones desempeñan una labor esencial ya que son las partes de unión entre los huesos del esqueleto, lo que permitir mover las distintas extremidades de tu cuerpo. Si las articulaciones no estuvieran, no se podrían realizar movimientos y el cuerpo sería una estructura completamente rígida.

Para este proyecto es importante conocer los rangos de movimiento posibles que se pueden dar en las diferentes articulaciones con el fin saber cómo configurar el prototipo conociendo sus limitaciones y compáralo con los resultados obtenidos para saber si son lógicos esos valores.

Las articulaciones de la pierna humana más implicadas al andar y que nos interesan conocer y sus rangos de movimiento en el plano sagital son:

- **La Cadera:**

La articulación de la cadera desempeña una labor muy importante en la marcha humana, ya hace posible que la pierna pueda moverse en todos los planos posibles. Esta articulación permite andar ya que hace que la pierna pueda moverse en la cadera o al contrario, ser la cadera la que rota mientras que la pierna esta inmóvil.

Rango de Movimiento de la Cadera:

El movimiento básico de la pierna producido por la articulación de la cadera visto desde el plano sagital es la extensión y flexión. La extensión la pierna se produce cuando gira en sentido horario hacia atrás llegando hasta un ángulo máximo alrededor de 15º,

mientras que la flexión se produce cuando gira al contrario, es decir, en sentido antihorario hacia la parte superior del cuerpo llegando a rondar un ángulo máximo entre 130° – 140° (ver figura 4).

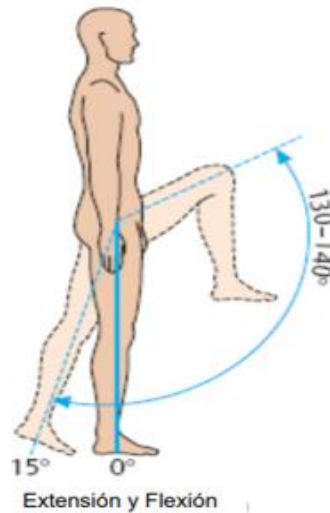


Figura 4: Rangos de movimiento de la articulación de la cadera

- **La Rodilla:**

La articulación de la rodilla es la más grande y compleja del cuerpo humano. En esta articulación se unen tres huesos: la tibia, el fémur y la rótula. Su estructura está configurada para soportar el peso del organismo mientras se anda, corre o se está de pie.

Rango de Movimiento de la Rodilla

Hay dos movimientos principales de la rodilla que se producen en el plano sagital y son la flexión y extensión. Al hacer la flexión de la articulación se genera un ángulo entre la tibia y el fémur; este ángulo depende de las características de cada persona. Este ángulo va desde 0° , a 10° de extensión o hiperextensión, si la persona tiene mucha flexibilidad, cuando la pierna está extendida al máximo creando una línea recta el fémur con la tibia, hasta 155° cuando la pierna está flexionada al máximo, tocando el glúteo con el talón (ver figura 5).

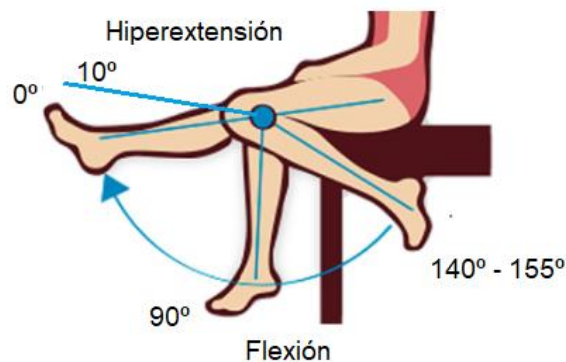


Figura 5: Rango de movimiento de la rodilla humana

- **El tobillo:**

El tobillo es la articulación donde se unen el pie y la pierna y está formado por 3 huesos: el peroné y la tibia que forman parte de la pierna, y el astrágalo que se encuentra en el pie, como se puede observar en la figura 6.

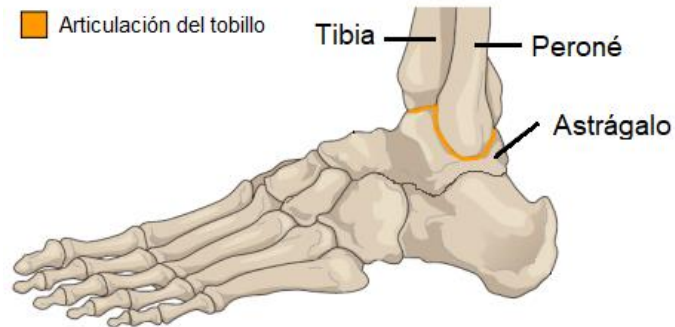


Figura 6: Articulación del tobillo

Los principales movimientos que se producen en la articulación del tobillo son (ver figura 7):

- Flexión Dorsal o Dorsiflexión: acercar el pie hacia la espinilla.
- Flexión Plantar: flexionar el pie de punta.

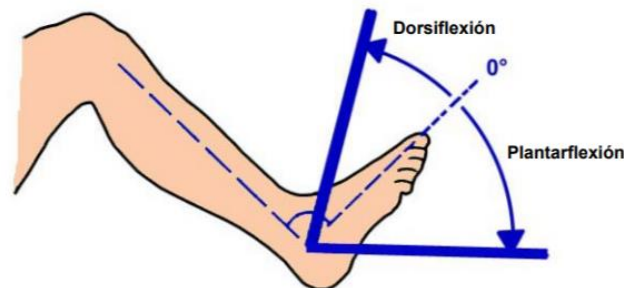


Figura 7: Movimientos de Dorsiflexión y flexión plantar del tobillo

Rango de Movimiento del Tobillo:

El tobillo forma un ángulo entre la tibia y el pie. Tomando como referencia la figura 7 anterior se puede ver, en el plano sagital, como cuando el pie se encuentra en posición de referencia 0° el ángulo que genera la tibia con respecto al pie es de 90°.

El rango en ángulos del movimiento del tobillo va desde de 20° a 30° en dorsiflexión hasta 40° y 50° en flexión plantar (ver figura 8). En el caso contrario de que sea el pie el que este fijo y sea la pierna la que puede moverse libremente se obtienen los mismos valores de ángulo.

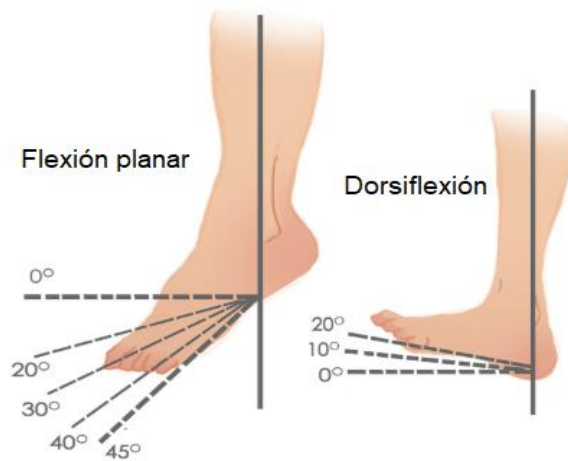


Figura 8: Rangos de movimiento del tobillo humano [5]

- **Los Dedos:**

El pie este compuesto por múltiples articulaciones, aunque destaca la articulación entre las falanges y los metatarsos. Esta articulación es la que permite que los dedos se muevan hacia arriba y hacia abajo durante la marcha, pero esta articulación no se tomara en cuenta para este proyecto ya que no es de interés el ángulo que pueda producirse, aparte de que esta articulación no está presente en un exoesqueleto ni en el prototipo.

2.3 MARCHA HUMANA NORMAL.

El conocimiento de la locomoción humana normal es la base necesaria para llegar el objetivo que se está buscando. La marcha humana normal se define como "Un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano en posición erguida se desplaza hacia delante o atrás siendo su peso soportado alternativamente por ambas piernas; cuando al menos un pie está en contacto con el suelo mientras el otro se balancea hacia delante como preparación al siguiente apoyo" [6]. Se trata entonces de un conjunto de movimientos alternantes y acompasados de las extremidades inferiores y del tronco. Aunque pueden existir pequeñas variaciones en la forma de andar entre diferentes individuos.

2.3.1 CICLO DE MARCHA Y SUS FASES

El ciclo de la marcha comienza cuando el talón del pie hace contacto con el suelo y termina con el siguiente impacto del talón con el suelo del mismo pie.

En la realización de un ciclo de marcha completo, como lo muestra la figura 9, cada pierna pasa por una fase de apoyo seguido de una fase de balanceo. Un ciclo de la marcha está compuesto por:

- La fase de apoyo se inicia cuando el talón está en contacto con el suelo y termina en el momento en el que los dedos del pie ya no están el contacto con él.
- La fase de balanceo va desde que el pie despega del suelo hasta que se produce el nuevo apoyo del talón con la superficie.

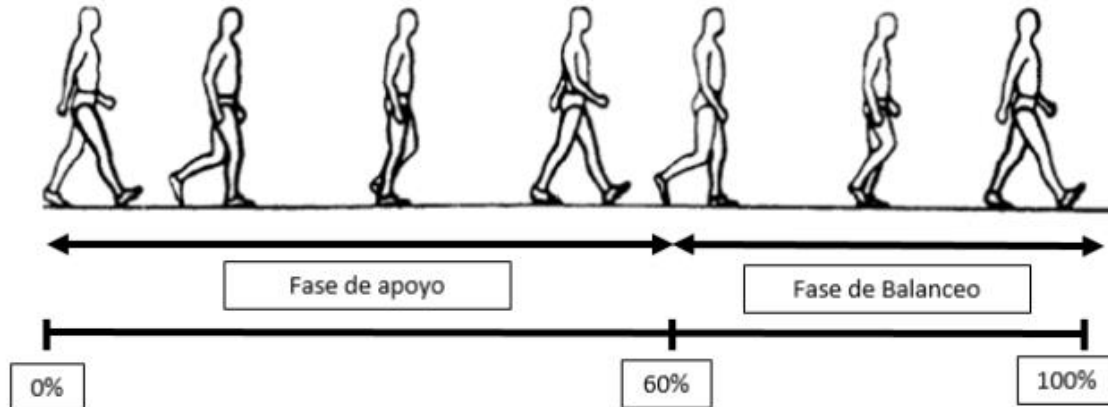


Figura 9: Ciclo completo de la marcha

El desarrollo del ciclo completo de marcha sigue una serie de pasos desde el inicio de la fase de apoyo hasta el final de la fase de balanceo. Estos pasos son los siguientes:

Subdivisión de la fase de apoyo.

La fase de apoyo se puede separar en cinco partes:

1. El contacto del talón es el momento en que el talón de la pierna de referencia toca el suelo.
2. El apoyo plantar es cuando parte anterior del pie hace contacto con el suelo.
3. El apoyo medio se produce cuando desde un plano sagital la parte proximal del fémur está alineado verticalmente con el centro del pie produciéndose un apoyo completo de la planta del pie.
4. El despegue del talón sucede al despegar el talón del suelo.
5. La elevación del pie se produce en el momento en el que los dedos del pie dejan de estar en contacto con la superficie.

La fase de apoyo también puede dividirse en las siguientes etapas (ver figura 10):

1. La etapa de aceptación del peso: se inicia con en el contacto del talón en el suelo y finaliza con el apoyo plantar.
2. La etapa de apoyo medio: comienza con el apoyo plantar y concluye con la subida del talón al despegue del talón.
3. La etapa de despegue: ocurre durante la elevación de los dedos.

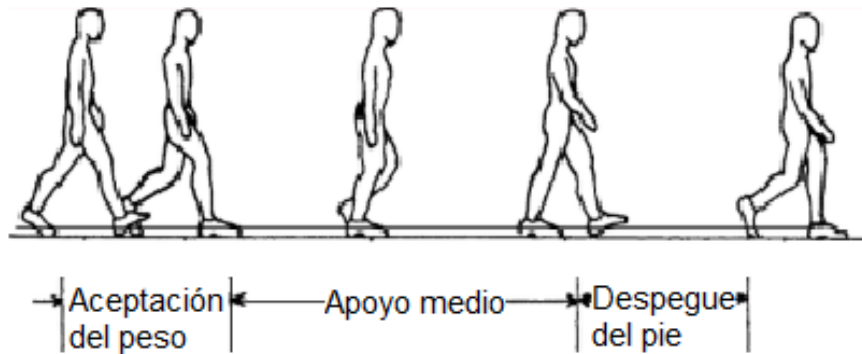


Figura 10: Subdivisiones de la fase de apoyo

Subdivisiones de la fase de balanceo

La fase de balanceo se puede dividir en tres tramos en el que cada tramo dura un tercio de la fase de balanceo (ver figura 11):

- El primer tercio, es el periodo de aceleración, comienza justo después de que los dedos dejen el suelo, habiendo en este tramo una aceleración de la extremidad de la pierna.
- El segundo tercio, es el intervalo del balanceo medio, la pierna en balanceo se mueve hacia delante sobrepasando a la otra pierna que se encuentra apoyada.
- El último tercio, es el momento donde se produce la desaceleración de la pierna cuando se acerca al próximo contacto con el suelo.

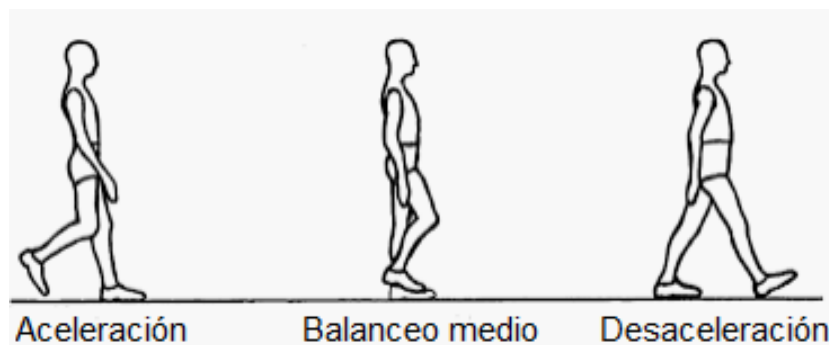


Figura 11: Subdivisiones de la fase de balanceo

Las fases del ciclo de la marcha a una velocidad normal pueden ser tomadas como un porcentaje del ciclo total en relación con la duración del tiempo invertido durante cada una de las dos fases; en la cual la fase de apoyo constituye un valor medio alrededor del 60% del ciclo y el 40% restante representa a la fase de balanceo, esto se puede observar en la figura 9.



Figura 12: Secuencia de las fases de apoyo y balanceo durante la marcha

En la figura 12, se puede ver cómo durante una marcha normal existe un período de tiempo en el que las dos extremidades se hallan apoyadas; por lo que se produce un apoyo doble. El apoyo doble marca la distinción entre las acciones de andar y correr, ya que al correr no hay existencia de este apoyo doble. Esta fase de apoyo doble en la que ambas extremidades inferiores se encuentran en contacto con el suelo es aproximadamente entre un 10% y 20% del ciclo total de la marcha. El periodo de apoyo sencillo ocurre en el momento donde únicamente una pierna está tocando el suelo. Con esto se puede deducir que a mayor velocidad de la marcha menor es el tiempo que dura el doble apoyo y mayor el de la fase de balanceo.

Otras características importantes de la marcha son la longitud del paso completo, que es la distancia lineal entre los sucesivos puntos de contacto del talón del mismo pie con el suelo, y la longitud del paso, que es la distancia lineal que hay entre los puntos de contacto de un pie con el pie contrario (ver figura 13).

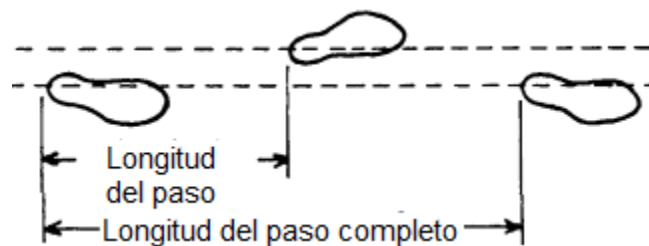


Figura 13: Longitud del paso y Longitud del paso completo

2.4 INVESTIGACIÓN DE LA MARCHA

El estudio e investigación de la marcha humana ha enfocado en dos métodos. Un método es el referido al área de cinética en el cual se estudian las fuerzas que se generan en el movimiento. El otro método corresponde a la cinemática que se centra en el estudio de la dinámica del movimiento que describe el cuerpo en conjunto.

Para este proyecto solo nos interesa la cinemática, ya que es necesario que el prototipo para la captación de datos de las piernas pueda hacer y recrear sin problemas cualquiera de los movimientos que se realizan cuando una persona anda de forma normal un plano. Para este fin, es importante saber que sucede en cada momento con cada una de las partes que conforman la pierna al caminar. Un ejemplo de investigación y estudio en este campo es el libro *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica* [8], el Dr. Pedro Vera Luna donde se presenta un análisis cinemático muy detallado de la marcha humana normal. “El análisis cinemático describe los movimientos del cuerpo en conjunto y los movimientos relativos de las partes del cuerpo durante las diferentes fases de la marcha”. El análisis cinemático corresponde al plano sagital y se muestra a continuación:

2.4.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA MARCHA HUMANA EN EL PLANO SAGITAL.

El análisis cinemático de la marcha en el plano sagital ha sido separado en tres etapas o intervalos, donde se describirá de manera detallada en cada uno de los intervalos los ángulos que se generan en la cadera, rodilla y tobillo en cada momento.

Intervalo I. Va desde el contacto del talón hasta el punto de apoyo medio.

Intervalo II. Va desde el punto de apoyo medio hasta el despegue de los dedos.

Intervalo III. Corresponde a la fase de balanceo.

- Intervalo I.

A. El Tobillo

Momento de contacto del talón con el suelo.	Está situado en una posición neutra a 0°.
Simultáneamente con el contacto del talón.	Empieza a moverse en dirección de la flexión plantar.
Momento en que la planta del pie hace contacto con el suelo.	Se desplaza 15° de la posición neutra a la flexión plantar.
En la fase media.	Cambia velozmente hasta alrededor de 5° de dorsiflexión.

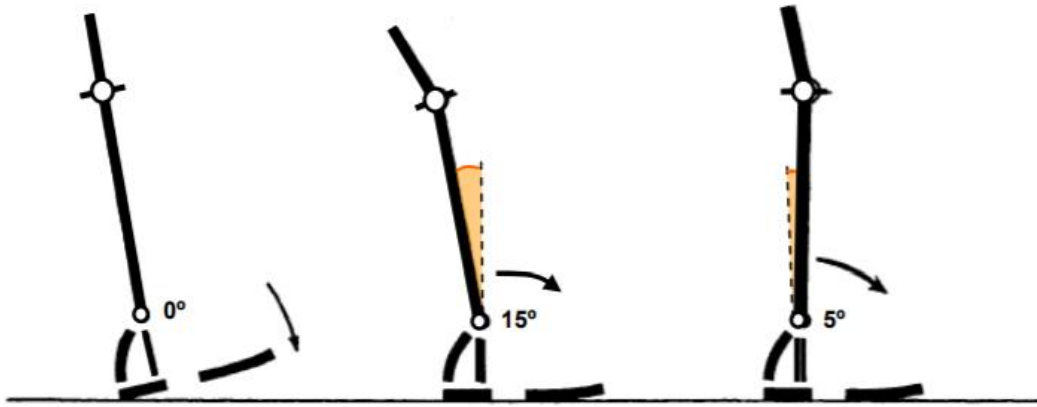


Figura 14: Estudio cinemático del tobillo en el Intervalo I de la marcha

B. La Rodilla.

Inmediatamente antes del contacto del talón con el suelo.	Se encuentra en una extensión completa a 0°.
Simultáneamente con el contacto del talón con el suelo.	Empieza a flexionarse hasta que la planta del pie queda totalmente apoyada en el suelo.
Inmediatamente después de haber alcanzado la posición plana del pie.	En este momento la rodilla presenta un ángulo de 20° de flexión y comienza a extenderse.
En el apoyo medio.	La rodilla tiene un ángulo próximo de 10° de flexión y continúa extendiéndose.

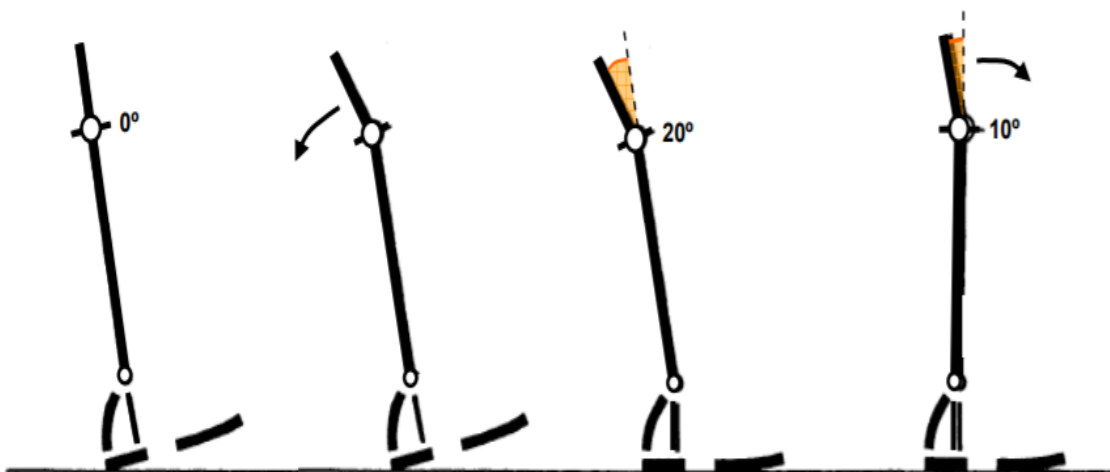


Figura 15: Estudio cinemático de la rodilla en el intervalo I de la marcha

C. La Cadera

Simultáneamente con el contacto del talón con el suelo.	Está cerca a 30° de flexión.
Inmediatamente después del contacto del talón con el suelo.	Se inicia una extensión.
En la posición del pie plano en el suelo.	El ángulo de flexión disminuye alrededor de 20°.
Entre el pie plano y el apoyo medio.	Se desplaza a su posición imparcial de 0°.

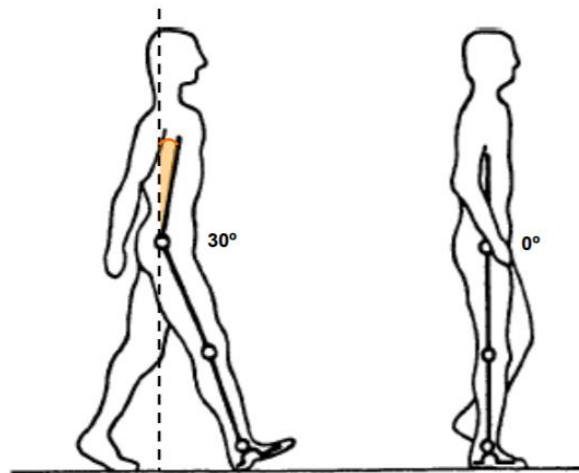


Figura 16: Estudio cinemático de la cadera en el Intervalo I de la marcha

- Intervalo II.

A. El Tobillo

En el apoyo medio	Cambia velozmente hasta alrededor de 5° de dorsiflexión.
En el momento que el talón se despega del suelo.	Se encuentra en torno a 15° de dorsiflexión.
En el intervalo de elevación del talón y el despegue del pie.	Se desplaza un rango de 30°, alcanzando los 25° en flexión plantar justo antes de producirse el despegue de los dedos del suelo.



Figura 17: Estudio cinemático del tobillo en el Intervalo II de la marcha

B. La Rodilla

En el apoyo medio.	Parte de un ángulo de 10° de flexión y continúa extendiéndose.
Inmediatamente antes de que el talón pierda contacto con el suelo.	Presenta una extensión casi completa en aproximadamente 4°.
Entre el despegue del talón y el de los dedos.	Pasa un ángulo de 40° de flexión después de llegar a una extensión casi completa.

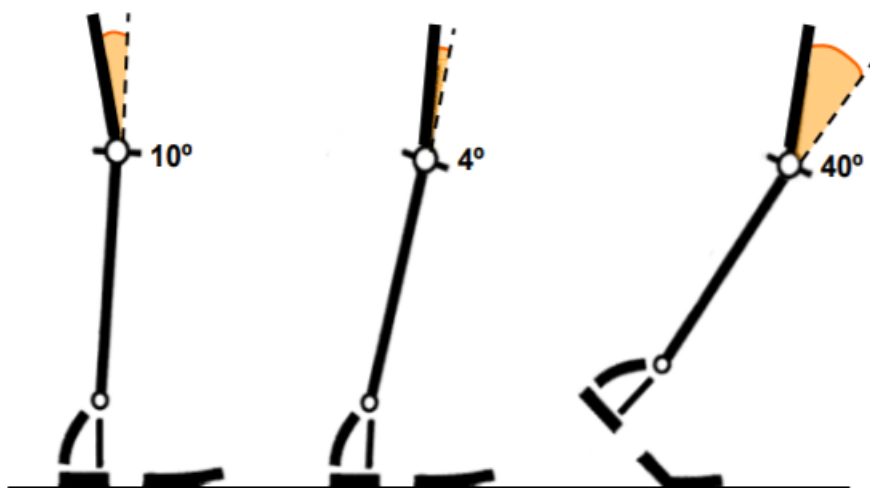


Figura 18: Estudio cinemático de la rodilla en el Intervalo II de la marcha.

C. La Cadera.

En el apoyo medio.	Tiene una posición neutra de ángulo 0° e inicia su movimiento hacia la extensión.
Inmediatamente después del despegue del talón.	En este punto hay una hiperextensión máxima de 20° .
En el momento de despegue de los dedos del suelo.	Llega aproximadamente a una posición neutra y se desplaza para la flexión.

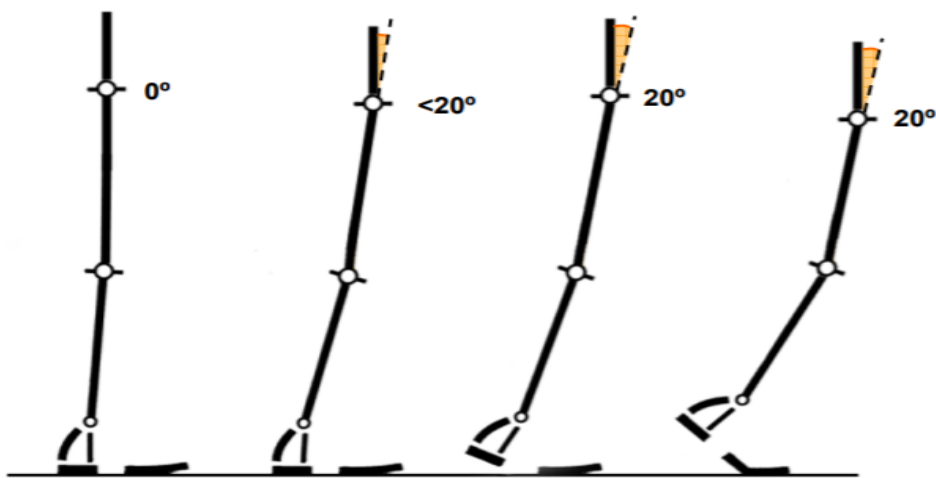


Figura 19: Estudio cinemático de la cadera en el Intervalo II de la marcha

- Intervalo III.

A. El Tobillo

Durante la fase de balanceo.	El pie pasa de su posición inicial de flexión plantar a una posición neutra a 0° , en la cual se mantiene toda esta etapa.
------------------------------	---

B. La Rodilla

Entre el despegue del pie y la parte media de la etapa de balanceo.	Parte de un ángulo de 40° hasta alcanzar un ángulo de máxima flexión próximo a 65° .
Entre la parte media de la etapa de balanceo y el contacto del talón.	Se mantiene en extensión hasta el final de la etapa de balanceo.

C. La Cadera

Durante la etapa de balanceo.	Comienza de una posición neutral, después se flexiona 30° y continua el resto de la etapa en esa misma posición.
-------------------------------	---

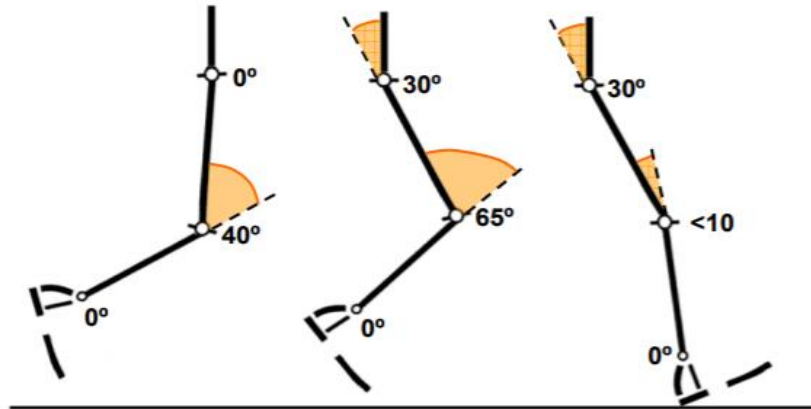


Figura 20: Estudio cinemático de las articulaciones en el Intervalo III de la marcha

Algunas técnicas que se utilizan para el análisis cinemático o de registro del movimiento son [17,18,19]:

Fotogrametría o estereofotogrametría.

En método más utilizado para analizar la marcha humana es la fotogrametría, es una técnica compleja en el que su procedimiento se fundamenta en la producción de dos o más retratos planos en diferentes posiciones y en el mismo instante de tiempo de un sujeto u objeto, a partir de las cuales se extrae información del movimiento bidimensional o tridimensional de las posiciones conocidas de cada punto o marcador de dicho sujeto u objeto. Esto se hace localizando dos puntos en cada fotografía y con una línea de visión que va desde el lugar donde está la cámara que también es conocido hasta el punto del sujeto o objeto que mediante la intersección de sus radios determina el lugar en el espacio del punto.

Con esta información se crea un modelo mecánico compuesto por puntos corporales de forma que unidos entre sí definen las diferentes dimensiones de los segmentos del cuerpo. El resultado hace posible saber la posición espacial de las articulaciones humanas en cada momento de muestreo. Además, se puede hacer un análisis cinemático más completo ya que con esos datos y mediante procedimientos matemáticos sencillos de derivación temporal, se pueden obtener las velocidades y aceleraciones lineales y angulares de cualquier punto de interés del modelo para cada instante de tiempo.

Goniometría.

El goniómetro es un instrumento de plástico o de metal compuesto por un transportador de ángulos unido por dos brazos con movilidad milimétrica de ángulo, un ejemplo de este instrumento se muestra en la figura 21. Son empleados para medir la movilidad de los ángulos articulares y su variación a lo largo de la trayectoria del movimiento durante la marcha. Se coloca coincidiendo el punto de 0° del transportador de ángulos con la articulación que se quiere medir y que une los dos segmentos donde se colocan las dos extremidades.

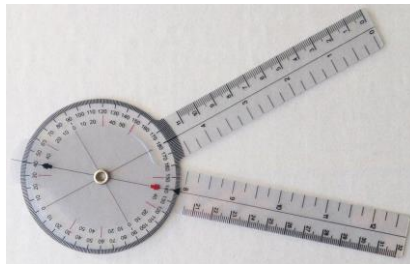


Figura 21: Goniómetro

Electrogoniometría.

En esta técnica se sitúan sobre el cuerpo del sujeto de ensayo unos electrogoniómetros, que son sistemas de medida electrónicos basados en los goniómetros y potenciómetros, que al aplicarlo sobre una articulación generan una señal eléctrica proporcional al valor del movimiento angular generado entre los dos segmentos del cuerpo humano que se miden. A continuación, se puede visualizar esta técnica en la figura 22:



Figura 22: Electrogoniometría

2.5 EXOESQUELETO

Introducción y Definición.

La palabra “exoesqueleto” proviene por una parte de *exo* que en griego significa fuera y por otro lado de esqueleto que hace referencia a la estructura del cuerpo humano.

Un exoesqueleto mecánico es una máquina o especie de estructura que es como una especie de armazón robotizado que lleva equipado una persona y sostiene al cuerpo de forma externa. Mediante un sistema de potencia de motores eléctricos o hidráulicos provee de la fuerza requerida para el movimiento de las diferentes partes del cuerpo. En la siguiente figura 23 se muestra un ejemplo:



Figura 23: Exoesqueleto

Componentes principales de un exoesqueleto

Los exoesqueletos están formados por estos componentes básicos:

- Marco

El marco de exoesqueleto debe ser fuerte y resistente, ya tiene que ser capaz de soportar el peso de la persona que lo usa, además de su propio peso y el de sus diferentes componentes. Para reducir el peso normalmente es fabricado de materiales ligeros.

- Fuente de Alimentación o Baterías

Tienen el objetivo principal de tener la máxima durabilidad de tiempo posible y poseer un sistema sencillo y rápido para su cambio. Las baterías deben ser ligeras y tener un tamaño pequeño para que el exoesqueleto no sea ni pesado ni abultado.

- **Sensores**

Estos detectan la información del movimiento que quiere realizar la persona que tiene puesto el exoesqueleto. Los sensores pueden ser manuales, como por ejemplo una palanca, o ser eléctricos, detectando los impulsos creados por la persona.

- **Controlador**

Un controlador o unidad de procesamiento es un elemento el cual procesa los datos proporcionados por los sensores y así con ellos poder controlar a los actuadores.

- **Actuadores**

Normalmente son motores hidráulicos o eléctricos que ejercen el movimiento del mismo modo que si lo hicieran los nervios, músculos y tendones.

Funcionamiento de un exoesqueleto

Los movimientos son posibles gracias a que posee un conjunto de motores que permite mover los brazos y las piernas. Además, lleva sensores biométricos reconocen los impulsos que genera el cerebro cuando detecta el movimiento que queremos hacer en ese momento. Para controlarlo todo, el exoesqueleto viene provisto de un controlador que responde a las señales que se generan, las procesa y después hace actuar al exoesqueleto de manera casi instantánea. Para que todo funcione son necesarias unas baterías que se recargan.

Aplicaciones

Los exoesqueletos se emplean principalmente para brindar soporte y apoyo a la marcha, haciendo de esta manera que todas las personas con dificultades de movimiento al andar puedan hacerlo por ellos mismos. Los exoesqueletos se pueden usar también para el ámbito profesional de la construcción, medicina, en las fábricas o incluso militar, ya que proporcionarían ayuda para levantar o mover mayor peso.

Por todo esto en un futuro los exoesqueletos serán parte del día a día de las terapias médicas como pueden ser la rehabilitación o en trabajo físico dando apoyo a trabajadores.

3. HARDWARE

En esta sección del trabajo primero se presenta una explicación teórica de cómo es la teoría de adquisición de datos y de las partes por las que está formada esta. Una vez conocido este importante concepto se define el prototipo y los componentes que se han empleado para este proyecto.

3.1 TEORÍA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso en el que mediante un PC se mide un fenómeno eléctrico o físico como pueden ser el voltaje, la temperatura, la corriente, la presión o el sonido.

Los sistemas DAQ junto a un ordenador aprovechan la productividad, la visualización y la potencia del procesamiento para proporcionar una solución de medidas más flexible, rentable y potente que otros dispositivos.

Como se muestra en la figura 24, un sistema DAQ consta de las siguientes partes [16][20]:



Figura 24: Partes de un Sistema DAQ

Sensores

Un sensor, también conocido como transductor, hace posible transformar la medida de un fenómeno físico, como poder ser la intensidad, la temperatura o fuerza, en una señal eléctrica que se puede medir. Esta señal eléctrica que sale puede ser una corriente, un voltaje, una resistencia u cualquier otra propiedad eléctrica que varíe con el tiempo, eso depende del tipo de sensor que se use.

Hardware de medidas DAQ

El hardware DAQ hace de interfaz entre las señales de un fenómeno físico y un PC. Este dispositivo hace que las señales analógicas provenientes del sensor se

digitalicen y de este modo un ordenador pueda interpretarlas. Los tres componentes más importantes de un dispositivo DAQ para medir una señal son:

- Circuito de condicionamiento de señales

Las señales obtenidas por los sensores pueden ser peligrosas para medirse directamente por este motivo el circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal mediante amplificación, atenuación, filtrado o aislamiento de tal forma que es correcta para la entrada a un ADC.

- Convertidor Analógico Digital (ADC)

Las señales analógicas de los sensores se tienen que pasar a digitales antes de poder ser usadas como un ordenador. Es lo realiza un ADC que no es más que un chip que transforma una señal digital a una señal analógica de manera muy rápida. El convertidor hace "muestras" periódicas de la señal. Estas muestras se pasan a un ordenador mediante un bus, donde la señal original es reconstruida a partir las muestras en un software.

- Bus de la PC

Estos dispositivos se conectan al ordenador a través de la ranura o puerto. Este bus sirve para pasar instrucciones y datos medidos, es decir, funciona como la interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y la PC. Los dispositivos DAQ ofrecen una gama de los buses cómo, por ejemplo: USB, PCI, PCI Express y Ethernet. Hay muchas variedades de buses y cada uno de ellos brinda diferentes ventajas dependiendo de la aplicación.

PC con software programable

Un ordenador que dispone de software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usado para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Los componentes de Software son:

- El software controlador

Permite al software de aplicación interactuar con un dispositivo DAQ. Al abstraer comandos de hardware de bajo nivel y programación resulta más simple la interacción con el dispositivo DAQ.

- -El software de aplicación

Hace posible la comunicación entre la PC y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos de medidas. En ella el usuario puede construir su propia

aplicación y realizar múltiples funciones en un entorno de programación favorable ya que dispone de unas aplicaciones preconstruidas, herramientas y comandos ya definidos.

3.2 COMPONENTES DEL HARDWARE

El hardware empleado es un sistema de medición para los ángulos del tobillo, rodilla y cadera de ambas piernas en un solo plano y es un prototipo desarrollado en el trabajo final de carrera de Antonio Hernández Díaz cuyo título es “Configuración de un banco de pruebas para la evaluación del funcionamiento de un exoesqueleto de miembros inferiores.” [2]. y perteneciente al Departamento de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica de la Universidad politécnica de Cartagena, al que se le han realizado diferentes modificaciones para mejorar sus cualidades.

Este prototipo está hecho con los componentes necesarios para obtener unas buenas prestaciones, ya que se trata de una aplicación que necesita una cierta precisión. Además, está fabricado pensando en que se pueda adaptar a diferentes personas. A continuación, en la figura 25 se muestra el prototipo para la obtención de datos:

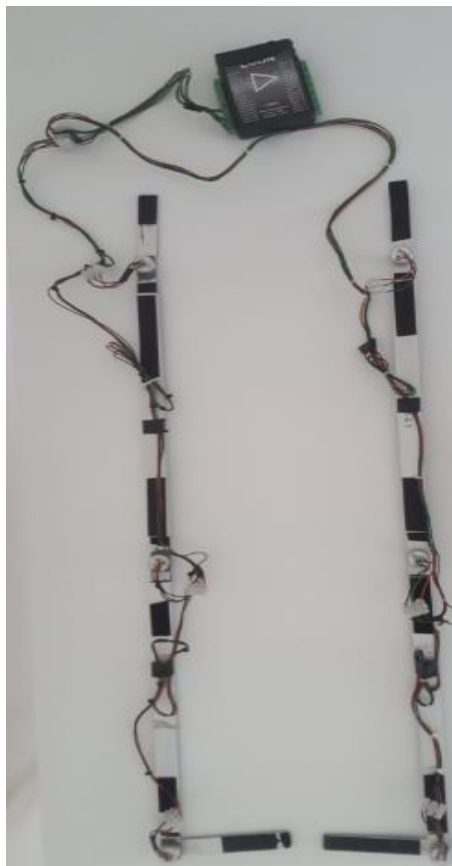


Figura 25: Prototipo para la medición de ángulos

Los componentes que usa el prototipo son los siguientes:

Estructura del prototipo

La estructura del prototipo es de aluminio y está compuesta por unas barras o segmentos planos de 2 cm de ancho junto a unos perfiles con dimensiones de 2cmx1cm en forma de U.

La unión de las diferentes barras se presenta de dos formas:

- Para la unión entre dos barras planas como se puede ver en la figura 26 está realizada con los potenciómetros y están fijos con pegamento de soldadura metálica en frío. Se ha optado por este pegamento ya que anteriormente estaban pegadas con silicona, pero estaba en mal estado, ya que algunas uniones estaban medio despegadas y podrían no estar bien fijados los potenciómetros a la barra causando resultados falsos. Este tipo de unión como se muestra en la ilustración está presente en las tres articulaciones (cadera, rodilla y tobillo).

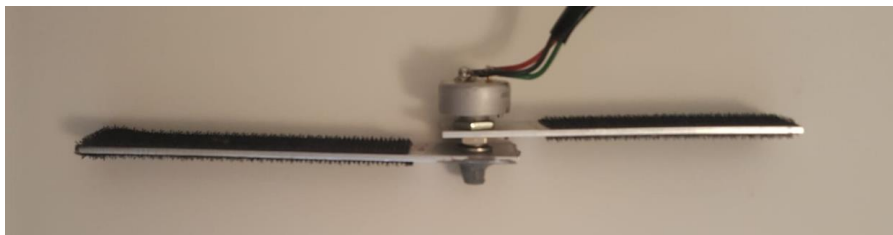


Figura 26: Unión entre dos barras planas

- Para la unión entre dos articulaciones, como se muestra en la figura 27, el prototipo emplea barras en forma de U, que se encajan con las barras planas, además tiene velcro que facilita la unión de las piezas. Este tipo de unión se utiliza dos veces en cada pierna, la primera para la unión entre una de las barras planas de la cadera con una de la rodilla y la segunda unión entre la otra barra plana de la rodilla con una del tobillo, quedando finalmente libres una barra plana en la cadera y otra en el tobillo.



Figura 27: Unión entre dos articulaciones

Esta última forma de unión permite que el prototipo se adapte a diferentes personas ya que de esa manera se puede extender o reducir el prototipo hasta la longitud de pierna necesaria de cada persona.

Correas y Cinturón

Para la sujeción de la estructura del prototipo a la pierna de la persona son necesarias unas correas o cintas de tela que rodean la pierna en 5 puntos de contacto distintos (ver figura 28) para cada pierna, dos puntos de contactos en pie (punto 1) y tercio inferior de tibia y peroné (punto 2) para sujetar el tobillo, otros dos en el tercio inferior de tibia y peroné (punto 3) y tercio inferior del fémur (punto 4) para la rodilla y por último otro en el tercio superior del fémur (punto 5) que junto a un cinturón situado a 5 cm de la articulación de la cadera sujetan el último punto que corresponde a la cadera. Estas cintas disponen de velcro en sus extremos para que se puede realizar la sujeción y son de diferentes longitudes según el punto que sujeten.

El cinturón se ha incorporado en este proyecto, ya que el elemento que usaba como cinturón el prototipo anterior y que hacía esta función no se adaptaba a todas las personas, ahora tiene un amplio rango de longitud de cadera, que va desde 60 cm hasta 140 cm. En la figura 28 se muestra el cinturón y los puntos donde se han sujetado las distintas cintas. En este cinturón se podrá unir con velcro la tarjeta y así evitar que quede colgando.

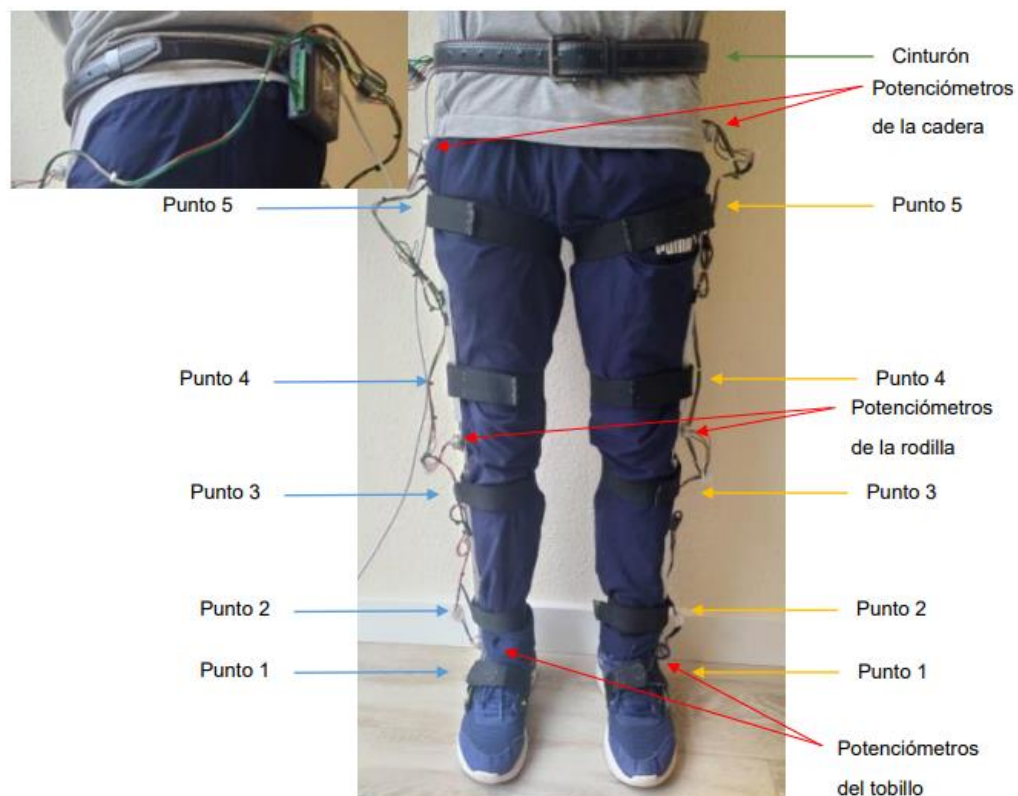


Figura 28: Potenciómetros y puntos de sujeción del prototipo

Potenciómetros

La medida del fenómeno físico en este caso de la posición de la pierna se realiza con un sensor que convierte este movimiento en una señal eléctrica que se puede medir. Los sensores usados serán potenciómetros donde su salida eléctrica será un voltaje que varía con el tiempo según posición en la que se encuentre la pierna. El valor de este voltaje variara dependiendo de la posición, obteniéndose valores entre 0 y 2,5 V.

El prototipo emplea 6 potenciómetros (en la figura 28 se muestra la disposición de los potenciómetros en el prototipo y ver la figura 29 para ver detalladamente el potenciómetro) uno para cada articulación de las dos extremidades inferiores.

Las principales características de este potenciómetro giratorio es que tiene una resistencia de 20K Ω , una tolerancia de resistencia del $\pm 20\%$ y una alta precisión ya que tiene una linealidad del $\pm 0.5\%$ para la pierna derecha y de $\pm 2.0\%$ para la pierna izquierda. También tienen una rotación de 360° para que se adapte sin limitación a las diferentes posiciones además de facilitar el transporte y almacenaje del prototipo.



Figura 29: Potenciómetro [12]

El prototipo inicial estaba formado por unos potenciómetros diferentes para pierna izquierda y otro tipo de potenciómetro para la pierna derecha. Los potenciómetros de la pierna izquierda eran giratorios, pero tenían poco rango de giro, no median del todo bien y hacia complicado plegar el prototipo para su transporte, por la limitación de movimiento.

Visto este problema con la pierna izquierda se ha modificado el prototipo inicial poniendo en la pierna izquierda tres potenciómetros con característica casi iguales a como los que había ya en la pierna derecha, que tienen mejores características. La única diferencia ahora entre las piernas del prototipo es la linealidad y que a pesar de gira casi 360° no son multivuelta. Con este cambio se ha quedado todo más uniforme y solucionado el problema de que las primeras mediciones eran erróneas.

Cables

El sistema de medida emplea dos tipos de cables:

- Cables para la conexión entre la tarjeta y potenciómetros.

Mediante cables se conectan los potenciómetros a la tarjeta de adquisición de datos. A cada potenciómetro están soldados tres cables mediante una soldadura de estaño, como se puede apreciar en la siguiente figura 31:

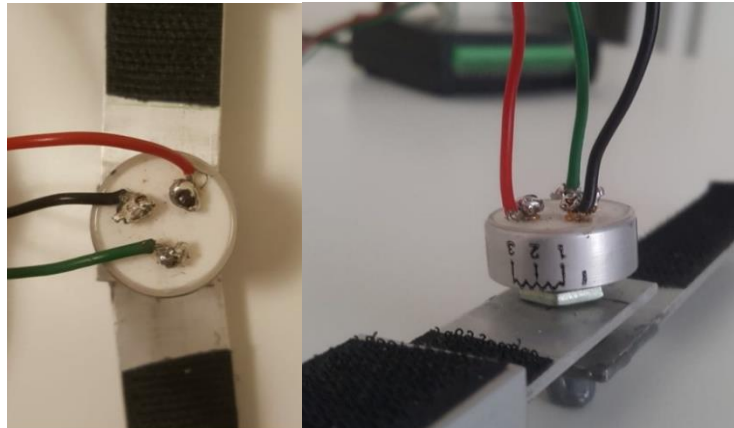


Figura 31: Cableado de los potenciómetros

De cada potenciómetro se obtiene un voltaje de salida perteneciente a la posición en la que se encuentre cada una de las 6 articulaciones que se desean medir. Este voltaje de salida del potenciómetro se conecta directamente a la tarjeta de adquisición con un cable (verde). Los cables para el voltaje de entrada (rojo) y la masa (negro) son común para todos los potenciómetros. Para las conexiones entre los diferentes cables se emplean regletas y para la conexión con la tarjeta se hacen el terminal de tornillos de caja.

- Cable bus USB para la conexión de la tarjeta con el PC.

Se ha utilizado un cable USB de 5 m de largo para conectar el ordenador con el dispositivo de adquisición de datos o, en su defecto, el sujeto tendría que portar distancias largas con una mochila o con los equipos electrónicos de alimentación del ordenador. De este modo no se dificulta la normal ejecución de los movimientos en el estudio.

Las salidas de tensión obtenida por los sensores se conectan directamente al terminal de tornillo de la siguiente manera:

- -A la entrada 0 se conecta el potenciómetro correspondiente a la cadera de la pierna derecha.

- -A la entrada 1 se conecta el potenciómetro correspondiente a la rodilla de la pierna derecha.
- -A la entrada 2 se conecta el potenciómetro correspondiente a el tobillo de la pierna derecha.
- -A la entrada 3 se conecta el potenciómetro correspondiente a la cadera de la pierna izquierda.
- -A la entrada 4 se conecta el potenciómetro correspondiente a la rodilla de la pierna izquierda.
- -A la entrada 5 se conecta el potenciómetro correspondiente a el tobillo de la pierna izquierda.

La arquitectura hardware resultante se muestra en la figura 32:



Figura 32: Arquitectura de la adquisición de datos

En esta figura 32 se ve de manera global todos los componentes, excepto las correas y cinturón, donde se indican las conexiones de los diferentes cables desde los potenciómetros hasta la tarjeta. Los círculos azules representan la unión de los cables mediante el uso de regletas. También se ve la conexión a través de USB entre la tarjeta y el ordenador, este ordenador ira provisto con el software y programación necesaria.

La disposición en la que el queda puesto el prototipo con las correas y cinturón en una persona es importante, por eso a continuación se muestra en la figura33 un ejemplo de ello, quedando de la siguiente manera:

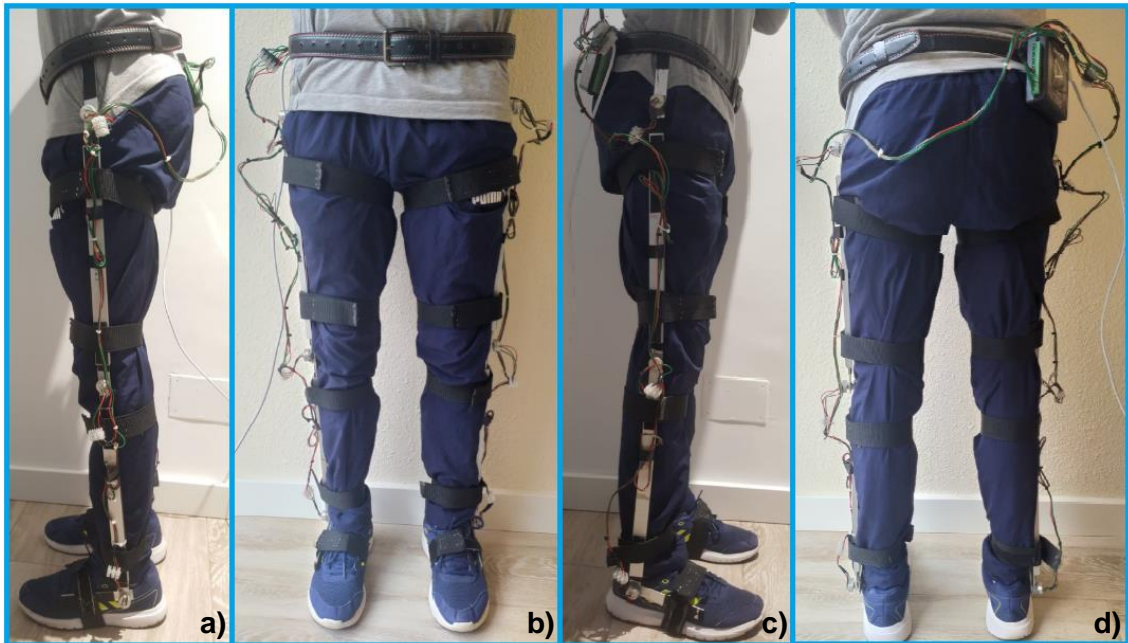


Figura 33: a) Cara Lateral Izquierdo. b) Cara Anterior. c) Cara Lateral Derecho. d) Cara Posterior

En la figura 33, se puede ver una demostración como resulta la colocación del sistema de medidas en un sujeto, donde a) y c) muestran la pierna izquierda y la pierna derecha respectivamente, en b) se ve desde un plano frontal como es la disposición en general de los diferentes elementos y por último en d) se cómo queda por detrás, donde se ve la localización y cómo está colocada con velcro la tarjeta de adquisición de datos y el cinturón.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS

En este apartado se describe el instrumental y la metodología básicos para realizar los estudios cinemáticos. Para ello se han realizado tres escenarios diferentes con distinto propósito que se tienen que seguir con todos los pasos y condiciones que se describen en esta sección.

Para que todas las pruebas sean lo más parecidas posibles es necesario establecer unas condiciones iniciales que serán común en los tres escenarios planteados que se realizarán. Para ello es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones o factores, estos son: tomar medidas de la persona a la que se le va a realizar la prueba, poner el prototipo a la medida de la persona y colocárselo, comprobando que quede bien sujeto a esta, seguir las órdenes a ejecutar que corresponden a las diferentes pruebas y preparar la configuración en el ordenador para la prueba. Una vez realizado estas configuraciones iniciales se pueden llevar a cabo las diferentes pruebas. Además, cada uno de estos escenarios se repite dos veces, que serán el ensayo 1 y el ensayo 2, con el fin de obtener más información y datos del sujeto para un mismo escenario.

Las ordenes o pautas a seguir a lo largo de la prueba se irán escuchando por el altavoz del ordenador con una voz grabada que ira dando órdenes a lo largo de la prueba.

Durante la realización de la prueba el sujeto siempre la hará con movimientos a una velocidad normal, además podrá realizar largos desplazamientos gracias al cable de 5 metros USB que va conectado al hardware DAQ del prototipo con el ordenador.

A cada sujeto de le realiza un cuestionario para saber sus características. Para el sujeto 1 y 2 estas son sus características:

Sujeto	1	2
Edad (años)	23	29
Género	Masculino	Femenino
Altura (cm)	172	160
Peso (Kg)	65	62
Perímetro cintura(cm)	83	70
Tipo de Calzado	Zapatilla de deporte	zapatilla de deporte
Longitud pierna (cm)	92	80
Longitud entre cadera y rodilla (cm)	42	40
Longitud pie (cm)	26	23

Se necesitan una serie de materiales para la realización de las pruebas, estos son:

- El prototipo.
- Un ordenador con el software y código necesario.
- Una cinta métrica, para realizar las mediciones.
- Un cable USB largo de 5 m.
- Una silla de 43 cm de alto.

A continuación, se describen los tres escenarios que se realizan a cada sujeto:

4.1 ESCENARIO 1 (SENTARSE Y LEVANTARSE)

El primer escenario que se hace es el más simple ya que consiste en que una persona se sienta en una silla y a continuación se vuelva poner de pie. Para esta prueba también es necesario una silla, además de las condiciones iniciales anteriormente descrita.

Hecho todo esto se puede proceder a la prueba siguiendo los siguientes pasos:

Inicio

- Primero se posiciona la persona de pie, recto y con los pies con una separación normal delante de una silla, con una distancia entre la silla y la persona de 10 cm, esperando a la señal de inicio.
- Después de la señal se sentarse la persona se sienta en la silla a una velocidad normal.
- Una vez sentado, se queda en esa posición unos instantes hasta la nueva orden.
- Por último, transcurridos esos segundos la persona recibe la señal de levantarse y se levanta de la silla, quedando de pie como en la posición inicial de la prueba.
- Esta secuencia se repite 5 veces, hasta que se da la señal de fin.

Fin

4.2 ESCENARIO 2 (ANDAR)

En este segundo escenario se tomarán los datos de la marcha normal de una persona. Con la configuración inicial realizada, se hace la prueba donde el sujeto comienza a andar a una velocidad normal hasta dar siete pasos (donde cinco son completos y el primero y último no) y se detiene. Estos pasos serán guiados por un sonido, en el que cada pitido corresponde a un apoyo del pie, en total son catorce sumandos las dos piernas. Se han realizado siete pasos para obtener cinco muestras

buenas de cada ensayo, ya que se desecha el primer y último paso por ser medios pasos y no ser completos. Este segundo escenario consta de los siguientes pasos:

Inicio

- Primero se posiciona la persona de pie, recto y con los pies con una separación normal, esperando durante tres segundos a la señal de inicio.
- Después de la señal la persona empieza a andar hasta dar siete pasos en línea recta a una velocidad normal:
- El primer paso se da con la pierna derecha y será de medio ciclo.
- Los siguientes 5 pasos serán completos
- El último paso se hace con la pierna izquierda y será de medio ciclo ya que la prueba termina con las dos piernas a la misma altura como en la posición inicial de la prueba.
- Por último, la persona se queda de pie como en la posición inicial de la prueba durante unos segundos.

Fin

4.3 ESCENARIO 3 (PASO INICIO Y PASO FIN)

En este último escenario se trata de reproducir el inicio y fin de la marcha partiendo y terminado en una posición de bipedestación. El objetivo por tanto de esta prueba es conseguir el instante de como comienza el primer paso para caminar una persona que está de pie y completamente recta con ambos pies a la misma altura y ver también como es el último paso antes de dejar de andar para volver a quedar como en la posición anterior. Para este último escenario el sujeto tiene que hacer esta secuencia cinco veces:

Inicio

- Primero se posiciona la persona de pie, recto y con los pies con una separación normal, esperando durante tres segundos a la señal de inicio.
- Después de la señal la persona empieza a andar con la pierna derecha hasta dar medio paso en línea recta a una velocidad normal.
- Seguidamente se mueve la pierna izquierda dando medio paso y colocándose junto al pie derecho a la misma altura.
- Por último, la persona se queda de pie como en la posición inicial de la prueba durante un segundo.

Fin

4. Descripción de los escenarios

5. SOFTWARE Y DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN EN MATLAB

5.1 SOFTWARE

Hay muchas opciones de software disponibles para el desarrollo de aplicaciones desde aplicaciones listas para medir hasta entornos de programación. Para este proyecto se ha necesitado instalar varias aplicaciones informáticas que según sus características eran las más adecuadas por las funciones que ofrecían. Se optado principalmente por Matlab ya que ofrece las herramientas necesarias y es un software que está disponible para su uso con un módulo ECON series, como es el caso de la tarjeta que emplea el prototipo, de modo que con la unión de estos dos componentes se puede acceder a las potentes capacidades de visualización y análisis de datos.

Para la realización del proyecto se ha necesitado hacer uso de las siguientes aplicaciones informáticas:

QuickDAQ

Es una aplicación de registro de datos gratuita proporcionada por la marca que permite un funcionamiento rápido y efectuar medidas instantáneas de los diferentes canales de la tarjeta. Al instalar este software y al conectar el cable al USB del ordenador, éste reconocerá el hardware y terminará su instalación.

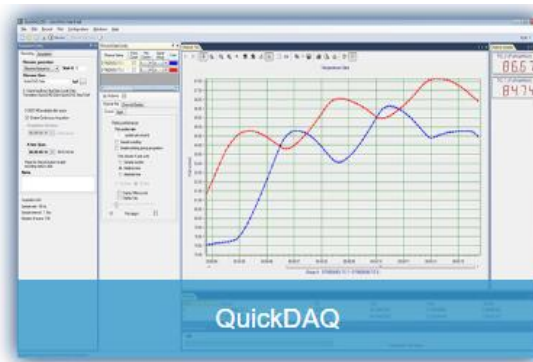


Figura 34: QuickDAQ

El software de registro de datos QuickDAQ (ver figura 34) permite la adquisición de datos (DAQ) la visualización de los datos directamente de forma rápida y fácil con poca configuración. Combinando el software QuickDAQ con el hardware de traducción de datos (Data Translation) se puede adquirir datos, mostrar los resultados en un, leer un archivo de datos grabados y exportar datos a aplicaciones de terceros para un

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

análisis más avanzado. Aunque este software solo se usó al principio a modo de aprendizaje y comprobaciones, por lo que solo ha servido para los drivers de la tarjeta DT9812 que se instalan con este software.

MATLAB: MATLAB con “Data Acquisition Toolbox” y “DAQ Adaptor for MATLAB”

MATLAB es un entorno de software favorable para adquisición y análisis de datos (DAQ) y desarrollo de aplicaciones (ver figura 35). Esto es debido a que se pueden aumentar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes), que proporcionan un conjunto de funciones para facilitar el procesamiento de señales.

La gran capacidad que tiene Matlab permite al usuario crear aplicaciones adaptadas por el mismo, además de ofrecer la posibilidad de aumentar y modificar el lenguaje, con la mediante la utilización de ficheros de script y funciones.m.

Otros motivos para usar Matlab son sus buenas prestaciones para análisis numérico, cálculo matricial, visualización de gráficos, procesamiento de señales y aplicaciones de procesamiento de señales.

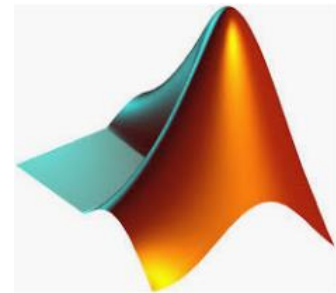


Figura 35: Logotipo de MATLAB

Para adquirir los datos que proporciona la tarjeta de adquisición de datos para su posterior tratamiento hasta llegar a obtener las gráficas con el resultado deseado es necesario hacer una serie de instalaciones y desarrollar un código en Matlab que lo permita. Al instalar “Data Acquisition Toolbox” nos permite usar una serie de comandos desarrollados en Matlab, estos comandos están ya configurados para poder usarlo con nuestra tarjeta de adquisición de datos ya que es compatible con Matlab que detecta la marca y dispositivo que se ha conectado al ordenador por USB.

Para poder usar “Data Acquisition Toolbox” se tiene que instalar también “DAQ Adaptor for MATLAB” que es una interfaz entre “MATLAB Data Acquisition Toolbox” y la arquitectura DT-Open Layers de los dispositivos con Data Translation.

DAQ Adaptador para MATLAB de The MathWorks es un entorno de software y lenguaje de programación utilizado para adquisición de datos, análisis de datos, automatización de mediciones y desarrollo de aplicaciones (ver figura 36).

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

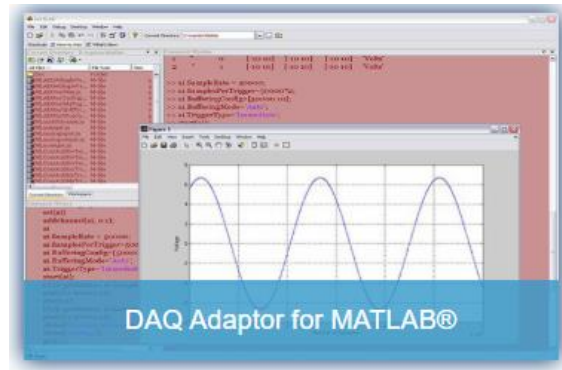


Figura 36: DAQ Adaptador para MATLAB

Las propiedades de DAQ Adaptador para MATLAB son:

- Interfaz fácil para todas las placas USB.
- Acceso a datos medidos en vivo directamente desde MATLAB.
- Admite entradas analógicas, salidas analógicas y capacidades de E / S digitales
- Entorno único para adquisición, análisis y visualización.

El código necesario ha sido realizado en m-files y no se ha usado el Simulink de Matlab ya que sólo dispone de bloques para unos pocos modelos de tarjetas y la nuestra no se encuentra entre ellas.

La simulación en 3D también se ha hecho en Matlab ya que ofrecía un entorno favorable para ver los resultados en una interfaz gráfica y por otro lado era más cómodo ya que en el ya estaban guardados todos los datos que se simulan. Otros programas usados han sido editores de texto como Word, así como editores de imágenes como Paint.

En resumen, el software principal que se ha usado es: MATLAB, DAQ Adaptor for MATLAB, Data Acquisition Toolbox y el software QuickDAQ que proporciona el fabricante para la instalación de los drivers de la tarjeta DT9812.

Todo lo instalado es soportado por un ordenador portátil con el sistema operativo de Microsoft Windows 10 Home con la Versión 10.0.

Las versiones del software instalado son:

- MATLAB con la Versión: 9.6 (R2019a) nos ofrece compatibilidad con dispositivo de adquisición de datos y permite crear interfaces gráficas de una forma más fácil.
- Data Acquisition Toolbox usando la Versión 4.0
- QuickDAQ con la Versión 3.7.0.46 Standard Edition

5.2 DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN EN MATLAB

Una vez obtenida toda la información, con todo el hardware y software necesarios y los tres escenarios a realizar definidos ya se puede proceder a el desarrollo del programa que va desde la configuración de la tarjeta hasta procesar esos datos para conseguir un resultado final del patrón de la marcha.

Primero se configura la tarjeta para poder realizar el muestreo y extraer los datos. Una vez obtenidos los datos de las pruebas hace falta procesarlos para obtener el resultado que se busca, por lo que ahora es necesario conseguir que los datos brutos en voltaje que se obtienen del hardware sean filtrados y pasarlos a ángulos. A continuación, cada ensayo se dividira en las cinco secuencias que se repite y estas se normalizan para que todas estas repeticiones tenga el mismo número de muestras. Esto hay que hacerlo en todos los ensayos y pruebas. Como este proceso se realiza en los dos ensayos realizados se tienen en total diez repeticiones del sujeto para cada uno de los escenarios. Con estas diez secuencias que se repiten se hace una media y se obtiene el resultado final de la prueba con los movimientos para ese sujeto.

Para llevar a cabo todo eso, se ha tomado como referencia para la programación el trabajo final de carrera de Antonio Hernández Díaz cuyo título es “Configuración de un banco de pruebas para la evaluación del funcionamiento de un exoesqueleto de miembros inferiores.” [2]. Aunque la versión de la toolbox era anterior y se ha renovado a la actual por lo que se han realizado los cambios necesarios utilizando los nuevos comandos, además de efectuarse modificaciones en el código y añadido toda programación nueva para el propósito de este proyecto.

El desarrollo de toda la programación se ha llevado a cabo en Matlab mediante el uso de script y funciones, que se detallan a continuación.

5.2.1 CONFIGURACIÓN INICIAL DE LA TARJETA EN MATLAB

En primer lugar, para poder desarrollar un código en Matlab que permita adquirir los datos que proporciona el dispositivo de adquisición de datos para su posterior tratamiento hasta llegar a obtener las gráficas con el resultado deseado es necesario hacer unas configuraciones iniciales para así poder usar y controlar la tarjeta de adquisición de datos.

Esto será posible gracias a que al instalar Matlab toolbox nos permite usar una serie de comandos en Matlab, estos comandos o funciones están ya configurados para poder usarlos con nuestra tarjeta de adquisición de datos ya que Matlab detecta la marca y dispositivo que sé que ha conectado al ordenado por USB.

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

Vamos a ver las funciones principales que presenta toolbox de Matlab necesarias para la configuración inicial de la tarjeta de adquisición de datos, estas funciones serán para la programación y configuración de la tarjeta de adquisición de datos.

A continuación, se muestra cómo crear una sesión, buscar y conectarse al dispositivo específicos, agregar canales a la sesión y usar la sesión para adquirir y generar datos. También se puede configurar las propiedades de sesión y canal necesarias para la operación. Por eso para empezar, es necesario crear una sesión de adquisición de datos, la identificación de hardware y configuración de sesión siguiendo estos cuatro pasos:

Paso 1 Crear una sesión de adquisición de datos.

Para poder utilizar la tarjeta de adquisición hay que crear un objeto de sesión usando *daq.createSession*. La sesión de adquisición de datos permite las operaciones de adquisición.

daq.createSession - Crear una sesión de daq para hardware de un proveedor específico.

```
s=daq.createSession('dt');
```

La sesión de adquisición de datos, especificada como un objeto de sesión se ha nombrado como "s".

También es útil conocer la función *daq.reset* para poder restablecer la tarjeta por si hay algún problema en la detección de las entradas en la tarjeta o se realiza alguna modificación en la sesión.

daq.reset - Reinicializa el dispositivo y sesión de adquisición de datos.

En el momento que se conecta la tarjeta se le relaciona un identificador de dispositivo. En este caso se define un dispositivo objeto de entrada analógica con una tarjeta de Data Translation con un identificador de dispositivo igual a 3.

Esta numeración y descubrimiento de los dispositivos hardware se realiza utilizando los comandos:

daq.getDevices - Muestra los dispositivos de adquisición de datos disponibles

daq.getVendors - Mostrar proveedores de adquisición de datos habilitados para ese ordenador y MATLAB.

Paso 2 Configurar las propiedades de la sesión.

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

Se pueden indicar las propiedades para ajustar la captura de datos a nuestras necesidades. En principio la propiedad básica que interesa ajustar es la frecuencia de muestreo. Se pueden establecer propiedades de sesión y canal como:

Rate: Velocidad de operaciones, en escaneos por segundo.

DurationInSeconds: tiempo que debe transcurrir la operación, en segundos.

NumberOfScans: número de exploraciones que la operación debe ejecutar.

Channels: matriz de todos los canales asociados con una sesión.

Aunque finalmente no se ha configurado ninguna propiedad de sesión ya que no eran del todo precisas y no se ajustaba bien a la forma de programación que se necesitaba para guiar con sonido las pruebas. Por estos motivos para saber cuál es el auténtico valor de la frecuencia de muestreo que se ha empleado se ha optado por indicar un número de muestras a registrar y contar el tiempo en segundos que tarda cada prueba, que dependerá del tiempo que tarde en registrarse el número de muestras indicado para cada una de los diferentes escenarios.

Paso 3 Agregar canales a la sesión y cambiar las propiedades del canal.

Una vez que se ha creado un objeto de sesión, se pueden agregar canales utilizando las funciones `addAnalogInputChannel`, `addAnalogOutputChannel`, `addCounterInputChannel` y `addCounterOutputChannel`.

Pero para este trabajo solo interesa:

addAnalogInputChannel: agrega un canal de entrada analógica a la sesión, en ella se hace referencia al dispositivo objeto creado anteriormente.

Con este comando podemos añadir a la tarjeta los 6 canales de entrada analógica que provienen de los sensores de las 6 articulaciones que se desean medir. Para este propósito hay que indicar que articulación está conectada a cada entrada físicas de la tarjeta. Los 6 canales de entrada analógica agregadas son:

- La Cadera de la Pierna Derecha pertenece al canal 0 de entrada analógica de la tarjeta.
- La Rodilla de la Pierna Derecha pertenece al canal 1 de entrada analógica de la tarjeta.
- El tobillo de la Pierna Derecha pertenece al canal 2 de entrada analógica de la tarjeta.

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

- La Cadera de la Pierna Izquierda pertenece al canal 3 de entrada analógica de la tarjeta.
- La Rodilla de la Pierna Izquierda pertenece al canal 4 de entrada analógica de la tarjeta.
- El tobillo de la Pierna Izquierda pertenece al canal 5 de entrada analógica de la tarjeta.

Para agregar un canal de entrada analógica a la sesión y cambiar las propiedades del canal, hay que indicar el dispositivo 'DT9812(00)', revelar la ubicación física del canal '0', '1', '2', '3', '4', '5' y el tipo de medición del canal especificado 'Voltage'.

```
ai0=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '0', 'Voltage');  
ai1=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '1', 'Voltage');  
ai2=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '2', 'Voltage');  
ai3=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '3', 'Voltage');  
ai4=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '4', 'Voltage');  
ai5=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '5', 'Voltage');
```

Paso 4 Usar la sesión para adquirir datos de la sesión creada.

Para adquirir y generar datos usando la sesión se ha empleado otra función de MATLAB como es *inputSingleScan* que sirve para realizar una operación bajo demanda para la adquisición de datos utilizando:

inputSingleScan: adquiere inmediatamente un solo escaneo en todos los canales de entrada configurados en la sesión

```
s.inputSingleScan();
```

En definitiva, con esta función es posible capturar en cada momento los valores de voltaje que hay en las 6 entradas configuradas. Para ello hay que desarrollar el código necesario para adquirir los datos analógicos por los canales de la tarjeta para cada prueba.

Había otros comandos que permitían realizar la obtención de datos, pero esta es la más adecuada para poder realizar las pruebas de forma guiada con sonidos.

El script usado para configuración inicial ha sido: Configuración_Inicial.m y se puede ver en el Anexo 9.1.

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

Dando como resultado en la ventana de comando de matlab el siguiente resultado

```
device =

dt: Data Translation DT9812 (Device ID:| 'DT9812(00)')
  Analog input subsystem supports:
    4 ranges supported
    Rates from 30.0 to 50000.0 scans/sec
    8 channels ('0' - '7')
    'Voltage' measurement type

  Analog output subsystem supports:
    -10 to +10 Volts range
    Rates from 30.0 to 50000.0 scans/sec
    2 channels ('0','1')
    'Voltage' measurement type

  Digital subsystem supports:
    8 channels ('port0/line0' - 'port0/line7')
    'InputOnly','OutputOnly' measurement types

vendor =

Number of vendors: 3

index ID Operational Comment
-----
1 ni false Click here for more info
2 mcc false Click here for more info
3 dt true Data Translation

s =

Data acquisition session using Data Translation hardware:
Number of channels: 6
  index Type Device Channel MeasurementType Range Name
  -----
1 ai DT9812(00) 0 Voltage (SingleEnd) -10 to +10 Volts
2 ai DT9812(00) 1 Voltage (SingleEnd) -10 to +10 Volts
3 ai DT9812(00) 2 Voltage (SingleEnd) -10 to +10 Volts
4 ai DT9812(00) 3 Voltage (SingleEnd) -10 to +10 Volts
5 ai DT9812(00) 4 Voltage (SingleEnd) -10 to +10 Volts
6 ai DT9812(00) 5 Voltage (SingleEnd) -10 to +10 Volts
```

Donde se muestra el dispositivo que se ha conectado al ordenador y que ha detectado matlab y también sus características. A continuación, se indica el proveedor que se puede utilizar con ese ordenador y matlab, en este caso para tarjeta de Data Translation con el número 3 como se indicó anteriormente en el paso 1. Por último, se ve el objeto de la sesión “s” con las 6 entradas analógicas configuradas.

5.2.2 CALIBRACIÓN

Antes de empezar a tomar datos es necesario hacer una calibración de los potenciómetros para saber el valor en voltaje que van a tener cada uno de ellos en cada momento del movimiento. El método utilizado para calibrar los potenciómetros ha sido situar el prototipo en posiciones cuyas coordenadas se conocen previamente. Para este propósito es necesario poner el prototipo en dos posiciones diferentes, en este caso se ha determinado una posición de referencia 0° como la de la figura 38 y otra posición de referencia a 90° como la de la figura 37, donde se obtendrá dos valores de voltaje y de esta forma poder posteriormente interpolar entre esos valores y transformarlo al valor de ángulo medido en grados que hay en cada instante en función del voltaje que da la entrada analógica. Se ha optado por realizar una interpolación ya que se provo con una regresión lineal pero no se ajusta bien.



Figura 38: Posición de referencia 0°

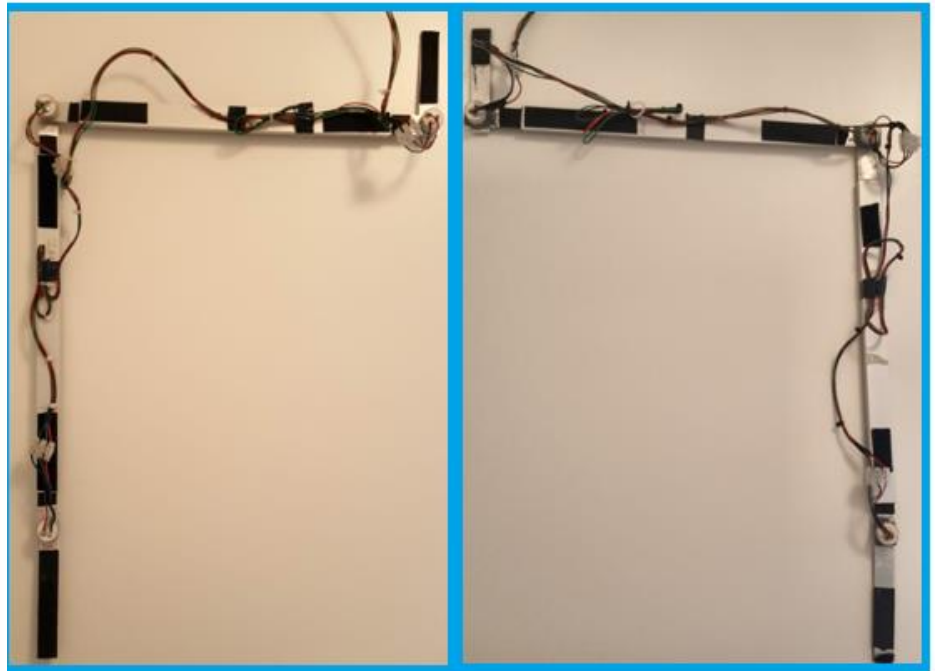


Figura 37: Posición de referencia 90°

Con estas referencias se han tomado, se generan ángulos positivos cuando la cadera (tronco respecto al segmento del fémur) gira en sentido antihorario y la rodilla (fémur respecto al segmento de la tibia y peroné) y tobillo (tibia y peroné respecto al

segmento del pie) cuando giran en sentido horario. Para ángulos negativos cuando se mueven en sentido contrario al que se acaba de describir.

La calibración se ha hecho de la siguiente manera:

Una vez la configuración ha sido definida, se capturan datos desde los 6 potenciómetros con el conocimiento previo de la ubicación de cada barra.

En una variable `calib0grados` se guardan los valores de datos adquiridos para la posición de referencia 0° y otra variable `calib90grados` para la posición de referencia 90°, ambas devuelven como resultado una matriz de 1500-por-6, donde 1500 es el número de escaneos adquiridos, y 6 es el número de canales de entrada en la sesión.

Con los datos capturados se realiza la media de los 6 canales con las 1500 muestras para obtener un valor de referencia para cada posición y se guardan en `media0grados` y `media90grados`, estos valores permiten hacer la transformación de los datos obtenidos en voltaje a ángulos medios en grados mediante una interpolación.

En este caso los valores medios en voltaje para cada articulación y ángulo son:

	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)
Ángulo	Der Cad	Der Rod	Der Tob	Izq Cad	Izq Rod	Izq Tob
0°	2.096	2.305	1.292	0.9041	1.915	1.081
90°	1.449	1.652	1.910	1.900	1.015	2.024

El script usado para la calibración ha sido: `Calibracion.m` y se puede ver en el Anexo 9.2.

5.2.3 GRABACIÓN DE SONIDO

Para guiar la realización de las pruebas se han grabado con voz una serie de instrucciones que se reproducirán a lo largo del muestreo de la prueba dando en cada momento la orden a realizar.

El script usado para grabar las distintas instrucciones ha sido. `Grabar_Sonido.m` y se puede ver en el Anexo 9.3.

Este script muestra la grabación de espere 3 segundos, para las distintas grabaciones se ha cambiado la última línea que corresponde al nombre con el que han sido guardadas el resto de las grabaciones. Las grabaciones y sonidos son:

`Sonido_de_espere3seg` → " Espere 3 segundos "

`Sonido_de_inicio` → " 3, 2, 1 Ya "

Sonido_de_fin → "Fin"
Sonido_de_sientate → " Siéntate "
Sonido_de_levantate → " Levántate "

5.2.4 PRUEBAS (MUESTREO, FILTRADO Y TRANSFORMACIÓN A ÁNGULOS)

Después de hacer la configuración inicial, el calibrado de los sensores y guardados todos los sonidos ya es el momento de realizar pruebas siguiendo todas las indicaciones descritas en los distintos escenarios para obtener los datos de forma correcta y homogénea.

Se usa un script para realizar el muestreo de las 3 pruebas, así como para filtrar los datos brutos en voltaje que se obtienen de los sensores y conseguir una mejor señal. También se hace la transformación de los datos ya filtrados de voltaje a ángulos en unidad de grados.

El script completo usado para el muestro de las pruebas ha sido: Muestreo.m y se puede ver en el Anexo 9.4. El código script se puede dividir en varias partes, donde todas son comunes para los tres escenarios, excepto el muestreo que es diferente para cada prueba.

- **Muestreo de las pruebas**

Ahora se desarrolla un código en Matlab que permita adquirir los datos que proporciona las 6 entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos y visualizarlos correctamente con respecto al número de muestras.

El proceso de muestreo sigue la misma idea en las tres pruebas, pero no son iguales, por eso antes de ejecutar el script será necesario comentar el código de las dos pruebas restantes, el principal cambio en que varían son los sonidos en las indicaciones, que sirven para la realización de cada prueba y estas sean lo más parecida a posible para todos los sujetos. También las muestras para cada prueba cambian ya que cada una tiene diferentes instrucciones y duración según se tengan que muestrear más o menos datos. El número de muestras que se ha determinado de manera que dé tiempo a que se visualicen bien varios ciclos de señal. Resultando estas muestras y tiempo que tarda el muestreo para cara escenario:

Escenario	Nº de Muestras	Tiempo (Seg)
1	6500	56
2	2400	20,5
3	3500	30

La frecuencia de muestreo se obtiene de dividir el número de muestras entre el tiempo que ha durado el muestreo, en este caso ha sido 116,66 Hz.

- **Filtrado**

Una vez que se obtienen los datos necesarios se ve como estos datos que han capturado directamente tiene gran cantidad de ruido y eso hay que eliminarlo. Para esa intención hay que elegir alguna opción para el suavizado de las señales y conseguir una mejora en la relación señal/ruido.

Para solucionar este problema se ha utilizado un filtro de paso bajo, en concreto el filtro de la media. Es un filtro simple, intuitivo y fácil de implementar para suavizar la señal, es decir, reducir la cantidad de variaciones de voltaje entre datos vecinos. Este filtro funciona de la siguiente manera: se visitan los datos cercanos y asigna al dato central la media de todos los datos incluidos en las proximidades. En este caso se han tomado los 16 datos próximo y el resultado de esa suma se ha dividido entre 16 que es el número total de elementos que se quieren filtrar.

La parte del script correspondiente a la transformación de voltaje a ángulos es:

```
fprintf('\n Inicio Filtrado.. \n');
Trayectorial=datal;
TrayectoriaFilt=datal;
    ii=17;
    for ii=17:samples
        filtro=[0, 0, 0, 0, 0, 0];
        for iii=1:16
            filtro= filtro+datal(ii-iii,1:6);
        end
        TrayectoriaFilt(ii,1:6)=filtro/16;
    end
fprintf('\n Fin Filtrado \n');
% End Filtrado
```

Por ejemplo, para uno de los ensayos del sujeto 1 en el escenario 2 de andar el resultado de un filtrado sería:

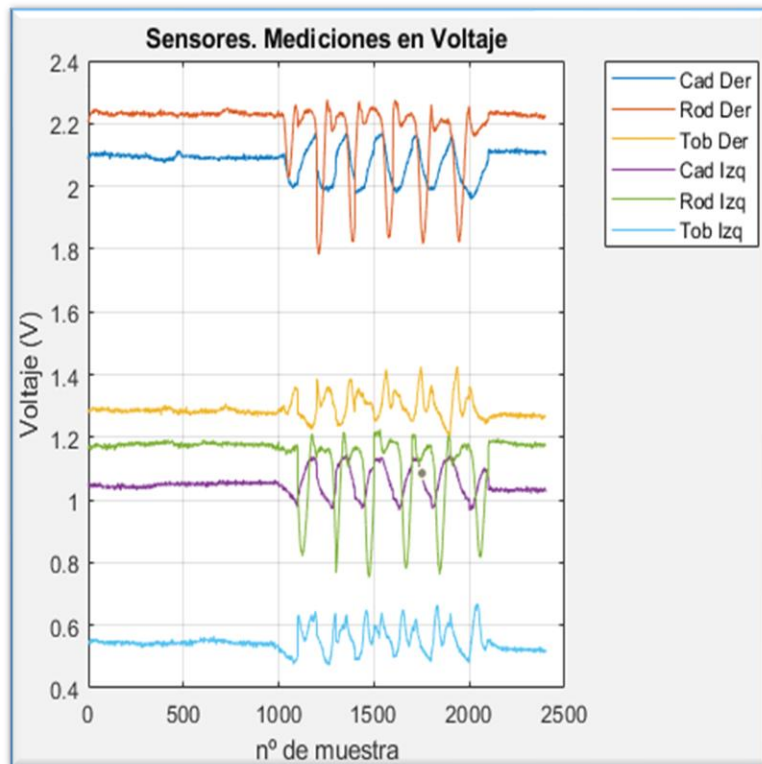


Figura 39: Ejemplo de Voltaje Sin Filtrado

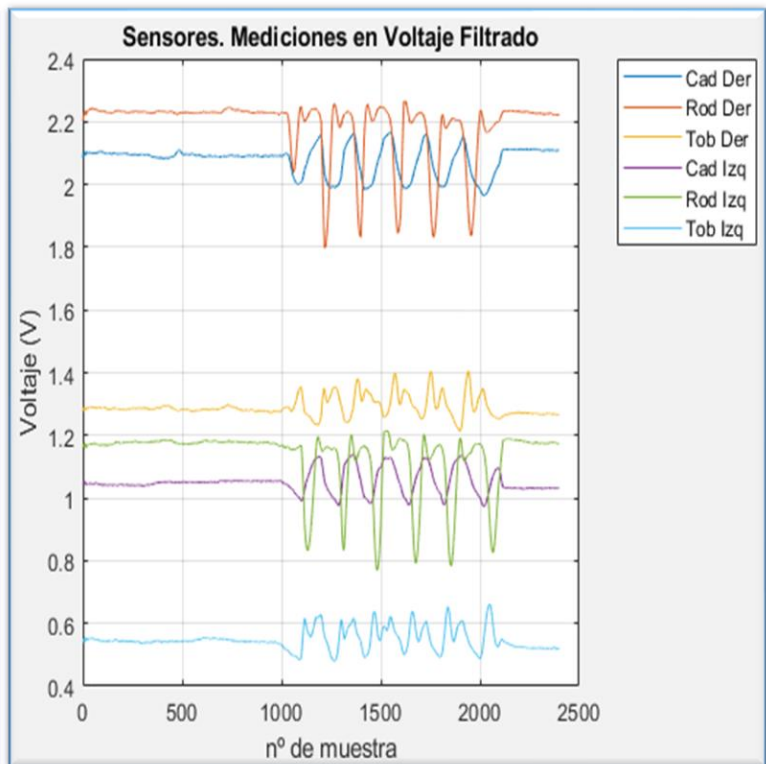


Figura 40: Ejemplo de Voltaje Filtrado.

Se puede ver como en la figura 40 se ha suavizado la señal eliminado el ruido y resultando una señal más clara con respecto a la figura 39.

- **Transformación de voltaje a ángulos**

Después de tener los datos de voltaje filtrado hace falta tratar estos datos para pasar la unidad en la que nos interesa trabajar, por eso mediante una interpolación se realiza la transformación de los datos filtrados que están en voltios a ángulos en unidad de grados.

Para ello primero se cargan los datos de referencia que se obtuvieron de la calibración, después en la variable tensión se copian los resultados del filtrado y en la variable Volt2ang31 tras realizar la interpolación se guardan los nuevos datos en grados de todas las muestras de las 6 articulaciones.

La parte del script correspondiente a pasar de voltaje a ángulos en grados es:

```
load CalibracionBien0y90matlab % Carga los datos de la calibración.
Tension=[0, 0, 0, 0, 0, 0];
Tension=TrayectoriaFilt; % Array de los datos filtrados.
```

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

```
Volt2ang31(1:samples,1)=-((- (refAnCad90-refAnCad0) / (media0grados(1) -  
media90grados(1))) * (Tension(1:samples,1) -  
media90grados(1)) + refAnCad90);  
Volt2ang31(1:samples,2)=- (refAnRod90-refAnRod0) / (media0grados(2) -  
media90grados(2)) * (Tension(1:samples,2) - media90grados(2)) + refAnRod90;  
Volt2ang31(1:samples,3)=- (refAnTob90-refAnTob0) / (media0grados(3) -  
media90grados(3)) * (Tension(1:samples,3) - media90grados(3)) + refAnTob90;  
Volt2ang31(1:samples,4)=-((- (refAnCad90-refAnCad0) / (media0grados(4) -  
media90grados(4))) * (Tension(1:samples,4) -  
media90grados(4)) + refAnCad90);  
Volt2ang31(1:samples,5)=- (refAnRod90-refAnRod0) / (media0grados(5) -  
media90grados(5)) * (Tension(1:samples,5) - media90grados(5)) + refAnRod90;  
Volt2ang31(1:samples,6)=- (refAnTob90-refAnTob0) / (media0grados(6) -  
media90grados(6)) * (Tension(1:samples,6) - media90grados(6)) + refAnTob90;
```

Tras este punto es interesante hacer uso otra vez de la función plot, que nos permite visualizar los datos adquiridos y almacenados en la variable Volt2ang31 que contiene todos los datos de la prueba ya filtrados y convertidos en ángulos. Para ver el resultado de estos datos se ha graficado todas las señales en conjunto.

Siguiendo con los resultados del voltaje del ejemplo anterior (figuras 39 y 40) y aplicándole a esas señales la transformación de voltaje a ángulos da como resultado:

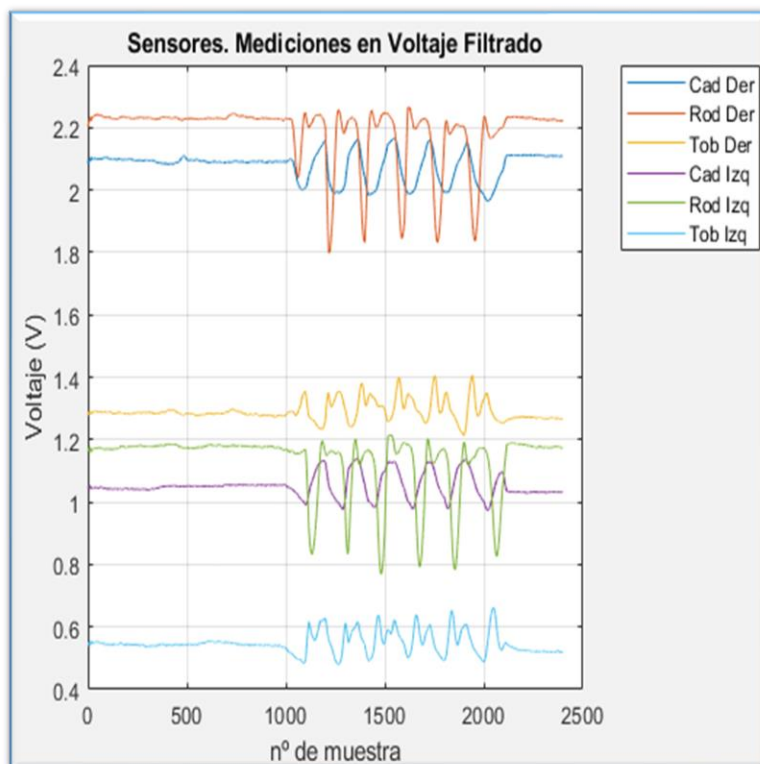


Figura 41: Ejemplo de Voltaje Filtrado en Voltios

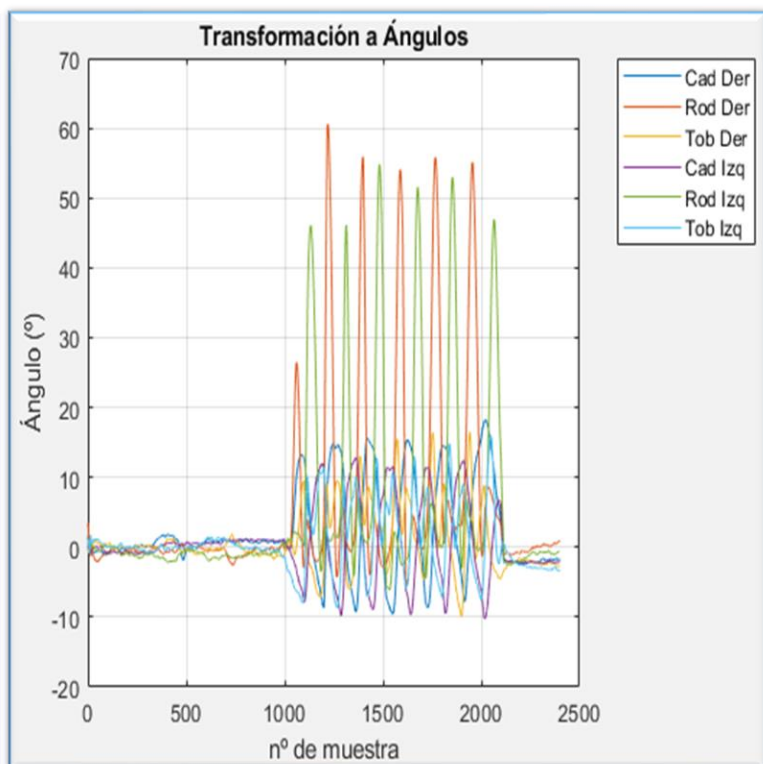


Figura 42: Ejemplo Transformación de Voltaje a Ángulos

En la figura 41 se muestra la señal en voltaje y la figura 42 el resultado de pasar esos valores de voltaje a ángulo tomando los valores según la referencia que se hizo en la calibración.

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

Después estas señales en ángulos se grafican divididas por articulaciones y separadas en izquierda y derecha para comparar mejor la pierna izquierda con la derecha.

Para terminar, se guardan las variables deseadas. Para cada prueba P, ensayo E y sujeto S, se ha cambiar la letra de donde se guarda por un número que corresponda. De esta manera quedaran registrados ordenadamente las diferentes pruebas, ensayos y sujetos generando una base de datos para su posterior uso.

```
save('Muestreo_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S','Trayectoria1',  
'TrayectoriaFilt','samples','ttotal');  
save('Volt2ang_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S','Volt2ang31','samples');
```

5.2.5 ELIMINACIÓN DEL OFFSET

Este script se usa en caso de que en el resultado de la realización de alguno de los ensayos tenga un pequeño offset, decir que como todos los escenarios se parte de una posición de referencia de 0° todas las señales al inicio tienen que empezar en cero o un valor muy próximo de manera que si a causa del movimiento o debido a una colocación no muy precisa del prototipo puede alterar la señal generando un poco de offset. Para eliminar este problema se cargan los datos en bruto obtenidos anteriormente y se indica el valor en grados que se desea aumentar o disminuir:

```
off_cad_der=0;  
off_rod_der=0;  
off_tob_der=0;  
off_cad_izq=0;  
off_rod_izq=0;  
off_tob_izq=0;
```

A continuación, se transforma los datos de voltaje en ángulo añadiendo el offset y una vez aplicado el offset se muestra una gráfica con todas las señales y una gráfica para cada articulación para comprobar que se ha hecho bien.

El script usado en caso de ser necesario eliminar el offset del ensayo es: Eliminacion_offset.m y se puede ver en el Anexo 9.5.

5.2.6 SEPARACIÓN DE LA SEÑAL EN SECUENCIAS

Con las gráficas obtenidas se mostrará una secuencia que se repite en cinco ocasiones tal y como se estableció en las condiciones de cada escenario, aunque en el caso del escenario 2 no sucede eso ya que se desecha el inicio del primer paso y el final del último al no tratarse de un paso completo. Para ello se indica como el inicio de la secuencia cuando el talón entra en contacto con el suelo que es el momento en el que la cadera tiene el ángulo positivo máximo.

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

En este script se cargan los datos de los ensayos y se indica el inicio y final de cada una de las cinco secuencias y se grafican. Se muestran los resultados de las cinco repeticiones cada una con un número de muestras parecido pero diferente debido a que el movimiento se ha realizado con pequeñas variaciones de velocidad.

Para solucionar eso y que no de problema en Matlab se realizara un normalizado el número de muestras para que cada una de estas secuencias tenga el mismo número de muestras.

Para normalizar se han establecido un número de muestras en las distintas pruebas que concuerdan con una velocidad normal de movimiento.

```
%prueba 1: N=700 (Muestras para sentarse y levantarse)
%prueba 2: N=170 (Muestras para dar un paso completo)
%prueba 3: N=170 (Muestras para dar el paso de inicio y otro de final)
```

Una vez que las 5 secuencias tienen el mismo número de muestras se procede a realizar su media.

Para cada ensayo se extraen de la prueba los 5 intervalos en los que se repite el movimiento que se ha medido y que nos interesa. Como para cada prueba hay dos ensayos y en cada ensayo se repite el mismo movimiento cinco veces, por lo tanto, se obtienen diez datos de cada uno de los movimientos que se ha propuesto estudiar.

Las funciones empleadas en el script han sido:

- La función: pasosV3.m

Esta función sirve para separar en secuencias que se repite la prueba, para eso es necesario indicar el número de muestra donde se produce el inicio y final en cada una de las cinco repeticiones.

```
function [paso_inicio,paso_fin,muestras_p] = pasosV3(pasos)

pasos_fun=pasos;
for i=1:pasos_fun
fprintf('\n Pasos: \n');
i
paso_inicio(i)=input('\n Indique el comienzo del paso \n');
paso_fin(i)=input('\n Indique el final del paso \n');
end
for i=1:pasos_fun
muestras_p(i)=paso_fin(i)-paso_inicio(i)+1;
end
end
```

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

Por ejemplo, en el escenario 1 para un ensayo se selecciona en número de muestra donde se inicia y termina cada secuencia resultando:

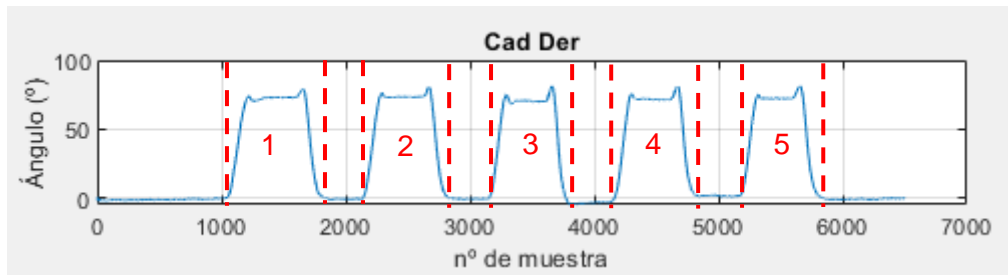


Figura 43: Ejemplo de separación de las 5 secuencias.

Primero se hace zoom en la figura 43 para ver mejor la señal y colocando el cursor sobre ella se va indicando el número de muestra de cada inicio y fin de secuencia:

- Secuencia 1: Inicio=1045 Fin=1830
- Secuencia 2: Inicio=2130 Fin=2838
- Secuencia 3: Inicio=3155 Fin=3785
- Secuencia 4: Inicio=4155 Fin=4815
- Secuencia 5: Inicio=5185 Fin=5818

- La función: `resample.m`

Con esta función se consigue normalizar el número de muestras de cada secuencia, ya que cada secuencia presenta el problema de que tienen un número diferente de muestras efecto de la cadencia más o menos rápida a la que se haya realizado el movimiento.

```
function X= resample(Y,N)
```

```
N1=length(Y);  
X=zeros(1,N);
```

```
for i= 1 : 1 : N  
    for j=1 : 1 : N1-1  
        if (j/N1 <= i/N) && ((j+1)/N1 >= i/N)  
            b=j/N1;  
            x=(i/N)-(j/N1);  
            X(i) = Y(j)*(1-x/b) + Y(j+1)*(x/b);  
        end  
        if i/N <= 2/N1  
            X(i)= Y(1);  
        end  
        if i==N  
            X(i)= Y(N1);  
        end  
    end  
end  
end
```


5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

Un ejemplo de normalizado en el escenario 1 con el movimiento de sentarse y levantarse es el que se contempla a continuación:

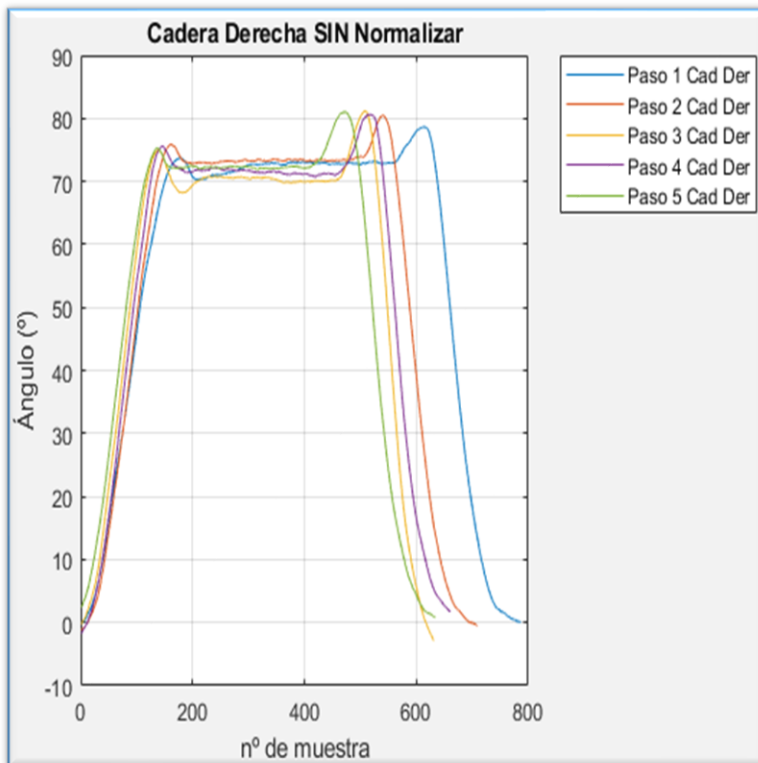


Figura 44: Cadera Derecha SIN Normalizar

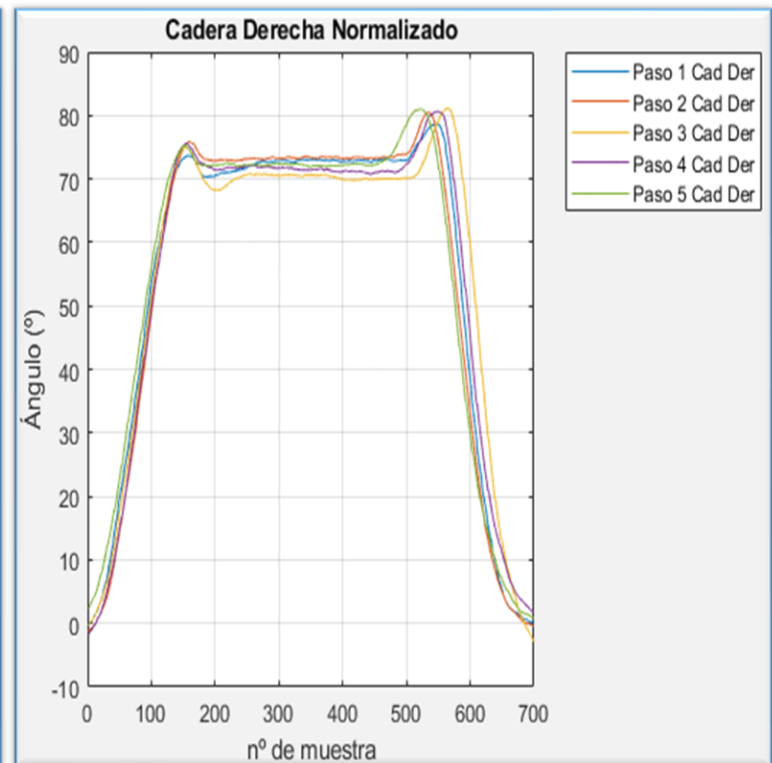


Figura 45: Cadera Derecha Normalizado

En la figura 44 se muestran las cinco veces que se repite el movimiento de sentarse y levantarse en la prueba, donde cada uno de ellos tiene un número de muestras diferente, por eso se normaliza todas estas secuencias a un número de muestra de 700, como se observa en la figura 45.

- La función: pasos_datos_prueba.m

Con el inicio y final de cada secuencia definido se procede a sacar las 5 secuencias con los datos reales de cada parte de la señal real en ángulos que se ha obtenido de la prueba. Esta función se emplea para cada articulación.

```
function [B,Y] = pasos_datos_prueba (Volt2ang31,  
paso_inicio,paso_fin,iii,pasos,muestras_p, N)
```

```
A1= Volt2ang31(paso_inicio(1):paso_fin(1),iii);  
A2= Volt2ang31(paso_inicio(2):paso_fin(2),iii);  
A3= Volt2ang31(paso_inicio(3):paso_fin(3),iii);  
A4= Volt2ang31(paso_inicio(4):paso_fin(4),iii);  
A5= Volt2ang31(paso_inicio(5):paso_fin(5),iii);  
B(:,1)=aTFG_8_1_resample(A1,N);  
B(:,2)=aTFG_8_1_resample(A2,N);  
B(:,3)=aTFG_8_1_resample(A3,N);  
B(:,4)=aTFG_8_1_resample(A4,N);  
B(:,5)=aTFG_8_1_resample(A5,N);  
Y=[1/length(B):1/length(B):1];
```

```
end
```

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

- La función: `media.m`

Esta función permite obtener la media de un número de secuencias con el mismo número de muestras de una articulación.

```
function [media] = media(samples,n_pasos,pasos)
    for ii=1:samples
        suma=0;
        for i=1: n_pasos
            suma=suma+pasos(ii,i);
        end
        media(ii,1)=suma/(n_pasos);
    end
end
```

Un ejemplo de lo que hace esta función es creando la media de los cinco pasos o repeticiones de la anterior figura 45, donde se tiene normalizadas las cinco que se realiza el movimiento del escenario 1.

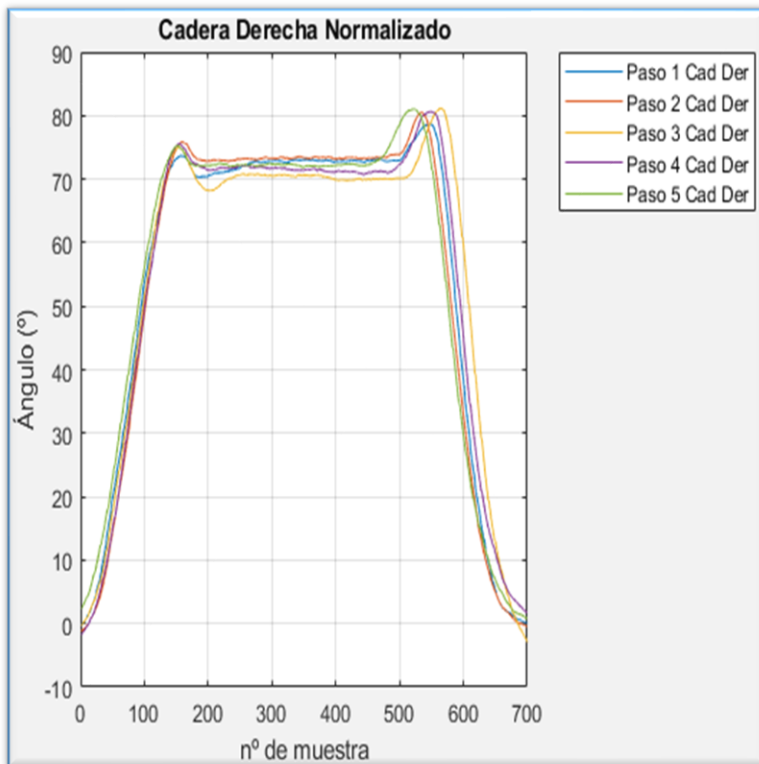


Figura 47: Las 5 secuencias de la Cadera Derecha

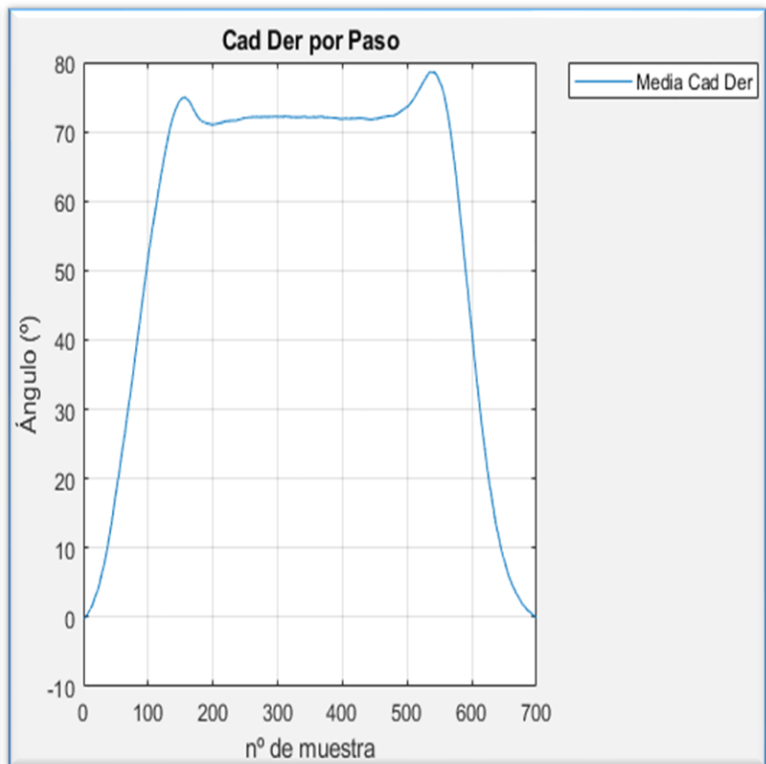


Figura 46: Media de las 5 secuencias de la Cadera Derecha

En la figura 46 se muestran estas cinco secuencias en la cadera derecha donde todas son muy parecidas y al hacer la media surge la figura 47 que muestra el resultado medio de la cadera derecha para uno de los ensayos.

El script completo usado para separar las secuencias que se repiten en la señal ha sido: `Separación_de_secuencias.m` y se puede ver en el Anexo 9.6.

5.2.7 MEDIA DEL SUJETO

Una vez separadas y guardadas las secuencias de los dos ensayos de los tres escenarios del sujeto se puede continuar. Primero se cargan los dos ensayos de un mismo escenario y sujeto obtenidos del anterior script, es decir se cargan todas las secuencias de una prueba. Después se procede a realizar la media de manera análoga que, en el anterior script, pero ahora entre las diez repeticiones que suman los dos ensayos de la misma prueba para obtener el resultado final de como realiza el movimiento de ese sujeto en una determinada prueba.

El script usado para este propósito se ha nombrado como: `Media_del_Sujeto.m` y se puede ver en el Anexo 9.7.

5.2.8 COMPARACIÓN Y MEDIA ENTRE SUJETOS

Al ejecutar el script se muestra una gráfica comparativa entre los dos sujetos para un escenario y después de igual manera que se ha obtenido en el apartado anterior la media de un sujeto se realiza la media entre dos sujetos. Estos resultados arrojarán el resultado final y se mostrarán en forma de gráfica.

Para cambiar el escenario que se quiere comparar y hacer la media final, basta con cambiar en el código la P de prueba por el número 1, 2 o 3 según el escenario que se quiera.

El script empleado en este apartado es: `Comparación_y_Media_entre_Sujetos.m` y se puede ver en el Anexo 9.8.

5.2.9 RECONSTRUCCIÓN

En este script se pretende construir una señal con los resultados obtenidos de la media entre sujetos o la media del sujeto cambiado en el código `<<tot>>` por `<<suj>>` Modificando el código se puede hacer la unión de cualquier serie de movimientos que se han guardado como son sentarse y levantarse, dar un paso completo y paso inicial y final, de forma que como se tiene identificado en el escenario 2 las pautas de como de movimiento en ángulos en un paso completo y unido a que en la prueba 3 se tiene el primer paso y último de la marcha empezando parado y de pie y terminando en esa misma posición se puede construir la marcha normal de una persona. El resultado de esto se puede ver posteriormente en el apartado 6.5 Resultado de la Reconstrucción.

El script que hace posible construir una señal a partir de unir una serie de movimientos se ha llamado: `Reconstrucción.m` y se muestra en el Anexo 9.9.

5. Software y Desarrollo de la programación en Matlab

6. OBTENCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

En esta parte se muestra el resultado ya en ángulos obtenido, después de hacer el filtrado y la transformación del voltaje a una medida angular y la eliminación del offset en caso de ser necesario, al realizar los distintos escenarios con todos los procedimientos anteriormente descritos. Para el análisis de cada escenario se tomando como ejemplo al sujeto 1y después un estudio comparativo y la obtención de un valor medio entre dos sujetos para cada movimiento. Los escenarios y ensayos correspondientes al sujeto 2 no se muestran solo aparece su resultado medio final, pero se obtendrían de manera análoga a la que hace con el sujeto 1.

Cada vez que se adquieren datos se van guardando de forma ordenada indicando la prueba, ensayo y sujeto que corresponde. De esta manera se va generando una base de datos.

Las figuras que se verán en esta sección están de dos en dos de manera que se puede observar en lado izquierdo los datos pertenecientes a la pierna izquierda y en la figura del lado derecho los valores obtenidos en la pierna derecha. Dentro de cada una de estas figuras, tanto en la figura de la izquierda como en la figura de la derecha se distinguen tres gráficas que corresponde a las tres articulaciones que se están analizando, de manera que primero aparece la cadera, después la rodilla y por último el tobillo. Todas esta gráficas tienen en común el eje de abscisas que representa el número de muestras frente al ángulo medido en grados que se sitúa en el eje de ordenadas.

Los colores en los que se dibuja la señal son siempre los mismo para todas las figuras:

- Morado para la cadera izquierda.
- Verde para la rodilla izquierda.
- Cian para el tobillo izquierdo.
- Azul para la cadera derecha.
- Rojo para la rodilla derecha.
- Amarillo para el tobillo derecho.

A continuación, se presentan todos los datos obtenidos de los escenarios y ensayos del sujeto 1.

6.1 ESCENARIO 1 (SENTARSE Y LEVANTARSE)

6.1.1 ENSAYO 1 DEL ESCENARIO 1

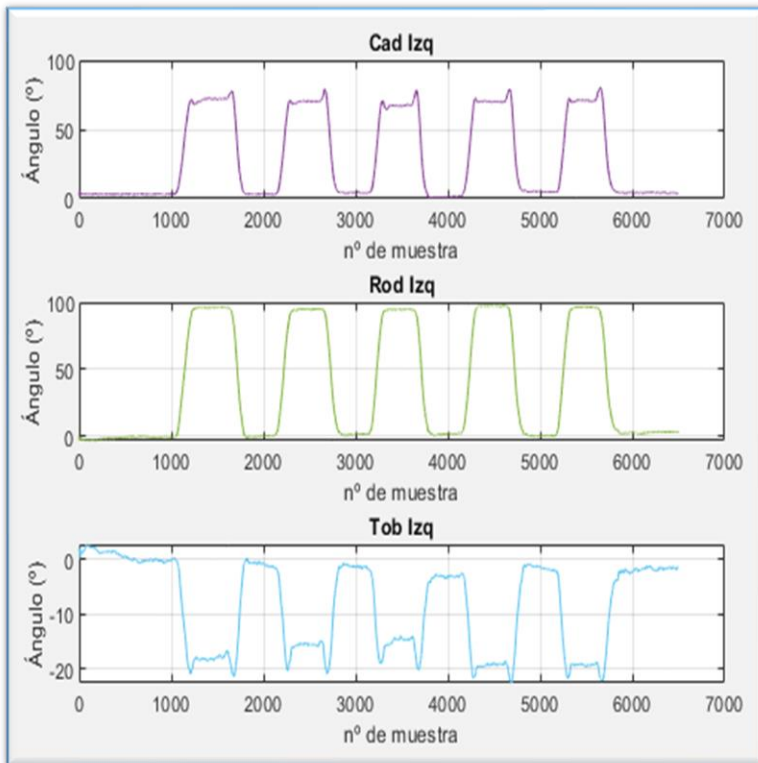


Figura 48: Pierna Izquierda Escenario 1 Ensayo 1 Sujeto 1

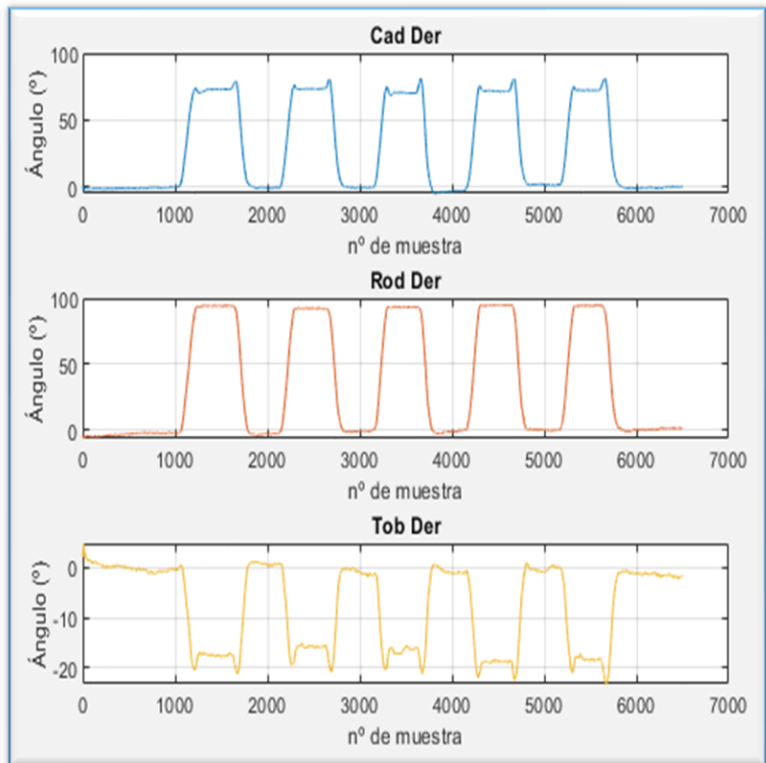


Figura 49: Pierna Derecha Escenario 1 Ensayo 1 Sujeto 1.

6.1.2 ENSAYO 2 DEL ESCENARIO 1

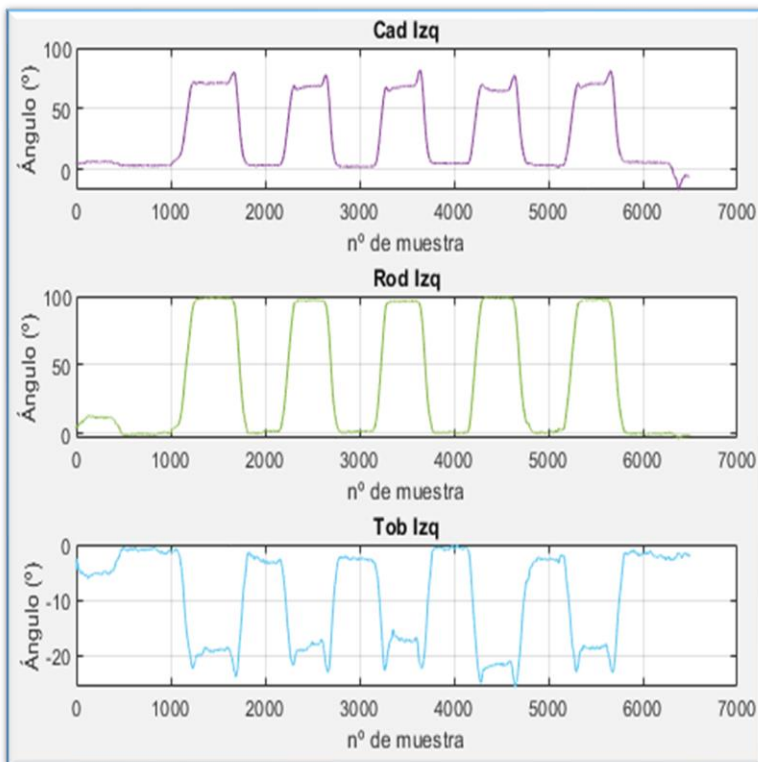


Figura 50: Pierna Izquierda Escenario 1 Ensayo 2 Sujeto 1.

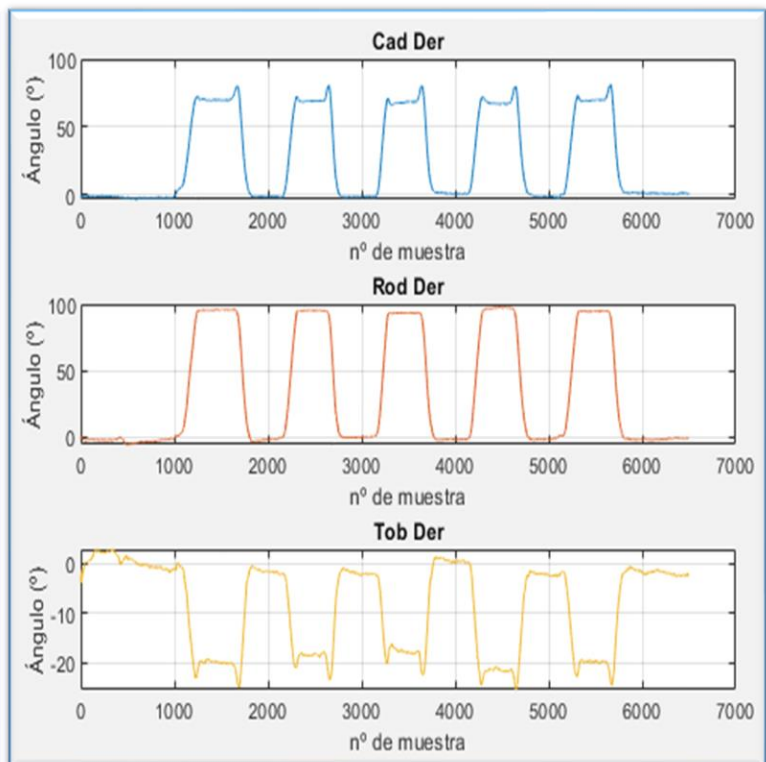


Figura 51: Pierna Derecha Escenario 1 Ensayo 2 Sujeto 1.

6. Obtención de datos y resultados

En este primer escenario que consiste sentarse y levantarse, el sujeto 1 hace dos ensayos, primero corresponde a las figuras 48 y 49 y el segundo a las figuras 50 y 51. Para ambos casos si comparamos las figuras de la izquierda y la derecha se ven claramente como coinciden en la forma de la señal y el ángulo generado en las articulaciones de las dos extremidades, debido a que estas realizan el mismo movimiento en cada instante de tiempo.

6.1.3 OBTENCIÓN DE VALORES MEDIOS DEL SUJETO 1 PARA EL ESCENARIO 1

Después de tener los dos ensayos, se procede a dividir la señal en las cinco repeticiones que hay en cada ensayo, resultando las diez secuencias que se grafican a continuación:

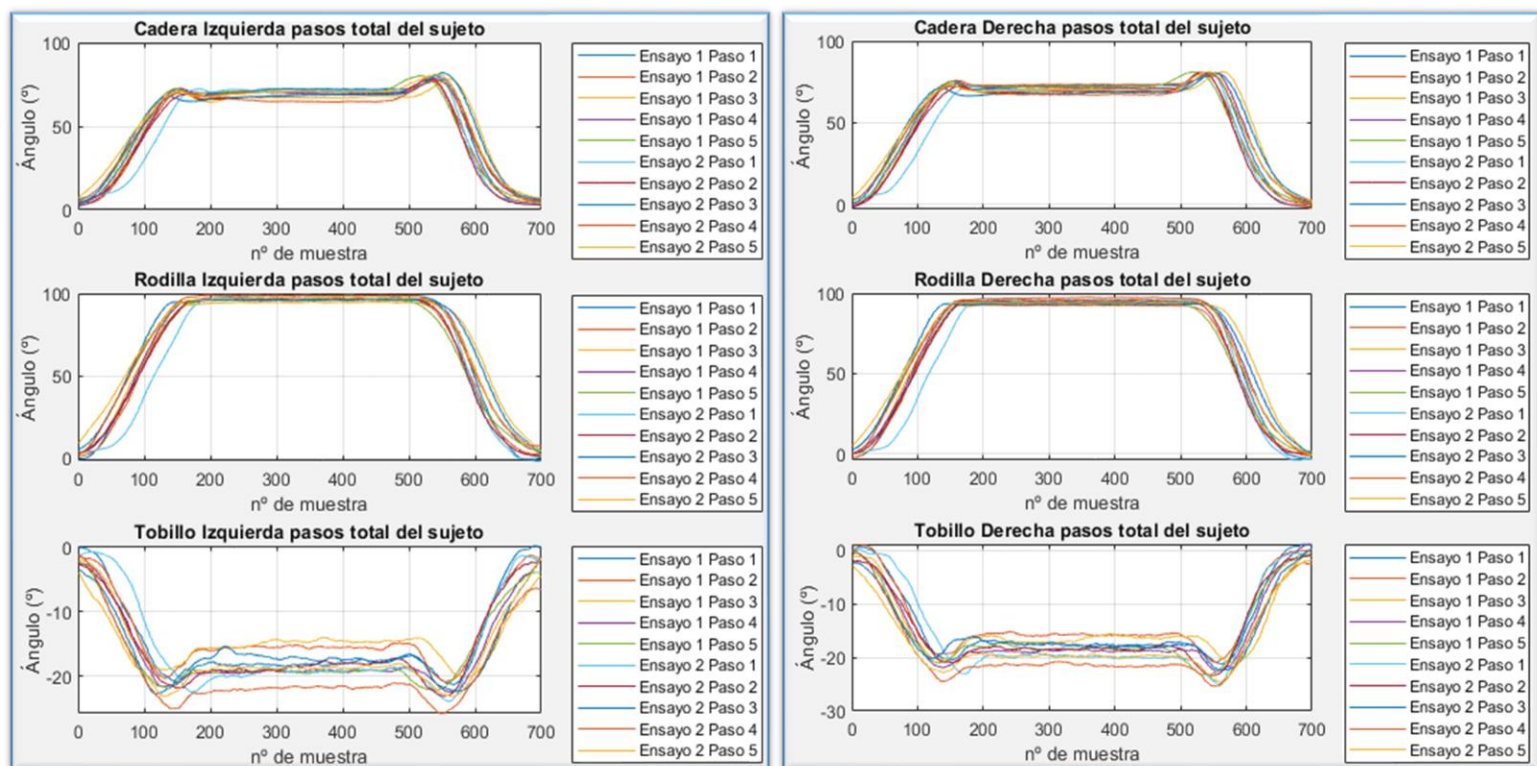


Figura 52: Pierna Izquierda Repeticiones Totales Escenario 1 Sujeto 1. Figura 53: Pierna Derecha Repeticiones Totales Escenario 1 Sujeto 1.

En las figuras 52 y 53 se ven las 10 veces del movimiento en conjunto primero de sentarse y después de levantarse están normalizados a un número de muestra de 700.

En general hay pequeñas variaciones entre las secuencias de orden de $\pm 4^\circ$, esto se aprecia mejor en los tobillos donde el rango del ángulo mínimo y máximo es menor que la rodilla o cadera. Realizando las medias a estas diez secuencias, dan como resultado las siguientes figuras.

6. Obtención de datos y resultados

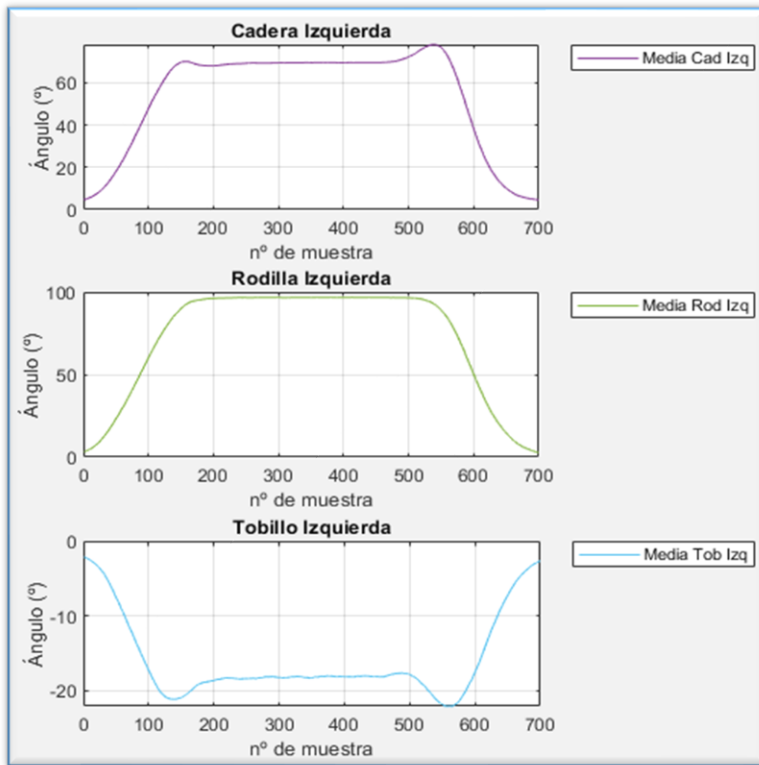


Figura 54: Pierna Izquierda Media Escenario 1 Sujeto 1

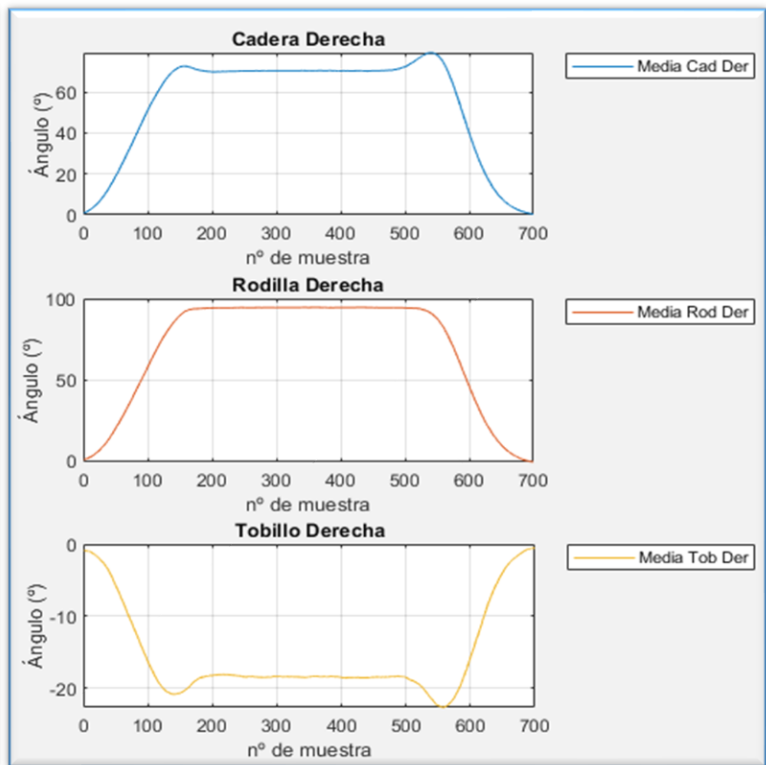


Figura 55: Pierna Derecha Media Escenario 1 Sujeto 1

Estas últimas figuras 54 y 55 reflejan el resultado final de los ángulos que se forman en el escenario 1 para el sujeto 1, donde primero desde la muestra 1 a la 200 es movimiento de la sentarse en una silla, desde la muestra 200 a la 500 es tiempo que esta el sujeto permanece sentado en la silla e inmóvil y las últimas muestras desde la 500 hasta la 700 corresponde con el movimiento de levantarse.

6.2 ESCENARIO 2 (ANDAR)

6.2.1 ENSAYO 1 DEL ESCENARIO 2

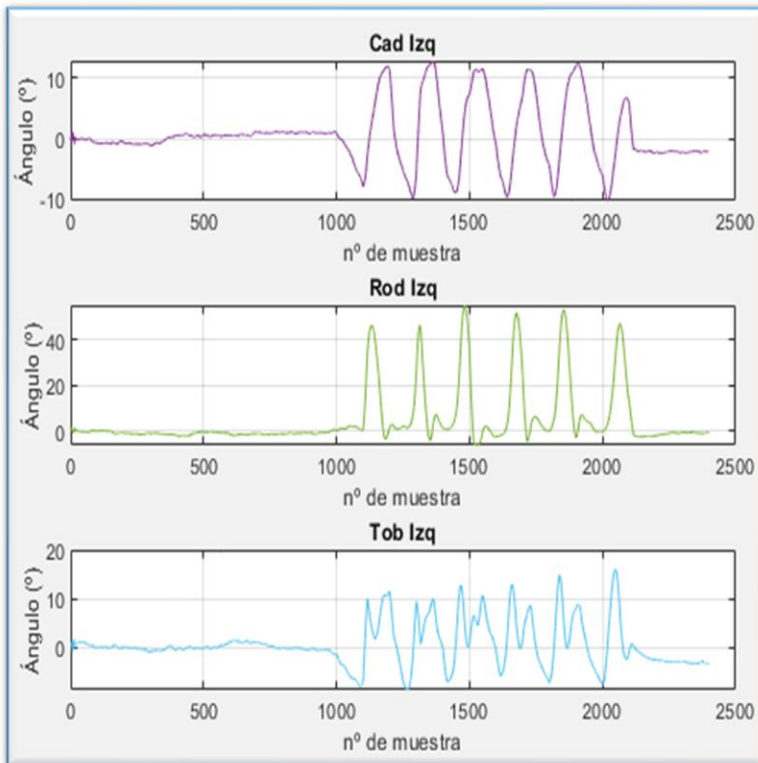


Figura 56: Pierna Izquierda Escenario 2 Ensayo 1 Sujeto 1.

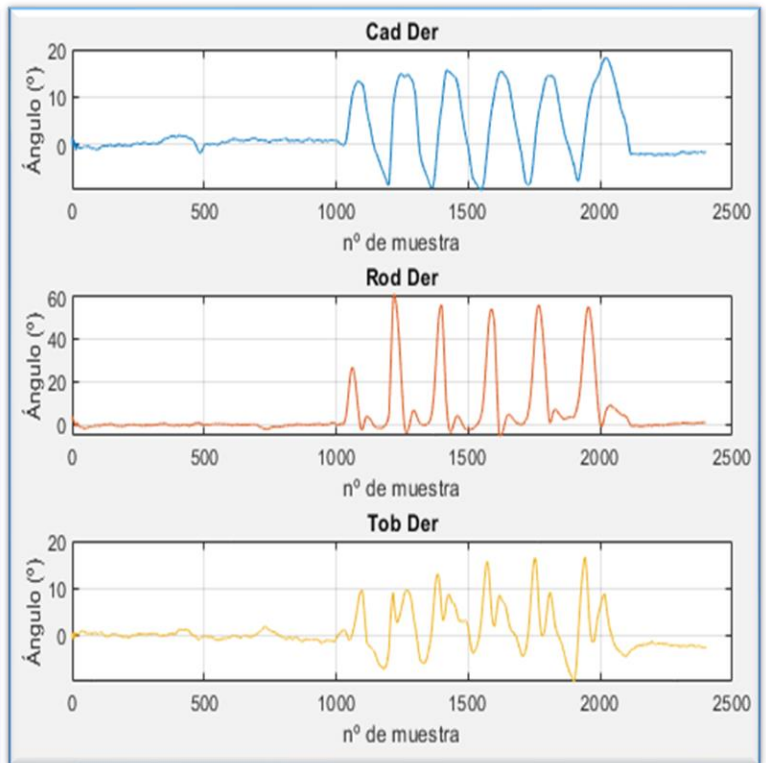


Figura 57: Pierna Derecha Escenario 2 Ensayo 1 Sujeto 1.

6.2.2 ENSAYO 2 DEL ESCENARIO 2

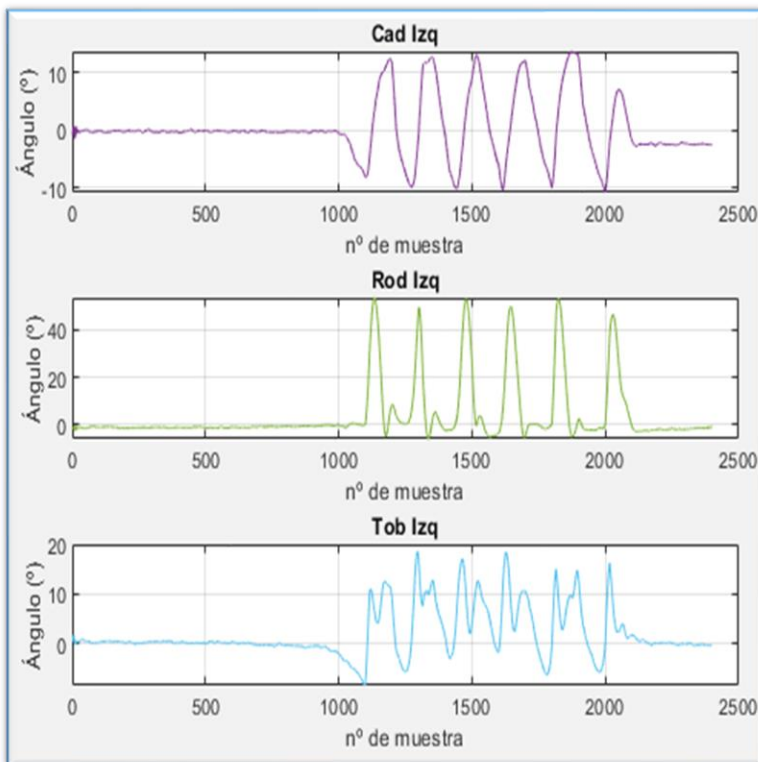


Figura 58: Pierna Izquierda Escenario 2 Ensayo 2 Sujeto 1.

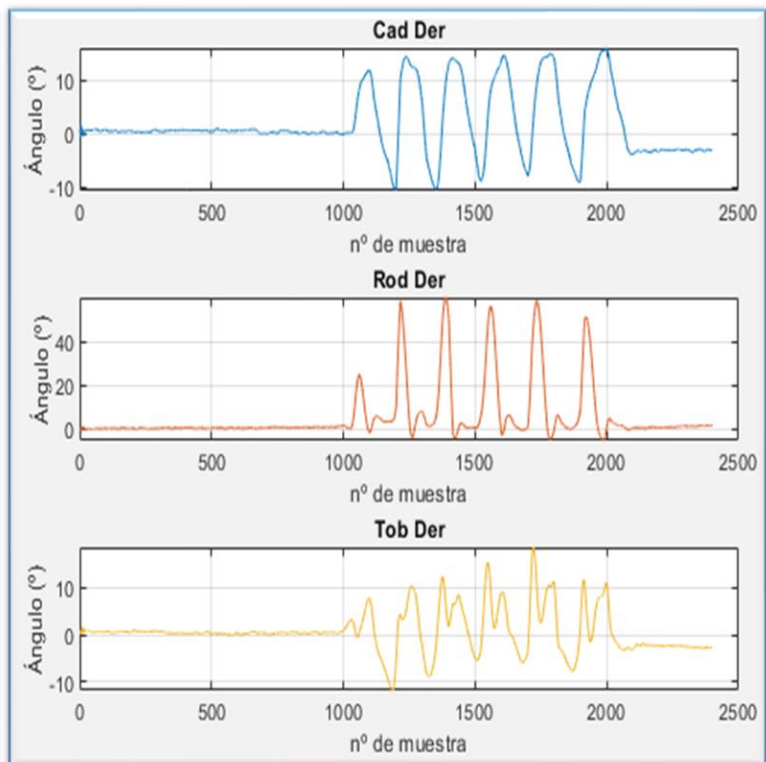


Figura 59: Pierna Derecha Escenario 2 Ensayo 2 Sujeto 1.

6. Obtención de datos y resultados

En el escenario 2 se hacen primero los dos ensayos al sujeto 1 de marcha normal, las figuras 56 y 57 son del primer ensayo y las figuras 58 y 59 el segundo. En las cuatro figuras sucede que al comenzar la prueba parado y terminar parado hace que el paso de inicio y final de la marcha sea de medio paso y por eso varían con respecto a resto de la señal en la cual si se repite la misma secuencia cinco veces del ciclo completo de marcha.

En el ensayo 1 y 2 de la pierna izquierda (Figuras 56 y 58) y derecha (Figuras 57 y 59) son iguales pero con un desfase de tiempo entre las piernas, ya que como se comento en a definición de la marcha esta es un movimiento rítmico de las piernas en la cual la mayor parte del tiempo mientras un pierna esta en fase de apoyo la otra esta en fase de la balanceo y un poco de tiempo restante en el que están ambas extremidades inferiores en doble apoyo. El inicio de la marcha en este escenario se ha hecho primero con la pierna derecha por eso los picos aparecen antes en las figuras de la derecha.

6.2.3 OBTENCIÓN DE VALORES MEDIOS DEL SUJETO 1 PARA EL ESCENARIO 2

Estos ensayos hay que separarlos en secuencias antes de hacer la medias con las diez repeticiones. Para ello se toma como referencia primer el punto más alto de cada repetición de la cadera derecha que es cuando se produce la máxima flexión de la cadera y que es el momento del contacto del talón con el suelo iniciando así el ciclo de marcha hasta que finaliza cuando vuelve ese mismo talón de la pierna hacer contacto con el suelo, corresponde en la gráfica con el siguiente pico más alto.

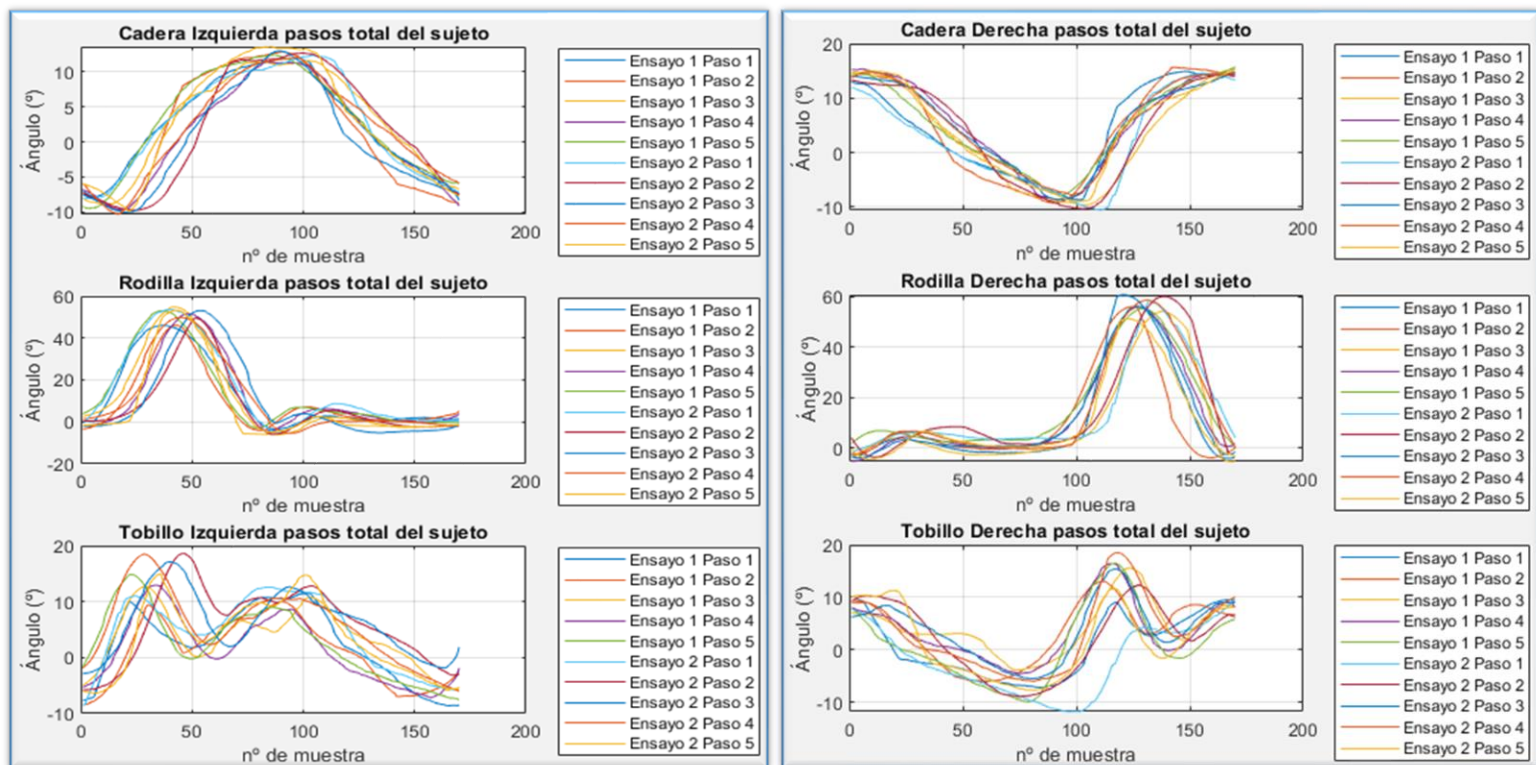


Figura 60: Pierna Izquierda Repeticiones Totales Escenario 2 Sujeto 1 Figura 61: Pierna Derecha Repeticiones Totales Escenario 2 Sujeto 1.

6. Obtención de datos y resultados

En las figuras 60 y 61 se ven las diez repeticiones de cada paso completo de ambas piernas normalizados a un número de muestra de 170.

Como se puede observar, en general la disposición se repite entre las articulaciones salvo unas mínimas diferencias con respecto al tiempo y valor del ángulo. Aunque esto no sucede en la figura 61 donde la señal del tobillo de la pierna derecha para el paso 1 del ensayo 2 no concuerda del todo con el resto de las muestras debido a que a lo largo de la marcha vario un poco el movimiento de esa articulación, pero no importa ya que una muestra no afecta a la media siendo el resto correctas. Realizando las medias a estas diez secuencias, dan como resultado las siguientes figuras:

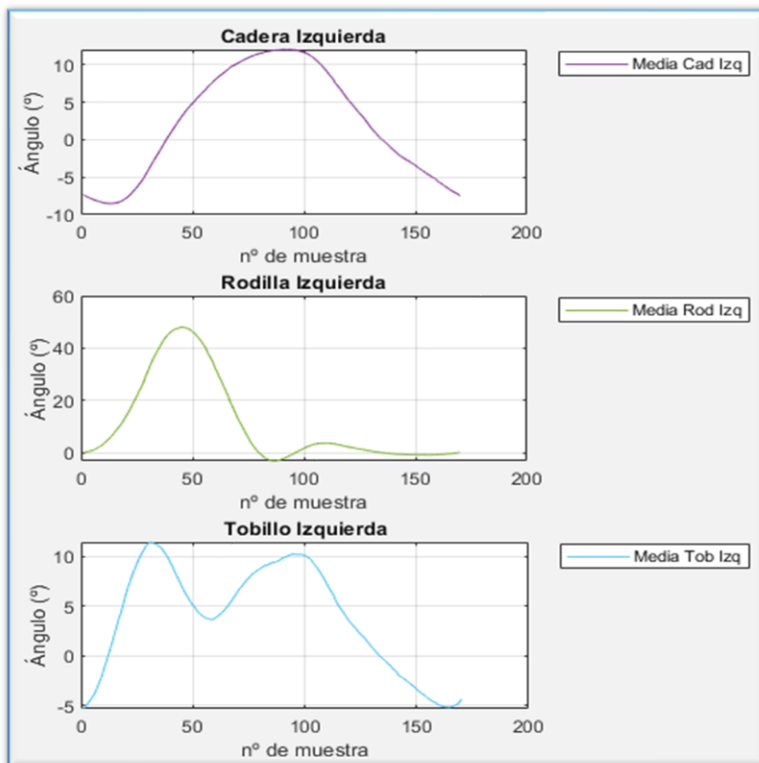


Figura 62: Pierna Izquierda Media Escenario 2 Sujeto 1

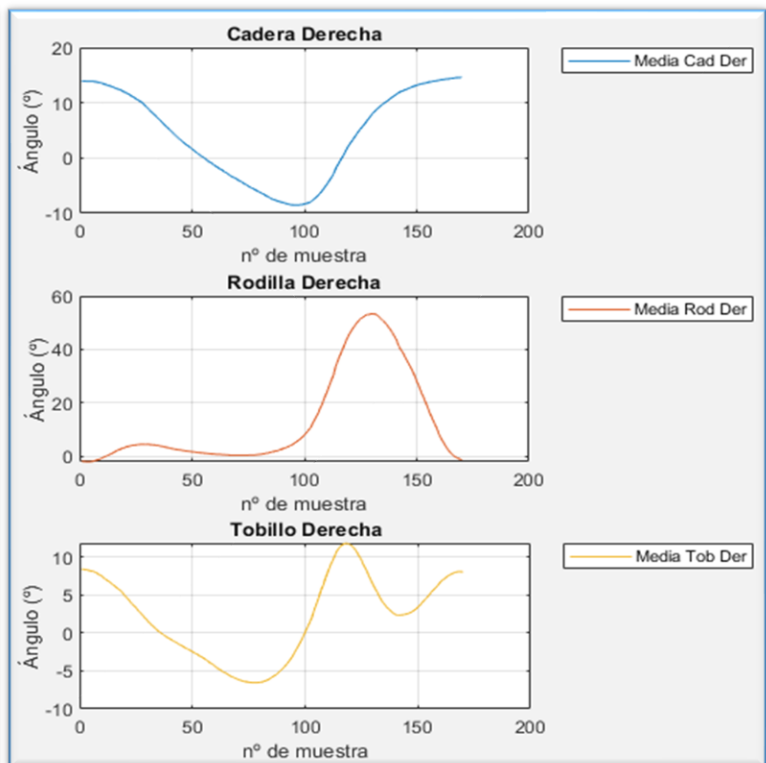


Figura 63: Pierna Derecha Media Escenario 2 Sujeto 1

Una vez indicadas y normalizadas a 170 muestras, a estas secuencias se les hace la media de los diez pasos completos resultantes de los dos ensayos del sujeto y se obtiene el paso medio para un ciclo de marcha del sujeto 1 (Figuras 62 y 63). Donde tomando como referencia la pierna derecha (ver Figura 63) se muestran la cinemática del movimiento de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo de la pierna desde la fase de apoyo, que va desde la muestra 1 a la 100, hasta el final de la fase de balanceo, que va desde la muestra 100 a la 170. Si comparamos la pierna izquierda con la pierna derecha a simple vista puede parecer que no son iguales pero si observamos bien se ve como son idénticas pero desplazadas una con respecto a la otra unas 80-90 muestras aproximadamente.

6.3 ESCENARIO 3 (PASO INICIO Y PASO FIN)

6.3.1 ENSAYO 1 DEL ESCENARIO 1

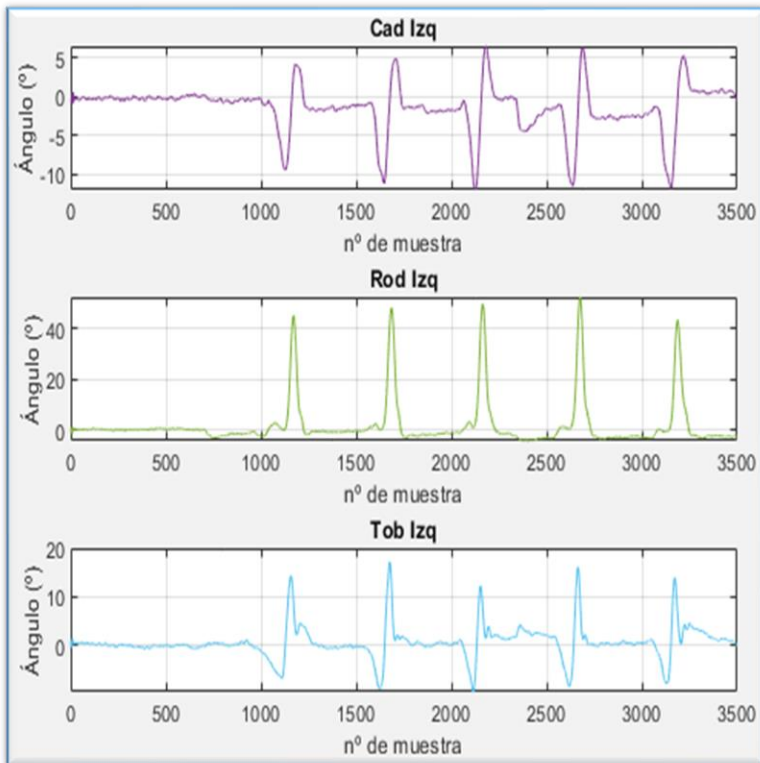


Figura 64: Pierna Izquierda Escenario 3 Ensayo 1 Sujeto 1.

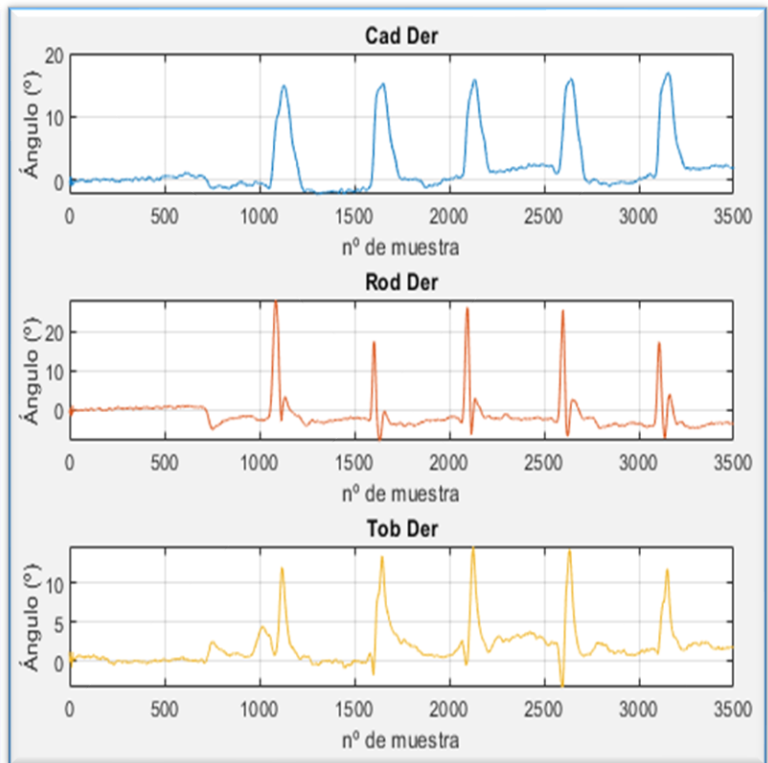


Figura 65: Pierna Derecha Escenario 3 Ensayo 1 Sujeto 1.

6.3.2 ENSAYO 2 DEL ESCENARIO 1

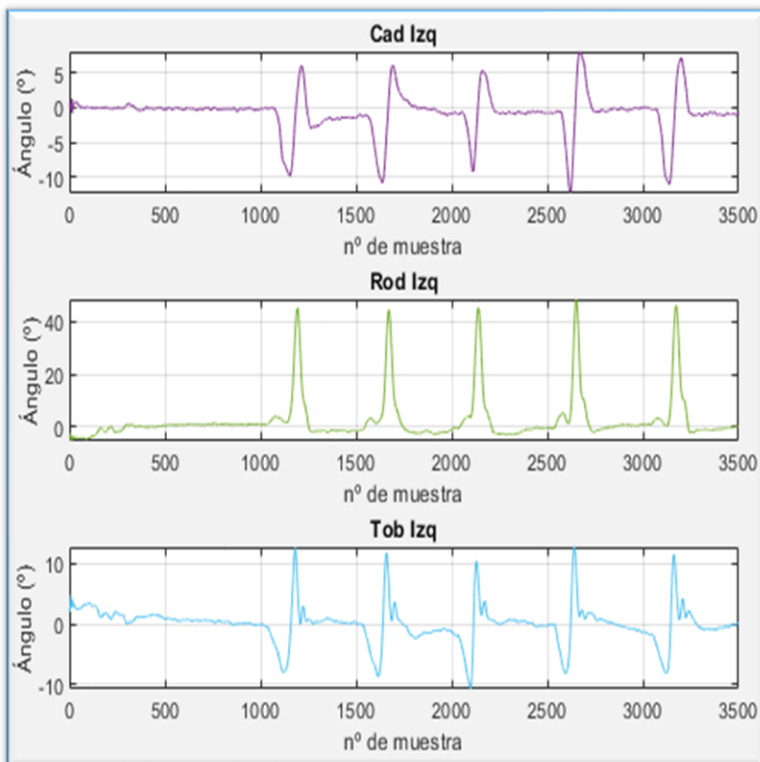


Figura 66: Pierna Izquierda Escenario 3 Ensayo 2 Sujeto 1.

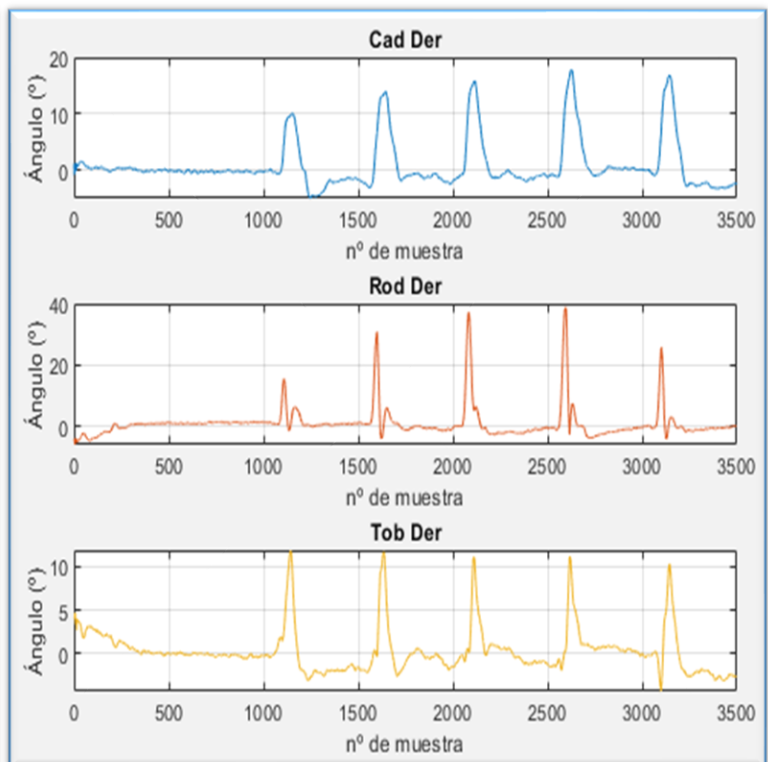


Figura 67: Pierna Derecha Escenario 3 Ensayo 2 Sujeto 1.

6. Obtención de datos y resultados

En esta tercer y último escenario se han realizado dos ensayos en el que se ve como la pierna izquierda coincide en los dos ensayos (ver Figuras 64 y 66) y también como las dos gráficas de la pierna derecha coinciden entre sí (ver Figuras 65 y 67), pero se obtienen valores diferentes si comparamos las gráficas de la pierna derecha con la izquierda, ya que la pierna derecha y la izquierda hacen movimientos diferentes.

Dentro de cada articulación se repite la misma secuencia cinco veces. Estas repeticiones van desde que el sujeto está en la posición inicial y da medio paso empezando con la pierna derecha para continuar con otro medio de la pierna izquierda hasta situarla a la altura de la pierna derecha quedando como al inicio.

6.3.3 OBTENCIÓN DE VALORES MEDIOS DEL SUJETO 1 PARA EL ESCENARIO 3

Una vez obtenidos los datos de dos ensayos, se realiza la separación de cada señal en las cinco repeticiones que hay de cada ensayo, dando como resultado las diez repeticiones que se muestran a continuación:

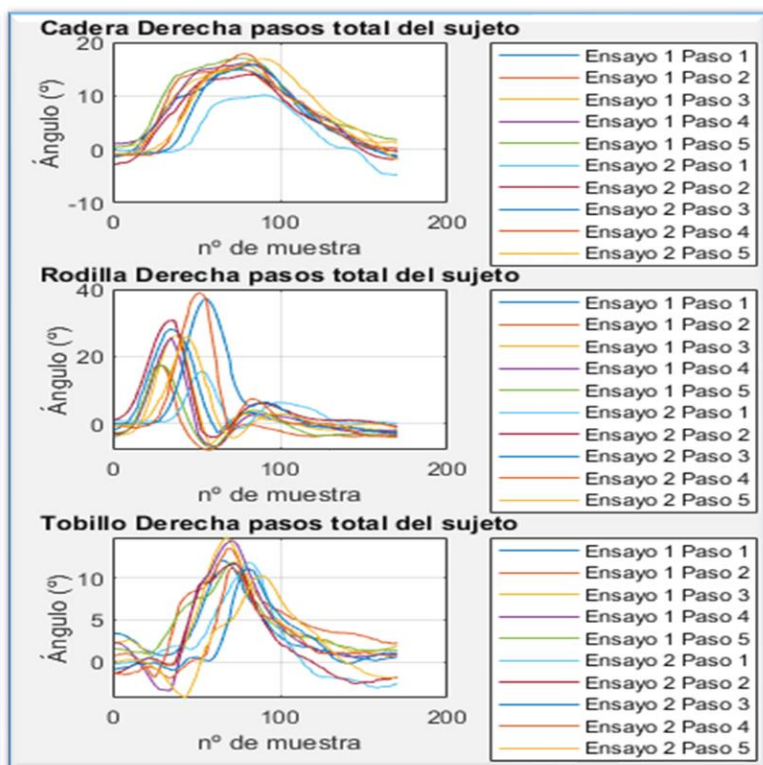
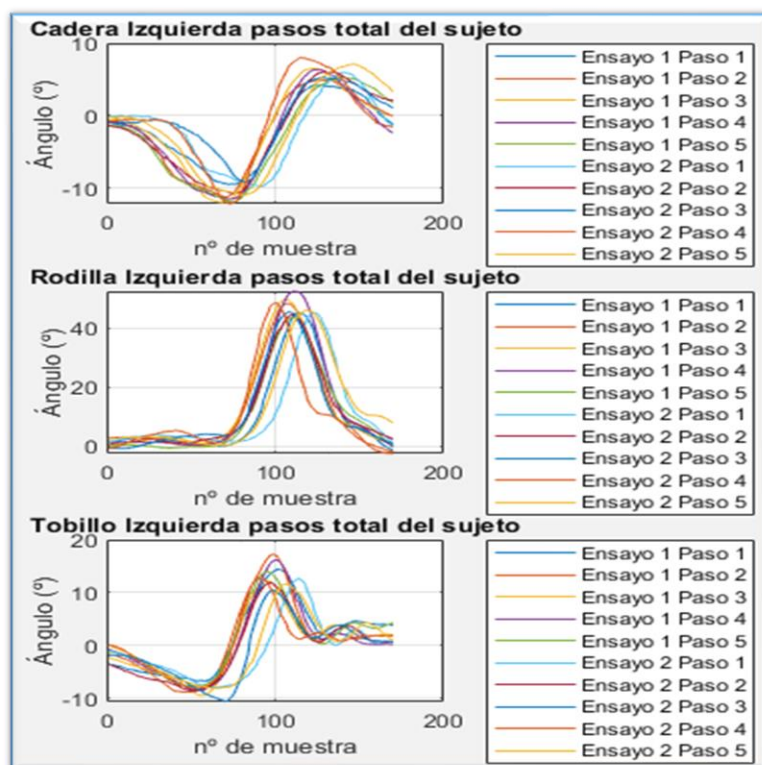


Figura 68: Pierna Izquierda Repeticiones Totales Escenario 3 Sujeto 1 Figura 69: Pierna Derecha Repeticiones Totales Escenario 3 Sujeto 1

En estas figuras 68 y 69, se pueden observar las diez ocasiones en las que se repite el movimiento de paso inicial y paso final del escenario 3 normalizado a un número de muestra de 170.

Las repeticiones en general son muy parecidas salvo en el caso de la rodilla derecha (ver figura 69) donde dos de las muestras están un poco desplazadas con

6. Obtención de datos y resultados

respecto al resto, además de presentar una mayor amplitud. Esto no presenta un problema ya que en el resultado de la media apenas afecta.

Ahora se procede a la realización de la media con las diez secuencias, dando como resultado las siguientes figuras:

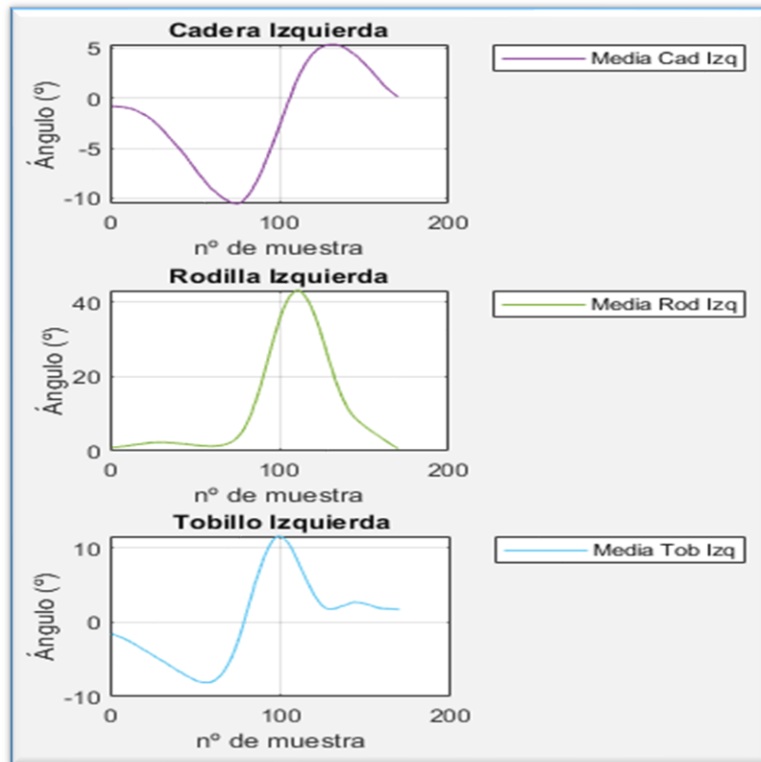


Figura 70: Pierna Izquierda Media Escenario 3 Sujeto 1

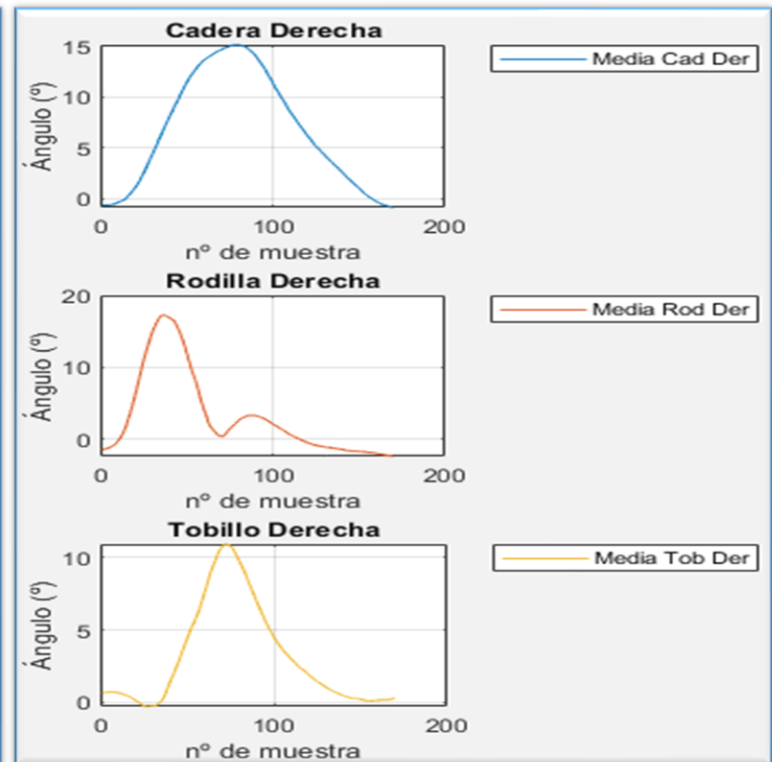


Figura 71: Pierna Derecha Media Escenario 3 Sujeto 1

Como se aprecia en las figuras 70 y 71, obtenemos el resultado final de los ángulos que se han generado en el escenario 3 para el sujeto 1, donde primero desde la muestra 1 a la 80 es movimiento perteneciente al paso inicial y desde la muestra 80 a la 170 el que corresponde con el movimiento del paso final.

Con la obtención de estos dos movimientos se busca simular como es primer y último paso de la marcha humana normal partiendo de una disposición inmóvil y de pie y acabando en esta misma posición y así de esta manera poder hacer la marcha completa unido a los resultados de ciclo de paso completo del escenario 2.

6.4 RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN Y MEDIA ENTRE DOS SUJETOS

Efectuando lo mismo que se ha hecho en los puntos 6.1, 6.2 y 6.3 con el sujeto 1, pero ahora para el sujeto 2 se consigue la información necesaria para comparar dos sujetos.

Una vez obtenido los resultados de los valores medios de los tres escenarios para los dos sujetos, se podrá comparar mediante una gráfica un sujeto con otro sujeto. Para ver si existe relación o no. Estas dos personas a las que se le ha realizado a las pruebas no tienen ninguna patología ni tampoco dificultad para andar.

Finalmente, si hay relación se hace otra media con las diez repeticiones de cada sujeto y el resultado aportado se tomará con los valores estandarizados para la ejecución de los movimientos de sentarse y levantarse, paso completo y paso inicial y paso fin.

6.4.1 ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE DOS SUJETOS PARA EL ESCENARIO 1

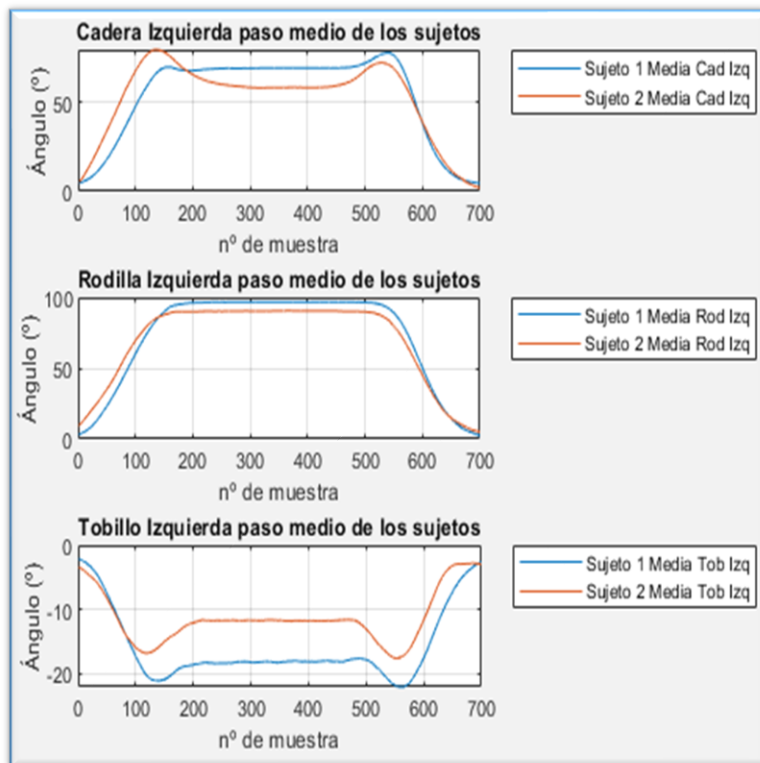


Figura 72: Pierna Izquierda Comparación Escenario 1 Sujeto 1 y 2

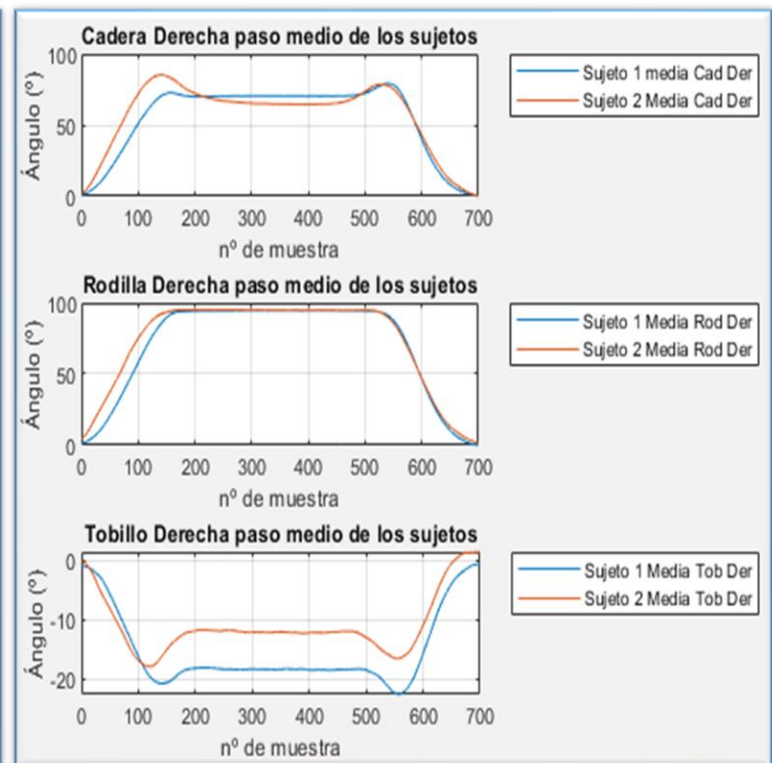


Figura 73: Pierna Derecha Comparación Escenario 1 Sujeto 1 y 2

En las figuras 72 y 73 se muestran las comparativa de los sujetos 1 y 2 para la pierna izquierda y derecha en el escenario 1.

Comparando los resultados de la prueba entre sujetos se ve como para la cadera y rodilla se obtienen valores muy parecidos, sin embargo, en el tobillo hay una diferencia de unos 6° entre un sujeto y otro, esto se debe a que en la forma de sentarse de los

sujetos es poco diferente ya que el sujeto 2 se sienta un poco más atrás en la silla y esto unido a la pequeña diferencia de estatura hace que no se tenga que inclinar tanto el tobillo.

6.4.2 OBTENCIÓN DE VALORES MEDIOS ENTRE DOS SUJETOS PARA EL ESCENARIO 1

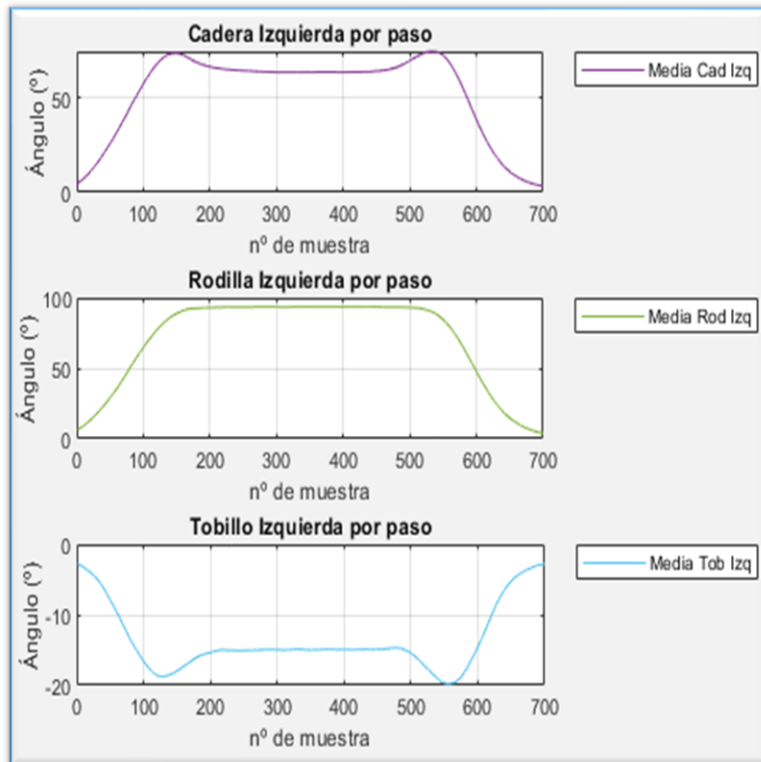


Figura 74: Pierna Izquierda Media Escenario 1 Sujeto 1 y 2

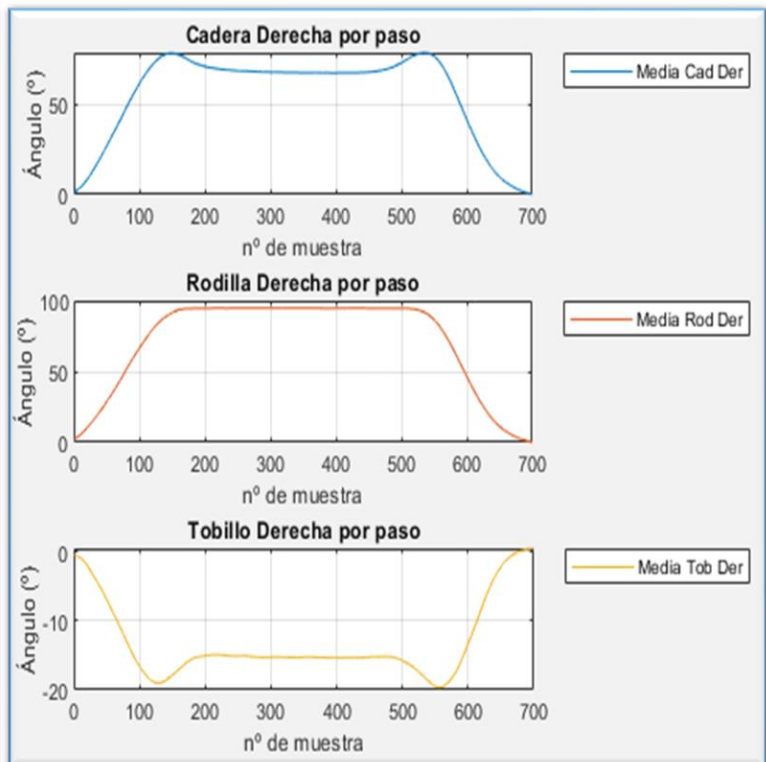


Figura 75: Pierna Derecha Media Escenario 1 Sujeto 1 y 2

En las figuras 74 y 75, podemos observar el resultado de la media para todas las articulaciones, que está constituida por 20 muestras o secuencias (unas 10 pertenecen al sujeto 1 y otras 10 al sujeto 2). Este valor medio es el utilizado como el resultado final del movimiento de sentarse y levantarse. Se puede ver también como la señal del movimiento de sentarse y levantarse son simétricas.

El análisis cinemático de sentarse y levantarse en las dos extremidades inferiores es:

- En la cadera al sentarse se produce una flexión hasta los 70° y luego tras esperar un momento el sujeto se levanta haciendo una extensión hasta los 0° , volviendo a la posición inicial.
- En la rodilla al sentarse hay una flexión hasta casi los 100° y luego tras esperar unos instantes se levanta realizando una extensión hasta los 0° , regresando a la posición de referencia de 0° .
- En el tobillo al sentarse se produce una dorsiflexión hasta un pico máximo de 20° antes de estabilizarse en 15° , luego tras unos instantes se levanta haciendo una flexión planar hasta los 0° , volviendo a la posición inicial.

6.4.3 ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE DOS SUJETOS PARA EL ESCENARIO 2

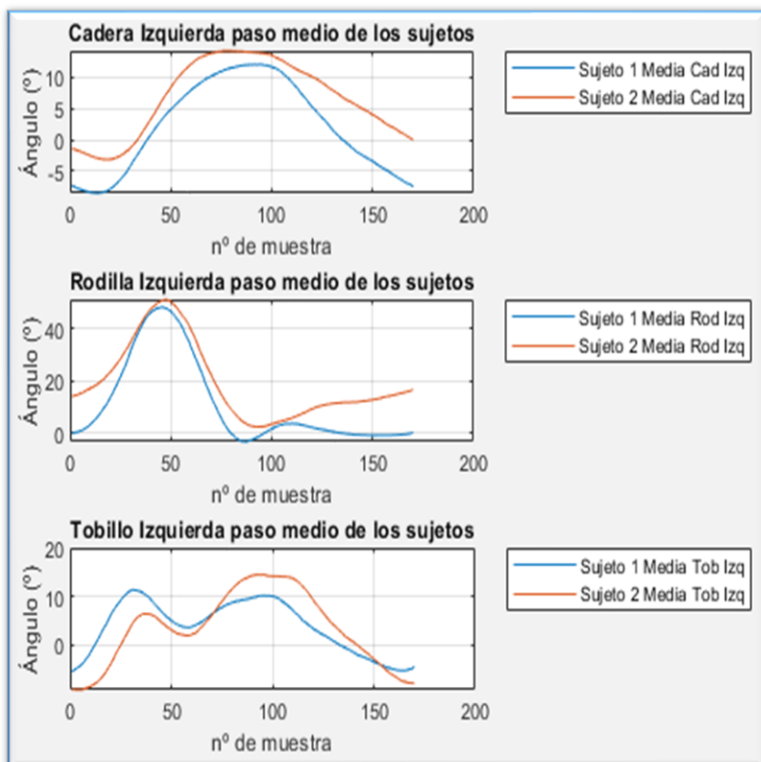


Figura 76: Pierna Izquierda Comparación Escenario 2 Sujeto 1 y 2

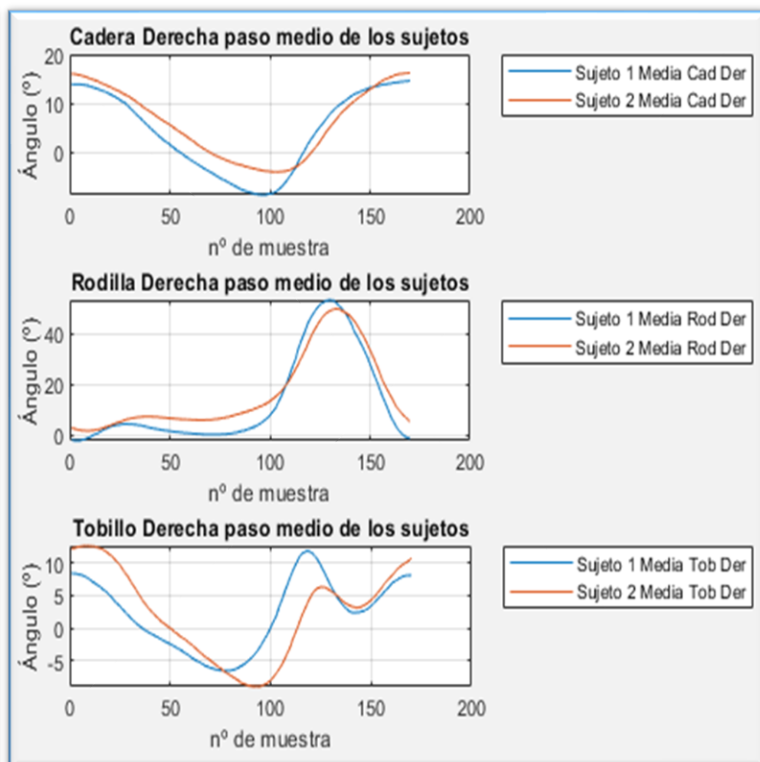


Figura 77: Pierna Derecha Comparación Escenario 2 Sujeto 1 y 2

En las dos figuras anteriores (Figura 76 y 77) se puede ver la comparación en los dos sujetos, donde para cada articulación se muestran dos señales correspondientes a los valores medios del sujeto 1 y 2 para el escenario 2, siendo la del sujeto 1 representada de color azul y la del sujeto 2 de color rojo.

Haciendo la comparativa de todo entre los dos sujetos con características parecidas los resultados que se observa que tanto para caderas, rodillas y tobillos en las dos piernas el patrón en general es muy similar. Aunque existen variaciones de pocos grados, ya que hay algunas pequeñas ocasiones a lo largo del movimiento que llegan a alcanzar unos ($\approx 5^\circ$) de diferencia. Además, a lo largo del desplazamiento a veces un sujeto se desarrolla un retraso con respecto al otro.

En cuanto a la amplitud y picos son similares salvo pequeñas variaciones, esto se puede ver mejor en las gráficas de los tobillos ya que los límites de su eje son de menor magnitud y se aprecia mejor.

6.4.4 OBTENCIÓN DE VALORES MEDIOS ENTRE DOS SUJETOS PARA EL ESCENARIO 2

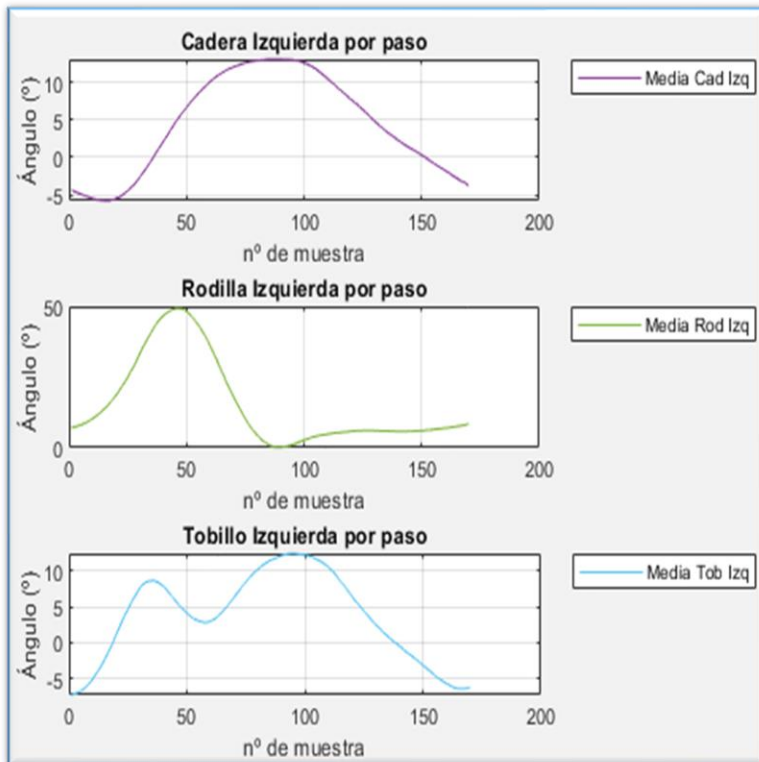


Figura 78: Pierna Izquierda Media Escenario 2 Sujeto 1 y 2

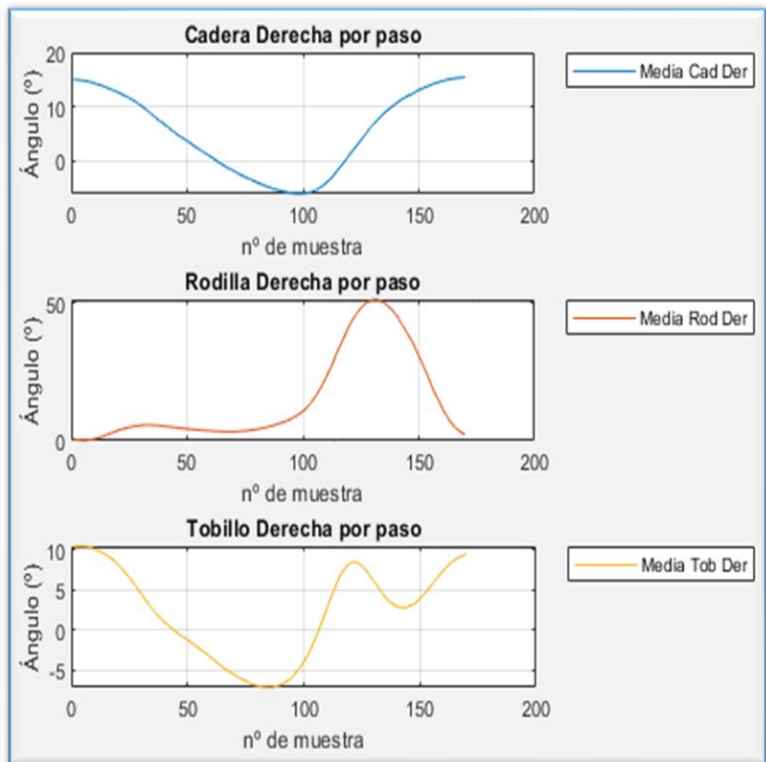


Figura 79: Pierna Derecha Media Escenario 2 Sujeto 1 y 2

Realizando la media con las repeticiones de los sujetos se obtiene el resultado final para un paso completo de la marcha humana (ver figuras 78 y 79). En el que tomando la figura 79 de la pierna derecha se ve como se realiza el paso completo desde el apoyo con el suelo del talón alcanzando la cadera su valor máximo en 15° , estando la rodilla en extensión completa a 0° y el tobillo en 10° .

En la fase de apoyo que va desde ese instante que se produce el contacto del suelo con el talón (muestra número 1) hasta el inicio de la fase de balanceo (muestra número 100):

- La cadera empieza con 15° de flexión a hacer la extensión disminuyendo estos grados hasta los 8° de extensión, momento antes de producirse el despegue de los dedos que es cuando comienza a la fase de balanceo
- La articulación de la rodilla se mantiene prácticamente constante a 5° en extensión durante todo este período.
- El tobillo que parte de una posición de flexión máxima de 10° va descendiendo con el movimiento hasta su punto mínimo a 7° de flexión dorsal justo cuando los dedos de los pies están en contacto con el suelo antes de producirse el despegue.

6. Obtención de datos y resultados

En la fase de balanceo que va desde el momento que deja de estar el pie derecho en contacto con el suelo (muestra número 100) hasta el siguiente contacto de talón de ese mismo pie (muestra número 170):

- La articulación de la cadera ya ha alcanzado su extensión máxima y comienza a hacer la flexión progresivamente hasta alcanzar el valor con el que se inició el paso a 15° .
- La rodilla que había estado todo este tiempo en extensión pasa velozmente en la fase media del balanceo a una flexión hasta los 50° para luego volver también de forma rápida con una extensión a su posición inicial justo antes de que finalice esta fase de balanceo.
- El tobillo que se encuentra en la dorsiflexión máxima a 7° y realiza un movimiento más completo que la rodilla y cadera, ya para regresar casi al valor inicial con una flexión planar para luego volver hacer una dorsiflexión en mitad del balanceo y terminar con otra flexión planar.

En la pierna izquierda pasa exactamente lo mismo ya que el caminar es un movimiento rítmico en las dos extremidades inferiores, pero en tiempos distintos con cierto retraso ya que va desfasada al encontrarse cada pierna en una fase distinta.

6.4.5 ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE DOS SUJETOS PARA EL ESCENARIO 3

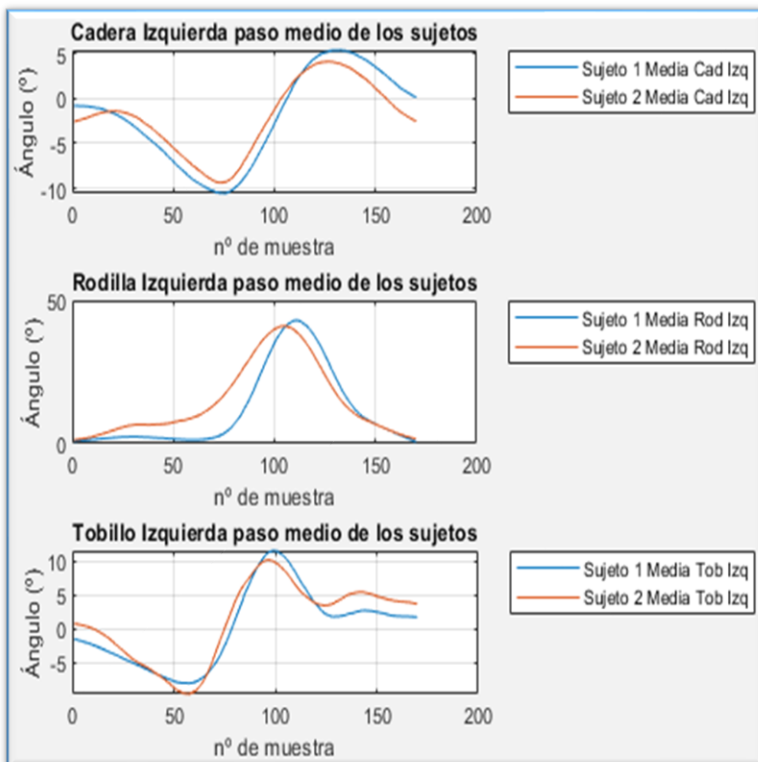


Figura 80: Pierna Izquierda Comparación Escenario 3 Sujeto 1 y 2

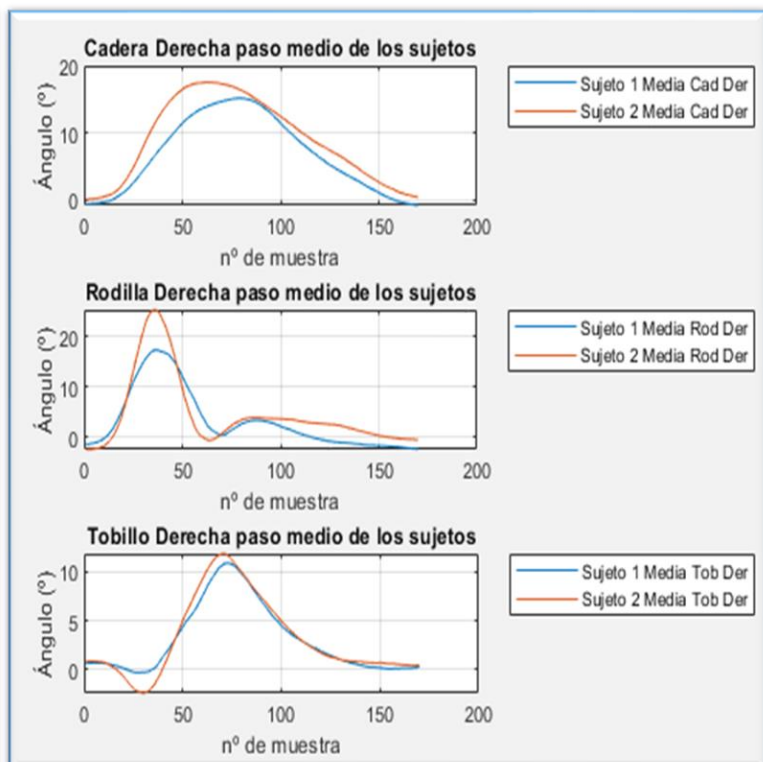


Figura 81: Pierna Derecha Comparación Escenario 3 Sujeto 1 y 2

6. Obtención de datos y resultados

En las figuras de comparación 80 y 81 se puede ver como entre el sujeto 1 y 2 hay muy poca diferencia, ya que el comportamiento es muy similar en los desplazamientos de los sujetos y la forma de las señales coinciden bastante bien, aunque en general en las gráficas se puede ver una pequeña diferencia de offset de 2 - 3°. Una cosa curiosa que sucede en la gráfica de la rodilla derecha es que en la rodilla del sujeto 2 se flexiona en mayor rango lo que hace que la señal del sujeto 2 tenga mayor amplitud en ese momento que la del sujeto 1, siendo la flexión del sujeto 2 entorno a los 24° y la del sujeto 1 sobre los 18°.

6.4.6 OBTENCIÓN DE VALORES MEDIOS ENTRE DOS SUJETOS PARA EL ESCENARIO 3

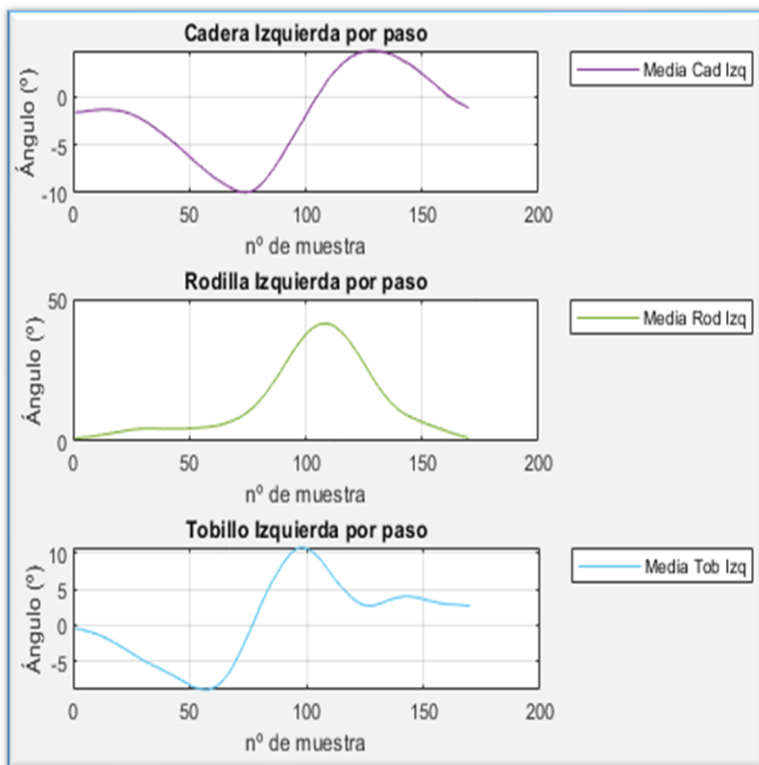


Figura 82: Pierna Izquierda Media Escenario 3 Sujeto 1 y 2

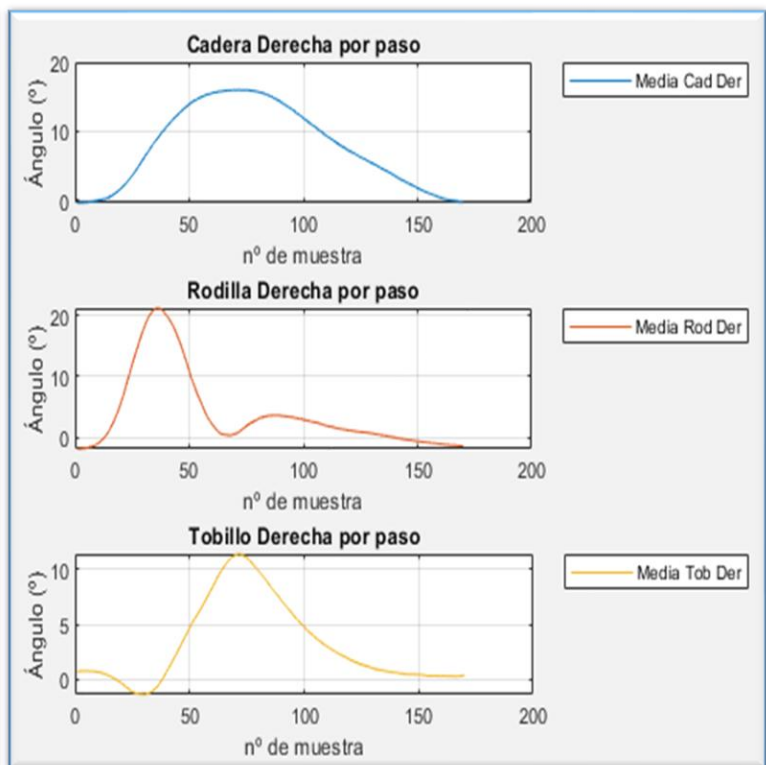


Figura 83: Pierna Derecha Media Escenario 3 Sujeto 1 y 2

En estas figuras 82 y 83 se muestra el valor medio de esta prueba entre los dos sujetos, el cual resulta ser muy diferente al del escenario 2 ya que aquí se toma el inicio de cada secuencia de la posición de referencia 0° mientras que antes esta posición de inicio la marcaba el comienzo de un ciclo de marcha cuando el talón del pie toca el suelo. Si comparamos entre la izquierda y la derecha no hay ninguna relación o patrón que se repita.

Esta secuencia se puede dividir en dos tramos uno el paso inicial y el otro el paso final. En este caso el punto que separa estas dos zonas es la muestra número 60 y su análisis cinemático es el siguiente:

Paso inicial:

- La cadera derecha hace una flexión hasta los 16° mientras que la pierna izquierda se mantiene constante unos instantes en 0° hasta que hace una extensión de 10° .
- En la rodilla derecha se produce una flexión de 20° para posteriormente volver a estirarse casi por completo. Sin embargo, en la rodilla contraria se mantiene constante en torno a los 5° .
- El tobillo derecho inicia con pequeña dorsiflexión de 2° o 3° y continua con una flexión planar hasta los 12° . En el tobillo de la pierna izquierda solo se produce la dorsiflexión del pie hasta los 9° .

Paso final:

- La cadera derecha hace un movimiento progresivo de extensión a lo largo de este período hasta acabar en 0° , por otro lado, la extremidad inferior contraria inicia una flexión seguida de una extensión de para finalizar con el apoyo de la pierna izquierda en la posición 0° .
- En la rodilla derecha es prácticamente constante solo se produce una pequeña variación de pocos grados, cosa que no sucede en la rodilla de la pierna izquierda donde en su comportamiento cinemático hay una flexión y una extensión de magnitudes similares en torno a los 45° .
- El tobillo derecho solo se produce un movimiento simple que es la dorsiflexión y como muestra la gráfica va desde los 12° hasta los 0° . Para el caso del tobillo izquierdo la situación es diferente debido a que parte de 9° de dorsiflexión y se incrementa 19° hasta los 10° de la flexión planar, esto sucede en la mitad de este medio paso y termina descendiendo a los 0° en un último movimiento de dorsiflexión.

En general, el sexo y las características antropométricas de cada persona influyen y determinan el patrón de marcha o cualquier otro desplazamiento, ya que por ejemplo la estatura condiciona la longitud de paso y con ellos los diferentes movimientos de las articulaciones. Otro factor es la cadencia más o menos rápida provoca un efecto más pronunciado en los valores de los ángulos de la articulación. En este caso los sujetos tienen características parecidas y los resultados han variado muy poco. Con un aumento de la base de datos realizando pruebas sobre varios voluntarios se podría comprobar todo esto y llegar a conclusiones más claras.

6.5 RESULTADO DE LA RECONSTRUCCIÓN

Una vez logrados los resultados medios ya sea entre sujetos o de cada sujeto se pueden separar por tipo de movimiento. Estos movimientos son sentarse, levantarse, paso completo, paso inicio y paso final. Tomando de ejemplo los resultados de la media del Sujeto 1 y 2, de los puntos anteriores 6.4.2, 6.4.4 y 6.4.6 los resultados de los movimientos son:

Escenario 1: Media entre dos sujetos

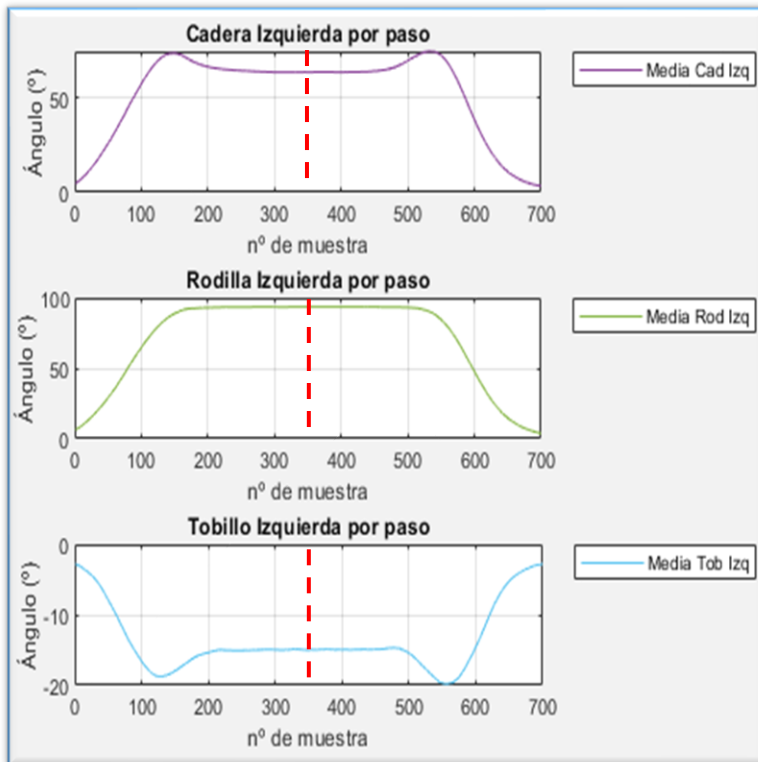


Figura 84: Pierna Izquierda Sentarse y Levantarse

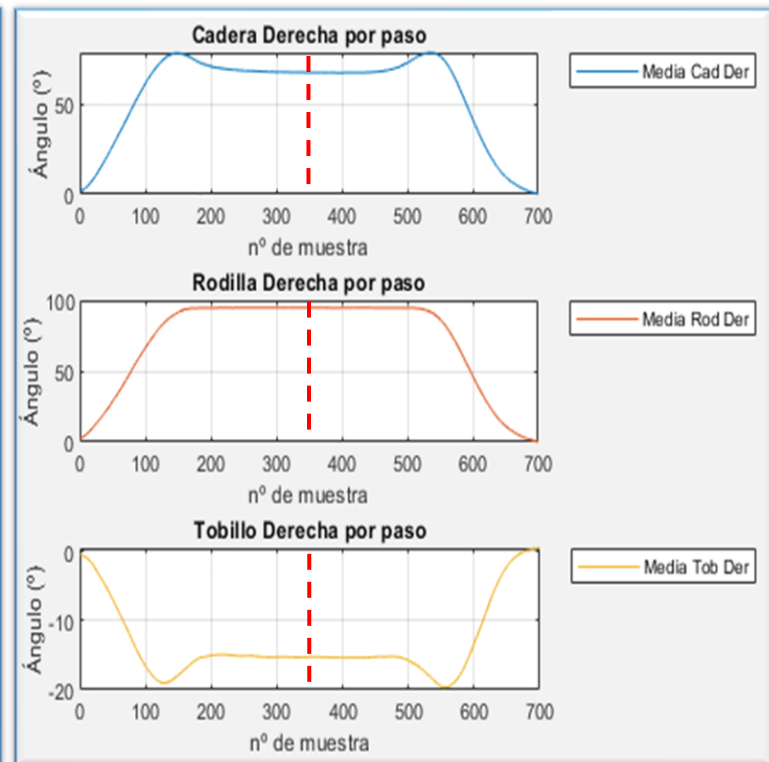


Figura 85: Pierna Derecha Sentarse y Levantarse

Los resultados del escenario 1 (ver figura 84 y 85) se pueden separar por la mitad en la muestra número 350 en dos partes iguales y simétricas, siendo la parte de la izquierda la orden de sentarse y otra parte de la derecha la de levantarse. Los valores de los ángulos coinciden si se comparan las dos piernas.

6. Obtención de datos y resultados

Escenario 2: Media entre dos sujetos

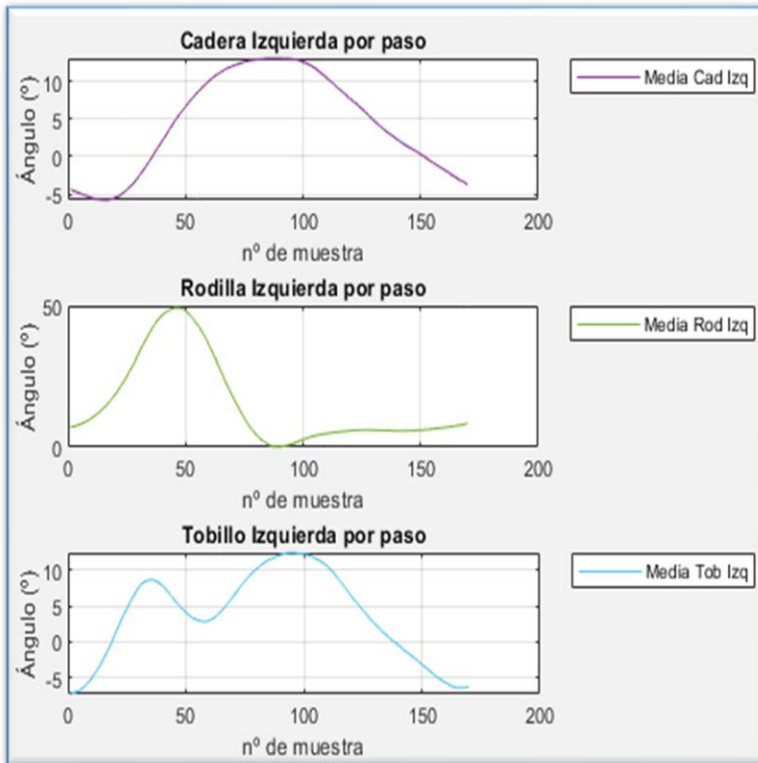


Figura 87: Pierna Izquierda Paso Completo

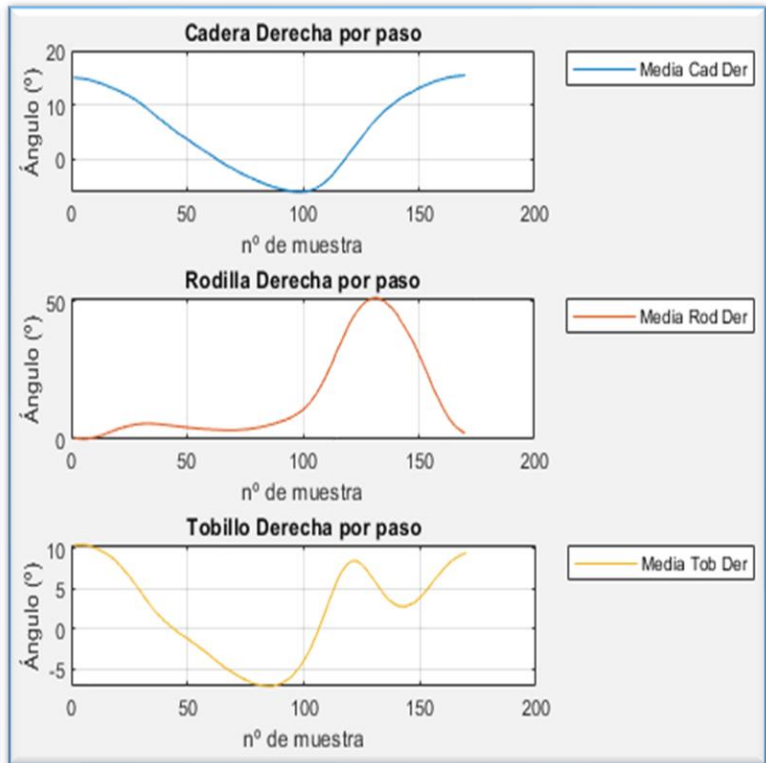


Figura 86: Pierna Derecha Paso Completo

Los resultados del escenario 2 (ver figura 86 y 87) no se divide en partes, ya que corresponde con un ciclo de marcha.

Escenario 3: Media entre dos sujetos

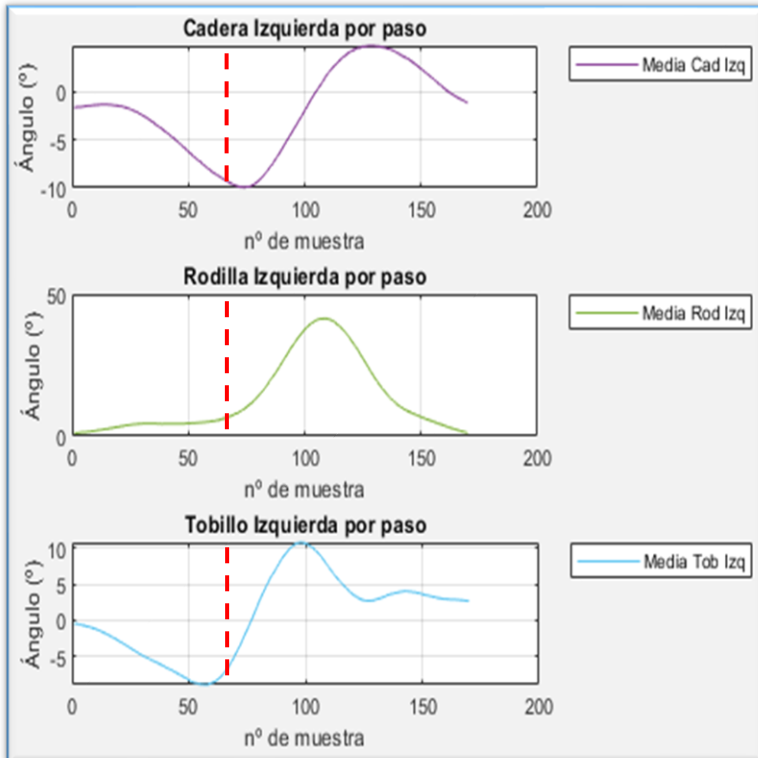


Figura 88: Pierna Izquierda Paso Inicial y Paso Final

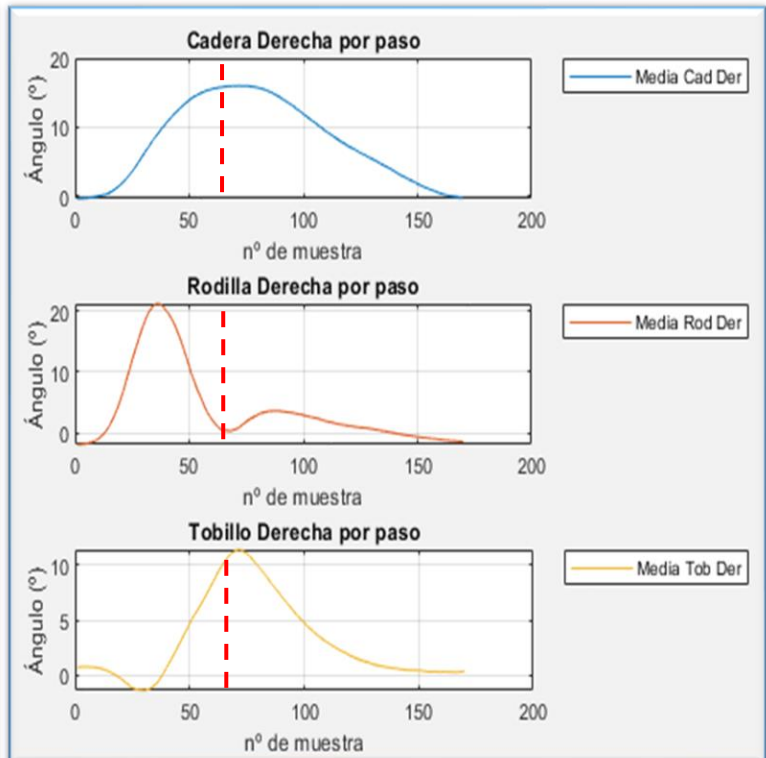


Figura 89: Pierna Derecha Paso Inicial y Paso Final

En las figuras 88 y 89 se pueden apreciar los resultados de este último escenario, el escenario 3, se separa entre el paso inicial y el paso final, esta secuencia completa empieza en la posición de referencia con 0° y termina en esa misma posición. Con esta prueba se busca obtener como es el primer paso de la marcha partiendo una posición de bipedestación y el último paso para acabar igual que la posición inicial. El momento en el cual el tobillo derecho alcanza su ángulo máximo en la gráfica es el momento en el que acaba el paso inicial y empieza el paso final, en este caso ese punto sucede en la muestra número 60.

Reconstrucción

Una vez que se tienen todos los movimientos separados por partes se pueden juntar y combinar para reconstruir una señal, como por ejemplo la marcha o cualquier otra combinación que tenga un orden lógico.

Por ejemplo, para simular el escenario 2 de la marcha es necesario juntar un paso inicial, cinco pasos completos y un paso final:

Marcha = paso inicial + paso + paso + paso + paso + paso + paso final

Dando como resultado:

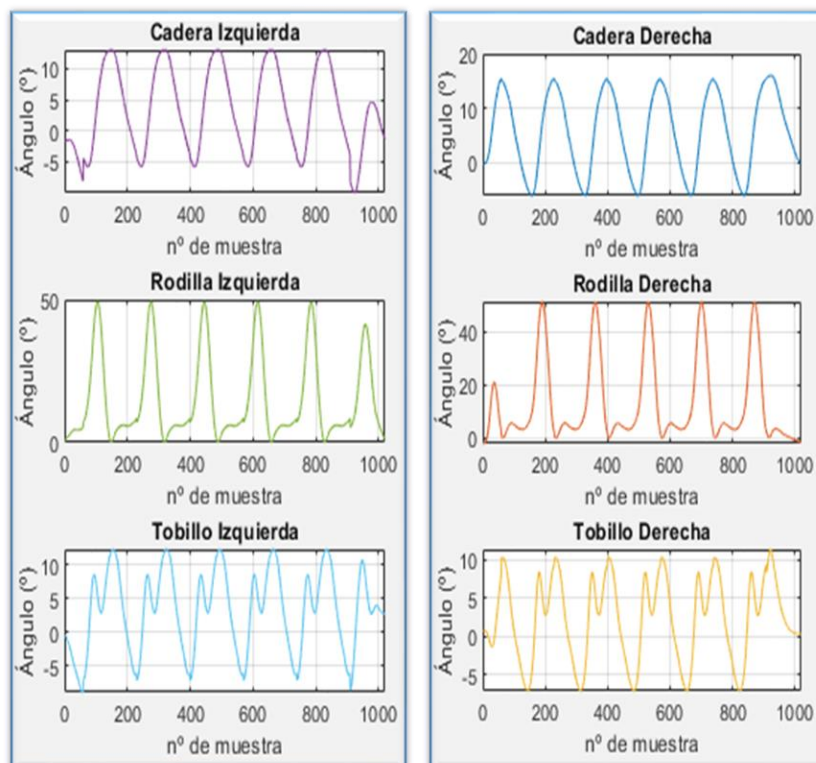


Figura 90: Pierna Izquierda Marcha

Figura 91: Pierna Derecha Marcha

La reconstrucción de la marcha da como resultado las figura 90 para la pierna izquierda y la figura 91 para la pierna derecha

6. Obtención de datos y resultados

Tomando de ejemplo del Escenario 2 Ensayo 1 del punto 5.5.1:

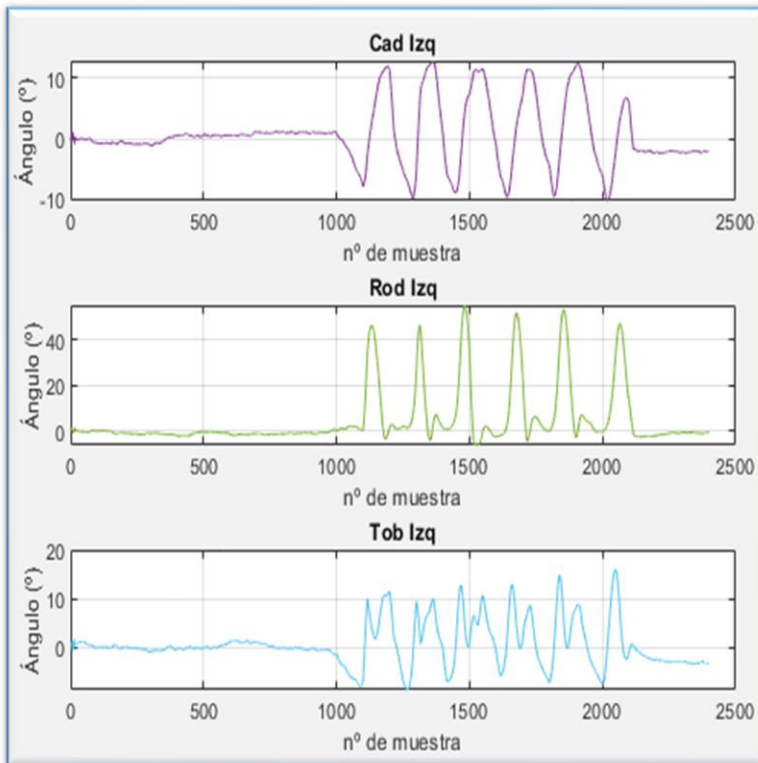


Figura 92: Pierna Izquierda Prueba 2 (Marcha) Ensayo 1 Sujeto 1.

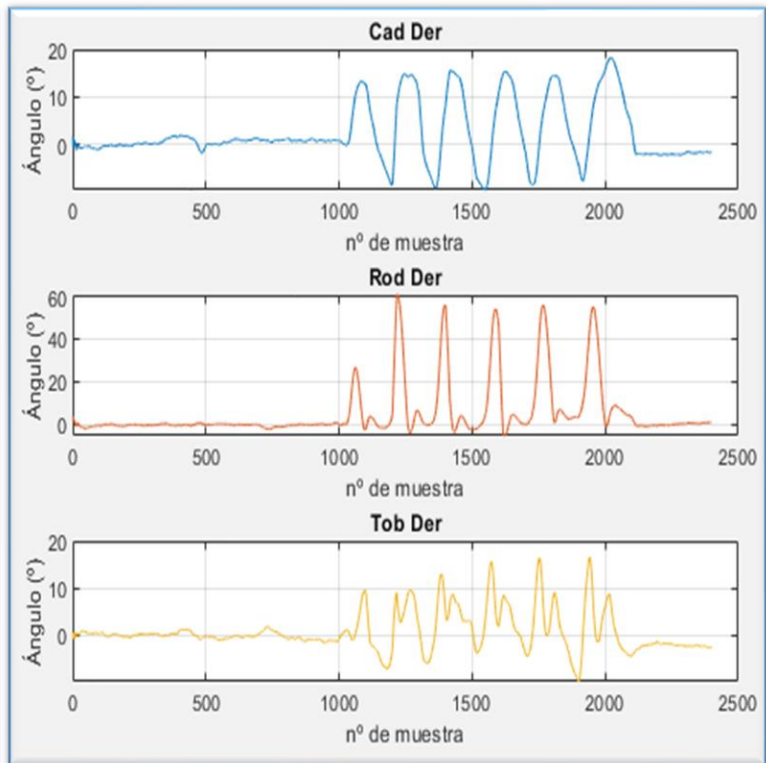


Figura 93: Pierna Derecha Prueba 2 (Marcha) Ensayo 1 Sujeto 1.

Comparando las figuras 90 y 91 que son el resultado de la marcha reconstruida con el obtenido en el Ensayo 1 del Escenario 2 del Sujeto 1 (Figuras 92 y 93) se puede ver que las gráficas tanto para la pierna izquierda y derecha son prácticamente iguales. Por lo que ya se ha identificado el patrón de marcha normal para sujetos que no presentan ninguna patología o dificultad al andar.

De la misma forma que se ha hecho en este ejemplo se podrían hacer otras combinaciones con los diferentes movimientos que se han guardado en la base de datos que se ha ido generando o hacer este mismo ejemplo, pero con el número de pasos que se desee.

7. SIMULACIÓN 3D

Para facilitar la visualización de los resultados se ha realizado una simulación en 3D. En esta simulación se pueden ver cualquiera de los tres escenarios con la opción 1 en el código o el resultado final de cómo es la reconstrucción de marcha normal de una persona o cualquier otra serie de movimientos que se halla dado guardado con la opción 2 en el código.

Primero se pasan a radianes los ángulos que se van a simular. A continuación, la gráfica de cada frame se guarda con la posición en la que el sujeto se encuentra en cada momento y con la acumulación de estos frames después se puede ver la simulación a 166,66 FPS (Frame por segundo) usando `movie (Mo,1,FPS)`. Para la simulación no se ha empleado ninguna toolbox de matlab, sino que se ha usa una función que se ha creado, que va generando los diferentes movimientos y que hará posible graficar en 3D con `plot3`.

El script usado para la simulación en 3d ha sido: `Simulacion_3D.m` y se muestra en el Anexo 9.10.

Las funciones que hay en este script son:

- La función: `grafica_angulo_piernas_y_cuerpo.m`

En esta función se calculan las posiciones en X, Y y Z, es decir, la programación y animación en 3D de una persona, que ha hecho siguiendo la idea de la cinemática directa y abordando la solución usando el método geométrico, a partir de un conjunto de parámetros físicos que definen la geometría de la pierna para obtener directamente la posición tridimensional del extremo de cada segmento de esta en función de los valores angulares de las articulaciones.

Después se ha modelado la figura de una persona con segmentos rígidos conectados con las articulaciones para dibujar las piernas y con formas rectangulares con volumen las diferentes partes del cuerpo.

El código de esta función es esta en el anexo 9.10.1.

- La función: `BoxPlot3.m`

Esta función se usa dentro de la función anterior y sirve para dibujar las seis caras de una caja, para ello se indica un punto inicial y la longitud de largo, ancho y alto.

```

function BoxPlot3(x0, y0, z0, Lx, Ly, Lz)
x = [x0, x0, x0, x0, x0+Lx, x0+Lx, x0+Lx, x0+Lx];
y = [y0, y0, y0+Ly, y0+Ly, y0, y0, y0+Ly, y0+Ly];
z = [z0, z0+Lz, z0+Lz, z0, z0, z0+Lz, z0+Lz, z0];
index = zeros(6,5);
index(1,:) = [1 2 3 4 1];
index(2,:) = [5 6 7 8 5];
index(3,:) = [1 2 6 5 1];
index(4,:) = [4 3 7 8 4];
index(5,:) = [2 6 7 3 2];
index(6,:) = [1 5 8 4 1];
for k = 1:6
patch(x(index(k,:)), y(index(k,:)), z(index(k,:)), 'red')
hold on
end
end

```

En la simulación (ver figura 94) aparece el dibujo de un sujeto compuesto por la cabeza, torso, brazos y piernas. Las partes del cuerpo pertenecientes a la parte superior como la cabeza, torso, brazos están de color rojo mientras que la extremidad inferior derecha en azul y la izquierda en amarillo, además, hay un suelo de color verde sobre el que realiza los diferentes movimientos el dibujo del sujeto. La longitud de los segmentos de la pierna y cuerpo corresponde en proporción con las de una persona.

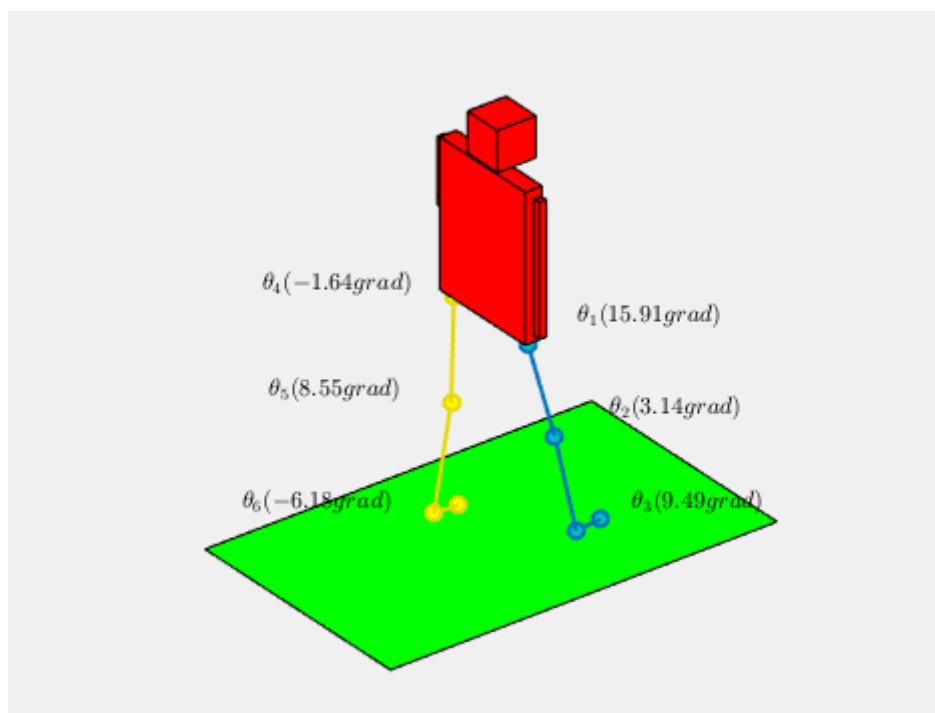


Figura 94: Simulación 3D

En esta simulación en 3D se muestra en las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo, junto al final del pie se han representado con un círculo. También vemos como al lado de cada articulación se ha puesto el valor del ángulo en grados del giro de las articulaciones y en su variación con el tiempo.

Donde:

- θ_1 es el ángulo de la cadera de la pierna derecha.
- θ_2 es el ángulo de la rodilla de la pierna derecha.
- θ_3 es el ángulo del tobillo de la pierna derecha.
- θ_4 es el ángulo de la cadera de la pierna izquierda.
- θ_5 es el ángulo de la rodilla de la pierna izquierda.
- θ_6 es el ángulo del tobillo de la pierna izquierda.

La gran ventaja de las simulaciones radica en que predicen cómo se comportará a los movimientos de las piernas sin la necesidad de tener físicamente un exoesqueleto para probarlo, además al ver que sucede se analiza y aplican posibles cambios antes de aplicarlos en la realidad reduciendo de este método muchos defectos. Por lo que permite hacer pruebas en condiciones que podrían ser peligrosas para la persona que lleva puesto el exoesqueleto o causar daños al exoesqueleto lo que conlleva un elevado coste económico.

En definitiva, con la simulación se puede observar visualmente como sería los movimientos articulares en ambos miembros y así ilustrar y facilitar la comprensión de los resultados comprobando qué tan adecuada resulta ser para el patrón de marcha. Esto serviría como punto de partida para establecer como sería en la realidad con el uso de un exoesqueleto.

8. CONCLUSIÓN

8.1 CONCLUSIÓN

La conclusión principal de este proyecto es que se ha conseguido cumplir el objetivo final marcado para este, el cuál era la identificación de patrón de la marcha humana en un plano, para ello se han realizado diferentes pruebas. Estas pruebas han arrojado un resultado en común entre dos sujetos Este resultado podrá ser aplicado a un exoesqueleto, en especial va destinado para su uso en el prototipo de exoesqueleto que hay en el laboratorio de la Universidad Politécnica de Cartagena. Los resultados obtenidos unidos a un exoesqueleto pueden ser de gran utilidad en la rehabilitación debido a que se alcanzaría a simular la marcha normal de una persona que necesite ayuda para recuperar la movilidad de las extremidades inferiores.

Para llegar a este resultado final ha hecho falta un estudio previo de la como es la marcha humana, así como las partes y articulaciones que componen una pierna y los movimientos que pueden realizar y sus rangos máximos en ángulos. También se ha determinado el plano sagital, como el plano donde se medirán los ángulos.

Después se ha configurado un prototipo de medidas al que se le han realizado modificaciones como el cambio de los tres potenciómetros de la pierna izquierda y el cambio se sistema de la sujeción de la cadera cambiando el sistema anterior por un cinturón que se adapta mejor y todos los sujetos. También para poder realizar largos desplazamientos y no tener que cargar con el ordenador portátil y su alimentación se ha incorporado un cable USB de 5 m.

A continuación, se han definido tres escenarios diferentes para identificar la marcha y también la metodología en las que estas se realizan con el fin de que sea lo más homogéneas posibles. En el escenario 1 se basa en sentarse y levantarse, el escenario 2 en hacer la marcha normal y el escenario 3 con el fin de saber cómo es el primer paso y último de la marcha normal si se inicia a caminar estando parado y de pie.

En cuanto a software se ha modificado parte del código ya existente y se ha añadido nuevo para otros propósitos como la segmentación de la señal, normalizado o simulación el 3D.

Una vez que estaba preparado todo se han extraído a 2 sujetos los datos de los sensores con el muestreo distintivo para cada prueba, estos datos inicialmente en voltaje se han tratado, primero filtrándolos con un filtro medio y después pasándolos

mediante una interpolación de voltaje en voltios a ángulos en unidad de grados, cada prueba ha sido segmentada en las cinco repeticiones y se ha hecho una media con diez secuencias que se repiten de los 2 ensayos, dado como resultado el movimiento medio de cada prueba y cada articulación para ese sujeto. Antes de realizar esta media se detectó que las repeticiones tenían el mismo número de muestras debido a que cada movimiento se ha podido hacer un poco más rápido o lento y por eso se ha normalizado el número de muestras para que cada repetición tenga el mismo tamaño.

Con los resultados medios de cada prueba y sujeto se ha hecho la comparación entre dos sujetos que no presentan dificultad al andar y con algunas características similares y se ha concluido en que en general tras compararlos, los ángulos generados en cada movimiento se asemejan. Haciendo la media entre los dos sujetos se ha obtenido finalmente los patrones para la realización de movimientos como sentarse levantarse, hacer un ciclo completo de marcha, dar un paso inicial y otro final de la marcha. Uniendo estas órdenes se ha reconstruido una señal de marcha con un paso inicial junto a cinco pasos y un paso final, recreando el escenario 2 de andar.

Para concluir se ha conseguido mostrar este resultado con una simulación en 3D donde se ve a un sujeto realizando los movimientos angulares que toman cada segmento de la pierna en cada momento.

Por último, hay que comentar que durante el período de finalización del proyecto estaba previsto realizar las pruebas a más voluntarios que presentaran características similares o dispares y con alguna patología o dificultad a la hora de realizar la locomoción humana y de esta forma aumentar la base de datos para poder hacer un análisis y una comparación más profunda entre sujetos, pero esto no ha podido ser debido a la **declaración del estado de alarma** como consecuencia de la **pandemia de COVID-19**.

8.2 TRABAJO FUTURO

Existen algunos detalles que se pueden seguir puliendo que se podrían realizar como trabajo futuro. Como la de mejorar el prototipo para hacer posible realizar sin problemas movimientos laterales y también buscar alguna forma para que no quede tan recto y de esta manera se pueda adaptar mejor a la pierna de la persona porque si no pude que genere algún problema a la hora de colocar el prototipo en algunas personas.

Algunas ideas para el futuro podrían ser la implementación de otras órdenes como por ejemplo podrían ser la de subir y bajar escaleras o caminar sobre pendientes ascendentes y descendentes, para así complementar la marcha humana sobre superficies planas, aportada en este proyecto junto a sentarse y levantarse.

8.3 OPINIÓN PERSONAL

En este proyecto he podido emplear los contenidos teóricos y prácticos aprendidos en las distintas asignaturas cursadas a lo largo del grado de electrónica industrial y automática. Asimismo, he conseguido más manejo práctico con un dispositivo de adquisición de datos y con sensores y adquirido nuevos conocimientos de procesamiento de señales y programación. Finalmente, a nivel personal me he dado cuenta de la importancia de hacer estudios y desarrollos de nuevos proyectos tecnológicos innovadores, ya que pueden ser muy útiles y cambiar o mejorar la calidad de vida de muchas personas que lo necesiten.

9. ANEXOS

9.1 SCRIPT: CONFIGURACIÓN_INICIAL.M

```

daq.reset; % Conviene hacer un reset ya que a veces no se detecta la
tarjeta correctamente.
device=daq.getDevices;
vendor=daq.getVendors;
s=daq.createSession('dt');
ai0=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '0', 'Voltage');
ai1=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '1', 'Voltage');
ai2=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '2', 'Voltage');
ai3=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '3', 'Voltage');
ai4=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '4', 'Voltage');
ai5=s.addAnalogInputChannel('DT9812(00)', '5', 'Voltage');
s.Channels
%s devuelve el estado de la tarjeta y su configuración.
s

```

9.2 SCRIPT: CALIBRACION.M

```

fprintf('\n Calibración del prototipo. Pierna Derecha Y Pierna Izquierda
\n');

%% Modelo en la posición CERO grados
aceptar=input('Colocar el prototipo en la posición de referencia de 0°.
Introduzca cualquier número: \n');
for i=1:1500
calib0grados(i,1:6)=s.inputSingleScan();
end
media0grados= mean(calib0grados);
refAnCad0=0;
refAnRod0=0;
refAnTob0=0;

%% Modelo en la posición NOVENTA grados
aceptar=input('Colocar el prototipo en la posición de referencia de 90°.
Introduzca cualquier número: \n');
for i=1:1500
calib90grados(i,1:6)=s.inputSingleScan();
end
media90grados= mean(calib90grados);
refAnCad90=-90;
refAnRod90=90;
refAnTob90=90;

save('CalibracionBien0y90matlab','media0grados','media90grados','refAn
Cad0','refAnCad90','refAnRod0','refAnRod90','refAnTob0','refAnTob90');

```

9.3 SCRIPT: GRABAR_SONIDO.M

```

recObj_sonido = audiorecorder %Creación del objeto de grabación.
msgbox('Empezando Grabación','Grabadora '); %Inicio de la grabación.
recordblocking(recObj_sonido,3); %Grabación del sonido.
msgbox('Terminando Grabación','Grabadora '); %Fin de la grabación.

```

```
save('Sonido_de_espere3seg','recObj_sonido'); %Guardar sonido.
%También se ha grabado:'Sonido_de_inicio','Sonido_de_fin'
,'Sonido_de_sientate'y 'Sonido_de_levantate'
```

9.4 SCRIPT: PRUEBA.M

```
close all
clear all

load Sonido_de_espere3seg
load Sonido_de_inicio
load Sonido_de_fin
load Sonido_de_sientate
load Sonido_de_levantate

t=zeros(samples);

fprintf('\n Colóquese en la posición inicial \n');
pause(3)
msgbox('Empezando Prueba',' Grabadora ');
fprintf('\n Inicio toma de datos... \n');
data1=[0, 0, 0, 0, 0, 0];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%MUESTREO PRUEBA 1%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
samples=6500
t=zeros(samples);

fprintf('\n Colóquese en la posición inicial \n');
pause(3)
msgbox('Empezando Prueba',' Grabadora ');
fprintf('\n Inicio toma de datos... \n');
data1=[0, 0, 0, 0, 0, 0];

for i=1:samples
    %Sonidos de la prueba
    if i==1
        frec=[1000 1000 1000 ]; %frecuencia del los sonidos
        ts=1/8000;
        N=2000;
        T=N*ts;
        parada=T*(1-1/N);
        x=0:ts:parada;
        for k=1:length(frec)
            nota=2*sin(2*pi*frec(k)*x+pi/6);
            sound(nota,1/ts)
            pause(0.5)
        end
        play(recObj_espere3seg);
    end
    if i==800
        play(recObj_inicio);
    end
    if i==1000|| i==2000 || i==3000 || i==4000 || i==5000
        play(recObj_sientate);
    end
    if i==1500 || i==2500 || i==3500 || i==4500 || i==5500
        play(recObj_levantate);
    end
    if i==samples-1
        play(recObj_fin);
    end
end
```

```

end
%Fin sonidos
tic
data1(i,1:6)=s.inputSingleScan();
t(i) = toc;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FIN MUESTREO PRUEBA 1%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%MUESTREO PRUEBA 2%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

samples=2400;
t=zeros(samples);

for i=1:samples
%Sonidos de la prueba
if i==1
frec=[1000 1000 1000 ]; %frecuencia del los sonidos
ts=1/8000;
N=2000;
T=N*ts;
parada=T*(1-1/N);
x=0:ts:parada;
for k=1:length(frec)
nota=2*sin(2*pi*frec(k)*x+pi/6);
sound(nota,1/ts)
pause(0.5)
end
play(recObj_espere3seg);
end
if i==800
play(recObj_inicio);
end
if i==1000 || i==1200 || i==1400 || i==1600 || i==1800 || i==2000
frec=1500; %frecuencia del los sonidos
ts=1/8000;
N=2000;
T=N*ts;
parada=T*(1-1/N);
x=0:ts:parada;
for k=1:length(frec)
nota=2*sin(2*pi*frec(k)*x+pi/6);
sound(nota,1/ts)
pause(0.15)
end
end
if i==1100 || i==1300 || i==1500 || i==1700 || i==1900 || i==2100
ts=1/8000;
N=2000;
T=N*ts;
parada=T*(1-1/N);
x=0:ts:parada;
for k=1:length(frec)
nota=2*sin(2*pi*frec(k)*x+pi/6);
sound(nota,1/ts)
pause(0.15)
end
end
if i==samples-1
play(recObj_fin);
end
end

```

```

    %Fin sonidos
    tic
    data1(i,1:6)=s.inputSingleScan();
    t(i) = toc;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FIN MUESTREO PRUEBA 2%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%MUESTREO PRUEBA 3%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
samples=3500
t=zeros(samples);

fprintf('\n Coloquese en la posición inicial \n');
pause(5)
msgbox('Empezando Prueba',' Grabadora ');
fprintf('\n Inicio toma de datos... \n');
data1=[0, 0, 0, 0, 0, 0];

for i=1:samples
    %Sonidos de la prueba:
    if i==1
        frec=[1000 1000 1000 ]; %frecuencia de los sonidos
        ts=1/8000;
        N=2000;
        T=N*ts;
        parada=T*(1-1/N);
        x=0:ts:parada;
        for k=1:length(frec)
            nota=2*sin(2*pi*frec(k)*x+pi/6);
            sound(nota,1/ts)
            pause(0.5)
        end
        play(recObj_espere3seg);
    end
    if i==700
        play(recObj_inicio);
    end

    if i==1000 || i==1500 || i==2000 || i==2500 || i==3000
        frec=1500; %frecuencia del los sonidos
        ts=1/8000;
        N=2000;
        T=N*ts;
        parada=T*(1-1/N);
        x=0:ts:parada;
        for k=1:length(frec)
            nota=2*sin(2*pi*frec(k)*x+pi/6);
            sound(nota,1/ts)
            pause(0.15)
        end
    end

    if i==1100 || i==1600 || i==2100 || i==2600 || i==3100
        ts=1/8000;
        N=2000;
        T=N*ts;
        parada=T*(1-1/N);
        x=0:ts:parada;
        for k=1:length(frec)
            nota=2*sin(2*pi*frec(k)*x+pi/6);
            sound(nota,1/ts)
        end
    end
end

```

```

        pause(0.15)
        end
    end
    if i==samples-1
        play(recObj_fin);
    end
    %Fin sonidos
    tic
    data1(i,1:6)=s.inputSingleScan();
    t(i) = toc;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FIN MUESTREO PRUEBA 3%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fprintf('\n Fin toma de datos \n');

fprintf('\n La toma de datos ha tardado:\n');
    tttotal=0;
    for i=1:samples
        tttotal=tttotal+t(i);
    end
    tttotal

fprintf('\n Tiempo de cada muestreo:\n');
    tiempo_de_muestreo=tttotal/samples

%% Filtrado %%
fprintf('\n Inicio Filtrado.. \n');
Trayectoria1=data1;
TrayectoriaFilt=data1;

    ii=17;
    for ii=17:samples
        filtro=[0, 0, 0, 0, 0, 0];
        for iii=1:16
            filtro= filtro+data1(ii-iii,1:6);
        end
        TrayectoriaFilt(ii,1:6)=filtro/16;
    end
fprintf('\n Fin Filtrado \n');
% End Filtrado

%% Graficar datos brutos
f1=figure('Name', 'Datos Brutos');
h= plot(data1, 'YDataSource','data1');
xlabel('n° de muestra')
ylabel('Voltaje (V)')
legend('Cadera Derecha', 'Rodilla Derecha', 'Tobillo Derecho','Cadera
Izquierda','Rodilla Izquierda','Tobillo Izquierdo','Location',
'NorthEastOutside');
title('Sensores. Mediciones en Voltaje');
grid on;

%% Gráfica Filtrado
f2=figure('Name', 'Datos Filtrado');
plot (TrayectoriaFilt);
xlabel('n° de muestra')
ylabel('Voltaje (V)')
legend('Cadera Derecha', 'Rodilla Derecha', 'Tobillo Derecho','Cadera
Izquierda', 'Rodilla Izquierda', 'Tobillo Izquierdo',
'Location','NorthEastOutside');

```

```

title('Sensores. Mediciones en Voltaje Filtrado');
grid on;

%% transformación a ángulos
load CalibracionBien0y90matlab

Tension=[0, 0, 0, 0, 0, 0];
Tension=TrayectoriaFilt;

Volt2ang31(1:samples,1)=-((- (refAnCad90-refAnCad0) / (media0grados(1) -
media90grados(1))) * (Tension(1:samples, 1) -
media90grados(1)) + refAnCad90);
Volt2ang31(1:samples,2)=- (refAnRod90-refAnRod0) / (media0grados(2) -
media90grados(2)) * (Tension(1:samples, 2) - media90grados(2)) + refAnRod90;
Volt2ang31(1:samples,3)=- (refAnTob90-refAnTob0) / (media0grados(3) -
media90grados(3)) * (Tension(1:samples, 3) - media90grados(3)) + refAnTob90;
Volt2ang31(1:samples,4)=-((- (refAnCad90-refAnCad0) / (media0grados(4) -
media90grados(4))) * (Tension(1:samples, 4) -
media90grados(4)) + refAnCad90);
Volt2ang31(1:samples,5)=- (refAnRod90-refAnRod0) / (media0grados(5) -
media90grados(5)) * (Tension(1:samples, 5) - media90grados(5)) + refAnRod90;
Volt2ang31(1:samples,6)=- (refAnTob90-refAnTob0) / (media0grados(6) -
media90grados(6)) * (Tension(1:samples, 6) - media90grados(6)) + refAnTob90;

f3=figure('Name','Datos Ángulos');
plot(Volt2ang31);
grid on
legend('Cadera Der','Rodilla Der','Tobillo Der','Cadera
Izq','Rodilla Izq','Tobillo Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Transformación a Ángulos');

%% %-----Gráfica de los datos-----
f7=figure('Name','Datos Derecha');
subplot(3,1,1),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,1),'Color',[0
0.4470 0.7410]),grid on,title('Cad Der');
subplot(3,1,2),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,2),'Color',[0.8500
0.3250 0.0980]),grid on,title('Rod Der');
subplot(3,1,3),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,3),'Color',[0.9290
0.6940 0.1250]),grid on,title('Tob Der');

f8=figure('Name','Datos Izquierda');
subplot(3,1,1),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,4),'Color',[0.4940
0.1840 0.5560]),grid on,title('Cad Izq');
subplot(3,1,2),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,5),'Color',[0.4660
0.6740 0.1880]),grid on,title('Rod Izq');
subplot(3,1,3),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,6),'Color',[0.3010
0.7450 0.9330]),grid on,title('Tob Izq');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Cambiar P,E y S por el número de prueba,ensayo y sujeto que corresponda.
save('Muestreo_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S','TrayectoriaFilt',
'TrayectoriaFilt','samples','ttotal');
save('Volt2ang_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S','Volt2ang31','samples');

```

9.5 SCRIPT: ELIMINACION_OFFSET.M

```

%%Se usa en caso de que la señal tenga offset.
close all
clear all

```



```

%cambiar número de prueba y ensayo
load Muestreo_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S

%load CalibracionBien0y90matlab
load CalibracionBien0y90matlab
%-----
Tension=[0, 0, 0, 0, 0, 0];
Tension=TrayectoriaFilt;
off_cad_der=0;
off_rod_der=0;
off_tob_der=0;
off_cad_izq=0;
off_rod_izq=0;
off_tob_izq=0;

Volt2ang31(1:samples,1)=off_cad_der+((- (refAnCad90-
refAnCad0) / (media0grados(1)-media90grados(1))) * (Tension(1:samples, 1) -
media90grados(1)) + refAnCad90);
Volt2ang31(1:samples,2)=off_rod_der+((- (refAnRod90-
refAnRod0) / (media0grados(2)-media90grados(2))) * (Tension(1:samples, 2) -
media90grados(2)) + refAnRod90);
Volt2ang31(1:samples,3)=off_tob_der+((- (refAnTob90-
refAnTob0) / (media0grados(3)-media90grados(3))) * (Tension(1:samples, 3) -
media90grados(3)) + refAnTob90);
Volt2ang31(1:samples,4)=off_cad_izq+((- (refAnCad90-
refAnCad0) / (media0grados(4)-media90grados(4))) * (Tension(1:samples, 4) -
media90grados(4)) + refAnCad90);
Volt2ang31(1:samples,5)=off_rod_izq+((- (refAnRod90-
refAnRod0) / (media0grados(5)-media90grados(5))) * (Tension(1:samples, 5) -
media90grados(5)) + refAnRod90);
Volt2ang31(1:samples,6)=off_tob_izq+((- (refAnTob90-
refAnTob0) / (media0grados(6)-media90grados(6))) * (Tension(1:samples, 6) -
media90grados(6)) + refAnTob90);
% % % % %
%-----Gráfica de los Datos en Ángulos-----
f3=figure('Name','Datos en Ángulos');
plot(Volt2ang31);
xlabel('n° de muestra')
ylabel('Ángulo (°)')
legend('Cad Der','Rod Der','Tob Der','Cad Izq','Rod Izq','Tob
Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Transformación a Ángulos');
grid on
%-----Gráfica de los Datos en Ángulos por articulación-----
f4=figure('Name','Datos Cadera');
hold on
plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,1),'Color',[0 0.4470
0.7410]);
plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,4),'Color',[0.4940 0.1840
0.5560]);
xlabel('n° de muestra')
ylabel('Ángulo (°)')
legend('Cadera Der','Cadera Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Transformación a Ángulos Caderas');
grid on

f5=figure('Name','Datos Rodilla');
hold on
plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,2),'Color',[0.8500 0.3250
0.0980]);

```

```

plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,5),'Color',[0.4660 0.6740
0.1880]);
xlabel('n° de muestra')
ylabel('Ángulo (°)')
legend('Rodilla Der','Rodilla Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Transformación a Ángulos Rodillas');
grid on

f6=figure('Name','Datos Tobillo');
hold on
plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,3),'Color',[0.9290 0.6940
0.1250]);
plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,6),'Color',[0.3010 0.7450
0.9330]);
xlabel('n° de muestra')
ylabel('Ángulo (°)')
legend('Tobillo Der','Tobillo Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Transformación a Ángulos Tobillos');
grid on
%-----Gráfica de los Datos en Ángulos: Derecha e Izquierda-----
f7=figure('Name','Datos Derecha');
subplot(3,1,1),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,1),'Color',[0
0.4470 0.7410]);
title('Cad Der'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
subplot(3,1,2),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,2),'Color',[0.8500
0.3250 0.0980]);
title('Rod Der'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
subplot(3,1,3),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,3),'Color',[0.9290
0.6940 0.1250]);
title('Tob Der'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

f8=figure('Name','Datos Izquierda');
subplot(3,1,1),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,4),'Color',[0.4940
0.1840 0.5560]);
title('Cad Izq'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
subplot(3,1,2),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,5),'Color',[0.4660
0.6740 0.1880]);
title('Rod Izq'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
subplot(3,1,3),plot(1:samples,Volt2ang31(1:samples,6),'Color',[0.3010
0.7450 0.9330]);
title('Tob Izq'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

% Cambiar el número de prueba, ensayo y sujeto.
save('Volt2ang_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S','Volt2ang31','samples');

```

9.6 SCRIPT: SEPARACIÓN_DE_SECUENCIAS.M

```

clear all
close all
%Cambiar P,E y S por el número de prueba, ensayo y sujeto.
load Volt2ang_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S

%El número de veces que se repite una secuencia en una prueba:
numero_pasos=5;

%-----Indicar el momento de cada paso-----
%Función, para indicar inicio y fin de cada secuencia:
[paso_inicio,paso_fin,muestras_p]=pasosV3(numero_pasos)

```

```

%Poner número de muestras normalizado:
N=input('\n Indique el número de muestras para normalizar\n');
%prueba 1: N=700 %prueba 2: N=170 %prueba 3: N=280

%-----Datos de cada paso-----
%%%%%%%%%%%%Derecha%%%%%%%%%%%%
%Cadera
[paso_der_cad,Y] = pasos_datos_prueba(Volt2ang31,
paso_inicio,paso_fin,1,numero_pasos,muestras_p,N);
%Rodilla
[paso_der_rod,Y] = pasos_datos_prueba(Volt2ang31,
paso_inicio,paso_fin,2,numero_pasos,muestras_p,N);
%Tobillo
[paso_der_tob,Y] = pasos_datos_prueba(Volt2ang31,
paso_inicio,paso_fin,3,numero_pasos,muestras_p,N);
%%%%%%%%%%%%Izquierda%%%%%%%%%%%%
%Cadera
[paso_izq_cad,Y] = pasos_datos_prueba(Volt2ang31,
paso_inicio,paso_fin,4,numero_pasos,muestras_p,N);
%Rodilla
[paso_izq_rod,Y] = pasos_datos_prueba(Volt2ang31,
paso_inicio,paso_fin,5,numero_pasos,muestras_p,N);
%Tobillo
[paso_izq_tob,Y] = pasos_datos_prueba(Volt2ang31,
paso_inicio,paso_fin,6,numero_pasos,muestras_p,N);

% -----Grafica de los datos por paso-----
%%%%%%%%%%%%derecha%%%%%%%%%%%%
    f3=figure('Name','Datos por Paso Derecha');
subplot(3,1,1),plot(paso_der_cad)
legend('Paso 1 Cad Der','Paso 2 Cad Der','Paso 3 Cad Der','Paso 4 Cad
Der','Paso 5 Cad Der','Location','NorthEastOutside')
title('Cad Der'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

subplot(3,1,2),plot(paso_der_rod)
legend('Paso 1 Rod Der','Paso 2 Rod Der','Paso 3 Rod Der','Paso 4 Rod
Der','Paso 5 Rod Der','Location','NorthEastOutside')
title('Rod Der'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

subplot(3,1,3),plot(paso_der_tob)
legend('Paso 1 Tob Der','Paso 2 Tob Der','Paso 3 Tob Der','Paso 4 Tob
Der','Paso 5 Tob Der','Location','NorthEastOutside')
title('Tob Der'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
%%%%%%%%%%%%izquierda%%%%%%%%%%%%
    f4=figure('Name','Datos por Paso Izquierda');
subplot(3,1,1),plot(paso_izq_cad)
legend('Paso 1 Cad Izq','Paso 2 Cad Izq','Paso 3 Cad Izq','Paso 4 Cad
Izq','Paso 5 Cad Izq','Location','NorthEastOutside')
title('Cad Izq'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

subplot(3,1,2),plot(paso_izq_rod)
legend('Paso 1 Rod izq','Paso 2 Rod Izq','Paso 3 Rod Izq','Paso 4 Rod
Izq','Paso 5 Rod Izq','Location','NorthEastOutside')
title('Rod Izq'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

subplot(3,1,3),plot(paso_izq_tob)
legend('Paso 1 Tob Izq','Paso 2 Tob Izq','Paso 3 Tob Izq','Paso 4 Tob
Izq','Paso 5 Tob Izq','Location','NorthEastOutside')
title('Tob Izq'),xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

```

```

-----Calcular media-----
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Cadera
[media_der_cad]=media(N,numero_pasos,paso_der_cad);
%Rodilla
[media_der_rod]=media(N,numero_pasos,paso_der_rod);
%Tobillo
[media_der_tob]= media(N,numero_pasos,paso_der_tob);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Cadera
[media_izq_cad]= media(N,numero_pasos,paso_izq_cad);
%Rodilla
[media_izq_rod]= media (N,numero_pasos,paso_izq_rod);
%Tobillo
[media_izq_tob]= media(N,numero_pasos,paso_izq_tob);

%----Gráficas media de paso de cada articulación-----
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    f11=figure('Name','Datos Media Derecha');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(1:N,media_der_cad,'Color',[0 0.4470 0.7410])
legend('Media Cad Der','Location','NorthEastOutside');
title('Cad Der por Paso');
xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(1:N,media_der_rod,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
legend('Media Rod Der','Location','NorthEastOutside');
title('Rod Der por Paso');
xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(1:N,media_der_tob,'Color',[0.9290 0.6940 0.1250])
legend('Media Tob Der','Location','NorthEastOutside');
title('Tob Der por Paso');
xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    f12=figure('Name','Datos Media Izquierda');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(1:N,media_izq_cad,'Color',[0.4940 0.1840 0.5560])
legend('Media Cad Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Cad Izq por Paso');
xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(1:N,media_izq_rod,'Color',[0.4660 0.6740 0.1880])
legend('Media Rod Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Rod Izq por Paso');
xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(1:N,media_izq_tob,'Color',[0.3010 0.7450 0.9330])
legend('Media Tob Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Tob Izq por Paso');
xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)'),grid on;

%Cambiar por el número correspondiente de prueba P, ensayo E y sujeto
S:
save('Media_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S','media_der_cad','media_der_rod',
'','media_der_tob','media_izq_cad','media_izq_rod','media_izq_tob','N',
'numero_pasos','paso_inicio','paso_fin','muestras_p');
save('Pasos_Prueba_P_ensayo_E_Sujeto_S','paso_der_cad','paso_der_rod',
'','paso_der_tob','paso_izq_cad','paso_izq_rod','paso_izq_tob','N','numer
o_pasos','paso_inicio','paso_fin','muestras_p');

```



```

%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(paso_der_tob_suj)
legend('Ensayo 1 Paso 1','Ensayo 1 Paso 2','Ensayo 1 Paso 3','Ensayo
1 Paso 4','Ensayo 1 Paso 5','Ensayo 2 Paso 1','Ensayo 2 Paso 2','Ensayo
2 Paso 3','Ensayo 2 Paso 4','Ensayo 2 Paso
5','Location','NorthEastOutside')
title('Tobillo Derecha pasos total del sujeto')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f2=figure('Name','Datos Izquierda por paso de los dos Ensayos');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(paso_izq_cad_suj)
legend('Ensayo 1 Paso 1','Ensayo 1 Paso 2','Ensayo 1 Paso 3','Ensayo
1 Paso 4','Ensayo 1 Paso 5','Ensayo 2 Paso 1','Ensayo 2 Paso 2','Ensayo
2 Paso 3','Ensayo 2 Paso 4','Ensayo 2 Paso
5','Location','NorthEastOutside')
title('Cadera Izquierda pasos total del sujeto')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(paso_izq_rod_suj)
legend('Ensayo 1 Paso 1','Ensayo 1 Paso 2','Ensayo 1 Paso 3','Ensayo
1 Paso 4','Ensayo 1 Paso 5','Ensayo 2 Paso 1','Ensayo 2 Paso 2','Ensayo
2 Paso 3','Ensayo 2 Paso 4','Ensayo 2 Paso
5','Location','NorthEastOutside')
title('Rodilla Izquierda pasos total del sujeto')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(paso_izq_tob_suj)
legend('Ensayo 1 Paso 1','Ensayo 1 Paso 2','Ensayo 1 Paso 3','Ensayo
1 Paso 4','Ensayo 1 Paso 5','Ensayo 2 Paso 1','Ensayo 2 Paso 2','Ensayo
2 Paso 3','Ensayo 2 Paso 4','Ensayo 2 Paso
5','Location','NorthEastOutside')
title('Tobillo Izquierda pasos total del sujeto')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')

%% Calcular media:
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Cadera
[media_der_cad_suj]=aTFG_11_1_media_v5(samples_medias_suj,pasos_total_
suj,paso_der_cad_suj);
%Rodilla
[media_der_rod_suj]=aTFG_11_1_media_v5(samples_medias_suj,pasos_total_
suj,paso_der_rod_suj);
%Tobillo
[media_der_tob_suj]=aTFG_11_1_media_v5(samples_medias_suj,pasos_total_
suj,paso_der_tob_suj);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Cadera
[media_izq_cad_suj]=aTFG_11_1_media_v5(samples_medias_suj,pasos_total_
suj,paso_izq_cad_suj);
%Rodilla
[media_izq_rod_suj]=aTFG_11_1_media_v5(samples_medias_suj,pasos_total_
suj,paso_izq_rod_suj);
%Tobillo
[media_izq_tob_suj]=aTFG_11_1_media_v5(samples_medias_suj,pasos_total_
suj,paso_izq_tob_suj);

%-----Gráficas media del sujeto de cada articulación-----
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f11=figure('Name','Datos Media Derecha del Sujeto');
%Cadera

```

```

subplot(3,1,1),plot(media_der_cad_suj,'Color',[0 0.4470 0.7410])
legend('Media Cad Der','Location','NorthEastOutside');
title('Cadera Derecha'),grid on,xlabel('n° de
muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(media_der_rod_suj,'Color',[0.8500 0.3250
0.0980])
legend('Media Rod Der','Location','NorthEastOutside');
title('Rodilla Derecha'),grid on,xlabel('n° de
muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(media_der_tob_suj,'Color',[0.9290 0.6940
0.1250])
legend('Media Tob Der','Location','NorthEastOutside');
title('Tobillo Derecha'),grid on,xlabel('n° de
muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f12=figure('Name','Datos Media Izquierda del sujeto');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(media_izq_cad_suj,'Color',[0.4940 0.1840
0.5560])
legend('Media Cad Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Cadera Izquierda'),grid on,xlabel('n° de
muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(media_izq_rod_suj,'Color',[0.4660 0.6740
0.1880])
legend('Media Rod Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Rodilla Izquierda'),grid on,xlabel('n° de
muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(media_izq_tob_suj,'Color',[0.3010 0.7450
0.9330])
legend('Media Tob Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Tobillo Izquierda'),grid on,xlabel('n° de
muestra'),ylabel('Ángulo (°)')

%Cambiar por el número correspondiente de prueba P y sujeto S:
save('Resultado_Prueba_P_Sujeto_S','media_der_cad_suj','media_der_rod_
suj','media_der_tob_suj','media_izq_cad_suj','media_izq_rod_suj','medi
a_izq_tob_suj','samples_medias_suj','pasos_total_suj');
save('Pasos_Prueba_2_Sujeto_1','paso_der_cad_suj','paso_der_rod_suj','
paso_der_tob_suj','paso_izq_cad_suj','paso_izq_rod_suj','paso_izq_tob_
suj','samples_medias_suj','pasos_total_suj');

```

9.8 SCRIPT: COMPARACIÓN_Y_MEDIA_ENTRE_SUJETOS.M

```

%Datos Prueba P y Sujeto 1
load Resultado_Prueba_P_Sujeto_1
load Pasos_Prueba_P_Sujeto_1
n_pasos_suj_1=pasos_total_suj;
samples_suj_1=samples_medias_suj;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
suj_1_paso_der_cad=paso_der_cad_suj;
suj_1_paso_der_rod=paso_der_rod_suj;
suj_1_paso_der_tob=paso_der_tob_suj;
suj_1_media_der_cad=media_der_cad_suj;
suj_1_media_der_rod=media_der_rod_suj;
suj_1_media_der_tob=media_der_tob_suj;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%izquierda%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

    suj_1_paso_izq_cad=paso_izq_cad_suj;
    suj_1_paso_izq_rod=paso_izq_rod_suj;
    suj_1_paso_izq_tob=paso_izq_tob_suj;
    suj_1_media_izq_cad=media_izq_cad_suj;
    suj_1_media_izq_rod=media_izq_rod_suj;
    suj_1_media_izq_tob=media_izq_tob_suj;
%%
%Datos Prueba P y Sujeto 2
load Resultado_Prueba_P_Sujeto_2
load Pasos_Prueba_P_Sujeto_2
    n_pasos_suj_2=pasos_total_suj;
    samples_suj_2=samples_medias_suj;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
suj_2_paso_der_cad=paso_der_cad_suj;
suj_2_paso_der_rod=paso_der_rod_suj;
suj_2_paso_der_tob=paso_der_tob_suj;
suj_2_media_der_cad=media_der_cad_suj;
suj_2_media_der_rod=media_der_rod_suj;
suj_2_media_der_tob=media_der_tob_suj;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
suj_2_paso_izq_cad=paso_izq_cad_suj;
suj_2_paso_izq_rod=paso_izq_rod_suj;
suj_2_paso_izq_tob=paso_izq_tob_suj;
suj_2_media_izq_cad=media_izq_cad_suj;
suj_2_media_izq_rod=media_izq_rod_suj;
suj_2_media_izq_tob=media_izq_tob_suj;
% Se une en un array los dos sujetos
paso_der_cad_tot=[suj_1_paso_der_cad  suj_2_paso_der_cad];
paso_der_rod_tot=[suj_1_paso_der_rod  suj_2_paso_der_rod];
paso_der_tob_tot=[suj_1_paso_der_tob  suj_2_paso_der_tob];
paso_izq_cad_tot=[suj_1_paso_izq_cad  suj_2_paso_izq_cad];
paso_izq_rod_tot=[suj_1_paso_izq_rod  suj_2_paso_izq_rod];
paso_izq_tob_tot=[suj_1_paso_izq_tob  suj_2_paso_izq_tob];

media_der_cad_tot=[suj_1_media_der_cad  suj_2_media_der_cad];
media_der_rod_tot=[suj_1_media_der_rod  suj_2_media_der_rod];
media_der_tob_tot=[suj_1_media_der_tob  suj_2_media_der_tob];
media_izq_cad_tot=[suj_1_media_izq_cad  suj_2_media_izq_cad];
media_izq_rod_tot=[suj_1_media_izq_rod  suj_2_media_izq_rod];
media_izq_tob_tot=[suj_1_media_izq_tob  suj_2_media_izq_tob];
%
pasos_tot=n_pasos_suj_1+n_pasos_suj_2;
samples_tot=samples_suj_1;
%% Paso medio de los sujetos
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f1=figure('Name','Paso medio de los Sujetos Derecha');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(media_der_cad_tot)
legend('Sujeto 1 media Cad Der','Sujeto 2 Media Cad Der','Location','NorthEastOutside')
title('Cadera Derecha paso medio de los sujetos')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(media_der_rod_tot)
legend('Sujeto 1 Media Rod Der','Sujeto 2 Media Rod Der','Location','NorthEastOutside')
title('Rodilla Derecha paso medio de los sujetos')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(media_der_tob_tot)

```



```

legend('Sujeto 1 Media Tob Der','Sujeto 2 Media Tob
Der','Location','NorthEastOutside')
title('Tobillo Derecha paso medio de los sujetos')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f2=figure('Name','Paso medio de los Sujetos Izquierda');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(media_izq_cad_tot)
legend('Sujeto 1 Media Cad Izq','Sujeto 2 Media Cad
Izq','Location','NorthEastOutside')
title('Cadera Izquierda paso medio de los sujetos')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(media_izq_rod_tot)
legend('Sujeto 1 Media Rod Izq','Sujeto 2 Media Rod
Izq','Location','NorthEastOutside')
title('Rodilla Izquierda paso medio de los sujetos')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(media_izq_tob_tot)
legend('Sujeto 1 media Tob Izq','Sujeto 2 Media Tob
Izq','Location','NorthEastOutside')
title('Tobillo Izquierda paso medio de los sujetos')
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
%% Grafica de todos los pasos de los ensayos
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f3=figure('Name','Datos Derecha por paso de dos sujetos');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(paso_der_cad_tot)
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Cadera Derecha pasos total de 2 Sujetos');
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(paso_der_rod_tot)
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Rodilla Derecha pasos total de 2 Sujetos');
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(paso_der_tob_tot)
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Tobillo Derecha pasos total de 2 Sujetos');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f4=figure('Name','Datos izquierda por paso de dos sujetos');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(paso_izq_cad_tot)
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Cadera Izquierda pasos total de 2 Sujetos');
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(paso_izq_rod_tot)
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Rodilla Izquierda pasos total de 2 Sujetos');
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(paso_izq_tob_tot)
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Tobillo Izquierda pasos total de 2 Sujetos');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Rodilla
[media_der_rod_tot]= media(samples_tot,pasos_tot,paso_der_rod_tot);
%Tobillo
[media_der_tob_tot]= media(samples_tot,pasos_tot,paso_der_tob_tot);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Rodilla
[media_izq_rod_tot]= media(samples_tot,pasos_tot,paso_izq_rod_tot);
%Tobillo
[media_izq_tob_tot]= media(samples_tot,pasos_tot,paso_izq_tob_tot);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%Cadera
[media_izq_cad_tot]= media(samples_tot,pasos_tot,paso_izq_cad_tot);
%Rodilla
[media_izq_rod_tot]= media(samples_tot,pasos_tot,paso_izq_rod_tot);
%Tobillo
[media_izq_tob_tot]= media(samples_tot,pasos_tot,paso_izq_tob_tot);

%-----Gráficas media de paso de cada articulación-----
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Derecha%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    f5=figure('Name','Datos Media Derecha de 2 Sujetos');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(media_der_cad_tot,'Color',[0 0.4470 0.7410])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
legend('Media Cad Der','Location','NorthEastOutside');
title('Cadera Derecha por paso');
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(media_der_rod_tot,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
legend('Media Rod Der','Location','NorthEastOutside');
title('Rodilla Derecha por paso');
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(media_der_tob_tot,'Color',[0.9290 0.6940 0.1250])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
legend('Media Tob Der','Location','NorthEastOutside');
title('Tobillo Derecha por paso');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Izquierda%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    f6=figure('Name','Datos Media Izquierda de 2 Sujetos');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(media_izq_cad_tot,'Color',[0.4940 0.1840 0.5560])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
legend('Media Cad Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Cadera Izquierda por paso');
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(media_izq_rod_tot,'Color',[0.4660 0.6740 0.1880])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
legend('Media Rod Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Rodilla Izquierda por paso');
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(media_izq_tob_tot,'Color',[0.3010 0.7450 0.9330])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
legend('Media Tob Izq','Location','NorthEastOutside');
title('Tobillo Izquierda por paso');

%cambiar número de Prueba P:
save('Resultado_comparacion_Prueba_P_Sujeto_1_y_2','media_der_cad_tot'
,'media_der_rod_tot','media_der_tob_tot','media_izq_cad_tot','media_iz
q_rod_tot','media_izq_tob_tot','samples_tot');
save('Pasos_Prueba_P_Sujeto_1_y_2','paso_der_cad_tot','paso_der_rod_to
t','paso_der_tob_tot','paso_izq_cad_tot','paso_izq_rod_tot','paso_izq
tob_tot','samples_tot');

```

9.9 SCRIPT: RECONSTRUCCIÓN.M

```

clear all
close all
%Prueba1 (La primera columna corresponde con sentarse y la segunda con
%levantarse)
load Resultado_comparacion_Prueba_1_Sujeto_1_y_2
sent_y_lev_d_c=reshape(transpose(media_der_cad_tot),[samples_tot/2,2])
;

```

```

sent_y_lev_d_r=reshape(transpose(media_der_rod_tot),[samples_tot/2,2])
;
sent_y_lev_d_t=reshape(transpose(media_der_tob_tot),[samples_tot/2,2])
;
sent_y_lev_i_c=reshape(transpose(media_izq_cad_tot),[samples_tot/2,2])
;
sent_y_lev_i_r=reshape(transpose(media_izq_rod_tot),[samples_tot/2,2])
;
sent_y_lev_i_t=reshape(transpose(media_izq_tob_tot),[samples_tot/2,2])
;

%Prueba3 (Separa el paso inicial y el paso final)
load Resultado_comparacion_Prueba_3_Sujeto_1_y_2
punto_separa=input('\n Indique el momento que separa el punto entre paso
inicio y paso fin \n');
%Derecha
paso_inicio_d_c=media_der_cad_tot(1:punto_separa);
paso_fin_d_c=media_der_cad_tot(punto_separa+1:samples_tot);
paso_inicio_d_r=media_der_rod_tot(1:punto_separa);
paso_fin_d_r=media_der_rod_tot(punto_separa+1:samples_tot);
paso_inicio_d_t=media_der_tob_tot(1:punto_separa);
paso_fin_d_t=media_der_tob_tot(punto_separa+1:samples_tot);
%Izquierda
paso_inicio_i_c=media_izq_cad_tot(1:punto_separa);
paso_fin_i_c=media_izq_cad_tot(punto_separa+1:samples_tot);
paso_inicio_i_r=media_izq_rod_tot(1:punto_separa);
paso_fin_i_r=media_izq_rod_tot(punto_separa+1:samples_tot);
paso_inicio_i_t=media_izq_tob_tot(1:punto_separa);
paso_fin_i_t=media_izq_tob_tot(punto_separa+1:samples_tot);

%Prueba2 (EL paso completo)
load Resultado_comparacion_Prueba_2_Sujeto_1_y_2

% Ya se tienen todos los movimientos ahora se pueden juntar y reconstruir
las pruebas o hacer cualquier otra cosa con orden lógico.
%Ejemplo: paso inicial + paso + paso + paso + paso + paso + paso final
der_cad=[paso_inicio_d_c;media_der_cad_tot;media_der_cad_tot;media_der
_cad_tot;media_der_cad_tot; media_der_cad_tot;paso_fin_d_c];
der_rod=[paso_inicio_d_r;media_der_rod_tot;media_der_rod_tot;media_der
_rod_tot;media_der_rod_tot; media_der_rod_tot;paso_fin_d_r];
der_tob=[paso_inicio_d_t;media_der_tob_tot;media_der_tob_tot;media_der
_tob_tot;media_der_tob_tot; media_der_tob_tot;paso_fin_d_t];

izq_cad=[paso_inicio_i_c;media_izq_cad_tot;media_izq_cad_tot;media_izq
_cad_tot;media_izq_cad_tot; media_izq_cad_tot;paso_fin_i_c];
izq_rod=[paso_inicio_i_r;media_izq_rod_tot;media_izq_rod_tot;media_izq
_rod_tot;media_izq_rod_tot; media_izq_rod_tot;paso_fin_i_r];
izq_tob=[paso_inicio_i_t;media_izq_tob_tot;media_izq_tob_tot;media_izq
_tob_tot;media_izq_tob_tot; media_izq_tob_tot;paso_fin_i_t];

Ang(:,1)=der_cad;
Ang(:,2)=der_rod;
Ang(:,3)=der_tob;
Ang(:,4)=izq_cad;
Ang(:,5)=izq_rod;
Ang(:,6)=izq_tob;

%-----Gráficas de cada articulación-----
%%%%%%%%%%%%Derecha%%%%%%%%%%%%
f1=figure('Name','Datos Derecha');

```

```

%Cadera
subplot(3,1,1),plot(der_cad,'Color',[0 0.4470 0.7410])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Cadera Derecha');
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(der_rod,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Rodilla Derecha');
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(der_tob,'Color',[0.9290 0.6940 0.1250])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Tobillo Derecha');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Izquierda%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f2=figure('Name','Datos Izquierda');
%Cadera
subplot(3,1,1),plot(izq_cad,'Color',[0.4940 0.1840 0.5560])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Cadera Izquierda');
%Rodilla
subplot(3,1,2),plot(izq_rod,'Color',[0.4660 0.6740 0.1880])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Rodilla Izquierda');
%Tobillo
subplot(3,1,3),plot(izq_tob,'Color',[0.3010 0.7450 0.9330])
grid on,xlabel('n° de muestra'),ylabel('Ángulo (°)')
title('Tobillo Izquierda');

save('Reconstrucción_Sujeto_1_y_2','Ang');

```

9.10 SCRIPT: SIMULACION_3D.M

```

clear all
close all

%-----
%Opción 1: Simular Pruebas:
  %%Para meter los datos de la prueba_P, Ensayo_E y Sujeto_S y
simularlos:
load Volt2ang_Prueba_2_ensayo_1_Sujeto_1_v2
frame=length(Volt2ang31);
Ang=Volt2ang31;
%Opción 2: Simular Señal Reconstruida:
  %%Para meter los datos de la señal reconstruida y simularlos:
load Reconstrucción_Sujeto_1_y_2
frame=length(Ang);
%-----
%Pasar de grados a radianes.
AngRad(1:frame,1:6)=[Ang(1:frame,1:6)]*pi/180;

f1=figure('Name','Simulación');
  Angulo(1:frame,1)=AngRad(1:frame,3);
  Angulo(1:frame,2)=AngRad(1:frame,2);
  Angulo(1:frame,3)=AngRad(1:frame,1);
  Angulo(1:frame,4)=AngRad(1:frame,6);
  Angulo(1:frame,5)=AngRad(1:frame,5);
  Angulo(1:frame,6)=AngRad(1:frame,4);
%Graba los fotogramas.
for i=1:frame

```

```

grafica_angulos_y_cuerpo(Angulo(i,1:6),i,frame);
Mo(i)=getframe;
end
fprintf('\n FIN \n');
%Ver la simulación:
f2=figure('Name','Movie');
FPS=166.66;
movie (Mo,1,FPS);

%-----
%Opción 1: para guardar la simulación de Pruebas:
    %%Cambiar prueba_P, Ensayo_E y Sujeto_S:
save('Simulacion_3D_Prueba_2_ensayo_E_Sujeto_S','Mo','FPS');
%Opción 2: Simular Señal Reconstruida:
    %%Cambiar según el nombre con el que se quiera guardar:
save('Simulacion_3D_Reconstruccion_Marcha_Sujeto_1_y_2','Mo','FPS');
%-----

```

9.10.1 FUNCIÓN: GRAFICA_ANGULOS_Y_CUERPO.M

```

function[correcto]=grafica_angulos_y_cuerpo(ángulos, f,frame)
    if nargin == 5
        strTitle = sprintf ('Visualización de los segmentos y ángulos
relativos para el frame %i', f);
    else
        strTitle = sprintf ('Visualización de los segmentos y ángulos
relativos');
    end
    correcto = 1;

lmuslo = 200;
lpantorrilla = lmuslo;
lcadera=lmuslo+lpantorrilla;
ltronco=lcadera*2;
lpie = 100;

%-----Pierna Izquierda-----
X = zeros (1, 5);
Y = zeros (1, 5);
Z =zeros (1, 5);

    %% Cabeza y Tronco
X(1)=0;
Y(1)=ltronco+3;
Z(1)=-100;

X(2)=0;
Y(2)=lcadera;
Z(2)=-100;
    %% Cadera y Muslo
    Theta1 = angulos(3)-pi/2;
X(3) = cos (Theta1)*lmuslo + X(2);
Y(3) = sin (Theta1)*lmuslo + Y(2);
Z(3)=-100;
    %% Pantorrilla y Rodilla
    Theta2 =Theta1-angulos(2);
X(4) = cos (Theta2)*lpantorrilla + X(3);
Y(4) = sin (Theta2)*lpantorrilla + Y(3);
Z(4)=-100;
    %% Tobillo y Pie
    Theta3 = Theta2-angulos(1)+pi/2;

```

```

X(5) = cos (Theta3)*lpie+ X(4);
Y(5) = sin (Theta3)*lpie + Y(4);
Z(5)=-100;

%-----Pierna Derecha-----
X1 = zeros (1, 5);
Y1 = zeros (1, 5);
Z1 =zeros (1, 5);
%%%%
%% Cabeza y Tronco
X1(1)=0;
Y1(1)=ltronco+3;
Z1(1)=100;

X1(2)=0;
Y1(2)=lcadera;
Z1(2)=100;
%% Cadera y Muslo
Theta4 = angulos(6)-pi/2;
X1(3) = cos (Theta4) * lmuslo + X1(2);
Y1(3) = sin (Theta4) * lmuslo + Y1(2);
Z1(3)=100;
%% Pantorrilla y Rodilla
Theta5 =Theta4-angulos(5);
X1(4) = cos (Theta5) * lpantorrilla + X1(3);
Y1(4) = sin (Theta5) * lpantorrilla + Y1(3);
Z1(4)=100;
%% Tobillo y Pie
Theta6 = Theta5-angulos(4)+pi/2;
X1(5) = cos (Theta6)*lpie+ X1(4);
Y1(5) = sin (Theta6)*lpie+ Y1(4);
Z1(5)=100;

%% Graficación
Ra = 10;
plot3(X,Z,Y, '-or', 'MarkerFaceColor',[0 .75 .75], 'LineWidth',1.5, 'Color',[0 0.4470 0.7410]);
hold on
axis off

axis equal;
NumPoints = 20;
Tz = zeros (1, NumPoints);

if (angulos(3))
DT1 = angulos(3)/(NumPoints-1);
T1 = pi/2+[0:DT1:angulos(3)];
else
T1 = pi/2 + Tz;
end
T1x = X(2) + Ra*cos (T1);
T1y = Y(2) + Ra*sin (T1);

if (angulos(2))
DT2 = angulos(2)/(NumPoints-1);
T2 = pi/2 + angulos(1) + angulos(2) -[0:DT2:angulos(2)];
else
T2 = pi/2 + angulos(1) + angulos(2) + Tz;
end
T2x = X(3) + Ra*cos (T2);

```

```

T2y = Y(3) + Ra*sin (T2);

if (angulos(1))
DT3 = angulos(1)/(NumPoints-1);
T3 = pi/2 + angulos(1) + angulos(2) + angulos(3) -[0:DT3:angulos(1)];
else
T3 =angulos(1) + angulos(2) + angulos(3)+ Tz;
end
T3x = X(4) + Ra*cos (T3);
T3y = Y(4) + Ra*sin (T3);

%-----
Ra = 10;
plot3(X1,Z1,Y1, '-or', 'MarkerFaceColor',[1 1 0], 'LineWidth',1.5,
'Color',[0.9 0.8470 0]);
NumPoints = 20;
Tz = zeros (1, NumPoints);

if (angulos(6))
DT4 = angulos(6)/(NumPoints-1);
T4 = pi/2+[0:DT4:angulos(6)];
else
T4 = pi/2 + Tz;
end
T4x = X1(2)+Ra*cos (T4);
T4y = Y1(2)+Ra*sin (T4);

if (angulos(5))
DT5 = angulos(5)/(NumPoints-1);
T5 = pi/2+ angulos(4)+angulos(5) -[0:DT5:angulos(5)];
else
T5 = pi/2+ angulos(4) + angulos(5) + Tz;
end
T5x = X1(3) + Ra*cos (T5);
T5y = Y1(3) + Ra*sin (T5);

if (angulos(4))
DT6 = angulos(4)/(NumPoints-1);
T6 = pi/2 + angulos(4) + angulos(5) + angulos(6) -[0:DT6:angulos(4)];
else
T6 =angulos(4) + angulos(5) + angulos(6)+ Tz;
end
T6x = X1(4) + Ra*cos (T6);
T6y = Y1(4) + Ra*sin (T6);
%-----
%suelo
x = [-400 -400 400 400];
y = [-250 250 250 -250];
z = [-8 -8 -8 -8];
patch(x,y,z, 'green')

%Cabeza
BoxPlot3(X(1)-18, -40, Y(1)+22, 80,80, 80)

%Tronco
BoxPlot3(X(2)-18, -115, Y(2)+12, 35,230, ltronco-lcadera+10)

%Mano Derecha
BoxPlot3(X(1), -130, Y(1), 15,15, -(ltronco-lcadera-20))

```

```

%Mano Izquierda
BoxPlot3(X1(1), 130, Y1(1), 15,15, -(ltronco-lcadera-20)/2)
BoxPlot3(X1(1), 130, Y1(1)-(ltronco-lcadera-20)/2, (ltronco-lcadera-
20)/2 ,15,15 )

axes1 = gca;
title (strTitle);
strText = sprintf ('$\\theta_{1} (%2.2f grad)$',angulos(3)*180 / pi);
text('FontName','Arial','FontSize',9,'FontWeight','bold','Position',[T
1x(NumPoints/2)+150,Tz(NumPoints/2)-
235,T1y(NumPoints/2)+55],'String',strText,'interpreter','latex','Horiz
ontalAlignment','center','Parent',axes1);

strText = sprintf ('$\\theta_{2} (%2.2f grad)$', angulos(2)*180 / pi);
text('FontName','Arial','FontSize',9,'FontWeight','bold','Position',
[T2x(NumPoints/2)+150,Tz(NumPoints/2)-235,T2y(NumPoints/2)+55],
'String',strText,'interpreter','latex', 'HorizontalAlignment',
'center','Parent', axes1);

strText = sprintf ('$\\theta_{3} (%2.2f grad)$', angulos(1)*180 / pi);
text('FontName','Arial','FontSize',9,'FontWeight','bold','Position',
[T3x(NumPoints/2)+150,Tz(NumPoints/2)-235,T3y(NumPoints/2)+55],
'String', strText,'interpreter', 'latex', 'HorizontalAlignment',
'center','Parent', axes1);
% % %-----
strText = sprintf ('$\\theta_{4} (%2.2f grad)$', angulos(6)*180 / pi);
text('FontName','Arial','FontSize',9,'FontWeight','bold','Position',
[T4x(NumPoints/2)-170,Tz(NumPoints/2)+200,T4y(NumPoints/2)]+15,
'String',strText,'interpreter','latex','HorizontalAlignment',
'center','Parent', axes1);

strText = sprintf ('$\\theta_{5} (%2.2f grad)$', angulos(5)*180 / pi);
text('FontName','Arial','FontSize',9,'FontWeight','bold','Position',
[T5x(NumPoints/2)-170,Tz(NumPoints/2)+200,T5y(NumPoints/2)]+15,
'String',strText,'interpreter','latex','HorizontalAlignment',
'center','Parent', axes1);

strText = sprintf ('$\\theta_{6} (%2.2f grad)$', (angulos(4)*180 / pi));
text('FontName','Arial','FontSize', 9,'FontWeight','bold', 'Position',
[T6x(NumPoints/2)-170,Tz(NumPoints/2)+200,T6y(NumPoints/2)]+15,
'String',strText,'interpreter','latex','HorizontalAlignment',
'center','Parent', axes1);

hold off
return

end

```


10. BIBLIOGRAFÍA

- [1]https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872016000100010
- [2]<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5107/pfc6294.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3]http://www.teinteresa.es/region-de-murcia/murcia/cartagena/exoesqueleto-desarrollan-investigadores-UPCT-Murcia_0_1411658909.html
- [4]<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7985/tfg-bla-sis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5]<https://www.workofday.com/blog/movilidad-tobillos-ohs/>
- [6]<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista5/articulos/Estudio-sobre-la-marcha-humana-1.pdf>
- [7]http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_s_f/capitulo3.pdf
- [8]<https://core.ac.uk/download/pdf/71030704.pdf>
- [9]http://oa.upm.es/39622/1/MARIA_GOMEZ_JIMENEZ.pdf
- [10]https://www.researchgate.net/figure/Figura-311-Modelos-angulares-y-cineticos-para-los-sujetos-patrones-miembro-intacto-y_fig9_320623492
- [11]https://www.researchgate.net/figure/Figura-32-Modelos-angulares-para-los-sujetos-patrones-miembro-intacto-y-amputado-de_fig2_320623492
- [12]<https://es.rs-online.com/web/p/potenciometros/0173776/>
- [13]<https://docs.rs-online.com/a272/0900766b8153cbf2.pdf>
- [14] <https://www.definicionabc.com/ciencia/exoesqueleto.php>
- [15]https://es.wikipedia.org/wiki/Exoesqueleto_mec%C3%A1nico
- [16]<https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- [17]https://www.researchgate.net/publication/274707238_Analisis_Kinematico_de_la_Marcha_por_Videofotogrametria_Tridimensional_en_Mujeres_con_Sindrome_de_Dolor_Lumbar_Cronico
- [18]<https://eprints.ucm.es/4401/1/T26266.pdf>

[19]<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/1511/1/Tesis.pdf>

[20]<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3524/1/15T00567.pdf>