



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA

**“SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS
CINEMÁTICAS DE LA MARCHA HUMANA NORMAL NIVEL 1 SIN
PENDIENTE”.**

AUTORA: Katherine Johana Ruiz Benavides

DIRECTOR: MSc. Ing. Daniel Alejandro Álvarez Robalino

IBARRA – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:


DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	1003746144		
Apellidos y nombres:	Ruiz Benavides Katherine Johana		
Dirección:	Ibarra, La Primavera # 9-04		
Email:	kjruizb@utn.edu.ec		
Teléfono fijo:	062600517	Teléfono móvil:	0986247532
DATOS DE LA OBRA			
Título:	“Sistema de adquisición de datos de las características cinemáticas de la marcha humana normal nivel 1 sin pendiente”		
Autor:	Ruiz Benavides Katherine Johana		
Fecha:	03/02/2020		
Programa:	PREGRADO		
Título por el que opta:	Ingeniera en Mecatrónica		
Asesor /director:	MSc. Ing. Daniel Álvarez		

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 3 días del mes de febrero del 2020

El Autor

Firma:  _____

Nombre: Katherine Johana Ruiz Benavides

Cédula: 1003746144



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN

Yo, Katherine Johana Ruiz Benavides, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo el derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Firma: 
Nombre: Katherine Johana Ruiz Benavides
Cédula: 1003746144



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico, que el proyecto de titulación denominado: **“SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS DE LA MARCHA HUMANA NORMAL NIVEL 1 SIN PENDIENTE”**, fue desarrollado por la Srta. Katherine Johana Ruiz Benavides, con cedula de identidad 1003746144, bajo mi supervisión para lo para la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.



MSc. Daniel Álvarez Robalino
DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la paciencia y la fortaleza en cada etapa de mi vida y por poner grandes personas en mi camino.

A mi familia especialmente a mis padres por apoyarme, y brindarme la oportunidad de estudiar y conseguir un título profesional.

A mis amigos y compañeros gracias por compartir su tiempo, por sus consejos y su preocupación.

A cada docente por compartir sus conocimientos y enseñanzas, especialmente al MSc. Daniel Álvarez por su apoyo y guía en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Katherine Ruiz

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación se lo dedico a mi familia por ser un pilar fundamental en mi vida, les agradezco por su apoyo incondicional, por sus consejos y su paciencia, y sobre todo por el amor y cariño que me han sabido brindar en todo momento.

A mis padres Homero y Doris que me han guiado, y son un gran ejemplo de superación, gracias por los valores que han promovido en mí, a mi hermana Karla por compartir todos los buenos y malos momentos. Ustedes son mi mayor motivación en cada momento.

A todos mis amigos y compañeros, que de una u otra forma contribuyeron para la culminación de este proyecto.

Katherine Ruiz

**“SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS
DE LA MARCHA HUMANA NORMAL NIVEL 1 SIN PENDIENTE”**

Autor: Katherine Ruiz

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta el sistema de adquisición de datos de la marcha humana normal nivel 1 sin pendiente, conformada por dos secciones bases: la captura de la marcha y la esqueletización de la misma.

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto inicia con la recopilación bibliográfica sobre los diferentes métodos de análisis de la marcha humana existentes, tales como: cinemáticos, de fotografía, de cinematografía, de video, técnicas de exposición múltiple, técnicas de análisis óptico, cine-radiología, goniometría digital, cámaras RGB, etc.

Mediante tablas comparativas elaboradas se seleccionó el método de análisis de la marcha humana mediante cámaras RGB como el más adecuado para la realización de este proyecto, de igual manera con las tablas se comparó las características de las diferentes cámaras Kinect existentes en el mercado, seleccionando Kinect V2 como la más favorable para el desarrollo del proyecto.

La Kinect V2 cuenta con herramientas que se integran a diferentes softwares como Matlab, las cuales ayudarán a la esqueletización de los sujetos de prueba, y a la obtención de las posiciones en los planos x, y, z, datos que serán usados para el cálculo de ángulos de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo.

Luego de la obtención de los datos, se realizó un filtro en el cual se redujo los picos producidos por el ruido, con esto se logró una mejor presentación de las gráficas y los ángulos de las principales articulaciones antes mencionadas.

“DATA ACQUISITION SYSTEM OF THE KINEMATICS CHARACTERISTICS OF THE NORMAL HUMAN MARCH LEVEL 1 WITHOUT SLOPE”

Author: Katherine Ruiz

ABSTRACT

This titling work presents the system of data acquisition of normal human march level 1 without slope, conformed of two base sections: the capture of the march and the skeletonization of it.

The methodology used for the development of the project begins with the bibliographic compilation on the different methods of analysis of the existing human march, such as: kinematics, photography, cinematography, video, multiple exposition techniques, optical analysis techniques, cinema – radiology, digital goniometry, RGB cameras, etc.

Through elaborated comparative tables, it was selected the analysis method of human march using RGB cameras as the most suitable for the realization of this project, in the same way with the tables it was compared the characteristics of the different Kinect cameras that exist in the market, selecting Kinect V2 as the most favorable for the development of the project.

The Kinect V2 has tools that are integrated into different software such as Matlab, which will help to skeletonization the test subjects, and to obtain the positions in the x, y, z, planes, data that will be used to calculate angles of the hip, knee and ankle joints.

After obtaining the data, a filter was made in which the peaks produced by the noise were reduced, with this a better presentation of the graphs and angles of the main joints mentioned before was achieved.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	i
2.	CONSTANCIAS.....	ii
	DECLARACIÓN.....	iii
	CERTIFICACIÓN.....	iv
	AGRADECIMIENTO.....	v
	DEDICATORIA.....	vi
	RESUMEN.....	vii
	ABSTRACT.....	viii
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
	ÍNDICE TABLAS.....	xvi
	ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo Principal.....	3
2.2	Objetivos Específicos.....	3
3.	JUSTIFICACIÓN.....	3
4.	ALCANCE.....	3
	CAPÍTULO I.....	5
1.	MARCO TEÓRICO.....	5
1.1	Antecedentes.....	5
1.2	MARCHA HUMANA NORMAL.....	6
1.2.1	Concepto Marcha.....	6
1.3	Ciclo de la Marcha.....	7
1.3.1	Etapas de la fase de apoyo.....	8
1.3.2	Etapas de la fase de balanceo.....	9

1.4	CINEMÁTICA	10
1.4.1	Análisis cinemático de la marcha	10
1.4.2	Tiempos y periodos en la marcha	12
1.4.3	Ángulos de la marcha.....	12
1.4.4	Parámetros de la Marcha.....	16
1.4.5	Parámetros espaciotemporales	17
1.5	Exploración de la Marcha.....	17
1.5.1	Tapiz rodante:	18
1.5.2	Pista de marcha	18
1.6	Métodos de evaluación de la marcha.....	19
1.6.1	Métodos cinemáticos	19
1.6.2	Fotografía.....	20
1.6.3	Cinematografía.....	20
1.6.4	Vídeo.....	20
1.6.5	Técnica de exposición múltiple	20
1.6.6	Otras técnicas de análisis óptico:	21
1.6.7	Cine radiología.....	21
1.6.8	Acelerómetros	21
1.6.9	Goniómetros.....	22
1.6.10	Electro goniómetros	23

1.6.11	Cámaras RGB	23
1.6.12	Sistema de esqueleto Kinect	27
1.6.13	Matlab	31
1.6.14	Base de Datos	31
CAPÍTULO II		33
2.	METODOLOGÍA	33
2.1	Selección del Método de evaluación de la marcha	33
2.2	Elección de la cámara para la obtención de datos	34
2.3	Desarrollo del sistema	35
2.3.1	Adaptación del lugar	35
2.3.2	Adquisición de datos	37
2.4	Interfaz	47
2.4.1	Diseño de la Interfaz	47
2.5	Base de datos MySQL	49
Capítulo III		51
3.	Pruebas y Resultados	51
3.1	Protocolo de pruebas	51
3.2	Toma de datos	51
3.3	Proceso de pruebas	51
3.4	Presentación de resultados	53
3.5	Valoración de las curvas obtenidas	54
3.6	Valoración de los ángulos obtenidas	63
Conclusiones		69

Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	76
Anexo 1. Especificaciones técnicas de las Cámaras Kinect	76
Anexo 2. Manual de Usuario	77
Anexo 3. Código del software desarrollado.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Laboratorio y Fijación de Marcadores.....	6
Fig. 2. Los dos choques de talón de un mismo lado delimitan el ciclo de la marcha (GC).....	7
Fig. 3. Los dos choques de talón de un mismo lado delimitan el GC para ese lado.....	8
Fig. 4. División de las fases de la marcha.....	9
Fig. 5. Planos de división del cuerpo	10
Fig. 6. Movimientos sobre la articulación de la cadera (arriba) y la articulación de la rodilla (abajo).....	11
Fig. 7. Movimientos del tobillo.....	11
Fig. 8. Posiciones de la pierna derecha en el plano sagital durante la marcha humana.....	12
Fig. 9 . Evolución angular de las articulaciones de cadera, rodilla y cadera durante el ciclo de la marcha.....	13
Fig. 10. Movimiento de la cadera en el plano sagital I durante un ciclo de marcha.....	14
Fig. 11. Movimientos de abducción y aducción de la cadera durante el ciclo de la marcha	14
Fig. 12. Movimientos de extensión y flexión de rodilla en un ciclo de la marcha	15
Fig. 13. Movimiento de flexión y extensión de tobillo durante un ciclo de la marcha.....	16
Fig. 14. Parámetros Básicos de la marcha	17
Fig. 15. Tapiz Rodante y Pista de marcha	19
Fig. 16. Acelerómetros.....	22
Fig. 17. Goniómetros	22
Fig. 18. Electro goniómetros.....	23
Fig. 19. Dispositivo Kinect Xbox 360 y Kinect para Xbox one	24

Fig. 20. Kinect v2 compuesto por cámara RGB, sensor de profundidad, proyector de luz infrarroja	25
Fig. 21. Imágenes de profundidad capturadas de la misma escena para Kinect v1 y Kinect v2. .	27
Fig. 22. Kinect v2 esqueletos con sus 25 articulaciones.....	27
Fig. 23. Kinect nombres de las articulaciones	28
Fig. 24. Ejemplo de mapeo de coordenadas de color Kinect (x, y)	29
Fig. 25. Coordenadas De profundidad de la Kinect ejemplo mapeo	29
Fig. 26. El espacio de la cámara se coordina desde el Kinect	30
Fig. 27. Iluminación Artificial	35
Fig. 28. Perspectiva del escenario visto desde el dispositivo Kinect.....	36
Fig. 29. Colocación de la Kinect.....	36
Fig. 30. Distancia del sujeto a la cámara y de la cámara al suelo.....	37
Fig. 31. Diagrama de flujo proceso del sistema.....	38
Fig. 32. Diagrama de Bloques del desarrollo.....	39
Fig. 33. Conexión del Kinect al computador a su adaptador y al tomacorriente.....	39
Fig. 34. Toolbox Matlab Kinect - de Add-on_Explore.....	40
Fig. 35. Diagrama de bloques de Iniciación de la cámara y Captura de imágenes.....	40
Fig. 36. Diagrama de flujo de captura y esqueletización del sujeto	41
Fig. 37. Representación esquelética del programa.....	42
Fig. 38. Puntos utilizados para el cálculo de los ángulos de rodilla, tobillo.....	44
Fig. 39. Matriz de ángulos de cadera izquierda y derecha.....	45
Fig. 40. Matriz de ángulos de rodilla izquierda y derecha.....	46
Fig. 41. Matriz de ángulos de tobillo derecho e izquierdo.....	47

Fig. 42. Interfaz pantalla principal del sistema	48
Fig. 43. Botones de Capturar y Guardar Captura.....	48
Fig. 44. Selección de la gráfica que se desea mostrar.....	49
Fig. 45. Muestra de resultados en la parte derecha de la interfaz sección C	49
Fig. 46. Base de datos en MySQL nombre de tablas creadas	50
Fig. 47. Posición Sujeto	52
Fig. 48. Información del paciente A, Captura de datos B.....	52
Fig. 49. Elección de la gráfica de forma de onda que se desea observar.....	53
Fig. 50. Curvas obtenidas en función del tiempo de: a) Cadera, b) Rodilla, c) Tobillo	54
Fig. 51. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 1	56
Fig. 52. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 2	57
Fig. 53. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 3	59
Fig. 54. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 4	60
Fig. 55. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 5	62
Fig. 56. Cálculo de ángulo de rodilla con software kinovea.....	64

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Comparación de los Métodos Cinemáticos.....	33
Tabla 2. Comparación de las Características del Kinect.....	34
Tabla 3. Matriz metadata-Sub matriz JointPositions muestra las coordenadas x, y, z, del sujeto	42
Tabla 4. Información Pacientes.....	55
Tabla 5. Comparación de valores angulares Paciente 1.....	64
Tabla 6. Comparación de valores angulares Paciente 2.....	65
Tabla 7. Comparación de valores angulares Paciente 3.....	65
Tabla 8. Comparación de valores angulares Paciente 4.....	66
Tabla 9. Comparación de valores angulares Paciente 5.....	67
Tabla 10. Error porcentual para cada comparación en pacientes.....	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de ángulos entre vectores que forman las articulaciones ...	43
Ecuación 2. Fórmula para el cálculo de ángulos de cadera	44
Ecuación 3. Fórmula para el cálculo de ángulos de rodilla	45
Ecuación 4. Fórmula para el cálculo de tobillo.....	46

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo surgió de la necesidad de implementar nuevas tecnologías en el estudio de marcha humana, tanto en sujetos sanos como en personas que presenten alguna anomalía o traumatismo, que modifiquen sus capacidades motrices.

Este estudio ha permitido conocer el estado funcional del individuo, los métodos de su evaluación han avanzado, se han perfeccionado y simplificado técnicas para su análisis desarrollando nuevos métodos que permite valorar los distintos parámetros de la marcha de forma objetiva y eficaz.

La estimación de dicha marcha se puede realizar mediante exploración clínica del paciente mediante la utilización de herramientas de laboratorio de investigación, por su complejidad en actualidad se han diseñado sistemas de análisis en tres dimensiones (3D), estos sistemas son llamados también como sistemas opto eléctricos y se basan en la video fotografía. Sistemas capaces de evaluar la posición en 3D en el plano de diferentes puntos del cuerpo humano, utilizando sensores de profundidad y dividiendo el cuerpo en puntos, permitiendo así el análisis cinemático a partir del movimiento real, estudiando parámetros biomecánicos del movimiento realizado, tanto lineales como angulares y rasgos articulares.

Kinect es uno de estos sistemas, el cual permite estimar la posición en coordenadas XYZ de hasta 25 puntos en el cuerpo humano. La recolección de los datos aportados por estos análisis, permiten la apreciación de patrones de movimiento, tanto patrones de movimiento normales como patológicos de la locomoción, demostrando que es útil en la prescripción de tratamientos, y la evaluación de resultados terapéuticos

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel asistencial, en el área de fisioterapia para realizar un seguimiento de la evolución de un paciente, resulta importante en muchos casos conocer en detalle el movimiento, posición, etc. de la articulación o miembro afectado [1]. El análisis cinemático de la marcha humana es una herramienta fundamental en la medicina de rehabilitación, pues facilita el diagnóstico, tratamiento, seguimiento e implementación de métodos de rehabilitación en patologías asociadas con el movimiento [2].

Este análisis se basa en la descripción y en la cuantificación de la variación en los desplazamientos del centro de masa del cuerpo y los centros de giro de las articulaciones, información que permite obtener las diferentes relaciones que se presentan al experto en forma de reporte clínico, o como una herramienta de visualización virtual, con el fin de realizar un análisis observacional de la marcha [2].

Los métodos para su evaluación han avanzado mucho, se han perfeccionado y simplificado las técnicas para su análisis y se ha dado lugar a nuevos métodos (análisis tridimensional mediante filmación con cámara de vídeo, estudio de las fuerzas con plataformas dinamométricas y plantillas instrumentadas, electromiografía para conocer la acción muscular durante las distintas fases del ciclo de la marcha), que permiten valorar los distintos parámetros de la marcha de forma objetiva y eficaz [3].

Con la implementación de este sistema se busca, permitir al paciente realizar su marcha libremente, de modo que se puede registrar simultáneamente la acción de varios grupos musculares para ser posteriormente contrastada con la información cinética y cinemática en todas las fases del ciclo de la marcha [4].

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Principal

- Implementar un sistema de adquisición de datos de las características cinemáticas de la marcha humana nivel 1 sin pendiente.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir las condiciones adecuadas para el sistema de adquisición de imágenes.
- Adquirir las coordenadas de la esqueletización de la marcha humana.
- Extraer las características cinemáticas de la marcha humana.
- Realizar las pruebas de funcionamiento y validación de las características cinemáticas de la marcha humana.

3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de este tipo de sistemas ayudará a la integración en el campo de la biomecánica. Permitiendo así desarrollar nuevos sistemas más simples y económicos para realizar diferentes estudios sobre los patrones causantes de patologías en la marcha humana.

Aparte de ayudar en el campo de la fisioterapia ya que los datos adquiridos ayudaran al fisioterapeuta a reconocer en detalle el movimiento, posición etc. de la articulación o miembro afectado.

En el campo educativo se espera que este sistema funcione como una herramienta de investigación útil en el grupo de Investigación GISI de la UTN en un futuro.

4. ALCANCE

La investigación comprende la preparación del entorno para la adquisición de imágenes consecutivas de un paciente realizando el movimiento de la marcha nivel 1 sin pendiente, la adquisición de las variables cinemáticas de posiciones angulares de las articulaciones del cuerpo

en esta condición, en individuos de cualquier edad y finalmente el desarrollo de una interfaz gráfica para mostrar los resultados y validar los resultados obtenidos en comparación con los datos de bibliografía.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

“La marcha humana es una actividad cíclica durante la cual el movimiento de los segmentos corporales se reproduce con una periodicidad regular” [4] , producto de procesos complejos que involucran al cerebro, la espina dorsal, los nervios periféricos, los músculos, los huesos y las articulaciones; así como la voluntad y necesidad de realizar movimientos específicos en cada contexto de forma voluntaria e involuntaria. Esto involucra en general a la anatomía, la fisiología y la biomecánica [5].

“Actualmente, médicos y especialistas en rehabilitación analizan los patrones de movimiento de cada paciente” [6], para la detección de patologías y la formulación de posibles tratamientos, al igual que el seguimiento de estos, comprobando así la evolución del paciente.

Los métodos más comunes para una captura adecuada del movimiento humano en tres dimensiones requieren de un entorno de laboratorio y colocar marcadores, accesorios o sensores a los segmentos del cuerpo (Fig. 1). Sin embargo, el alto costo de este equipo es un factor limitante. Los sistemas de captura de movimiento como Microsoft Kinect presentan un enfoque alternativo a la tecnología de captura de movimiento [7].

“El uso de los videojuegos en la recuperación de pacientes se ha convertido en una herramienta más. En la actualidad las características de Kinect están siendo aplicadas en el campo de la medicina como terapias alternativas” [8].

“Típicamente, los datos adquiridos del análisis de la marcha incluyen posiciones relativas y orientaciones de segmentos corporales” [9].



Fig. 1. Laboratorio y Fijación de Marcadores
Fuente: [4]

1.2 MARCHA HUMANA NORMAL

Una persona debe tener una postura estable de bipedestación antes de comenzar la marcha, una vez conseguido el equilibrio de bipedestación puede iniciarse la marcha o la capacidad de mantener un paso rítmico y estable entre los movimientos [10].

1.2.1 Concepto Marcha.

La marcha humana consiste en un tipo de locomoción bípeda que involucra el uso alternado de las extremidades y que, en algunos instantes con un pie en contacto y en otros instantes con los dos en contacto con el suelo, para proporcionar apoyo y propulsión al resto del cuerpo humano [11].

“En términos funcionales para la marcha, el cuerpo humano se divide en dos unidades funcionales” [11]:

- Unidad locomotora: “formada por las extremidades inferiores y la pelvis, es la unidad encargada de llevar hacia delante al resto de estructuras del cuerpo humano” [11].

- Unidad pasajero: formada por la cabeza, el tronco y las extremidades superiores, es “llevada” por la unidad locomotora. Aunque consista en una unidad funcional más pasiva, es un condicionante importante para la marcha humana, pues su peso corresponde en torno al 70% del peso corporal total [11].

1.3 Ciclo de la Marcha

Un ciclo de la marcha (siglas en ingles “CG”) está compuesto por dos pasos, un paso derecho y un paso izquierdo” [11], por lo general el ciclo se normaliza en función de su duración. “Por convención el 0% y el 100% corresponde al apoyo del talón derecho sobre el suelo, el ciclo consta de dos pasos, comprendidos entre el apoyo del talón y el talón contralateral” [4]. (Fig. 2)

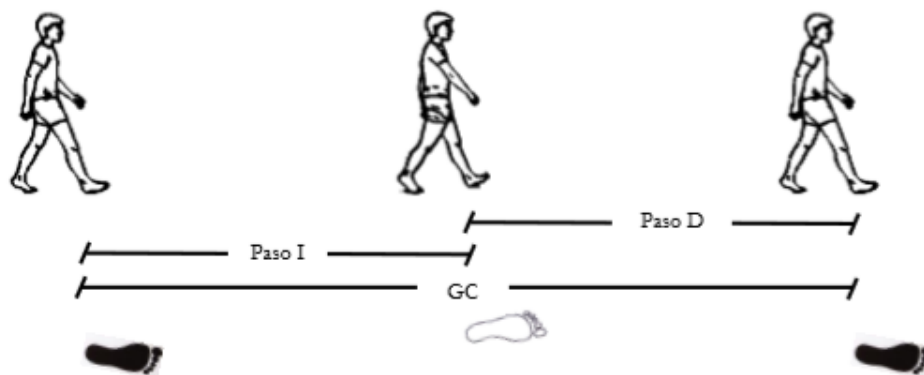


Fig. 2. Los dos choques de talón de un mismo lado delimitan el ciclo de la marcha (GC)
Fuente: [11]

Durante un ciclo completo de la marcha, cada miembro inferior se considera que pasa por dos fases:

- Fase de apoyo: en la cual el pie de referencia está en contacto con el suelo.
- Fase de oscilación: en la que el pie de referencia está suspendido en el aire.

La fase de apoyo constituye alrededor del “62% del ciclo y la fase de oscilación representa el 38% restante” [11]. Como se muestra en la Fig. 3.

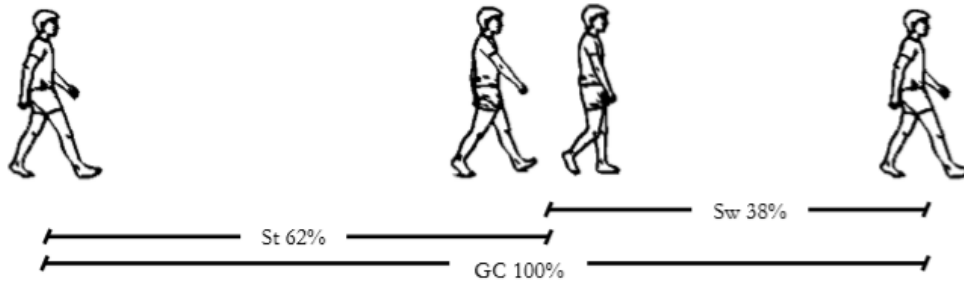


Fig. 3. Los dos choques de talón de un mismo lado delimitan el GC para ese lado
Fuente: [11]

1.3.1 Etapas de la fase de apoyo

Dentro de la fase de apoyo se observan cinco etapas importantes, dadas por la posición del pie y la pierna véase Fig. 4.

- Contacto del talón: Primera etapa de la fase de apoyo ocurre cuando el talón de una pierna contacta por primera vez en el ciclo el suelo.
- Apoyo plantar / puesta en carga: Ocurre cuando la planta del pie toca completamente el suelo.
- Apoyo medio: Ocurre en el instante cuando el tronco de la persona está alineado con la planta del pie.
- Elevación del talón/final de apoyo: Ocurre cuando el talón se despegó del suelo.
- Despegue del pie /prebalanceo: Ocurre cuando el pie se despegó completamente del suelo, iniciando la fase de balanceo del pie.

1.3.2 Etapas de la fase de balanceo

En la fase de balanceo la pierna se asemeja al movimiento de un péndulo. La fase de balanceo se divide en las siguientes etapas (Fig. 4):

- Aceleración/ inicio del balanceo: Se inicia en el momento de despegue del pie, con una aceleración máxima y velocidad inicial cero.
- Balanceo medio: La pierna realiza el apoyo simple, en este instante ocurre la velocidad máxima.
- Deceleración / final de balanceo: Después del balanceo medio, comienza la deceleración, por ende, la disminución de velocidad de la pierna.

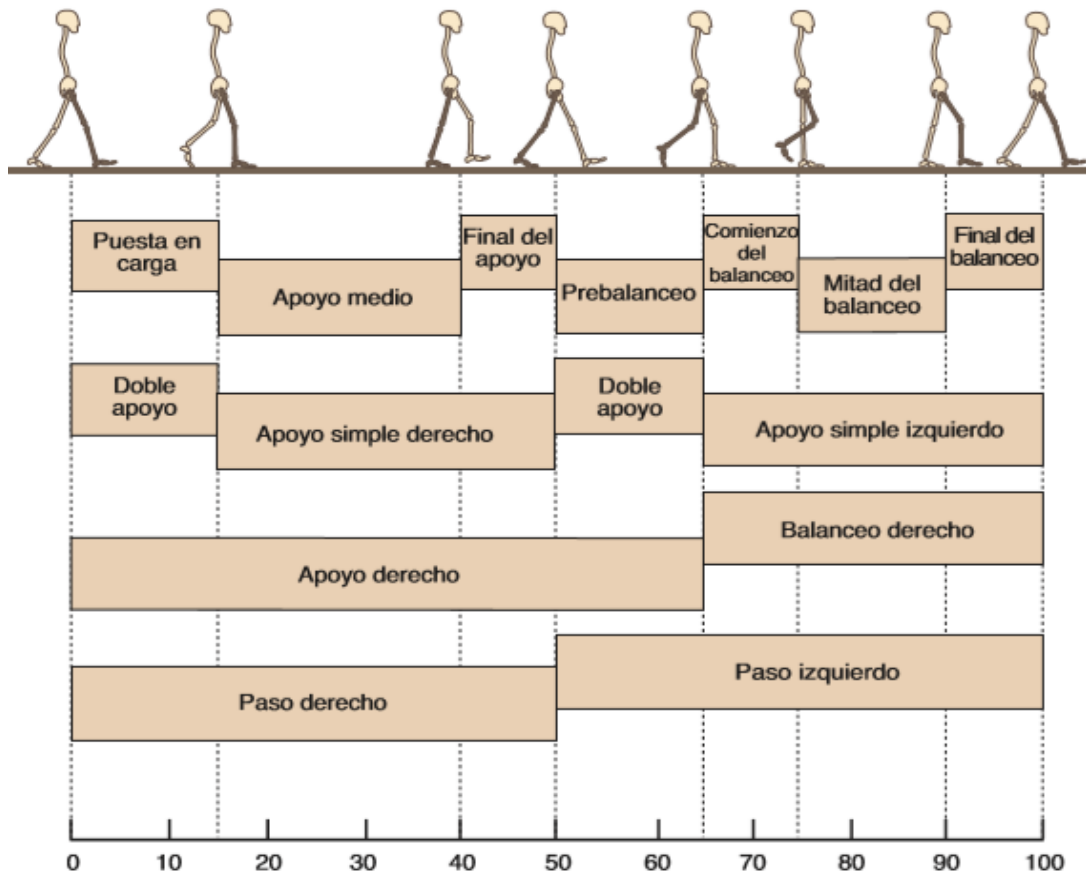


Fig. 4. División de las fases de la marcha
Fuente: [4]

1.4 CINEMÁTICA

1.4.1 Análisis cinemático de la marcha

La cinemática se centra en el estudio de los movimientos del cuerpo en conjunto y los movimientos relativos de las partes del cuerpo en las diferentes fases de la marcha sin tomar en cuenta las fuerzas que lo originan.

“Mediante el estudio cinemático se puede analizar patrones de movimiento de la marcha, como movimientos articulares, velocidades, aceleraciones” [12].

La marcha puede ser estudiada por simple observación del individuo mientras camina. La marcha puede observarse de manera general con la observación de la marcha en los diferentes planos inmersos en la marcha, el plano transversal, coronal y sagital (Fig. 5) [13].

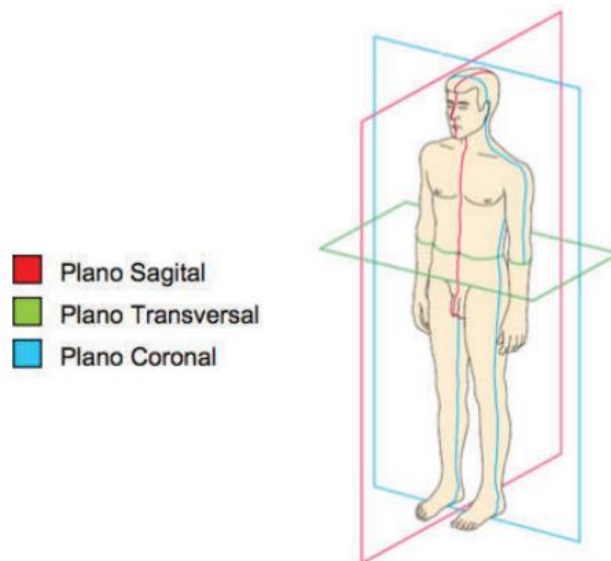


Fig. 5. Planos de división del cuerpo
Fuente: [14]

-Plano Sagital. - Divide el cuerpo en dos mitades hacia derecha y hacia izquierda.

-Plano Transversal u horizontal. - Divide el cuerpo en parte superior e inferior.

-Plano Coronal o frontal. Divide el cuerpo en mitades delanteras y traseras.

La mayoría de las articulaciones solo pueden moverse en uno o dos de estos tres planos. Las direcciones de estos movimientos para la cadera y la rodilla se muestran en la Fig. 6 y para el tobillo y el pie en la Fig. 7. Los posibles movimientos son los siguientes [13]:

- La flexión y la extensión tienen lugar en el plano sagital; en el tobillo estos movimientos se denominan dorsiflexión y flexión plantar, respectivamente
- La abducción y la aducción tienen lugar en el plano frontal
- La rotación interna y externa tienen lugar en el plano transversal; También se denominan rotación medial y lateral respectivamente, el término se refiere al movimiento de la superficie anterior.

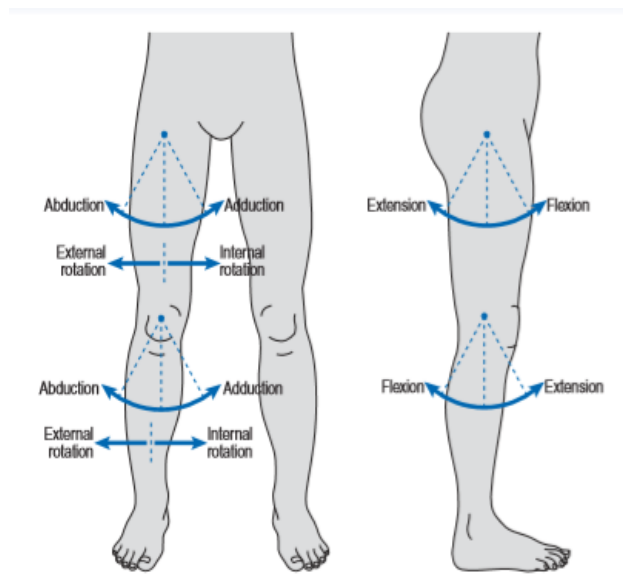


Fig. 6. Movimientos sobre la articulación de la cadera (arriba) y la articulación de la rodilla (abajo)
Fuente: [13]

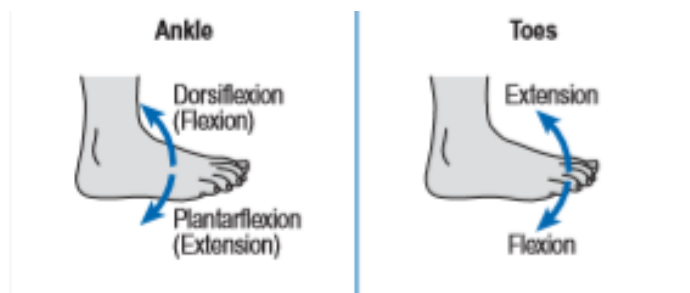


Fig. 7. Movimientos del tobillo
Fuente: [13]

A modo de resumen (Fig. 8), se observan las posiciones de la pierna derecha, durante el ciclo de la marcha en intervalos de 40 ms.

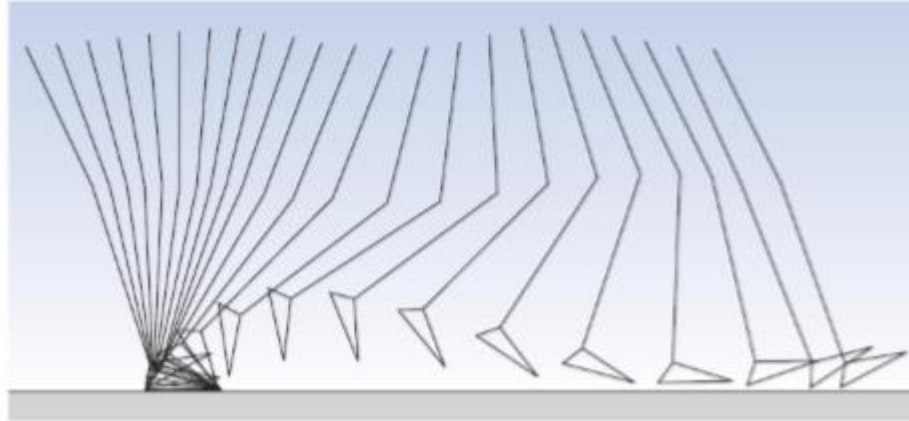


Fig. 8. Posiciones de la pierna derecha en el plano sagital durante la marcha humana
Fuente: [13]

1.4.2 Tiempos y periodos en la marcha

El periodo de doble apoyo ocurre cuando ambos pies están en contacto con el suelo simultáneamente. Para referencia del pie significa que, por un corto periodo de tiempo, la primera parte de la fase de apoyo y la última parte de la fase de apoyo, el pie contralateral está también en contacto con el suelo. La ausencia de un período de doble apoyo distingue el correr del andar [15].

“La cantidad relativa de tiempo gastado durante cada fase del ciclo de la marcha, a una velocidad normal, es” [15]:

1. Fase de apoyo: 60% del ciclo
2. Fase de balanceo: 40% doble ciclo
3. Doble apoyo: 20% del ciclo

1.4.3 Ángulos de la marcha

Los ángulos descritos por las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo describen curvas y funciones en el tiempo del ciclo de la marcha, estas se pueden representar por medio de gráficas con amplitudes variables y periodos no muy regulares, pero bajo la estimación de un promedio

estadístico se pueden encontrar formas generalizadas de estas, las cuales sirven como base para fijar los parámetros y los ángulos de cada fase de la misma [15].

La evolución angular de las articulaciones a lo largo del ciclo, en el plano sagital, se ven representadas en la (Fig. 9).

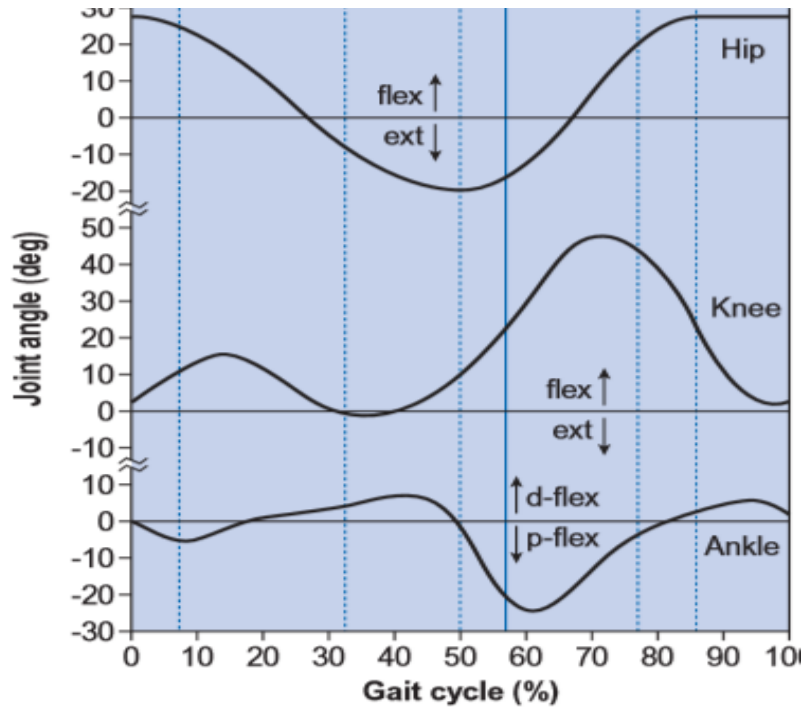


Fig. 9. Evolución angular de las articulaciones de cadera, rodilla y cadera durante el ciclo de la marcha
Fuente: [13]

1.4.3.1 Desplazamiento angular de la cadera en el plano sagital

La Fig. 10 muestra los movimientos de la cadera en el plano sagital, durante la mayor parte del ciclo la cadera esta flexionada. La flexión máxima $\sim 30^\circ$, se alcanza al principio y final del ciclo, poco antes del 50 % esta se coloca en extensión, la extensión máxima de $\sim 10^\circ$ [4].

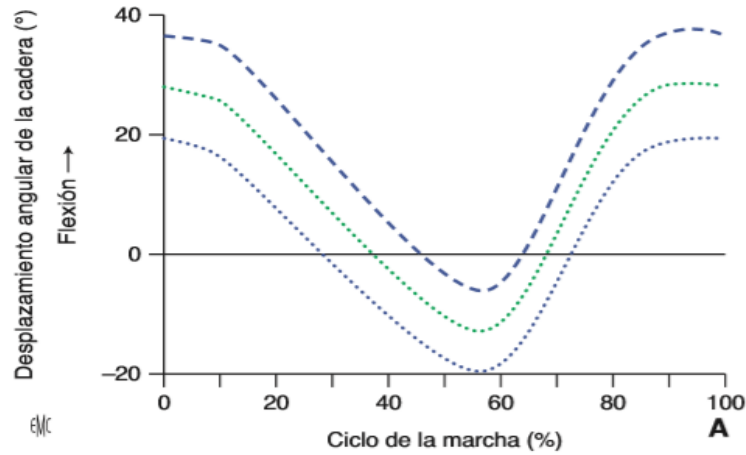


Fig. 10. Movimiento de la cadera en el plano sagital I durante un ciclo de marcha
Fuente: [4]

1.4.3.2 Desplazamiento angular de la cadera en el plano frontal.

En este plano frontal es posible un movimiento de abducción y aducción de las caderas, del 0 al 20% del ciclo, esta articulación efectúa aducción seguida por un movimiento de abducción para volver a la posición neutra en el 60% del ciclo. La cadera se dispone entonces en abducción para mantener el muslo en un plano sagital. Al 70% del ciclo, la cadera alcanza una abducción máxima de 5-10°, el ángulo máximo de abducción cambia poco con la velocidad y se alcanza al 20% del ciclo cualquiera que sea la velocidad (Fig. 11) [4].

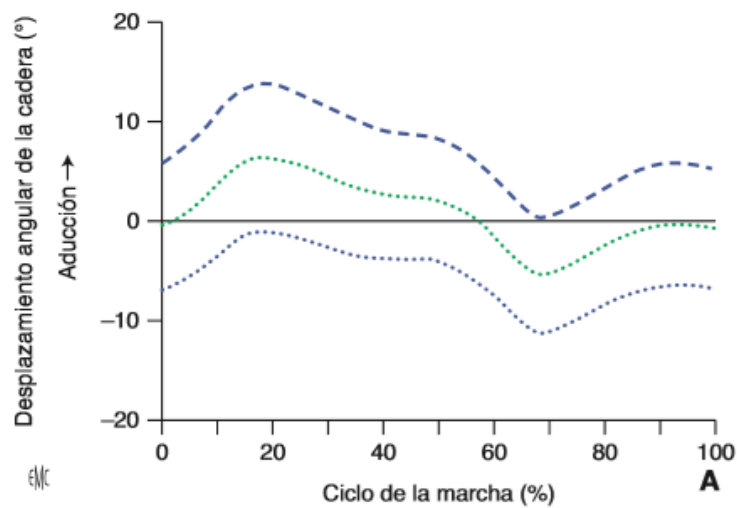


Fig. 11. Movimientos de abducción y aducción de la cadera durante el ciclo de la marcha
Fuente: [4]

1.4.3.3 Desplazamiento angular de la rodilla en el plano sagital

El choque generado por el contacto del talón con el suelo aumenta la velocidad de la marcha, es por esto que el movimiento de flexión al inicio del apoyo es mayor. Dependiendo de la velocidad tomara valores de 5° a 20° y durante la fase de balanceo, la rodilla desarrollara una extensión máxima de 45° a baja velocidad, de 60° a velocidades medias y rápidas Fig. 12 [4].

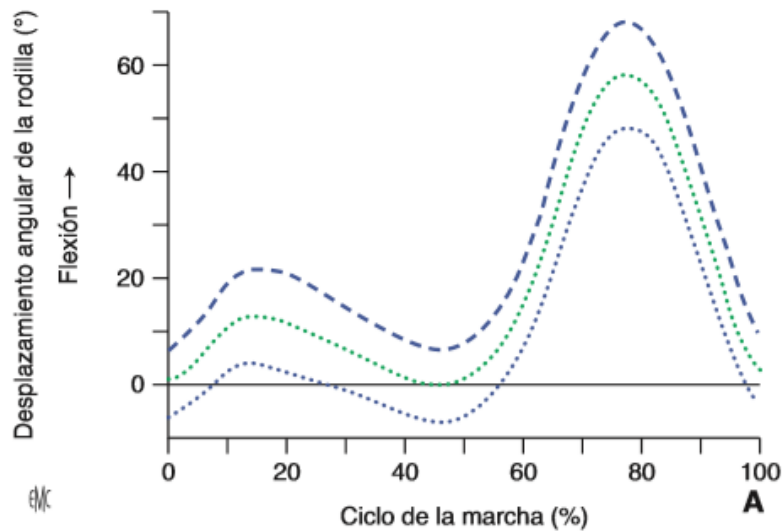


Fig. 12. Movimientos de extensión y flexión de rodilla en un ciclo de la marcha
Fuente: [4]

1.4.3.4 Desplazamiento angular del tobillo en el plano sagital

El movimiento de flexión y extensión del tobillo durante un ciclo de la marcha se representa en la Fig. 13. Cuando el talón hace contacto con el suelo, efectúa un movimiento de extensión hasta que el pie se encuentra de plano con el suelo aproximadamente el 10% del ciclo, luego se efectúa un movimiento de flexión durante el cual el cuerpo pasa por encima del pie de apoyo, al final del apoyo el tobillo inicia un movimiento de extensión y el talón se despega del suelo, el tobillo alcanza su amplitud máxima cerca del 60% [4].

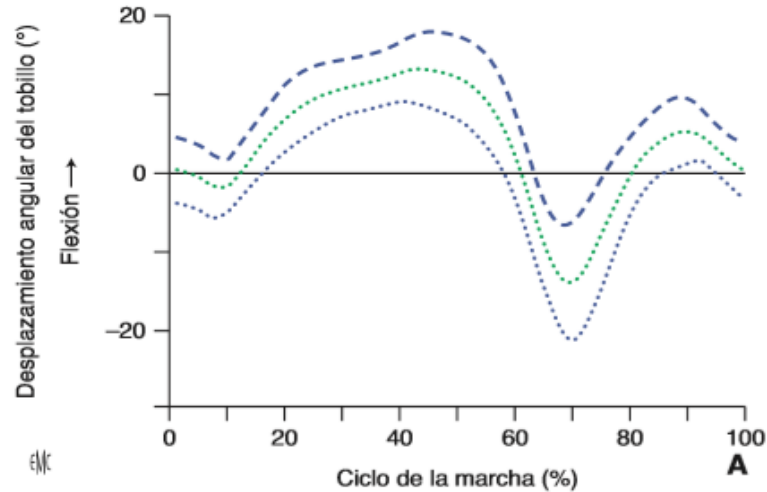


Fig. 13. Movimiento de flexión y extensión de tobillo durante un ciclo de la marcha
Fuente: [4]

1.4.4 Parámetros de la Marcha

Un patrón de marcha humana puede ser caracterizado con diferentes tipos de parámetros, algunos básicos y otros de mayor complejidad. De la forma más básica, la marcha se describe mediante parámetros espaciotemporales, es decir no sólo varían entre sujetos sino también en el mismo sujeto, resultan ser representativos de una persona cuando las condiciones y los factores que afectan la marcha (como terreno, calzado, transporte de carga, edad, fatiga, peso) se mantienen constantes [16] . (Fig. 14).

-Longitud de zancada. - Es la distancia entre dos choques de talón consecutivos de un mismo pie. Se mide en centímetros o en metros [17].

-Longitud de paso: Distancia entre ambos pies cuando éstos contactan con el suelo. Se mide en centímetros (40cm aprox. Aunque depende de la estatura del individuo) [18].

-Anchura de paso. - Separación lateral entre los apoyos de ambos pies. Se mide en centímetros. Equivalente a 5 a 10 cm, relacionando directamente la estabilidad y el equilibrio Si la anchura es superior a 10 cm hace pensar en la presencia de alguna patología como por ejemplo cerebelosa o vestibular [17].

-Ángulo de paso: rotación del pie en el momento de contacto con el suelo [18] .

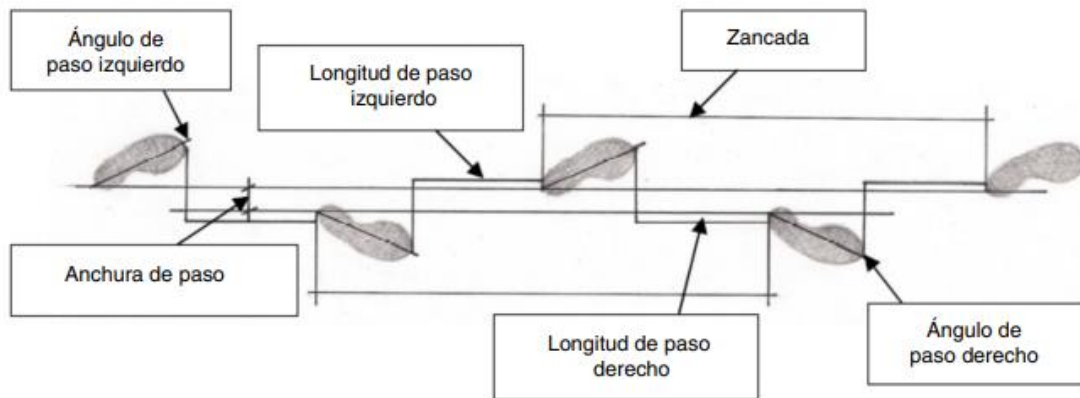


Fig. 14. Parámetros Básicos de la marcha
Fuente: [18]

1.4.5 Parámetros espaciotemporales

-Velocidad de la marcha. Distancia recorrida en la unidad de tiempo. Se mide en centímetros o metros por segundo. O también multiplicando la longitud del paso por su cadencia [19].

-Cadencia de la marcha. Número de pasos por unidad de tiempo. Se suele medir en ciclos o pasos por minuto. En un adulto la cadencia oscila entre 90 pasos por minuto, si la marcha es lenta la cadencia puede ser de unos 70 pasos por minuto y en marchas rápidas puede alcanzar los 130-150 pasos por minuto [19].

1.5 Exploración de la Marcha

Es fundamental la observación del sujeto mientras camina, pero también se pueden aplicar diversas técnicas para conocer aspectos de la marcha: cinemáticos, cinéticos, energéticos, etc.

Lo más adecuado para la exploración de la deambulación es disponer de una pista de marcha, de unos 10 metros aproximadamente. También se puede emplear una alfombra o tapiz rodante a velocidad constante (Fig. 15) [3].

1.5.1 Tapiz rodante:

a. Ventajas:

- Permite al examinador mantener una visión perfectamente sagital o frontal.
- Se mantiene la distancia entre el examinador y el sujeto a examinar.
- La regularidad del paso ayuda a reproducir la observación en condiciones idénticas y tantas veces como sea necesario.
- Mediante este sistema se puede analizar la marcha a distintas velocidades y con inclinación variable en un espacio pequeño.

b. Inconvenientes:

- Se trata de una marcha artificial pues es el suelo el que se desplaza bajo los pies y no a la inversa.
- La velocidad impuesta al sujeto no corresponde necesariamente al ritmo habitual del sujeto, ni se permite que éste camine a velocidad libre.

1.5.2 Pista de marcha

La pista de marcha presenta como ventaja permitir que el sujeto se desplace sin impedimentos a su ritmo habitual. El inconveniente principal es que se precisa una sala de al menos 10 metros de largo con espacio suficiente para que el individuo camine y para que el examinador pueda alejarse lo suficiente para observar la marcha desde una posición adecuada. Los primeros y últimos pasos no son buenas referencias, por ello cuanto mayor sea la distancia que el sujeto pueda recorrer se aportarán más datos al examinador [3].



Fig. 15. Tapiz Rodante y Pista de marcha

Fuente: Recuperado <http://patronatoderehabilitacion.com/centros/laboratorio-de-la-marcha/>

1.6 Métodos de evaluación de la marcha

1.6.1 Métodos cinemáticos

Centrados en el estudio de la dinámica del movimiento, pero no de las fuerzas que lo originan. Se describen los movimientos que se producen durante la marcha mediante la determinación de posiciones, velocidades, aceleraciones, etc.

La visión de espaldas o de frente permite mostrar las oscilaciones y traslaciones laterales en el plano frontal. Desde el lateral se examinaría la progresión del sujeto en el plano sagital. Desde arriba podría observarse el giro de la cintura escapular en el plano horizontal. Desde abajo se apreciarían las huellas de las pisadas y se podría medir la longitud, anchura y ángulo del paso.

Observación del individuo mientras camina: Es la forma más sencilla de estudiar la marcha. De esta forma pueden apreciarse las alteraciones más groseras de la forma de caminar.

Aunque la observación sea minuciosa pueden pasar desapercibidas las alteraciones menos evidentes y además no queda ningún registro para poder revisar posteriormente los hallazgos [3].

1.6.2 Fotografía

Existen numerosas técnicas fotográficas, pero sea cual sea la utilizada en el estudio de la marcha, el objetivo consiste en seguir la trayectoria del movimiento, en el espacio bidimensional o tridimensional, de puntos del cuerpo adecuadamente seleccionados. Dichos puntos suelen ser las prominencias óseas cercanas a las articulaciones [3].

- Técnica de exposición múltiple con una velocidad de 26 disparos/ segundo.
- Exposición prolongada que permite recoger en una sola imagen varias fases del movimiento.

1.6.3 Cinematografía

La exploración de la marcha únicamente mediante observación directa aporta insuficientes datos para un estudio completo de la locomoción. Consiste en filmar al individuo mientras camina. Al analizar los fotogramas se pueden apreciar las características del movimiento que tiene lugar en cada 1/50 parte de segundo. (Con cámaras especiales se pueden alcanzar velocidades de hasta 400 fotogramas por segundo) [3].

1.6.4 Vídeo

Tiene las mismas bases que la técnica anteriormente descrita con la ventaja de ser un sistema más económico, aunque no se alcanzan las mismas velocidades ni la misma calidad de imagen que con la cinematografía, obtienen imágenes bidimensionales y con frecuencia distorsionadas pues para obtener el ángulo absoluto de las articulaciones, la cámara ha de seguir al sujeto objeto de estudio formando siempre un ángulo de 90° con la línea de avance [3].

1.6.5 Técnica de exposición múltiple

Sistema de imagen sencillo y económico. El equipo está formado por una cámara en un cuarto oscuro y una luz continua estroboscópica que ilumina al sujeto por períodos regulares de 20

veces/segundo. Se colocan distintos marcadores en el paciente de forma que cada imagen recoja la posición del cuerpo en ese momento. Se obtienen diagramas de líneas o barras que indican la posición que tienen los segmentos del miembro inferior en cada intervalo de tiempo. Los datos se obtienen rápidamente pero el análisis del rango del movimiento articular resulta complejo por la superposición de imágenes [3].

1.6.6 Otras técnicas de análisis óptico:

Se han ido desarrollando nuevas técnicas para el análisis del movimiento basadas en métodos de análisis óptico. Estos sistemas recogen los desplazamientos durante la marcha de diferentes marcadores colocados en zonas anatómicas específicas del paciente. Existen dos tipos de equipos según si los marcadores actúan activa o pasivamente. Si actúan de forma pasiva los marcadores reflejan pasivamente la luz que es enviada por la cámara y ésta, a su vez, recoge dicho reflejo. Los marcadores activos son los que emplean una vía de emisión de luz propia que será recogida posteriormente por la cámara.

Los datos obtenidos mediante este sistema son digitalizados y analizados por un ordenador, lo que permite su observación directa en pantalla [3].

1.6.7 Cine radiología

Películas de la radiología de determinadas articulaciones mientras éstas se mueven. Su principal ventaja es que aportan una descripción muy buena de la cinemática articular, pero el inconveniente fundamental es que sólo puede realizarse en el período de apoyo de la extremidad, ya que el aparato de rayos X y la cámara no pueden seguir al paciente durante la fase de oscilación. [3]

1.6.8 Acelerómetros

Miden la aceleración de las distintas partes del cuerpo. Sirven para valorar la dinámica del centro de gravedad del organismo o de un segmento determinado. Suele asociarse con métodos

fotográficos. Para el estudio de los movimientos humanos y más concretamente para el estudio de la marcha bipodal Necesitan sujeción sólida (Fig. 16) [3].

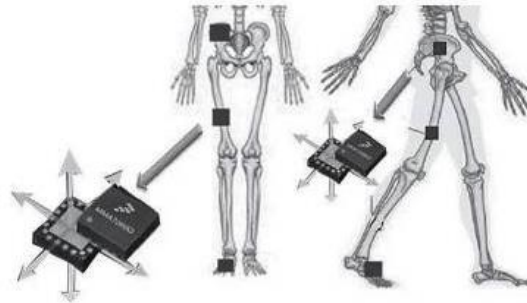


Fig. 16. Acelerómetros
Fuente: [20]

1.6.9 Goniómetros

Aplicados sobre la extremidad sirven para medir la movilidad angular de una determinada articulación durante la marcha. El goniómetro es un instrumento sencillo de plástico o de metal formado por dos brazos móviles milimétricos unidos a un transportador de ángulos empleados para el análisis pasivo del movimiento articular [3].

Se coloca uno de los brazos fijo sobre el extremo proximal de la articulación y el otro en el segmento articular opuesto. El centro de giro articular debe situarse en el punto de unión de ambos brazos del goniómetro que a su vez debe coincidir con el cero del transportador de ángulos. El brazo móvil, que se desplaza a lo largo de todo el recorrido articular acompañando el segmento distal, indicará los grados de amplitud total de movimiento de la articulación explorada (Fig. 17).



Fig. 17. Goniómetros

Fuente: Recuperado de https://es.123rf.com/photo_39828186_medici%C3%B3n-de-rodilla-con-goni%C3%B3metro-en-la-oficina-m%C3%A9dica-del-doctor.html

1.6.10 Electro goniómetros

Son sistemas de medida más sofisticados basados en los anteriores. Se trata de potenciómetros, que sujetos a los dos segmentos articulares y una vez alineado su centro con el eje de movimiento de la articulación, permiten obtener el rango de amplitud articular tanto activo como pasivo. Mantienen un voltaje [3] Fig. 18.



Fig. 18. Electro goniómetros

Fuente: Recuperado de <http://cuidaatucuerpo.blogspot.com/2014/12/tecnologias-aplicadas-al-deporte-en-la.html>

1.6.11 Cámaras RGB

En los últimos años las áreas de visión de computadora se han desarrollado rápidamente debido a las mejoras en las capacidades de la computadora y la cámara [21]. Las cámaras RGB tienen un gran impacto dentro de la comunidad en la investigación de la visión artificial, así como la relación en la robótica y el procesamiento de imágenes [22], estas cámaras proporcionan estimaciones de profundidad densas junto con imágenes en color a una alta velocidad [22]. Las cámaras de profundidad miden el rango de información entre la cámara y el objeto, lo que ofrece más conveniencia para la construcción de modelos tridimensionales (3D), seguimiento de objetos, detección de movimiento [21], reconocimiento de gestos y objetos, filtrado bilateral entre otros [22].

El lanzamiento del sensor Microsoft Kinect para Windows v1 (Fig. 19), en noviembre de 2010 enriqueció aún más las opciones del dispositivo de cámara de profundidad con su bajo precio al consumidor, su tamaño compacto y la capacidad de capturar datos de profundidad y de imagen a una velocidad de video. Kinect v1 proyecta patrones que consisten en muchas franjas a la vez, y permite la adquisición de una multitud de muestras simultáneamente.



Fig. 19. Dispositivos Kinect Xbox 360 y Kinect para Xbox one
Fuente: [22]

1.6.11.1 Sensor Kinect

La Kinect tiene varias ventajas: puede capturar imágenes de color y profundidad a una tasa de video bien en niveles de poca luz, resolver ambigüedades de silueta en pose y es invariante de color y textura. Además, su funcionamiento no tiene diferencia en comparación con las cámaras de video, lo que lo hace fácilmente operado por usuarios comunes [21].

Recientemente, Microsoft lanzó Kinect v2 (Fig. 19), que mejoró mucho la precisión de la medición de profundidad. En relación con el principio de detección de profundidad, Kinect v1 adopta el método de luz estructurada, que proyecta patrones consisten en muchas franjas a la vez, o de arbitrios, y permite la adquisición de una multitud de muestras simultáneamente [21].

El dispositivo Kinect es un periférico para videojuegos que prescinde de mandos gracias a un sensor de detección de movimientos. Se trata de una barra horizontal conectada a una plataforma

diseñada para mantenerse en una posición horizontal. En su interior contiene un hardware compuesto por una cámara RGB, un sensor de profundidad, el proyector de luz infrarroja, un micrófono bidireccional, un firmware y un procesador que utiliza algoritmos para procesar las imágenes tridimensionales como se muestra en la Fig. 20. De forma conjunta capturan el movimiento, además de ofrecer un reconocimiento facial y de voz [23].

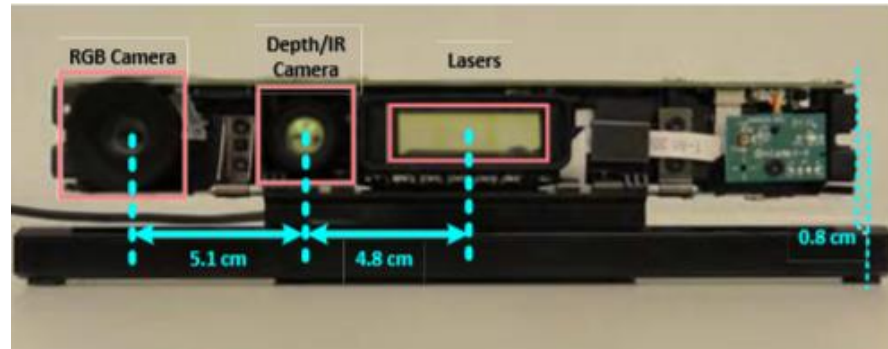


Fig. 20. Kinect v2 compuesto por cámara RGB, sensor de profundidad, proyector de luz infrarroja
Fuente: [21]

El Kinect v2 a diferencia de su antecesor consta de algunas mejoras detalladas a continuación

-Mayor campo de visión y un seguimiento mejorado del cuerpo

- Con un campo de visión de 70° en horizontal y 60° en vertical. La versión inicial disponía de 57° y 43° respectivamente.
- Esta nueva versión, permite detectar hasta seis jugadores de forma simultánea con 25 articulaciones por persona dentro de un mismo campo de visión. La versión anterior solo podía detectar dos jugadores y 20 articulaciones.
- Como desventaja, hay que destacar la carencia de motor de inclinación en esta nueva versión de Kinect.

-Mayor resolución con más detalle

- Cámara a color capaz de realizar vídeos con una resolución Full HD de 1920 x 1080 ppp. La versión inicial disponía de 640 x 480 ppp.

- Detecta de una manera más precisa el entorno.
- Capacidad de diferenciar la orientación del cuerpo incluyendo sus manos y dedos.
- La fase tracking tiene mucho más detalle, permitiendo captar los gestos de la cara.
- Mayor calidad de imagen.

-Mejora el rango de profundidad del sensor

- Se incrementa el rango de actuación, pasando de 0,5 a 4,5 metros.

-Aumento de la velocidad en el puerto USB 3.0

- La velocidad de la comunicación con el ordenador se transmite más rápido, disminuyendo la latencia del sensor, pasando de 90 ms a 60 ms.

-Mejora en la captación de sonidos

- Esta nueva versión de Kinect incluye una gran mejora en cuanto al reconocimiento de voz. De modo que elimina los ruidos de ambiente, permitiendo captar instrucciones sonoras con mayor detalle.

-Captación de movimientos a oscuras

- Nuevas funciones de infrarrojos (IR), capaces de reconocer y captar los movimientos, aunque la sala este a oscuras. Genera una vista independiente de la iluminación

Kinect tiene dos funcionalidades principales, generar un mapa 3D de la imagen que capta la cámara y realizar un reconocimiento humano en movimiento a partir de diferentes segmentos del cuerpo, además de un esquema en escala de grises del rostro [23].

1.6.11.1.1 Funcionamiento del Kinect.

La imagen de profundidad registra en cada píxel la distancia desde la cámara hasta un objeto visto (Fig. 21). El Kinect v1 mide la profundidad con el principio de Proyección de patrón, donde se proyecta un patrón infrarrojo conocido en la escena y, a partir de su distorsión, se calcula la

profundidad. El Kinect v2 contiene una cámara de tiempo de vuelo (ToF) y determina la profundidad midiendo el tiempo que tarda la luz emitida desde la cámara hasta el objeto y viceversa. Por lo tanto, emite constantemente luz infrarroja con ondas moduladas y detecta la fase desplazada de la luz que regresa [22].

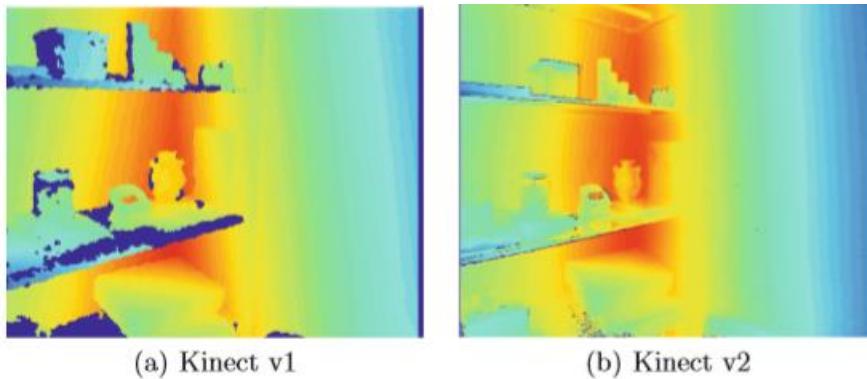


Fig. 21. Imágenes de profundidad capturadas de la misma escena para Kinect v1 y Kinect v2.
Fuente: [22]

1.6.12 Sistema de esqueleto Kinect

Como se mencionó anteriormente el Kinect v2 tiene la capacidad de identificar 6 esqueletos a la vez, cada uno de estos tiene 25 articulaciones Fig. 22.

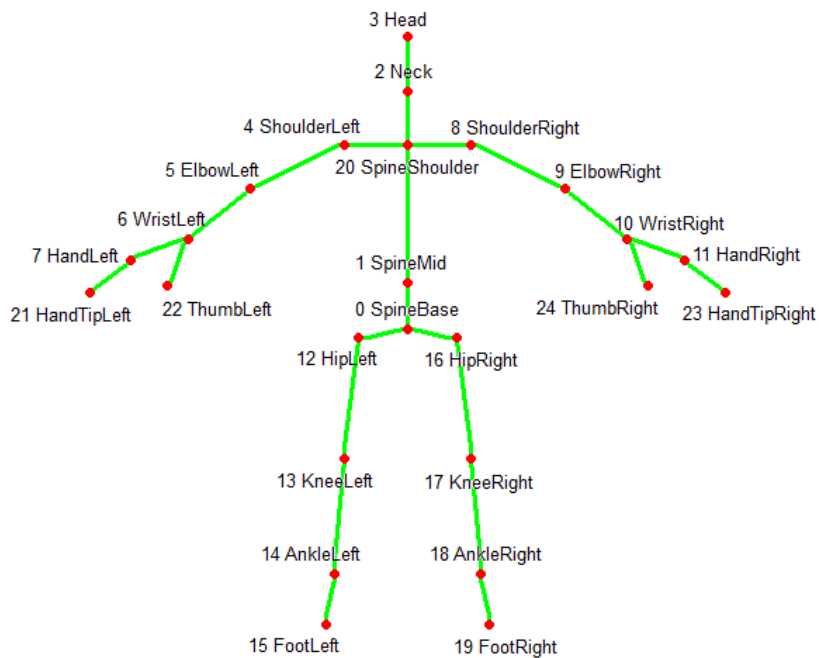


Fig. 22. Kinect v2 esqueletos con sus 25 articulaciones
Fuente: [24].

Tenga en cuenta que el esqueleto de Kinect devuelve "articulaciones" no "huesos". Es una distinción importante que tiene grandes implicaciones cuando piensa en cómo se mueven los cuerpos en el espacio. Las articulaciones están numeradas del 1 al 25 véase la Fig. 23.



```
SPINEBASE
SPINEMID
NECK
HEAD
SHOULDERLEFT
ELBOWLEFT
WRISTLEFT
HANDTIPLEFT
SHOULDERRIGHT
ELBOWRIGHT
WRISTRIGHT
HANDTIPRIGHT
HIPLLEFT
KNEELEFT
ANKLELEFT
FOOTLEFT
HIPRIGHT
KNEERIGHT
ANKLERIGHT
FOOTRIGHT
SPINESHOULDER
HANDTIPLEFT
THUMBLEFT
HANDTIPRIGHT
THUMBRIGHT
```

Fig. 23. Kinect nombres de las articulaciones
Fuente: [25]

Cada junta tiene 11 propiedades: color (x, y); profundidad (x, y); cámara (x, y, z); y orientación (x, y, z, w).

1.6.12.1 Coordenadas de color (X, Y)

Las coordenadas de color (x, y) son las coordenadas de la unión de la cámara de color, lo que Kinect hace es devolver un valor entre 0 y 1 para las coordenadas de color. Los valores son porcentajes de una escala establecida entre 0-1 basada en la resolución de la cámara 1920x1080 (Fig. 24) [25].

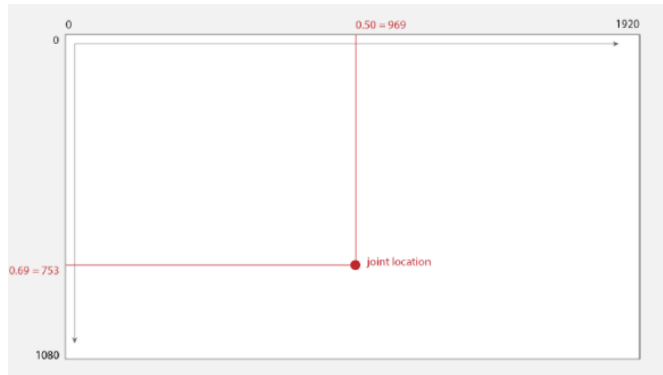


Fig. 24. Ejemplo de mapeo de coordenadas de color Kinect (x, y)
Fuente: [25].

1.6.12.2 Coordenadas de profundidad (X, Y)

Las coordenadas de profundidad son las coordenadas de la unión de la imagen de profundidad, al igual que el colorX y colorY devuelve un valor entre 0 y 1 (Fig. 25), la imagen de profundidad se dibuja a escala con la imagen de color.

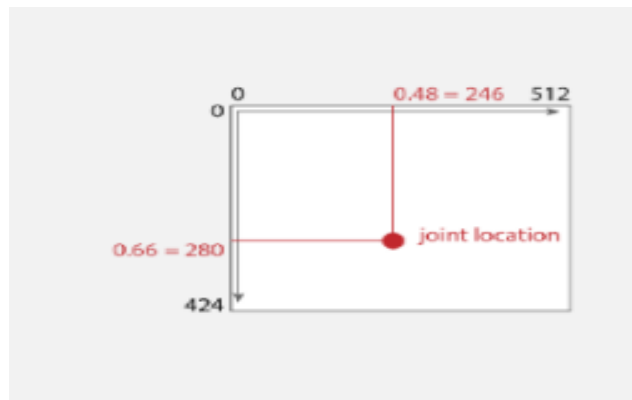


Fig. 25. Coordenadas De profundidad de la Kinect ejemplo mapeo
Fuente: [25].

1.6.12.3 Coordenadas de la cámara (X, Y, Z)

Las coordenadas de la cámara de Kinect utilizan el sensor infrarrojo de Kinect para encontrar puntos 3D de las uniones en el espacio (Fig. 26). El espacio de la cámara se refiere al sistema de coordenadas 3D utilizado por Kinect. El sistema de coordenadas se define de la siguiente manera:

El origen ($x = 0$, $y = 0$, $z = 0$) se encuentra en el centro del sensor IR en Kinect [25].

- X crece a la izquierda del sensor [desde el punto de vista del sensor]
- Y crece (tenga en cuenta que esta dirección se basa en la inclinación del sensor)
- Z crece en la dirección hacia la que se encuentra el sensor.
- 1 unidad = 1 metro



Fig. 26. El espacio de la cámara se coordina desde el Kinect
Fuente: [25] .

En el espacio de la cámara, las coordenadas se miden en metros. Las coordenadas (x, y) pueden ser positivas o negativas, ya que se extienden en ambas direcciones desde el sensor. La coordenada z siempre será positiva, ya que crece fuera del sensor [25].

El rango de profundidad del Kinect es de ocho metros, pero el rango de seguimiento del esqueleto es de 0.5 m a 4.5 m, y tiene problemas para encontrar un esqueleto a menos de 1.5 m debido al campo de visión de la cámara. Por lo tanto, el valor de la cámara Z generalmente se ubicará entre 1.5 y 4.5 [25].

La coordenada x puede ser negativa o positiva, porque 0 está en el centro del sensor y las uniones se pueden rastrear hacia la izquierda (positiva) o hacia la derecha (negativa) del sensor. El rango de la cámara X depende de la distancia de la junta de la cámara, pero puede llegar hasta unos seis metros de ancho [25].

1.6.12.4 Coordenadas de orientación (X, Y, Z, W)

Kinect utiliza cuaterniones para entregar orientación conjunta. Un error común aquí es asumir que las coordenadas de orientación (x, y, z) son iguales a la orientación, el cabeceo y el giro, y la

coordenada w se puede descartar convenientemente. De hecho, los cuaterniones son una forma 4D de almacenar la orientación 3D, y deben convertirse para ser útiles [25].

1.6.13 Matlab

Matlab (“Laboratorio de matrices”), es una plataforma de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio (lenguaje M) Para el análisis iterativo y los procesos de diseño que se expresa mediante las matemáticas de los matices y arrays directamente. Está disponible para diferentes plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU7linux [26].

1.6.13.1 Interfaces gráficas de usuario (GUI)

Matlab permite desarrollar un conjunto de pantallas también conocidas como interfaces gráficas de usuario, permite el control de botones, menús, ventanas de manera sencilla, lo cual elimina la necesidad de aprender un lenguaje y escribir comandos con fin de ejecutar una aplicación.

Mediante la GUI, el flujo de información está controlado por las acciones (eventos) que sucedan en la interfaz. Comparando con los scripts, en estos los comandos están en un orden preestablecido, mientras que en la GUI no lo están. Los comandos para crear una GUI se escriben en un script, pero una vez que se ejecuta la GUI, esta permanece en la pantalla, aunque se haya terminado la ejecución del script. La interacción con el usuario continúa hasta que se cierra la GUI [27].

1.6.14 Base de Datos

Una base de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto almacenados d forma ordenada, para su posterior uso.

1.6.14.1 MySQL

MySQL como la base de datos integrada a productos para hacer que las aplicaciones, hardware y dispositivos sean más competitivos, llevarlos al mercado más rápido y reducir sus COG (costo de los productos vendidos) por su: [28]

- Bajo costo, hasta un 90% menos los menores costos de la base de datos permiten a los proveedores ofrecer sus productos a una fracción del costo de las soluciones de la competencia y la flexibilidad para atraer a los clientes más sensibles al precio.
- Flexibilidad multiplataforma con soporte para más de 20 plataformas que brindan la libertad de enviar productos en múltiples combinaciones de hardware y sistema operativo y en más mercados.
- Alto rendimiento, confiabilidad y escalabilidad para cumplir con los requisitos de
- Facilidad de uso con una instalación, configuración e integraciones rápidas para que los desarrolladores puedan centrarse en el desarrollo de aplicaciones, reduciendo los costos y el tiempo de comercialización.
- Cero administraciones eliminando la necesidad de que los clientes contraten un DBA dedicado o dediquen algún ciclo a la administración de la base de datos.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se recopiló la información que se pudo encontrar en trabajos realizados anteriormente, en artículos científicos, revistas especializadas, páginas especializadas, blogs, libros, tesis, entre otros.

2.1 Selección del Método de evaluación de la marcha

Para esto se elaboró una tabla comparativa de los métodos más comunes para evaluar la cinemática de la marcha en mención Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de los Métodos Cinemáticos

<u>TIPO</u>		<u>Disparos/segundos</u>	
Fotografías	Imágenes bidimensional o tridimensional	26	Una sola imagen por varias fases del movimiento
Cinematografía	Exposición únicamente mediante observación	400(cámaras especiales)	Las características del movimiento tienen lugar en cada 1/50 parte de segundo
Video	Imágenes bidimensionales /frecuencia distorsionada	-----	Para obtener el ángulo absoluto de las articulaciones, la cámara ha de seguir al sujeto objeto de estudio formando siempre un ángulo de 90° con la línea de avance
Técnica de exposición múltiple	Imágenes sencillas	20	Se obtienen diagramas de líneas o barras que indican la posición que tienen los segmentos del miembro inferior en cada intervalo de tiempo.

<u>TIPO</u>		<u>Disparos/segundos</u>	
Cámara RGB (Kinect)	Imágenes con estimaciones de profundidad	30	Estimaciones de profundidad densas junto con imágenes en color a una alta velocidad

2.2 Elección de la cámara para la obtención de datos

El método seleccionado fue el de las cámaras RGB. Se realizó una comparación de características entre la Kinect V1 y V2 como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de las Características del Kinect

<u>Capacidad</u>	<u>Kinect V1</u>	<u>Kinect V2</u>
Video	640×480 @30 fps 1280×960 @12 fps se denomina ColorStream	1920×1080 @30 fps High Definition Se denomina ColorSource
Profundidad	320×240, 640×480 Distancias 0.8 a 4 metros en modo default. Distancias de 0.4 a 3 metros en modo cercano (Near mode)	512×424 Distancias 0.5 a 4.5 metros
Infrarroja	640x480 30fps	12x424 30fps
Rastreo del cuerpo	Capacidad para detectar 6 personas, pero solo dos se pueden rastrear completamente Por cuerpo rastreado, capaz de identificar 20 articulaciones	Capacidad para detectar 6 cuerpos, todos completamente rastreados. Por cuerpo rastreado, capaz de identificar 25 articulaciones
Precio	Kinect for Xbox 360 \$150 dólares Adaptador para PC \$50 dólares Kinect for Windows \$250 dólares	Kinect for Xbox One \$150 dólares Adaptador para PC \$50 dólares Kinect for Windows V2 \$200 dólares
Motor de Inclinación	Si. Motor puede graduarse entre +27 grados y -27 grados.	No. Tiene mayor ángulo de visión. Sin embargo, en caso de que se requiera, se puede graduar manualmente su inclinación.
USB	2.0	3.0

Capacidad	Kinect V1	Kinect V2
Sistema Operativo	Win7 o superior	win 8.1 o superior *Sólo 64 bits

2.3 Desarrollo del sistema

Una vez estudiada la marcha humana y los movimientos del cuerpo en las articulaciones correspondientes: cadera, rodilla y tobillo en el plano frontal y los diferentes métodos cinemáticos de adquisición se procede a la preparación del escenario y lugar de toma de datos.

2.3.1 Adaptación del lugar

Para la implementación del sistema de adquisición de datos, es necesario tener en cuenta algunas condiciones para que el dispositivo Kinect funcione con normalidad, entre ellas:

- Escenario donde se realicen las pruebas
- Ubicación de la cámara (Kinect)
- Distancia del Usuario al sensor de profundidad

2.3.1.1 Escenario

Para realizar la toma de datos de la marcha se eligió un escenario aproximado de 5x2 m², que cuenta con suficiente luz artificial, para mejor el rendimiento del dispositivo se optó por evitar la luz solar y superficies reflejantes, tanto en el piso como en las paredes, véase Fig. 27 y 28 donde se muestra las diferentes perspectivas del escenario.

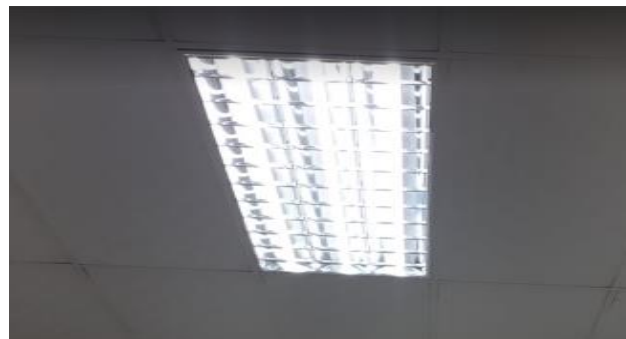


Fig. 27. Iluminación Artificial



Fig. 28. Perspectiva del escenario visto desde el dispositivo Kinect

2.3.1.2 Ubicación de la Kinect

Microsoft fabricante de Xbox one o Kinect V2 sugiere ubicar el dispositivo a una distancia entre 0.6m a 1.8m del suelo, evitar colocar el sensor a la luz directa del sol, situar cerca del borde de una superficie plana y asegurarse de que no haya objetos cerca que puedan obstaculizar el campo de visión.

Para el presente estudio se probó diferentes alturas, resultando las de máximo rendimiento de 1.2m a 1.4m (Fig. 29). Además, se tomó en cuenta las sugerencias con respecto a la luz y a su ubicación.



Fig. 29. Colocación de la Kinect

2.3.1.3 Distancia del Usuario al sensor de profundidad

El funcionamiento óptimo de la cámara de profundidad esta entre 0.5 y 4.5m, además de un ángulo de visión horizontal de 70° y visión vertical de 60°, luego de la realización de varias pruebas, se determinó que la distancia más adecuada para este caso es de alrededor de 2.5m la cámara del usuario, con una inclinación de la cámara de 10°.

La cámara se ubicará sobre un trípode, para la toma de datos el usuario empezara a caminar desde los 2.5 m hasta 1 m de la cámara, en esta distancia se hará la toma de datos sin que estos se alteren por la aproximación del usuario al dispositivo Kinect, como se muestra en la Fig. 30.



Fig. 30. Distancia del sujeto a la cámara y de la cámara al suelo

2.3.2 Adquisición de datos

Después de tomar en cuenta las condiciones iniciales se realizó la toma de datos ya con el dispositivo conectado y situado en el ambiente propicio.

2.3.2.1 Diagrama de flujo del sistema

Para comprender de mejor manera el funcionamiento del sistema se realizó un diagrama de flujo, véase Fig. 31.

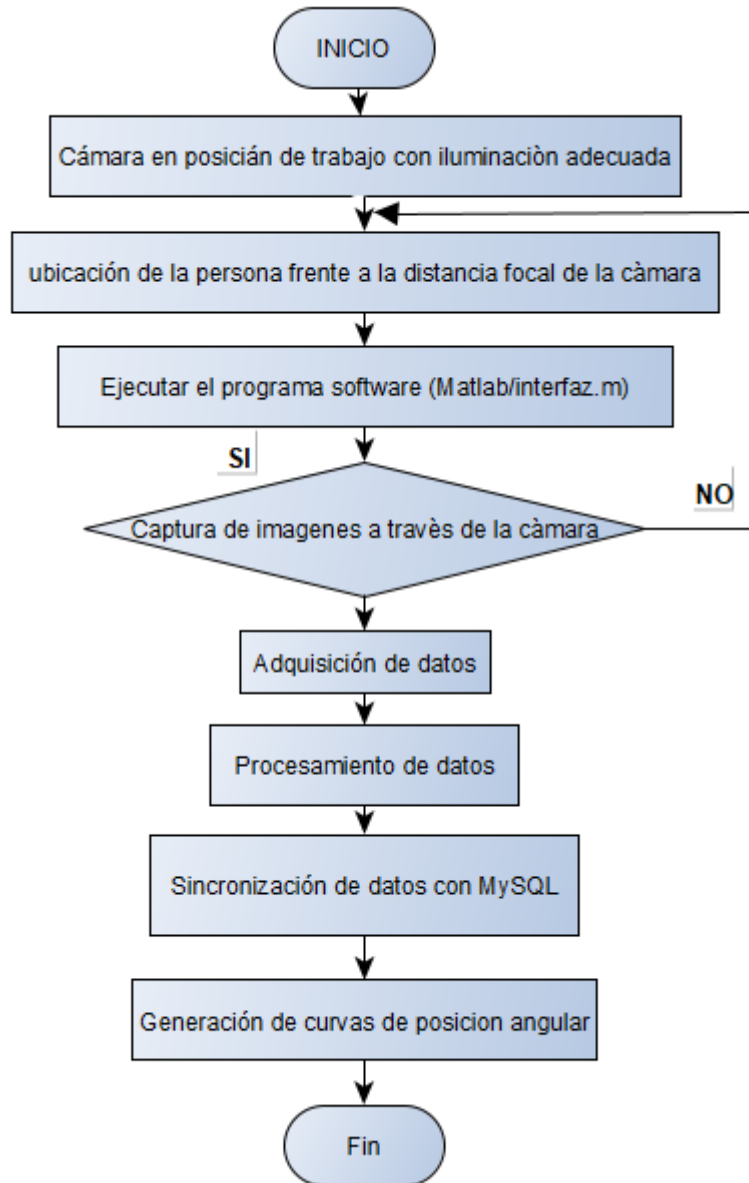


Fig. 31. Diagrama de flujo proceso del sistema

2.3.2.2 Diagrama de Bloques Propuesto

El sistema consta principalmente de un dispositivo Kinect conectado a un computador, el mismo que ayudará con el proceso y análisis de los datos obtenidos por la cámara de profundidad

Fig. 32.

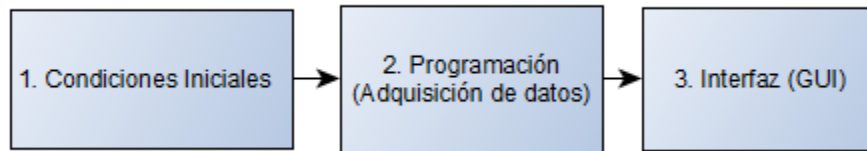


Fig. 32. Diagrama de Bloques del desarrollo

Para la adquisición de datos se deberá cumplir con ciertos requerimientos:

- La Kinect será conectado mediante su adaptador a la fuente de alimentación y a la vez al computador con su adaptador de Xbox a USB (Fig. 33).

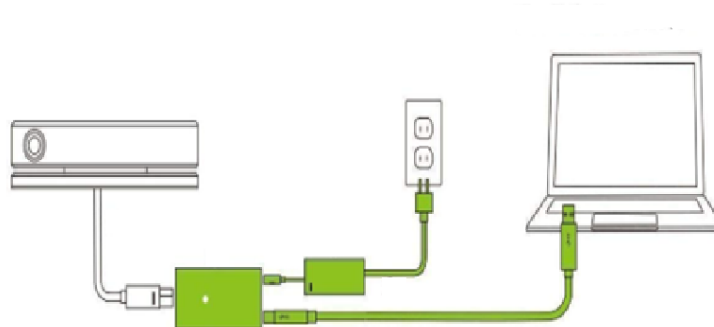


Fig. 33. Conexión del Kinect al computador a su adaptador y al tomacorriente

- El ordenador debe tener un sistema operativo Windows con Matlab plataforma utilizada para la adquisición y manipulación de datos entregados por la cámara de profundidad.
- Para la toma de datos (posiciones). Se deberá descargar las librerías de Image Acquisition Toolbox y Image Acquisition Toolbox Support Package for Kinect for Windows (Fig. 34). Para la obtención de puntos de seguimiento y en la visualización de esqueleto de seguimiento del usuario.
- Ahora, cuando ejecuta el comando "imaqhwinfo" en el símbolo del sistema de Matlab, si todo está instalado correctamente, mostrará Kinect como adaptadores instalados.

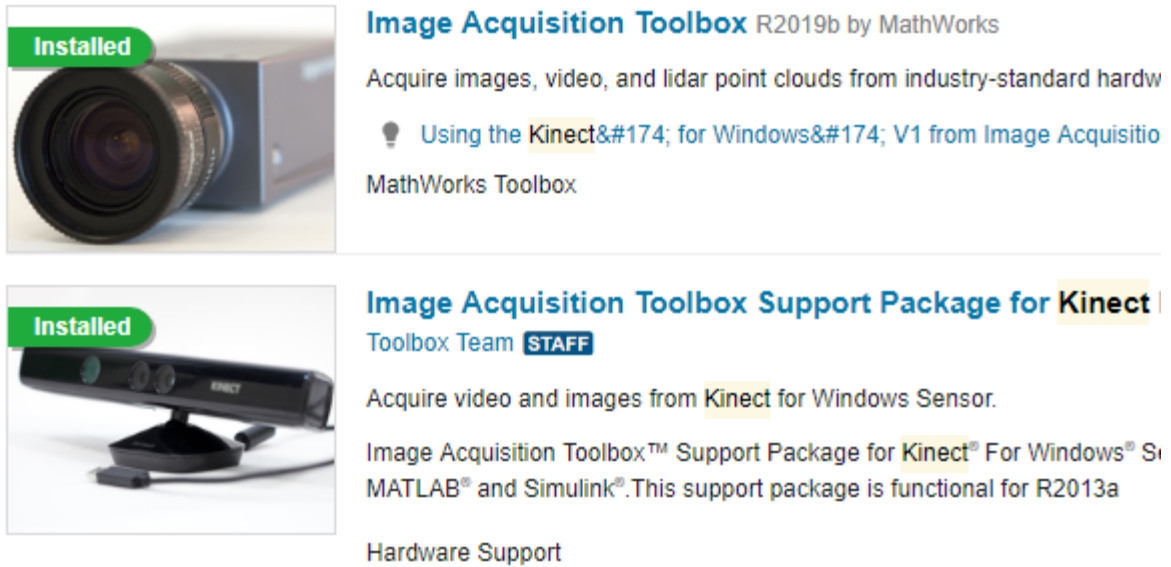


Fig. 34. Toolbox Matlab Kinect - de Add-on_Explore

2.3.2.3 Adquisición de imágenes

Se realizó la configuración de la Kinect en la plataforma Matlab para el funcionamiento de la cámara de color y de profundidad, tomando un total de 30 fotogramas por segundo. Como se muestra en el siguiente diagrama de bloques (Fig. 35).

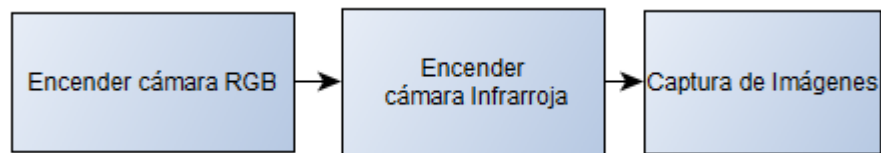


Fig. 35. Diagrama de bloques de Iniciación de la cámara y Captura de imágenes

2.3.2.3.1 Detección de Usuario y Esqueletización

Para la detección del usuario deberá encontrarse frente a la cámara, si éste se coloca en una posición lateral, por configuraciones del programa no lo detectará y presentará errores, a continuación, en la Fig. 36. se muestra un diagrama de flujo de la detección de la captura y esqueletización.

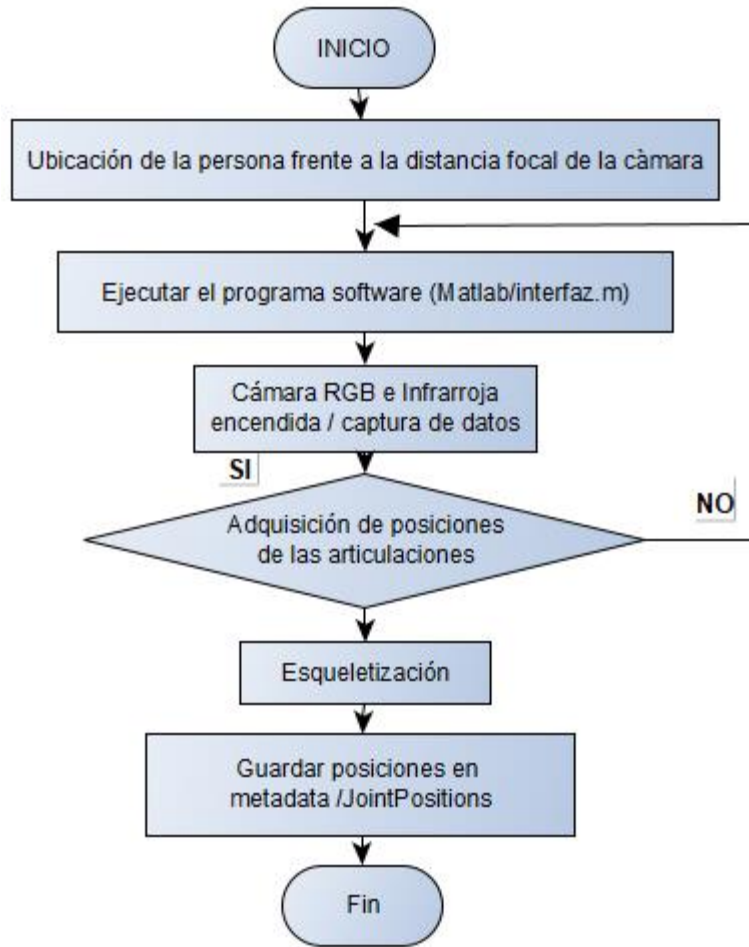


Fig. 36. Diagrama de flujo de captura y esqueletización del sujeto

2.3.2.4 Procesamiento de datos

Luego de reconocer al sujeto y recopilar los datos de posición, y de haberlos guardado, se utiliza la función `colorImg`, para dibujar la representación esquelética sobre la imagen de color o `colorImg` (Datos RGB), usando metadatos (datos de profundidad) como se muestra en la Fig. 37, como se observa reconoce a los 2 sujetos situados frente a la cámara, como se mencionó anteriormente Kinect one puede reconocer hasta 6 sujetos.

Después de ejecutar el código proporcionado abrir la variable `metadata` en Matlab, está contendrá múltiples matrices. Si se marca la variable `"IsBodyTracked"`, esta brindara información

de que alguien ha sido rastreado o no. Se observa que habrá valores como [0,0,0,0,0,0] muestra que no se rastrea a nadie y valores como [0,0,0,1,0, 1] significa que se rastrean dos cuerpos. La posición de 1 no importa aquí.



Fig. 37. Representación esquelética del programa

Ahora, si se selecciona la variable "JointPositions", esta indicará las matrices de los valores de coordenadas x, y, z en metros para cada articulación corporal, en la Tabla 3 se indica los valores de las 25 articulaciones en una primera toma.

Tabla 3. Matriz metadata-Sub matriz JointPositions muestra las coordenadas x, y, z, del sujeto

POSICIONES		
<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
-0.25908637046814	-0.00412499625235	3.56081557273865
-0.269519954919815	0.261055916547775	3.50022363662721
-0.27888086438179	0.521073400974274	3.42887115478516
-0.266538202762604	0.61465311050415	3.40082907676697
-0.391791880130768	0.419511824846268	3.45509457588196
-0.442911177873611	0.194112345576286	3.52358269691467
-0.489396870136261	-0.011050299741328	3.51895499229431
-0.483491539955139	-0.077605806291103	3.50854325294495
-0.152225539088249	0.421281069517136	3.45143556594849
-0.102415077388287	0.198918044567108	3.54529833793640
-0.033738411962986	-0.044237535446882	3.54833531379700
-0.02842451445758	-0.076078198850154	3.54027462005615

POSICIONES		
-0.311096280813217	-0.004480529110878	3.53027677536011
-0.311013221740723	-0.331516891717911	3.57899904251099
-0.284867227077484	-0.673635840415955	3.69514870643616
-0.23388671875	-0.773437564646158	3.65039062500000
-0.202356845140457	-0.003694355953484	3.52654457092285
-0.185450881719589	-0.35780531167984	3.49898004531860
-0.208176299929619	-0.695316255092621	3.68734264373779
-0.201904296875	-0.773925781255455	3.62304687544645
-0.276731312274933	0.456832498311996	3.44874048233032
-0.48455211520195	-0.123913235962391	3.52643275260925
-0.474122226238251	-0.08263438940048	3.47316646575928
-0.01902962476015	-0.121259212493896	3.58437657356262
-0.02243002317845	-0.07755371183156	3.50799989700317

2.3.2.4.1 Cálculo de las características cinemáticas angulares de la marcha

Una vez obtenidos y guardados los datos, se extrajo la parte principal de la variable JointPositions, donde se guardan las coordenadas de x, y, z, mostrando la posición de las articulaciones, una vez adquiridos estos datos se creó la matriz m donde se guardaron las posiciones del sujeto para realizar los respectivos cálculos de los ángulos formados entre las articulaciones de cadera, rodilla, y tobillo.

Para el cálculo de ángulos se usó la siguiente ecuación

$$\text{ángulo} = \arccos\left(\frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}\right)$$

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de ángulos entre vectores que forman las articulaciones
Donde:

$$\vec{A} = \overrightarrow{P1} - \overrightarrow{P0} \text{ y } \vec{B} = \overrightarrow{P2} - \overrightarrow{P0}$$

En la Fig. 38 se indican los puntos considerados para la evaluación del ángulo de flexión.

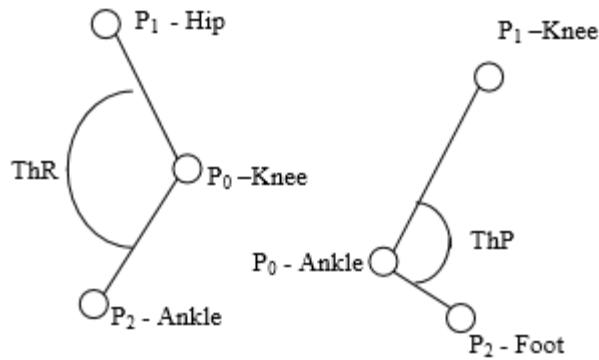


Fig. 38. Puntos utilizados para el cálculo de los ángulos de rodilla, tobillo

Dado que los puntos son conocidos para cada pierna y cada *frame* entonces se pueden determinar los ángulos de flexión de la rodilla y el pie, todos estos son evaluados en 3D ya que el dispositivo Kinect maneja estas coordenadas para cada articulación.

2.3.2.4.1.1 Cálculo de ángulo cadera

Para el cálculo de los ángulos de cadera en extensión y flexión, se obtuvo las posiciones de la espalda media, de cadera y rodilla de cada lado del sujeto, estas son las coordenadas utilizadas para los cálculos de ángulos de cadera, utilizando la ecuación 2.

$$\text{ángulocadera} = \arccos\left(\frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}\right)$$

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo de ángulos de cadera

Donde:

$$\vec{A} = \overrightarrow{\text{espalda media}} - \overrightarrow{\text{cadera}} \text{ y } \vec{B} = \overrightarrow{\text{rodilla}} - \overrightarrow{\text{cadera}}$$

Espaldamedia, cadera, rodilla, son matrices creadas mediante código dentro de Matlab, el cual realiza las diferentes operaciones entre matrices, una vez obtenidos los resultados se calculó los ángulos de cadera obteniendo una matriz de **nx1**, siendo n el número de frames, es decir se obtiene un ángulo por cada captura, como se observa en la Fig. 39.

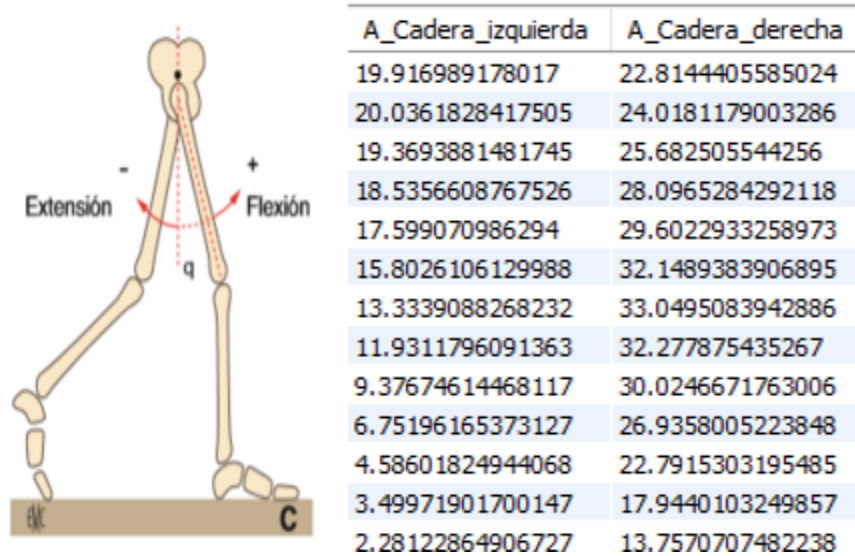


Fig. 39. Matriz de ángulos de cadera izquierda y derecha

2.3.2.4.1.2 Cálculo de ángulo rodilla

Para el cálculo de los ángulos de rodilla en extensión y flexión se obtuvo las posiciones de la cadera, rodilla y tobillo de cada lado del sujeto, estas son las coordenadas utilizadas para los cálculos de ángulos de rodilla, utilizando la ecuación 3.

$$\text{ángulo rodilla} = \arccos\left(\frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}\right)$$

Ecuación 3. Fórmula para el cálculo de ángulos de rodilla

Donde:

$$\vec{A} = \overrightarrow{\text{cadera}} - \overrightarrow{\text{rodilla}} \text{ y } \vec{B} = \overrightarrow{\text{tobillo}} - \overrightarrow{\text{rodilla}}$$

Cadera, rodilla, tobillo, son matrices creadas mediante código dentro de Matlab, el cual realiza las diferentes operaciones entre matrices, y una vez obtenidos los resultados se realizó el cálculo de ángulos de rodilla, obteniendo una matriz de **nx1**, siendo n el número de frames, es decir se obtiene un ángulo por cada captura realizada, como se observa en la Fig. 40.

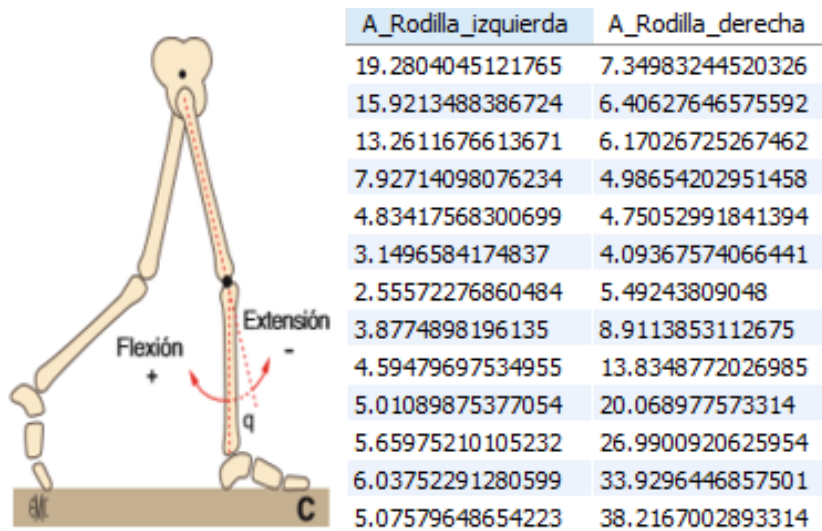


Fig. 40. Matriz de ángulos de rodilla izquierda y derecha

2.3.2.4.1.3 Cálculo de ángulo tobillo

Para el cálculo de los ángulos de tobillo en extensión y flexión, se obtuvo las posiciones de la rodilla, tobillo y pie de cada lado del sujeto, estas son las coordenadas utilizadas para los cálculos de ángulos de tobillo, utilizando la ecuación 4.

$$\text{ángulo tobillo} = \arccos\left(\frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}\right)$$

Ecuación 4. Fórmula para el cálculo de tobillo

Donde:

$$\vec{A} = \overrightarrow{\text{rodilla}} - \overrightarrow{\text{tobillo}} \quad \text{y} \quad \vec{B} = \overrightarrow{\text{pie}} - \overrightarrow{\text{tobillo}}$$

Rodilla, tobillo, y pie son matrices creadas mediante código dentro de Matlab, el cual realiza las diferentes operaciones entre matrices, y una vez obtenidos los resultados se calculó de ángulos de tobillo, obteniendo una matriz de $n \times 1$, siendo n el número de frames, es decir se obtiene un ángulo por cada captura, como se observa en la Fig. 41.

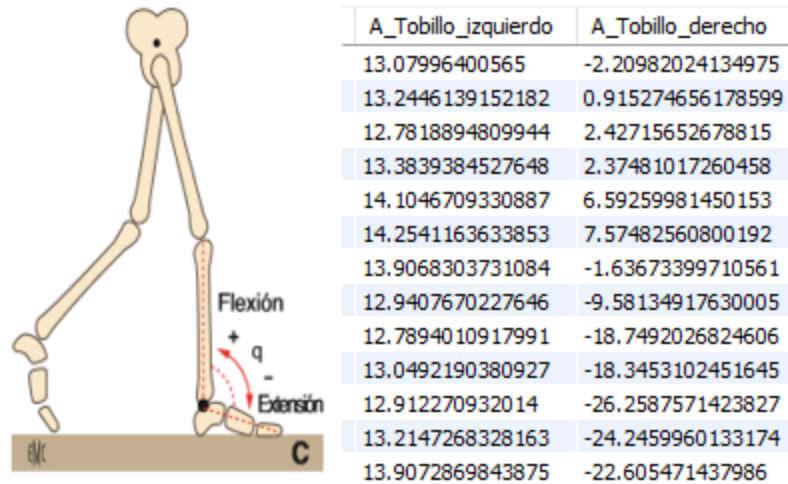


Fig. 41. Matriz de ángulos de tobillo derecho e izquierdo

2.4 Interfaz

La interfaz fue desarrollada en la herramienta de Matlab (GUI), consta de una pantalla principal donde se observará la información del usuario o paciente y las diferentes funciones del sistema tales como capturar, guardar, borrar, actualizar y buscar

2.4.1 Diseño de la Interfaz

En esta pantalla se ingresará la información del paciente y se realizará la captura de los datos de la marcha, se guardará los datos adquiridos y se mostrará las curvas en función de onda de cada articulación inferior, en base a los cálculos realizados Fig. 42.

En información paciente tal como se observa en la Fig. 42, se ingresarán los datos primordiales para la identificación del paciente como: nombre, cédula, género, edad, peso y altura, la fecha del día en que se realiza la evaluación y el cálculo de índice de masa corporal. Además de registrar el número de toma.

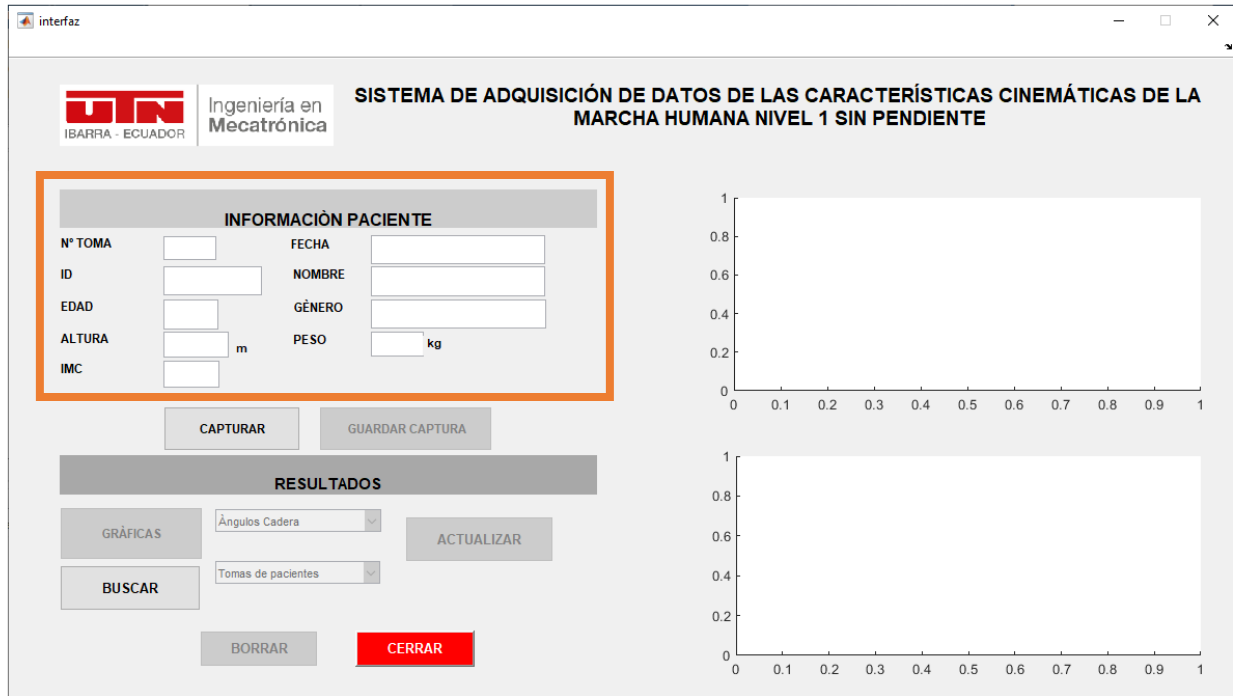


Fig. 42. Interfaz pantalla principal del sistema

En la adquisición de datos se usará los botones de capturar y guardar captura, permitiéndonos así obtener los datos y guardarlos para su procesamiento, como se muestra en la Fig. 43.

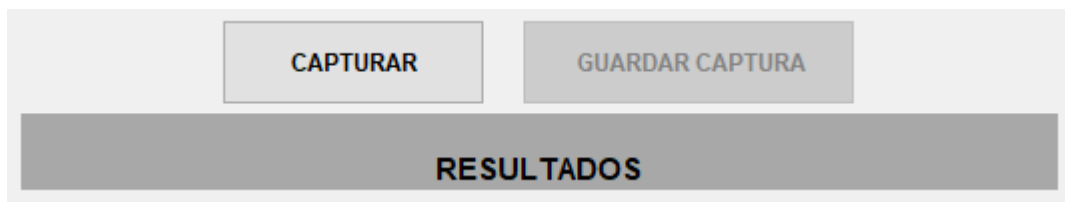


Fig. 43. Botones de Capturar y Guardar Captura

Una vez guardados los datos se procede a mostrar los resultados con ayuda del botón gráficas, el cual activará el menú desplegable donde se seleccionará la gráfica de forma de onda en función del tiempo que se desea observar como se muestra en la Fig. 44. Y se presentarán las gráficas de forma de onda en la parte derecha del interfaz como se muestra en la Fig. 45.

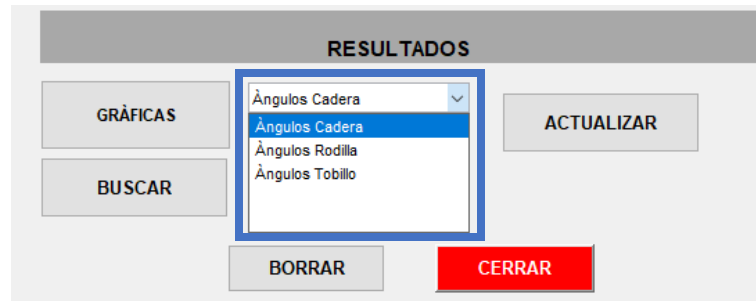


Fig. 44. Selección de la gráfica que se desea mostrar

Además, se encuentran los botones buscar y actualizar los mismos que permiten la conexión a la base de datos, para buscar la información de los pacientes, volver a mostrar su información personal y los resultados, así como editarla en MySQL que está vinculada a Matlab.

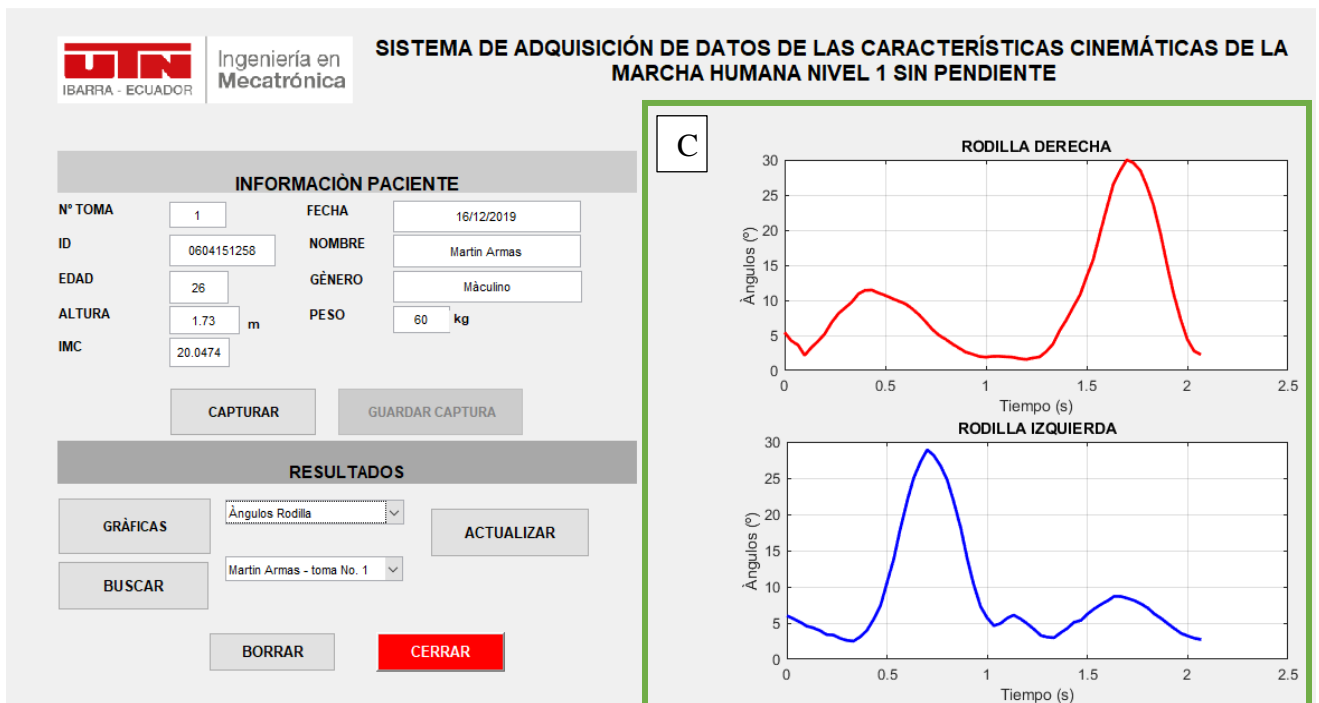


Fig. 45. Muestra de resultados en la parte derecha de la interfaz sección C

2.5 Base de datos MySQL

Se creó la base de datos en MySQL, en la cual se almacenó la información del paciente y los datos de su marcha adquiridos en Matlab para tener un registro de cada usuario y poder usarlo en un nuevo análisis o simplemente para llevar un historial.

Para esto, primeramente, se creó la base de datos con las tablas y sus respectivas columnas que representa a las variables a guardar que se muestran en la Fig. 46, en donde se guardará toda la información ingresada y procesada por el usuario.

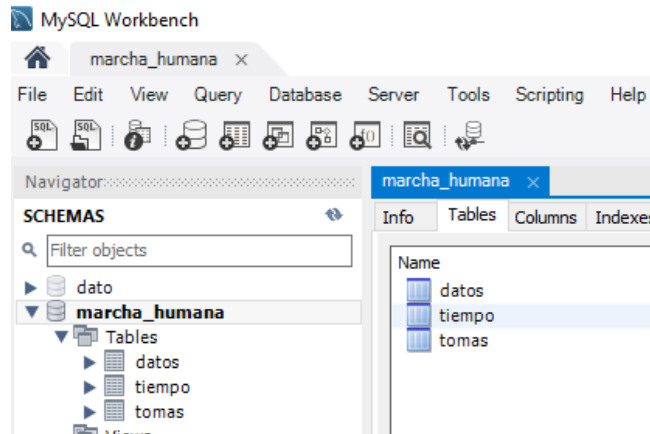


Fig. 46. Base de datos en MySQL nombre de tablas creadas

Capítulo III

3. Pruebas y Resultados

3.1 Protocolo de pruebas

Para el análisis de la marcha es indispensable contar con un protocolo de toma de datos, actualmente no se conoce de un protocolo con cámaras Kinect, pero se ha encontrado algunas recomendaciones para la realización de estos, garantizan de forma confiable y eficaz la adquisición de datos y la evaluación de estos.

3.2 Toma de datos

Antes de comenzar se debe tener en cuenta las condiciones iniciales ya expuestas anteriormente tales como:

- Área donde se realizará la marcha (suelo, paredes no reflectantes)
- La luminosidad (Sin ningún ingreso de luz solar)
- Conexiones de Kinect al computador
- Conexiones Kinect red eléctrica
- Posicionamiento del Paciente a la cámara
- Posicionamiento vertical de la Cámara (1.4 m)

Una vez establecidas las condiciones iniciales, se procede a la toma de datos

3.3 Proceso de pruebas

Las pruebas fueron realizadas en un ambiente adecuado con anterioridad, con un ritmo de marcha normal en una superficie plana con personas de entre 18 y 25 años de diferente género.

Primero se ejecutó el programa interfaz.m en Matlab, una vez abierta la interfaz se procedió se ubicó el sujeto en posición de inicio como se muestra en la Fig. 47.



Fig. 47. Posición Sujeto

Se ingresará la información personal del paciente y el número de toma en la sección A como se muestra en la Fig. 48. Una vez llenos estos campos en la interfaz se seleccionó el botón capturar Fig. 48 sección B , en ese momento se activará la cámara y se apagará en una pausa de 1 segundo, una vez más las cámaras de color y profundidad se encenderán, en ese momento el sujeto empezará a caminar directamente hacia la cámara, si esta no reconoce al sujeto se enviará un mensaje de error de captura, así que se deberá realizar una nueva toma para asegurar la confiabilidad de los datos. De igual manera si la captura es correcta se enviará un mensaje de captura correcta.

INFORMACIÓN PACIENTE			
N° TOMA	<input type="text" value="1"/>	FECHA	<input type="text" value="16/12/2019"/>
ID	<input type="text" value="0604151258"/>	NOMBRE	<input type="text" value="Martin Armas"/>
EDAD	<input type="text" value="26"/>	GÉNERO	<input type="text" value="Máculino"/>
ALTURA	<input type="text" value="1.73"/> m	PESO	<input type="text" value="60"/> kg
IMC	<input type="text" value="20.0474"/>	A	
CAPTURAR		GUARDAR CAPTURA B	
RESULTADOS			

Fig. 48. Información del paciente A, Captura de datos B

Una vez terminada la captura de datos se procede a guardarlos y se espera un mensaje de confirmación de que los datos se han guardado correctamente, si uno de los campos obligatorios de la información del paciente no fue llenado se generará un mensaje con el nombre del campo que no ha sido completado.

3.4 Presentación de resultados

Una vez guardados los datos y procesados se procede a mostrar los resultados mediante la presentación gráfica de las posiciones angulares de las articulaciones, seleccionando en el menú desplegable la gráfica que se desea observar ya sea de los ángulos de cadera, rodilla, tobillo en relación con el tiempo como se muestra en la Fig. 49.

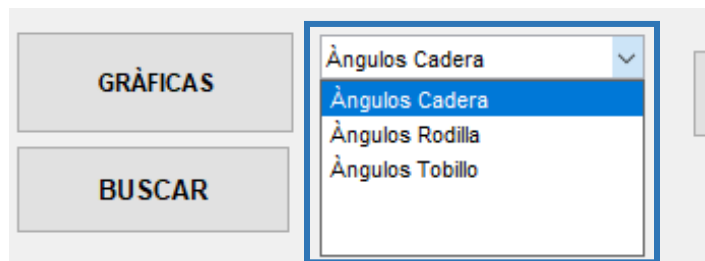
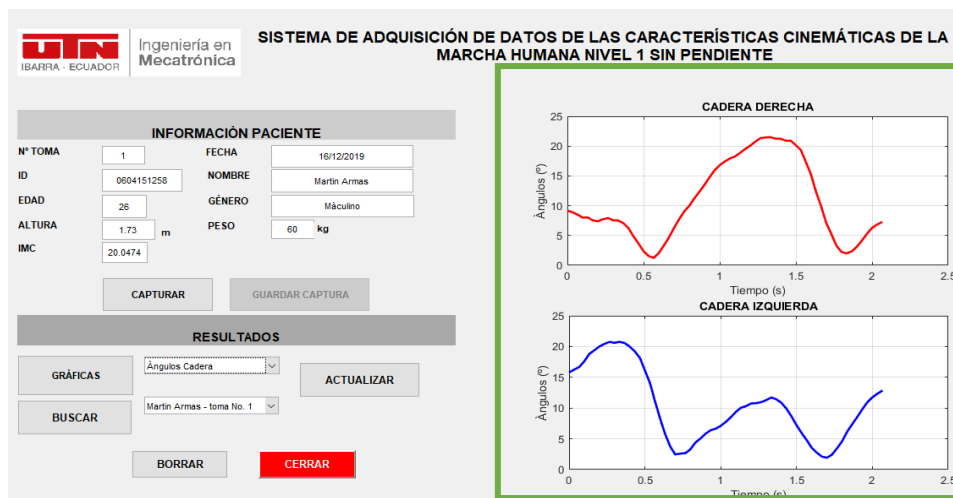
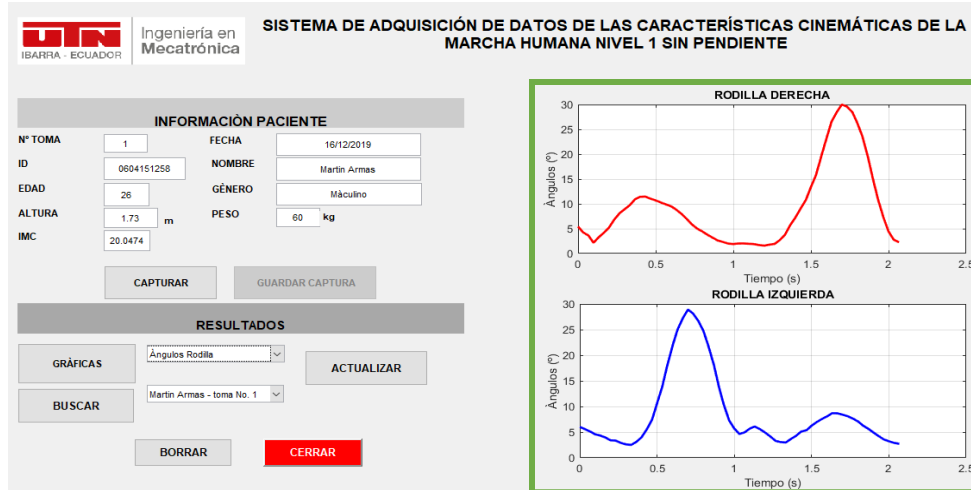


Fig. 49. Elección de la gráfica de forma de onda que se desea observar

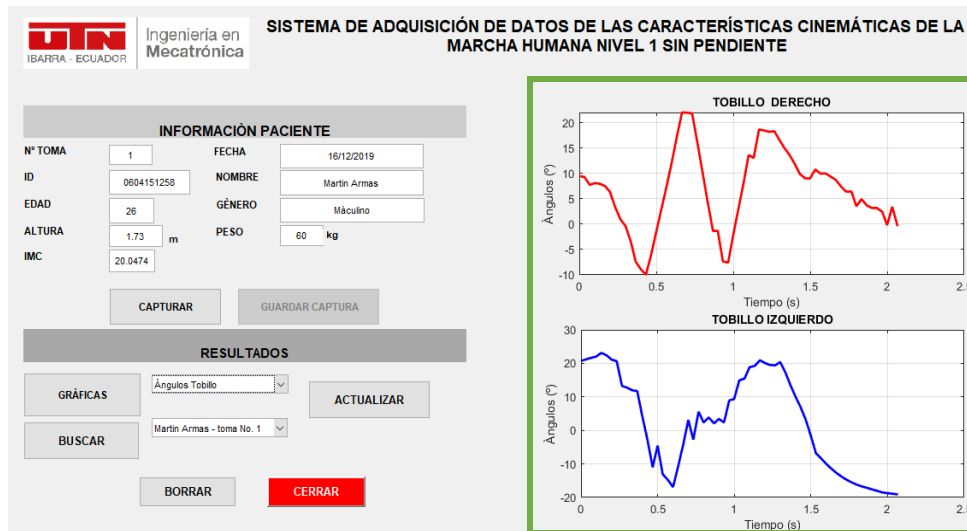
Una vez seleccionada una de las tres opciones se mostrará las curvas en función del tiempo, como se muestra en la Fig. 50.



(a)



(b)



(c)

Fig. 50. Curvas obtenidas en función del tiempo de: a) Cadera, b) Rodilla, c) Tobillo

3.5 Valoración de las curvas obtenidas

Para la comparación de resultados se presentará las curvas obtenidas de 5 pacientes entre las edades de 23- 25 años, los datos fueron tomados en las mismas condiciones iniciales para todos, y se realizará una comparación con curvas de bibliografía anteriormente mencionadas en el capítulo 1.

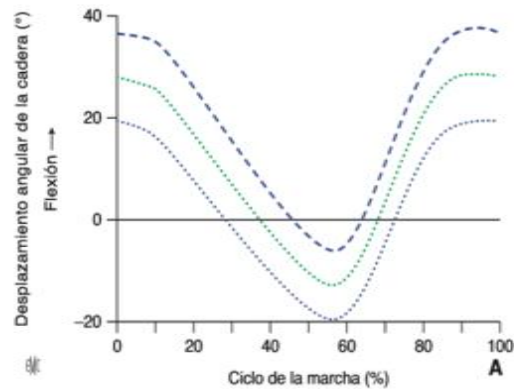
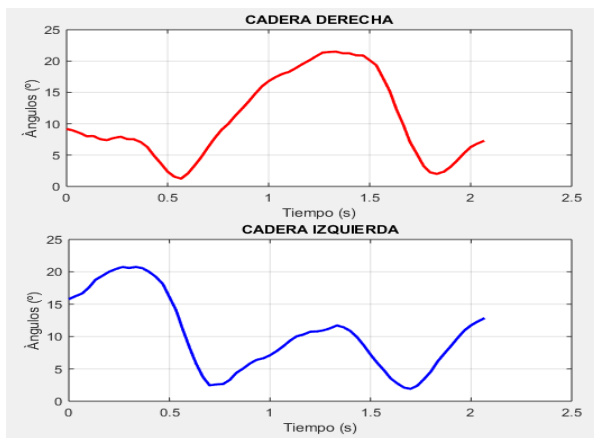
En la Tabla 4. Se muestra la información personal de los cinco pacientes, donde se encontrará el número de toma de cada paciente, su nombre, edad, fecha, genero, altura, peso, e IMC.

Se identifica a cada paciente por su número de toma para realizar la comparación de las distintas curvas.

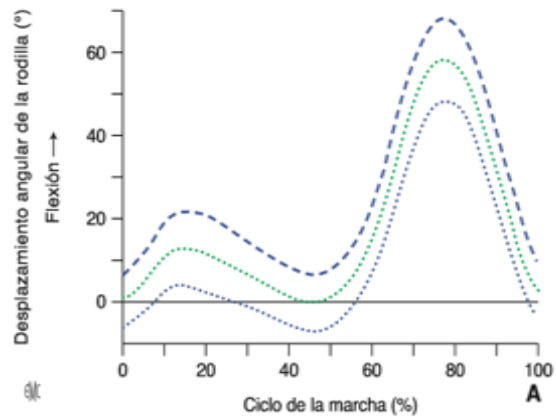
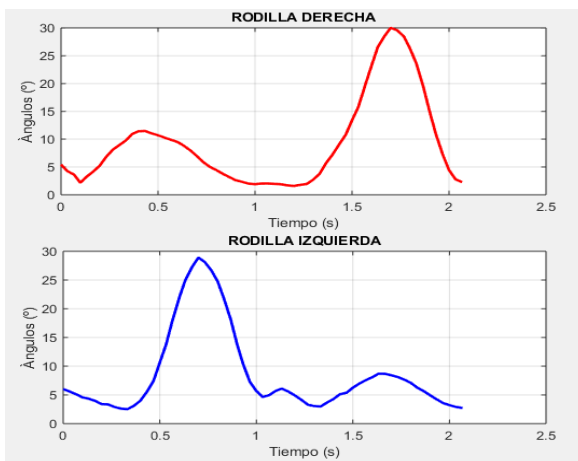
Tabla 4. Información Pacientes

<u>Paciente</u>	<u>Fecha</u>	<u>Cedula</u>	<u>Nombre</u>	<u>Genero</u>	<u>Edad</u>	<u>Peso</u>	<u>Estatura</u>	<u>IMC</u>
1	16/12/2019	0604151258	Martin Armas	Masculino	26	60	1.70	20.04
2	3/12/2019	0401323563	Katherine García	Femenino	23	45	1.64	16.73
3	16/12/2019	1003849062	Daniela Maldonado	Femenino	25	65	1.57	26.37
4	16/12/2019	1724676695	Miguel Andrango	Masculino	25	65	1.59	25.31
5	16/12/2019	0401765540	Danny Ortiz	Masculino	25	62	1.59	24.52

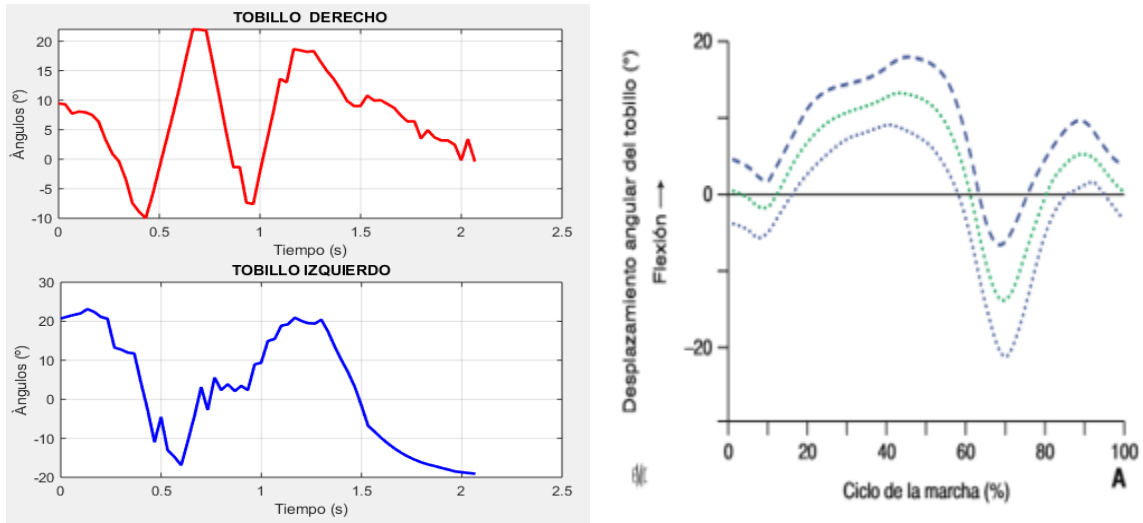
PACIENTE 1



(a)



(b)

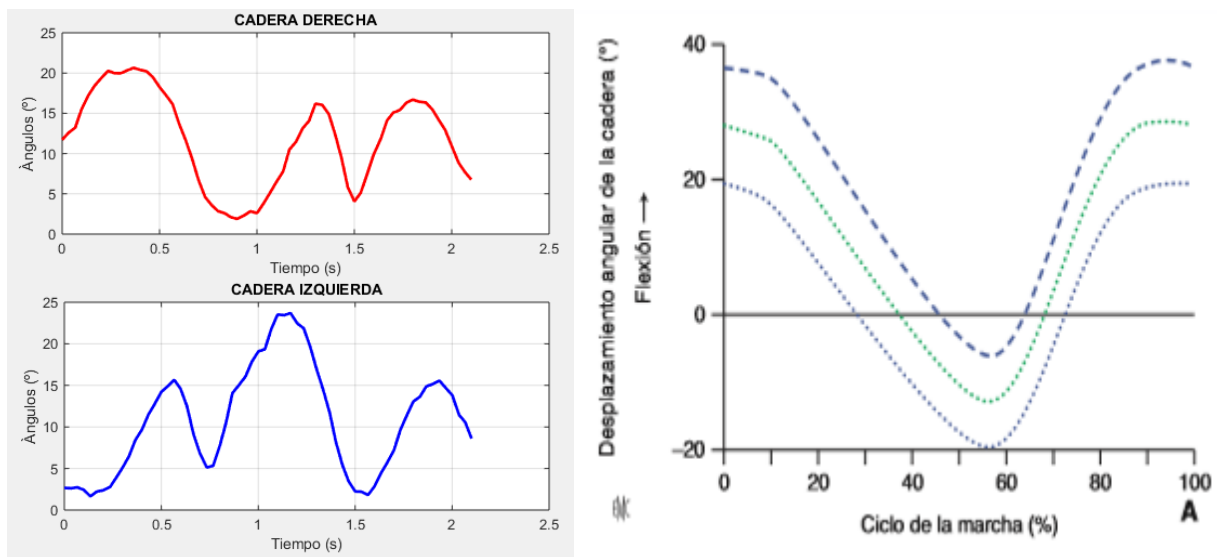


©

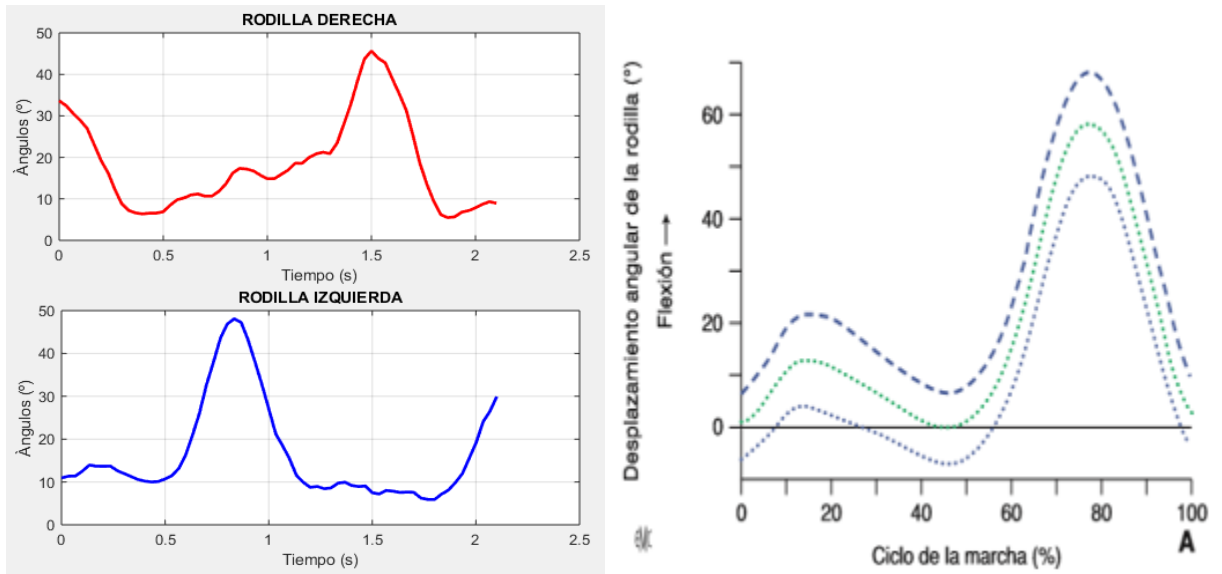
Fig. 51. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 1

En la Fig. 51, a) Se muestra las curvas de cadera en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 11, (b) Se muestra las curvas de rodilla en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 12, c) Se muestra las curvas de tobillo en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 13.

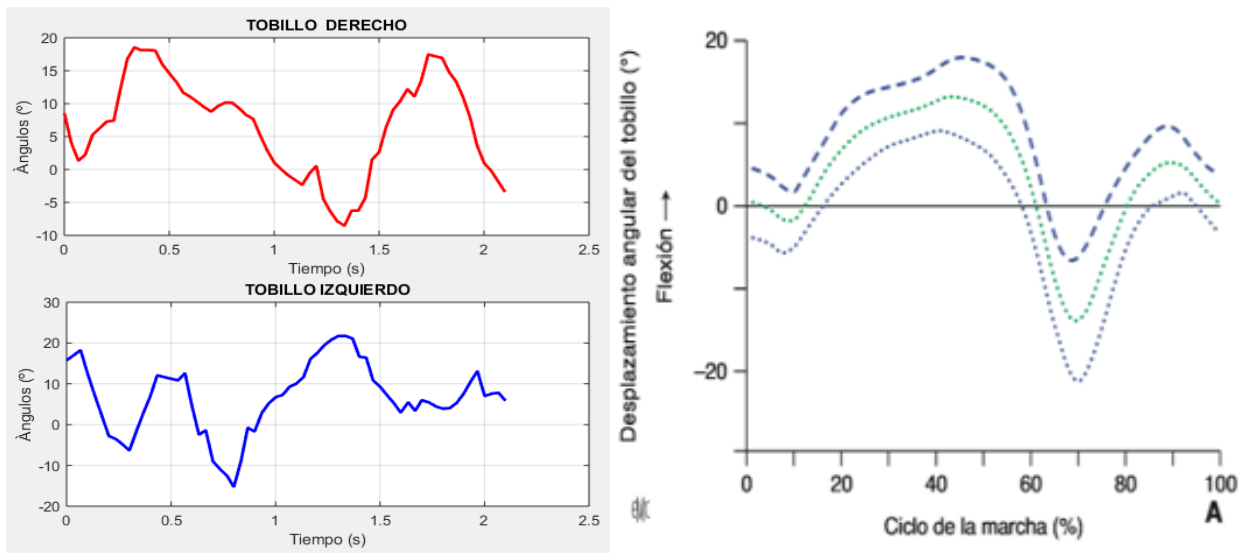
PACIENTE 2



(a)



(b)

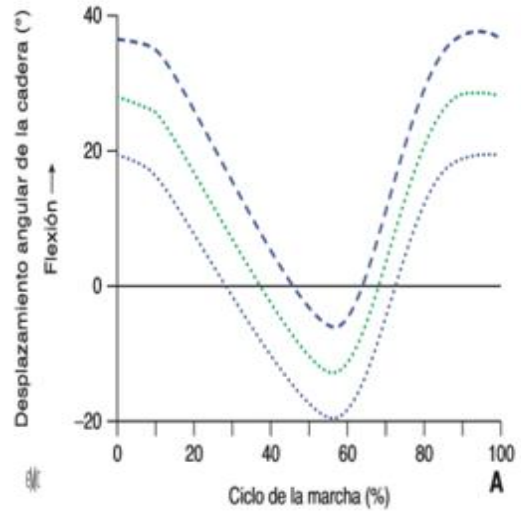
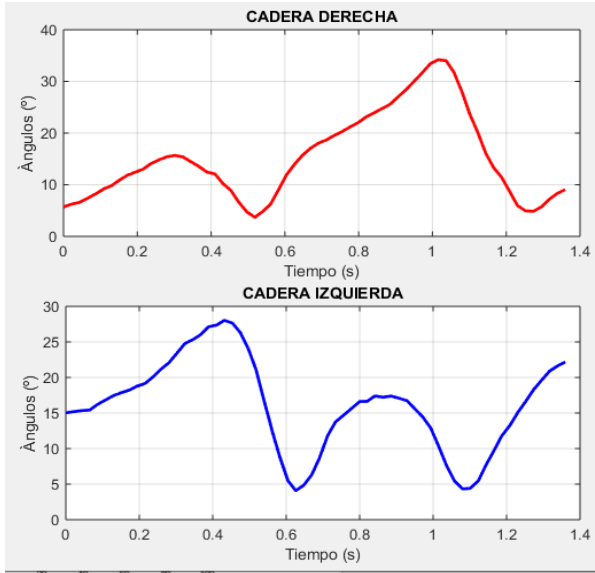


(c)

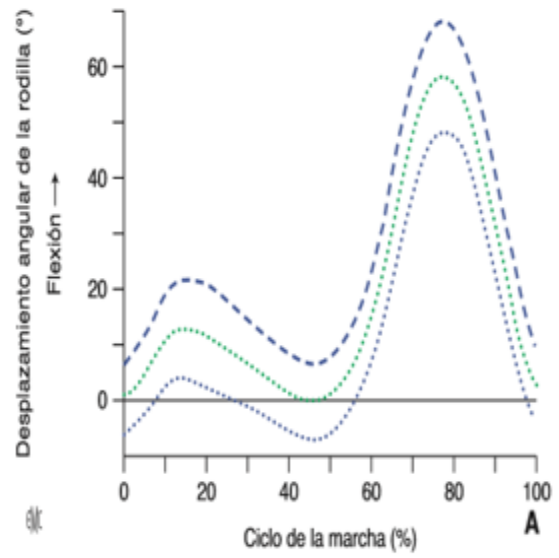
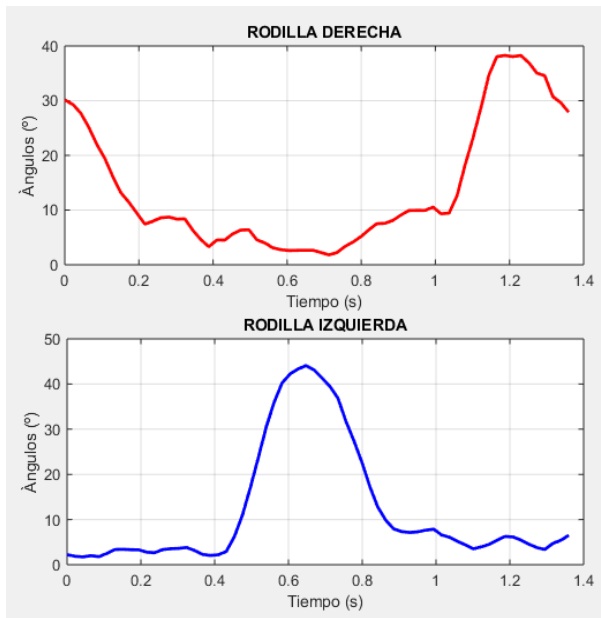
Fig. 52. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 2

En la Fig. 52, a) Se muestra las curvas de cadera en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 11, (b) Se muestra las curvas de rodilla en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 12, c) Se muestra las curvas de tobillo en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 13.

PACIENTE 3



(a)



(b)

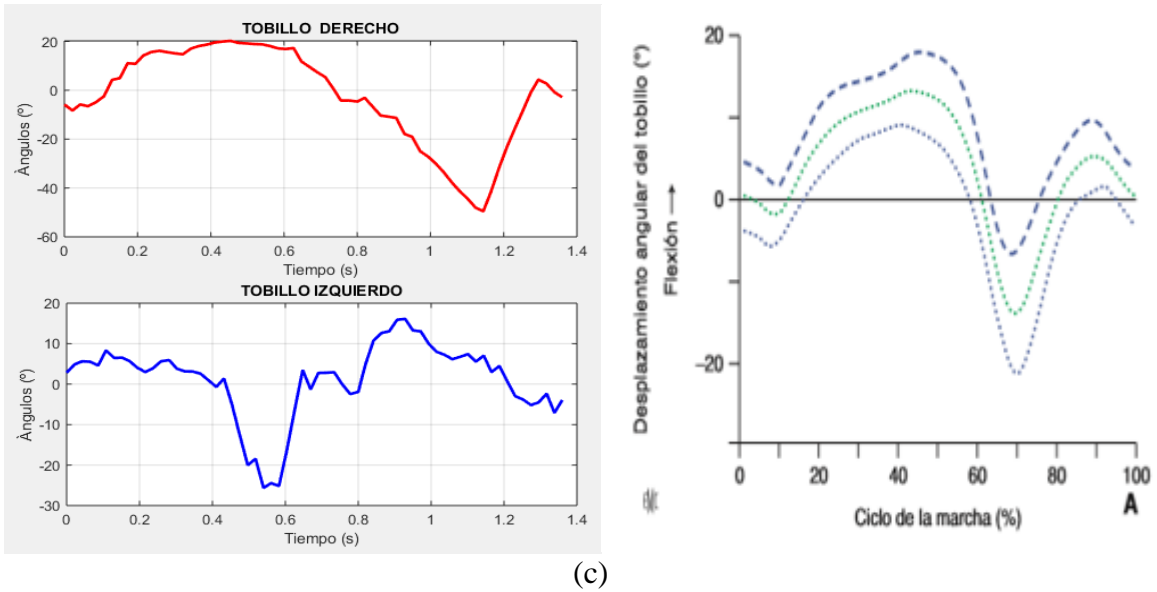
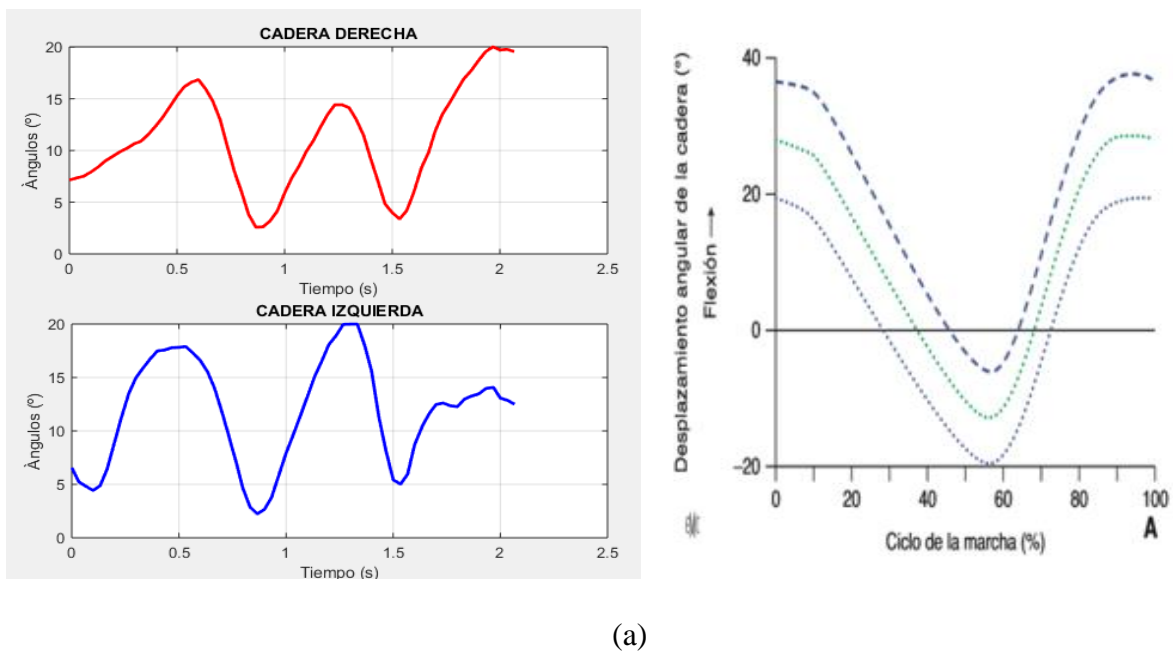


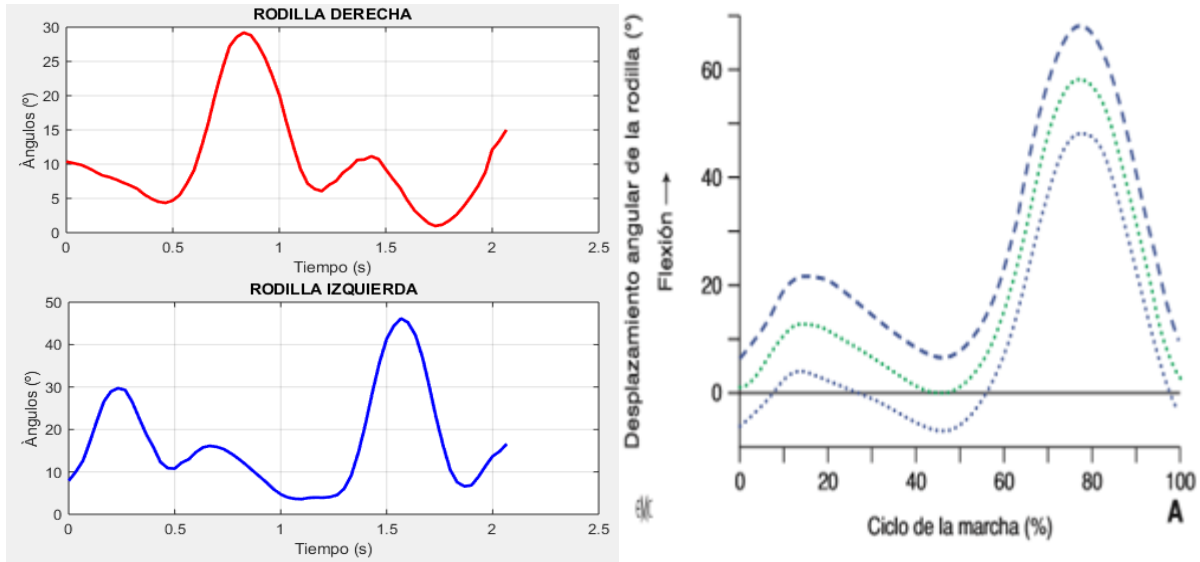
Fig. 53. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 3

En la Fig. 53, a) Se muestra las curvas de cadera en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 11, (b) Se muestra las curvas de rodilla en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 12, c) Se muestra las curvas de tobillo en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 13.

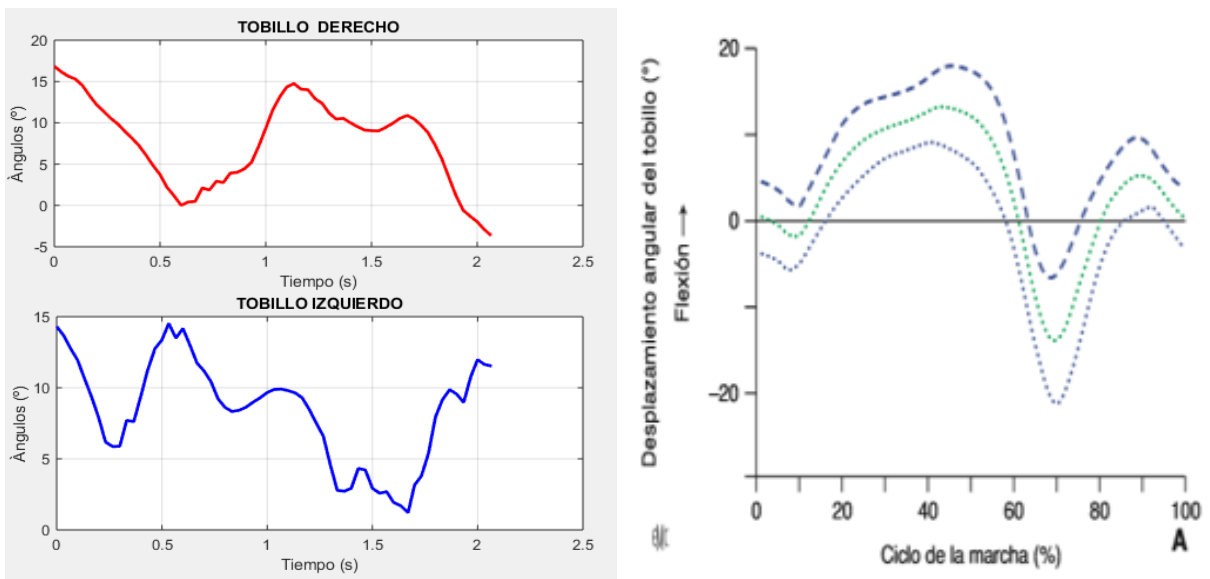
PACIENTE 4



(a)



(b)

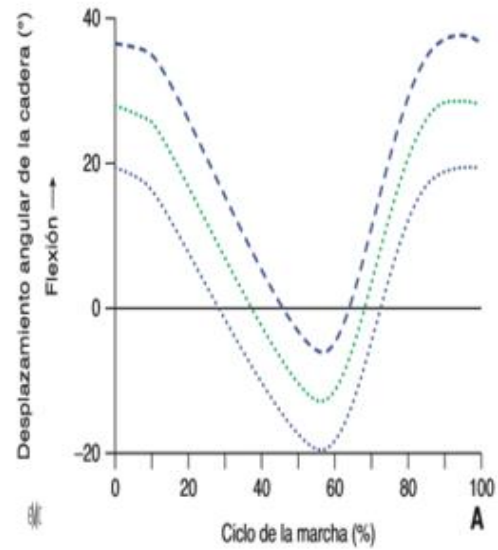
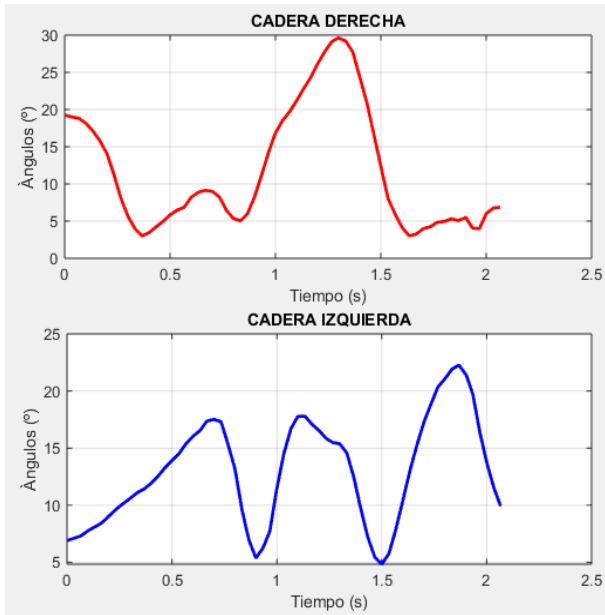


(c)

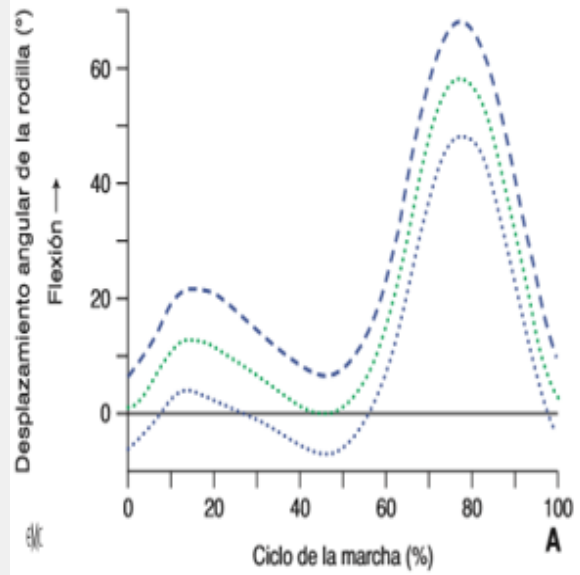
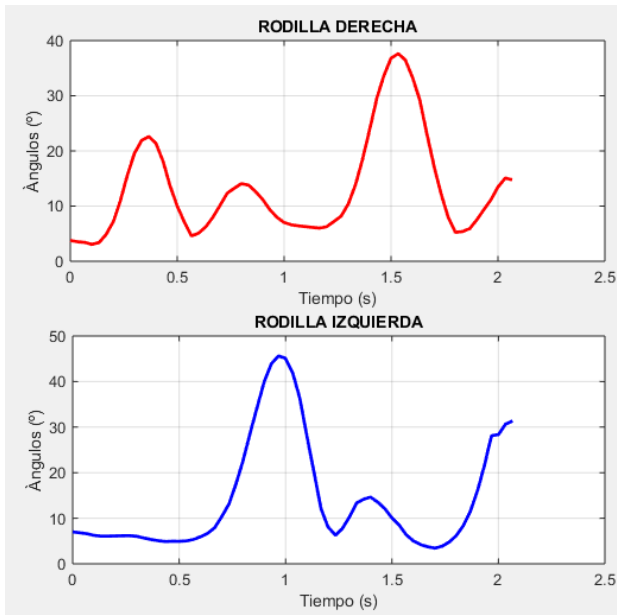
Fig. 54. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 4

En la Fig. 54, a) Se muestra las curvas de cadera en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 11, (b) Se muestra las curvas de rodilla en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 12, c) Se muestra las curvas de tobillo en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 13.

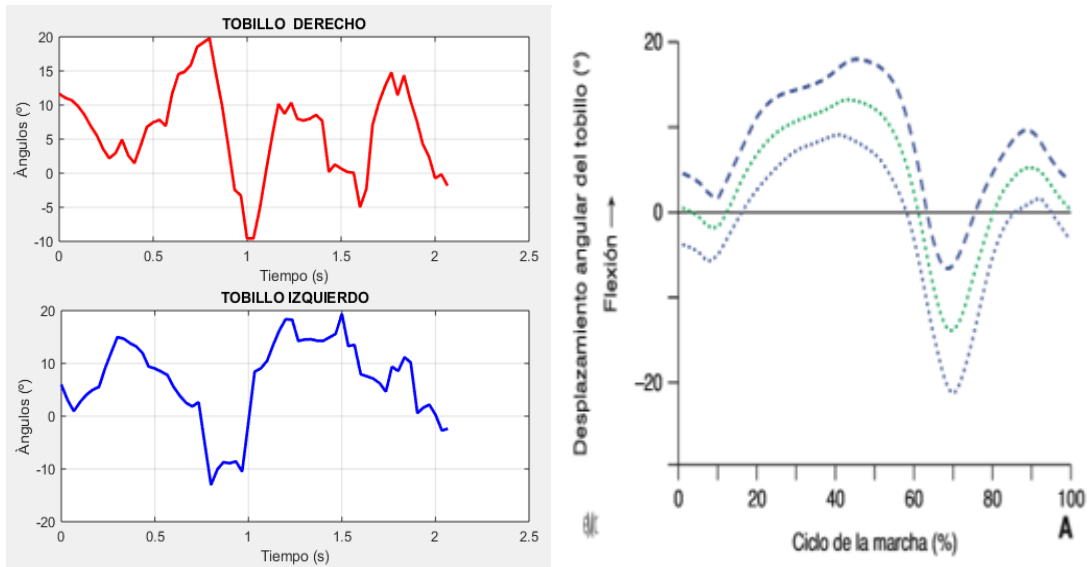
PACIENTE 5



(a)



(b)



(c)

Fig. 55. Comparación de curvas en función del tiempo del paciente 5

En la Fig. 55, a) Se muestra las curvas de cadera en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 11, (b) Se muestra las curvas de rodilla en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 12, c) Se muestra las curvas de tobillo en comparación a las curvas de bibliografía Fig. 13.

Como se observa en los diferentes literales de las Figs. 51,52,53,54,55 según las curvas obtenidas estas son similares a las curvas de bibliografía mencionadas en el capítulo 1, con lo que respecta a forma, siendo las curvas de rodilla la más cercana a las curvas de bibliografía Fig. 12, pero en razón de valores se puede ver pequeñas variaciones, siendo las curvas angulares de tobillo las que más variación presenta en comparación a las curvas de la Fig. 13, esto puede ser por el ruido encontrado en el área de adquisición de datos o por la cercanía del paciente a la cámara ya que esta solo puede detectar los puntos de los pies como máximo un 1m de distancia, además se debe considerar el tipo de calzado que el paciente está utilizando, en este caso solo el paciente 2 uso zapatos y los demás realizaron las pruebas descalzos.

3.6 Valoración de los ángulos obtenidas

Para la valoración de los ángulos obtenidos, se realizará una comparación de los resultados de los cálculos realizados con los ángulos adquiridos del software kinovea, ya que no sea encontrado información sobre cálculos de ángulos por fotogramas.

El software Kinovea es un programa que trabaja en 2D, así que los ángulos adquiridos son calculados en el lado sagital derecho. Actualmente es un programa de bastante uso en el área de la medicina utilizado para el análisis de la marcha, carrera entre otros deportes teniendo un 95% de confiabilidad, en los diferentes análisis.

3.6.2.1 Uso de Software Kinovea

Se realizó la grabación de la marcha de los 5 pacientes, el mismo instante que el programa realizó las capturas de las posiciones con Matlab para asegurarse que la marcha no sea diferente, se colocó la segunda cámara de manera perpendicular al sujeto, en este caso se usó un celular y la toma se realizó de forma horizontal para una mejor visión del video.

Una vez obtenido el video, fue ingresado en el software kinovea, se ejecutó la calibración de medidas, tomando dos puntos de referencia en el video de una medida ya conocida. Posteriormente se utilizó la herramienta ángulo, la cual ayuda con el cálculo de los ángulos de rodilla; colocando el punto centro en la rodilla y los extremos en el tobillo y cadera como se muestra en la Fig. 56.

Se consideró solo los ángulos de rodilla para hacer la comparación de los valores obtenidos, ya que esta articulación presenta una mayor claridad de los ángulos y estos se aproximan a las curvas de la marcha humana de bibliografía.



Fig. 56. Cálculo de ángulo de rodilla con software kinovea

Se identifica a cada paciente por su número de toma para realizar la comparación de los distintos datos.

PACIENTE 1

En la tabla 5 se muestra la comparación de los ángulos obtenidos de rodilla, en el sistema de realizado y en el software Kinovea

Tabla 5. Comparación de valores angulares Paciente 1

<u>PACIENTE 1</u>	
<u>Sistema Realizado</u>	<u>Kinovea</u>
9	10
11	11
13	18
16	18
20	25
23	29
27	27
29	30
30	35
30	27
28	24
26	20
23	23
19	22
14	15
10	12

PACIENTE 2

En la tabla 6 se muestra la comparación de los ángulos obtenidos de rodilla, en el sistema de realizado y en el software kinovea

Tabla 6. Comparación de valores angulares Paciente 2

PACIENTE 2	
Sistema Realizado	Kinovea
20	21
24	20
24	24
27	28
24	33
42	39
40	44
44	46
42	44
37	43
40	39
37	35
35	31
22	25
16	19

PACIENTE 3

En la tabla 7 se muestra la comparación de los ángulos obtenidos de rodilla, en el sistema de realizado y en el software kinovea

Tabla 7. Comparación de valores angulares Paciente 3

PACIENTE 3	
Sistema Realizado	Kinovea
29	32
27	33
25	29
21	23
19	22
9	9
7	8
7	7
6	6

<u>PACIENTE 3</u>	
4	3
10	14
23	22
28	32
34	36
38	35
36	32
35	37

PACIENTE 4

En la tabla 8 se muestra la comparación de los ángulos obtenidos de rodilla, en el sistema de realizado y en el software kinovea

Tabla 8. Comparación de valores angulares Paciente 4

<u>PACIENTE 4</u>	
<u>Sistema Realizado</u>	<u>Kinovea</u>
7	6
7	5
7	7
8	9
11	13
15	17
20	17
25	23
31	33
34	36
37	35
37	35
36	31
34	31
31	27
27	25
22	24
17	16
12	12
8	6
5	6
7	6

PACIENTE 5

En la tabla 9 se muestra la comparación de los ángulos obtenidos de rodilla, en el sistema de realizado y en el software kinovea

Tabla 9. Comparación de valores angulares Paciente 5

PACIENTE 5	
Sistema Realizado	Kinovea
6	6
6	8
6	4
7	6
8	9
10	13
13	12
18	14
23	20
29	24
33	35
36	40
37	35
36	35
33	33
29	27
23	27
17	15
12	12

Para la comparación de valores de cada paciente, solo se tomó algunos de ellos, debido a que el tiempo de captura y la velocidad de la cámara no es la misma, provocando un pequeño desfase entre valores.

Considerando esto se obtuvo un error porcentual por cada paciente y un general del sistema, obteniendo los siguientes resultados ver tabla 10.

Tabla 10. Error porcentual para cada comparación en pacientes

	<u>ERORR %</u>
Paciente 1	12.62
Paciente 2	17.29
Paciente 3	15.26
Paciente 4	13.62
Paciente 5	16.77
Error % del sistema	15.11

Conclusiones

- La revisión literaria describe a Kinect como un dispositivo que trabaja en un ambiente controlado, este se sitúa dentro de rangos: 0.6 hasta 1.8 m de altura, el sensor de profundidad no se exponga a la luz solar y se ubique sobre una superficie plana. Kinect trabaja a un rango de profundidad de 0.5 a 4.5 m de distancia. Luego de realizar el presente trabajo de investigación se concluye que: para el sistema de adquisición de la marcha humana el dispositivo arrojó mejores resultados colocando la cámara a una distancia de 2.5m del sujeto y a una altura de 1.4 m con un ángulo inclinación de 10° .
- Con el uso del SDK y las herramientas de Kinect en matlab, se facilita la información de la posición exacta en el plano x, y, z, de los esqueletos y sus articulaciones, obteniendo 25 puntos de esqueletización, debido a esto y a las pruebas realizadas se observó que, sí el paciente se acerca más de 1 m a la cámara las coordenadas de esqueletización son erróneas, al igual que cuando la marcha se ve forzada o poco natural, convirtiéndose en un problema para el cálculo de las características angulares.
- En base a las posiciones adquiridas, el cálculo realizado de los ángulos de cadera, rodilla y tobillo, y según los resultados obtenidos se concluye que las curvas de cadera y tobillo no se asemejan a las curvas de bibliografía P.A. Willeams del artículo Marcha normal [4] mencionadas en el capítulo 1, esto debido a que los datos de cadera y tobillo son los más inexactos debido a que los puntos de esqueletización del algoritmo Kinect no puede determinar su posición correctamente. Mientras que las curvas de rodilla son mucho más similares a las de bibliografía, esto puede ser porque la rodilla se encuentra expuesta a la cámara.

- Luego de realizadas las pruebas de funcionamiento y validación de las características cinemáticas de la marcha humana, se concluye que el sistema de adquisición de datos de la marcha si funcionó para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo, sin embargo, se pueden realizar un análisis más profundo, ya que con los resultados obtenidos y las medición de ángulos de la marcha con un segundo Software (kinovea) y se obtuvo un error del 15 % del sistema, para una mejor valoración se debería complementar este sistema con otras formas de adquisición como sistemas inerciales o un sistema basado en marcadores.

Recomendaciones

- Crear un laboratorio con marcha interactuado con visión artificial, para mejorar el sistema de adquisición de características cinemáticas de la marcha, de manera que pueda hacer más sencilla la toma de datos en cualquier posición que se encuentre el sujeto, de igual manera implementar otro tipo de sistema para comprobar que la marcha sea la correcta tanto cinemática como dinámica.
- El uso de un computador tipo workstation ayudará a aumentar el tiempo de captura y obtener más frames para el análisis de la marcha, ya que esto no se pudo realizar en este proyecto por limitaciones del hardware, en este caso se usó un computador con procesador Intel(R) Core(TM) i7-6500U CPU @ 2.50GHz y una tarjeta gráfica AMD Radeon R5 M335 (discreto/hibrido) , realizando tomas de entre 60 y 63 frames como máximo.
- Realizar una interfaz que pueda ejecutarse bajo cualquier sistema operativo, al igual que crear una base de datos estándar con una gran cantidad de usuarios para empezar con la creación de una base de datos con información de personas de una misma ciudad o país para tener datos de los posibles patrones de la marcha humana dependiendo de la población tomada y las actividades que realizan.

- Partiendo del prototipo del sistema de adquisición de datos diseñado e implementado en esta tesis, se desglosan distintos proyectos, que mejoren o complementen el prototipo desarrollado.

A continuación, se presentan algunas sugerencias.

a) Estabilidad del sistema

Mejorar la estabilidad del sistema cuando el usuario ya ha sido detectado, no debe ser necesario que este se encuentre de frente a la cámara, sino que la Kinect pueda detectarlo en cualquier posición (de frente y de perfil).

b) Agregar articulaciones

Para esta tesis se consideran tres articulaciones: cadera, rodilla y tobillo, para continuar con el proyecto, se tiene que analizar el comportamiento del prototipo con más articulaciones tales como brazos, codos, cuello, etc. Esto se puede hacer considerando los métodos aquí utilizados para evaluar la confiabilidad y validez con respecto a estas articulaciones.

c) Medir al participante con distintas posturas

Tomando en cuenta la forma de trabajo del sistema y como este adquiere la posición de las distintas articulaciones, se podría realizar un trabajo conjunto con otra cámara que ayude a la precisar la posición y la medición de distancia para obtener los datos de los parámetros espaciotemporales de la marcha.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Guchin, G. Pereira, G. Ottado y M. Ramos, *Análisis de video en Biomecánica*, Monte Video, 2015.
- [2] F. Martínez, F. Gómez y E. Romero, «Análisis de video para estimación del movimiento humano,» *Med*, p. 12 , 2009.
- [3] S. C. Vázquez, *Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. Influencia del transporte de carga*, Madrid, 2002.
- [4] S. B. ., D. C. Willems A., «Marcha Normal,» *EMC-Kinesiterapia-Medicina física*, vol. 33, nº 2, pp. 1-29, 2012.
- [5] J. V. V. J. L. C. A. O. L. M. M. O. Celina Osorio Ochoa, «Análisis de la marcha mediante plataforma kinect,» *Congreso Nacional de Ciencias de la Computación*, vol. 1, p. 17, 2011.
- [6] C. Cifuentes, F. Martínez y E. Romero, «Análisis teórico y computacional de la marcha y patología: una revisión,» *RMed*, vol. 18, nº 2, pp. 182-196, 2010.
- [7] D. Bravo, C. Rengifo y y. W. Agredo, «Comparación de dos Sistemas de Capturas de Movimiento por medio de las Trayectorias Articulares de Marcha,» *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, vol. 37, nº 2, p. 1, 2016.
- [8] D. R. Gutiérrez, ESTUDIO CINEMÁTICO DEL CUERPO HUMANO MEDIANTE KINECT, Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIONES, 2013.
- [9] M. P. Kadaba, H. K. Ramakrishnan y M. E. Wootten, «Measurement of Lower Extremity Kinematics During,» *Journal of Orthopaedic Research*, vol. 8, nº 3, pp. 383-392, 1990.

- [10] H. I. H. Daza, «Patrones de actividad muscular en miembros inferiores durante la marcha humana bajo condiciones de alivio de carga corporal,» Pontificia Universidad Javerian, Bogotá, 2014.
- [11] P.-D. ALBERT, Biomecánica y Patomecánica de la marcha humana, España: Asociación de Fisioterápias i esport per a la Discapacitat Infantil , 2015.
- [12] R. M. A. SAUCEDO, «Valoración de la Marcha Humana,» Universidad Nacional Autónoma de México , Mexico, 2009.
- [13] M. Whittle, Gait Analysis an introduction, Chattanooga, Tennessee: Butterworth Heinemann Elsevier, 2007.
- [14] I. D. T. Pineda, *Diseño e implementación de un sistema para visualizar la marcha humana biomecánica en la afectación de rodilla ante una gonartrosis .*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [15] C. A. S. Castellanos, *Modelamiento de la marcha humana con prótesis de miembro inferior mediante herramientas de simulación dinámica ("Una aplicación en PENSIM")*, Bogotá : Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, 2015.
- [16] A. Villa, E. Gutiérrez y J. Pérez, «Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría,» *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 2, nº 3, pp. 16 - 26, 2008.
- [17] A. I. A. Mendoza, T. J. B. Santamaria, V. G. Urrego, J. P. R. Restrepo y M. C. Z. García., «Gait: description, methods, assessment tools and normality parameters reported in the literature.,» *CES Movimiento y Salud*, vol. 1, nº 12013, p. 3, 2013.




- [18] M. B. C. y. J. B. G. I. Navas Vinagre*, «Análisis de la marcha y fisioterapia Bobath en adultos,» *Revista Medica sobre el Síndrome de Down* , vol. 8, p. 7, 2015.
- [19] J. Cámara, «Gait analysis: phases and spatio-temporal variables,» *Fisiología del ejercicio* , vol. 7, nº 1, p. 9, 2011.
- [20] Y. G. V. C. Esperanza Camargo, «Sistema portátil de captura de movimiento para el análisis cinemático de la marcha humana,» *Tecnura*, vol. 16, nº 34, pp. 67-63, 2012.
- [21] L. Z. Lin Yang, H. Dong, A. Alelaiwi y A. E. Saddik, «Evaluating and Improving the Depth Accuracy of Kinect for Windows v2,» *IEEE Sensors Journal*, p. 11, 2015.
- [22] D. S. Oliver Wasenmuller, «Comparison of Kinect V1 and V2 Depth Images in terms of accuracy and precision,» *Springer international publishing AC*, vol. 11, pp. 34-45, 2017.
- [23] V. T. Pérez y R. F. Pérez, *Uso de Kinect para el entrenamiento de actividades físicas*, Madrid, 2017.
- [24] C. Kumar, «Skeleton Based Action Recognition using Convolutional Neural Network,» LinkedIn, Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://chetan-kumar.com/blog#about>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [25] L. jamhoury, «A Medium Corporation,» 23 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://medium.com/@lisajamhoury/understanding-kinect-v2-joints-and-coordinate-system-4f4b90b9df16>. [Último acceso: 9 Julio 2019].
- [26] Matlab, «MathWorks,» [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>.

- [27] D. d. MATLAB, «Mathworks,» [En línea]. Available:
<https://es.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>. [Último acceso: Domingo
Noviembre 2019].
- [28] MySQL, «MySQL.com,» Oracle Corporation , 2019. [En línea]. Available:
<https://www.mysql.com/oem/>. [Último acceso: 9 Julio 2019].
- [29] J. Esqueda, «SCRIBD,» 15 Febrero 2012. [En línea]. Available:
<https://es.scribd.com/document/81731243/Matlab-e-Interfaces-Gráficas>.
- [30] A. Braidot, L. Cian, A. Cherniz, D. Gallardo y J. Spinetto, «Desarrollo de un sistema de
viedografía digital para analisis de la marcha,» *Memorias II congreso latinoamericano de
ingeniería biomédica*, 2001.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones técnicas de las Cámaras Kinect

Xbox One Family of Devices
Spec Sheet, June 2017

				
SPEC	XBOX ONE X	XBOX ONE S	XBOX ONE	
Dimensions	30cm x 24cm x 6cm	29.5cm x 23cm x 6.5cm	34.3cm x 26.3cm 8cm	
Weight	8.4lbs	6.4lbs	7.8lbs	
CPU	Custom CPU @ 2.3 GHz, 8 cores	Custom Jaguar CPU @ 1.75GHz, 8 cores	Custom Jaguar CPU @ 1.75GHz, 8 cores	
GPU	Custom GPU @ 1.172 GHz, 40 CUs, Polaris features, 6.0 TFLOPS	Custom GPU @ 914 MHz, 12 CUs, 1.4 TFLOPS	Custom GPU @ 853 MHz, 12 CUs, 1.3 TFLOPS	
Memory	12 GB GDDR5 @ 326 GB/s	8 GB DDR3 @ 68 GB/s, 32 MB ESRAM @ 218 GB/s	8 GB DDR3 @ 68 GB/s, 32 MB ESRAM @ 20 GB/s	
Flash	8GB	8GB	8GB	
Internal Storage	1TB HDD	500GB, 1TB, 2TB HDD	500GB, 1TB HDD	
Optical Disc Drive	4K UHD Blu-ray	4K UHD Blu-ray	Blu-ray	
PSU	245W, Internal	120W, Internal	220W, External	
V I D E O	HDMI resolution and framerate	2160p @ 60Hz AMD FreeSync HDMI Variable Refresh Rate (when ratified)	2160p @ 60Hz	1080p @ 60Hz
	HDR10 Support	Yes	Yes	No
	Content Protection	HDCP 2.2	HDCP 2.2	HDCP 1.4
	Video CODECs	HEVC/H.265, VP9, AVC/H.264, MPEG-2, MPEG-4 Part 2, VC1/WMV9	HEVC/H.265, AVC/H.264, MPEG-2, MPEG-4 Part 2, VC1/WMV9	AVC/H.264, MPEG-2, MPEG-4 Part 2, VC1/WMV9
A U D I O	HDMI audio, encoded	Dolby Digital 5.1, DTS 5.1, PCM 2.0, 5.1, & 7.1; Dolby TrueHD w/Atmos (from games)	Dolby Digital 5.1, DTS 5.1, PCM 2.0, 5.1, & 7.1; Dolby TrueHD w/Atmos (from games)	Dolby Digital 5.1, DTS 5.1, PCM 2.0, 5.1, & 7.1; Dolby TrueHD w/Atmos (from games)
	HDMI audio, passthru	Dolby TrueHD (opt. Atmos), DD+ (opt. Atmos), DTS-HR/MA (opt. DTS:X)	Dolby TrueHD (opt. Atmos), DD+ (opt. Atmos), DTS-HR/MA (opt. DTS:X)	Dolby TrueHD (opt. Atmos), DD+ (opt. Atmos), DTS-HR/MA (opt. DTS:X)
	S/PDIF audio, encoded	Dolby Digital 5.1, DTS 5.1, PCM 2.0	Dolby Digital 5.1, DTS 5.1, PCM 2.0	Dolby Digital 5.1, DTS 5.1, PCM 2.0
	CODECs decoded	AAC, MP3, MPEG1, WMV	AAC, MP3, MPEG1, WMV	AAC, MP3, MPEG1, WMV
I N T E R F A C E S	Wireless	IEEE 802.11ac dual band (5GHz & 2.4GHz), 2x2 wireless Wi-Fi with Wi-Fi Direct for home networks	IEEE 802.11ac dual band (5GHz & 2.4GHz), 2x2 wireless Wi-Fi with Wi-Fi Direct for home networks	Dual band 2.4GHz and 5GHz spectrums, compatible with IEEE 802.11/a/b/g/n networks
	Ethernet	IEEE 802.3 10/100/1000	IEEE 802.3 10/100/1000	IEEE 802.3 10/100/1000
	Accessories Radio	Dedicated dual band Xbox Wireless radio	Dedicated dual band Xbox Wireless radio	Dedicated dual band Xbox Wireless radio
	USB Port	3x USB 3.0	3x USB 3.0	3x USB 3.0
	HDMI Out	2.0b	2.0a	1.4b
	HDMI In	1.4b	1.4b	1.4b
	S/PDIF	Yes	Yes	Yes
	IR Receiver/IR Blaster Port	Yes	Yes	Yes
	IR Blaster	Yes	Yes	No
	Kinect Port	External USB Adapter	External USB Adapter	Yes

Anexo 2. Manual de Usuario

NOMBRE: Sistema de adquisición de datos de las características cinemáticas de la marcha humana nivel 1 sin pendiente

VERSION DEL SISTEMA: 1

FECHA DE ELABORACIÓN: 1/11/2019

PROPÓSITO

El presente documento tiene como finalidad ser una guía básica de operación del sistema, permitiendo al lector adquirir las destrezas y conocimientos para su uso.

CONOCIMIENTOS BÁSICOS

- Manejo del ordenador e interfaz
- Manejo de Kinect

INTRODUCCIÓN

El sistema de adquisición de datos de las características cinemáticas de la marcha humana fue creado con el objetivo de obtener las gráficas angulares de las principales articulaciones que influyen en la marcha como: son la cadera, rodilla y tobillo; brindar una herramienta tecnológica de bajo costo que otorga cierta precisión y retroalimentación al proceso.

El funcionamiento de este consiste en obtener los ángulos que estas articulaciones forman al momento de realizar la marcha y comparar estos datos obtenidos con datos ya establecidos en bibliografía. Además, se realiza un registro de las personas que han sido evaluadas con la información de estas.

DESARROLLO

PREPARACIÓN DEL ESPACIO

Antes de comenzar las pruebas, el espacio debe ser adecuado, considerando los siguientes parámetros:

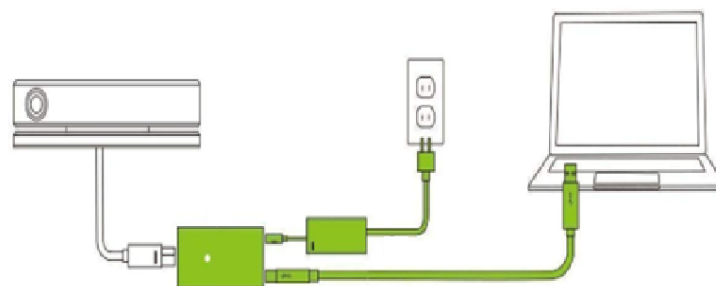
- La iluminación debe ser adecuada mayor o igual a 70 lux hasta 150 lux
- Debe ser una habitación libre de espacios reflejantes y sin entrada de luz natural
- El espacio de prueba debe ser mayor a los 9 m²

PREPARACIÓN DE LA CÁMARA KINECT

Para el inicio de prueba la cámara debe estar posicionada a 2.5 m del sujeto, y a una altura de 1.4m sobre un trípode o sobre cualquier superficie totalmente plana.



Además, se debe asegurar que la Kinect este correctamente conectada tanto al computador como al tomacorriente como se muestra en la siguiente Fig.



PREPARACIÓN DEL SUJETO

Para la preparación del sujeto de prueba solo se recomienda que este no use ropa holgada, de preferencia debe usar ropa cómoda y ceñida al cuerpo para facilitar la ubicación de los puntos de esqueletización y asegurar datos precisos, se prefiere realizar las pruebas sin calzado ya que se presenta como un parámetro externo que afecta a la marcha, también se puede realizar con calzado para realizar un análisis de como este influye en la marcha.

Se deberá informar al sujeto cómo funciona el sistema en especial en el encendido de la cámara y el momento en que esta empieza la recopilación de datos y la zona de toma de datos, como se muestra a continuación:

- 1.- La cámara RGB se encenderá y apagará por un lapso de 1s (recuadro rojo)
- 2.-La cámara RGB y de profundidad se Encenderá (Recuadro y círculo rojos) (En este momento el sujeto debe empezar a caminar)
3. El paciente deberá caminar hasta la línea marcada en el suelo de color negro ya que la proximidad a la cámara puede provocar capturas erróneas.



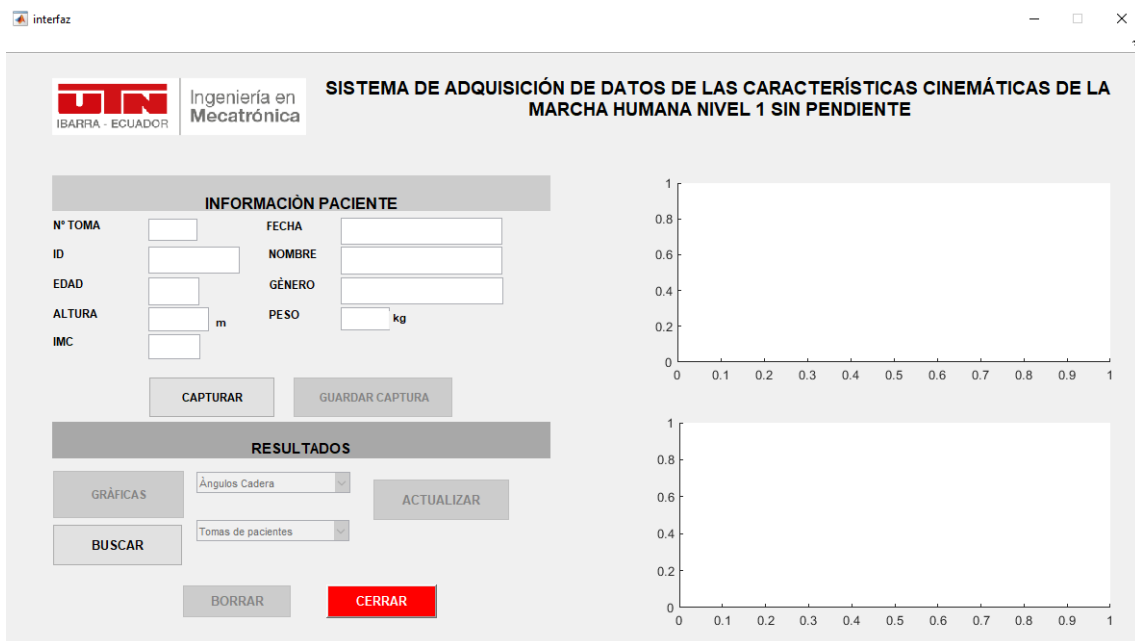
La línea funciona como un indicativo visual, el cual mostrará al paciente que no debe sobrepasar dicho punto.



INTERFAZ

PANTALLA PRINCIPAL

Una vez abierto el programa interfaz.m se mostrará la pantalla principal. En esta pantalla se ingresa la información del paciente y se captura los datos de la marcha del paciente, se guarda los datos adquiridos y se muestran las gráficas de los ángulos de cada articulación inferior, en base a los cálculos realizados



En el recuadro rojo Información paciente tal como se observa en la Fig. A, se ingresarán los datos principales para la identificación del paciente como: nombre, cédula, género, edad, peso y altura, además se ingresa la fecha del día en que se realiza la evaluación y se realiza el cálculo de índice de masa corporal. Además, aquí se registra el número de toma que se realiza.

The image shows a web form titled "INFORMACIÓN PACIENTE". The form contains several input fields for patient data. A red rectangular box highlights the entire form area. A blue rectangular box highlights the "CAPTURAR" and "GUARDAR CAPTURA" buttons. A small box labeled "A" is positioned to the right of the "IMC" field, and another labeled "B" is to the right of the "GUARDAR CAPTURA" button.

INFORMACIÓN PACIENTE			
N° TOMA	1	FECHA	16/12/2019
ID	0604151258	NOMBRE	Martin Armas
EDAD	26	GÉNERO	Máculino
ALTURA	1.73 m	PESO	60 kg
IMC	20.0474		

CAPTURAR GUARDAR CAPTURA

RESULTADOS

En la adquisición de datos se usarán los **botones de capturar y guardar** capturas que se encuentran señalados en la anterior Fig., la sección B permite obtener los datos y guardarlos para el procesamiento de estos, cuando la captura es correcta se recibirá un mensaje de confirmación.

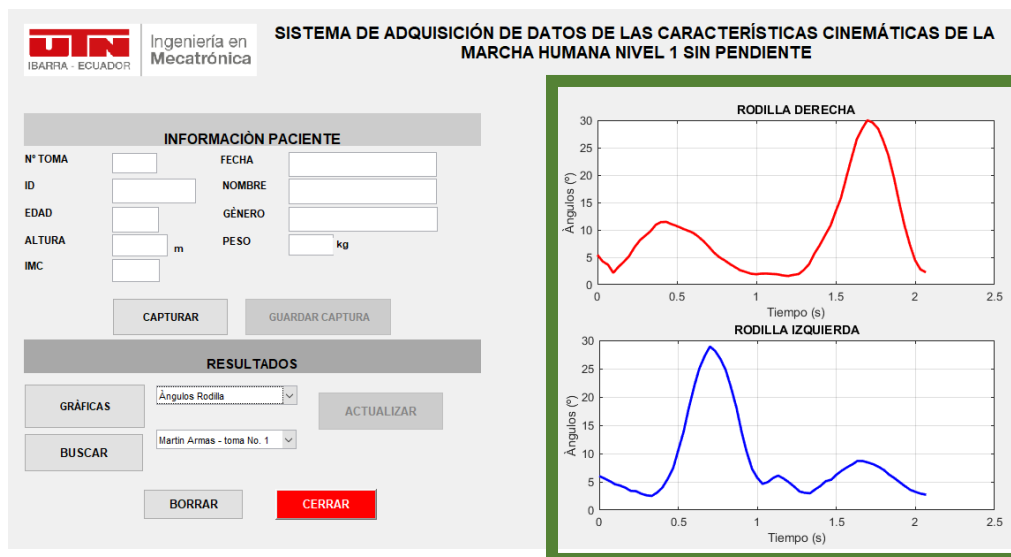
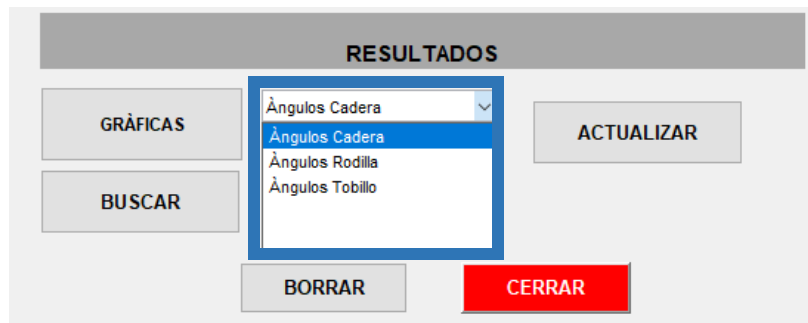
Nota: Cuando los datos no son correctos o se ha presentado un error al momento de la captura de la marcha, el programa reenviará un mensaje de “CAPTURA INCORRECTA”, en este caso la toma de datos deberá repetirse.

El **botón guardar**, realizará la acción de enviar los datos a la base MY SQL, la cual se encuentra conectada al programa, esto conlleva tiempo dependiendo del número de datos adquiridos, esto se puede demorar entre 3 a 5 minutos.

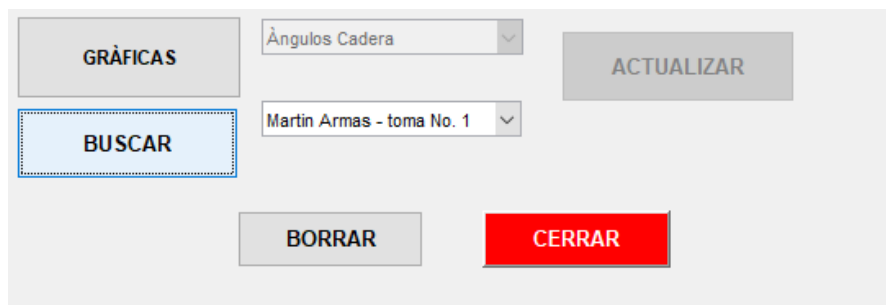
Nota: Además, si los campos obligatorios no estan completos también se generará un mensaje con el nombre del campo “NOMBRE *Campo Obligatorio”.

Una vez guardados los datos se procede a la muestra de resultados con ayuda del botón gráficas el cual activará el menú desplegable donde se seleccionará la gráfica de los ángulos que se desea

observar como se muestra en la Fig. (recuadro azul). Y se mostrarán las gráficas en la parte derecha del interfaz como se muestra en la Fig. (recuadro verde).



Además, se cuenta con la presencia de los **botones buscar y actualizar** los cuales permiten la conexión a la base de datos y buscar la información de los pacientes, volver a mostrar su información y sus resultados, así como editarla en MySQL que está vinculada a Matlab.



El botón buscar permite acceder al listado de pacientes los cuales, al ser seleccionados, su información se mostrará en los campos de información de paciente y de resultados. Cuando estos son seleccionados su información puede ser actualiza o borrada, de no ser seleccionados las acciones de borrar y actualizar no se activarán.

POSIBLES PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Error	Solución
Si después de presionar el botón capturar la Kinect no enciende	Revisar la conexión de la Kinect al computador y tomacorriente, en caso de usar una extensión, que el conector se encuentre ajustado, ya que los cambios de voltaje producen conexión y desconexión del equipo, si el error sigue presente conectar el equipo antes de correr el programa
No aparece el mensaje de guardar correctamente después de esperar 10 minutos	Cuando esto sucede, que es poco frecuente se debe al tipo de procesador del computador y la velocidad al que este trabaja si se conoce el número de tomas, se puede hacer una aproximación del tiempo en que el pc demorara en guardar la información
El mensaje de error de captura es muy frecuente	Se recomienda repetir la captura, comprobando antes la conexión de la Kinect, y el posicionamiento de esta, como la posición del paciente, a veces la marcha se ve forzada y poco natural así que los datos adquiridos son erróneos, produciendo una desigualdad en los vectores causando que graficar no sea posible
Las gráficas presentadas muestran valores diferentes a los adquiridos	Es poco frecuente, pero cuando se busca los resultados de un paciente las gráficas presentan curvas erróneas o rectas sobre estas, se recomienda cerrar el programa y volver a ejecutarlo así se podrá visualizar las gráficas sin error
Las gráficas mostradas no son correctas	Una vez adquiridos los datos, las gráficas pueden ser evaluadas sin necesidad de ser guardadas, si estas son diferentes de los resultados esperados, se recomienda repetir la captura, así se evitará llenar la base de datos con datos erróneos y evitar la pérdida de tiempo al guardarlos

Anexo 3. Código del software desarrollado

```
% SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA MARCHA HUMANA NIVEL 1 SIN PENDIENTE
function varargout = interfaz(varargin)
% INTERFAZ MATLAB code for interfaz.fig
% INTERFAZ, by itself, creates a new INTERFAZ or raises the existing
% singleton*.
% H = INTERFAZ returns the handle to a new INTERFAZ or the handle to
% the existing singleton*.
% INTERFAZ('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in INTERFAZ.M with the given input arguments.
% INTERFAZ('Property','Value',...) creates a new INTERFAZ or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before interfaz_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to interfaz_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help interfaz
% Last Modified by GUIDE v2.5 08-Nov-2019 00:15:45
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @interfaz_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn',  @interfaz_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn',  [] , ...
    'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% --- Executes just before interfaz is made visible.
function interfaz_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
imagen=imread('utn.png');
imshow(imagen)
set(handles.axes7,'UserData',imagen)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
%% Los siguientes botones se encontraran desactivados al abrir la interfaz
set(handles.guardar,'Enable','off');
set(handles.popup_gráficas,'Enable','off');
set(handles.gráficas,'Enable','off');
set(handles.borrar,'Enable','off');
set(handles.popupTomas,'Enable','off');
set(handles.actualizar,'Enable','off');
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = interfaz_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```

varargout{1} = handles.output;
% -----
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Untitled_1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
function nombre_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to nombre (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of nombre as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of nombre as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function nombre_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to nombre (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function cedula_Callback(~, eventdata, handles)
% hObject handle to cedula (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of cedula as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of cedula as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function cedula_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to cedula (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function estatura_Callback(~, ~, handles)
% hObject handle to estatura (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of estatura as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of estatura as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function estatura_CreateFcn(hObject, ~, handles)
% hObject handle to estatura (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function peso_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject  handle to peso (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of peso as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of peso as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function peso_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject  handle to peso (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function fecha_Callback(hObject, ~, handles)
% hObject  handle to fecha (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of fecha as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of fecha as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function fecha_CreateFcn(hObject, ~, handles)
% hObject  handle to fecha (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function genero_Callback(~, eventdata, ~)
% hObject  handle to genero (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of genero as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of genero as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function genero_CreateFcn(hObject, ~, handles)
% hObject  handle to genero (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edad_Callback(~, ~, ~)
% hObject  handle to edad (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edad as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edad as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edad_CreateFcn(hObject, ~, ~)

```

```

% hObject handle to edad (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function idToma_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to idToma (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of idToma as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of idToma as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function idToma_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to idToma (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function imc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to imc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of imc as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of imc as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function imc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to imc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in capturar.
function capturar_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Al presionar el botón Capturar se activarán los botones de guardar y gráficas
set(handles.guardar,'Enable','on');
set(handles.gráficas,'Enable','on');
%% Metadata es una variable global esta contiene la información de todo el proceso de captura
global metadata
clc
clear
imaqreset
delete(imaqfind)
pause(1)

%% Se encienden la cámara RGB y de Profundidad

```



```

colorVid = videoinput('kinect', 1);
depthVid = videoinput('kinect', 2);
depthSource = getselectedsource(depthVid);
depthSource.EnableBodyTracking = 'on';
%% Numero de frames de Color and Profundidad =80
framesPerTrig = 80;
colorVid.FramesPerTrigger = framesPerTrig;
depthVid.FramesPerTrigger = framesPerTrig;
pause(5);
%% Camaras de Color y profundidada encendida por un tiempo estimado de 3s
start([depthVid colorVid ]);

%% A partir de este punto se empieza el proceso de obtención de imágenes de la cámara de color and profundidad
[colorImg] = getdata(colorVid);

[~, ~, metadata] = getdata(depthVid);

%% Estos son el orden de las juntas devueltas por el adaptador Kinect.
%% Base de la espalda = 1;
%% Espalda media= 2;
%% Cuello = 3;
%% Cabeza = 4;
%% Hombro izquierdo = 5;
%% Codo Izquierdo = 6;
%% Muñeca Izquierda = 7;
%% Mano izquierda = 8;
%% Hombro derecho = 9;
%% Codo derecho = 10;
%% Muñeca derecha= 11;
%% Mano derecha = 12;
%% Cadera izquierda = 13;
%% Rodilla izquierda = 14;
%% Tobillo Izquierdo = 15;
%% Pie izquierdo = 16;
%% Cadera derecha = 17;
%% Rodilla derecha= 18;
%% Tobillo derecho = 19;
%% Pie derecho = 20;
%% Espalda Hombros = 21;
%% Punta de la mano izquierda= 22;
%% Pulgar Izquierdo = 23;
%% Punta de la mano derecha= 24;
%% Pulgar derecho = 25;

%% Crea un mapa esquelético de conexiones para unir las articulaciones
SkeletonConnectionMap = [ [4 3];
    [3 21];
    [21 2];
    [2 1];
    [21 9];
    [9 10];
    [10 11];
    [11 12];
    [12 24];
    [12 25];

```

```

        [21 5];
        [5 6];
        [6 7];
        [7 8];
        [8 22];
        [8 23];
        [1 17];
        [17 18];
        [18 19];
        [19 20];
        [1 13];
        [13 14];
        [14 15];
        [15 16];
    ];
trackingIndex = [];
trackingIncrement = 1;
for i=1:framesPerTrig
    if(sum(metadata(i).BodyTrackingID) ~= 0)
        trackingIndex(trackingIncrement)=i;
        trackingIncrement=trackingIncrement+1;
    else
        disp("yup")
    end
end
metadata = metadata(trackingIndex);
colorImg = colorImg(:,:,trackingIndex);
colors = ['r';'g';'b';'c';'y';'m'];
hfig = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])

% Superponga el esqueleto sobre las imágenes RGB.
for j=1:size(metadata)
    anyBodiesTracked = any(metadata(j).IsBodyTracked ~= 0);
    trackedBodies = find(metadata(j).IsBodyTracked);
    nBodies = length(trackedBodies);
    colorJointIndices = metadata(j).ColorJointIndices(:, :, trackedBodies);
    imshow(colorImg(:,:,j));clc
    for i = 1:24
        for body = 1:nBodies
            X1 = [colorJointIndices(SkeletonConnectionMap(i,1),1,body)
                colorJointIndices(SkeletonConnectionMap(i,2),1,body)];
            Y1 = [colorJointIndices(SkeletonConnectionMap(i,1),2,body)
                colorJointIndices(SkeletonConnectionMap(i,2),2,body)];

            line(X1,Y1, 'LineWidth', 1.5, 'LineStyle', '-', 'Marker', '+', 'Color', colors(body));
        end

        hold on;
    end
    drawnow
    tmp = getframe(hfig);
    colorImg2(:,:,j) = imresize(tmp.cdata,[1280 1920]);
    hold off;
end
end

```

```

%% Matriz T = tiempo obtenida de la matriz general metadata

for i=1:size(metadata,1)
T(i,1:6)=metadata(i).AbsTime;
end

t=T(1:end,6);

global t1

t1(1,1)=t(1,1)-t(1,1);

for i=2:size(t)

    t1(i,1)=t(i,1)-t(i-1)+t1(i-1);
end

%% Matriz General de Valores M contiene las 25 posiciones por cada toma
global m

m=metadata(1).JointPositions(:,,1);

for i=2:size(metadata)

    m(1+(i-1)*25 :(i)*25,1:3)=metadata(i).JointPositions(:,,1);

end

%% Creación de submatrices con los siguientes nombres
%espmedia,cadmedia,cadizqui,rodizqui,tobizqui,pieizqui,caderecha,roderecha,tobderecho,
%piederecho.
%Contiene las posiciones solo de las articulaciones a las que hacen
%referencia ejemplo rodizquierda= a todas las posiciones de la rodilla
%izquierda generadas por cada frame
espmedia(1,1:3)=m(2,1:3);
cadmedia(1,1:3)=m(1,1:3);
cadizqui(1,1:3)=m(13,1:3);
rodizqui(1,1:3)=m(14,1:3);
tobizqui(1,1:3)=m(15,1:3);
pieizqui(1,1:3)=m(16,1:3);
caderecha(1,1:3)=m(17,1:3);
roderecha(1,1:3)=m(18,1:3);
tobderecho(1,1:3)=m(19,1:3);
piederecho(1,1:3)=m(20,1:3);

AB2=size(metadata)-1;
for i=1:AB2
    espmedia(i+1,1:3)=m((i*25)+2,1:3);
    cadmedia(i+1,1:3)=m((i*25)+1,1:3);
    cadizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+13,1:3);
    rodizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+14,1:3);
    tobizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+15,1:3);
    pieizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+16,1:3);
end

```

```

caderecha(i+1,1:3)=m((i*25)+17,1:3);
roderecha(i+1,1:3)=m((i*25)+18,1:3);
tobderecho(i+1,1:3)=m((i*25)+19,1:3);
piederecho(i+1,1:3)=m((i*25)+20,1:3);
end

%% CÁLCULO DE ANGULO RODILLA IZQUIERDA
%Se usa la formula del cálculo de ángulos formados entre vectores
%Se realiza la resta de matrices
A=cadizqui-rodizqui;
B=tobizqui-rodizqui;
% Se calcula el producto punto entre los vectores calculados
C = dot(A,B,2);
%Se obtiene los modulos de los vectores
D1(1:size(A),1)=sqrt(A(1:end,1).^2 + A(1:end,2).^2 + A(1:end,3).^2);
D2(1:size(B),1)=sqrt(B(1:end,1).^2+B(1:end,2).^2+B(1:end,3).^2);

D=D1.*D2;
%Se calcula el angulo con la funcion acos = cos -1
for i=1:size(A)
Angrodillaizquierda(i,1)=180-(acos(C(i,1)/D(i,1)))*(180/pi);
end

%%Se uso el mismo procedimiento para el cálculo de los ángulos de rodilla, cadera y tobillo

%%CALCULO DE ANGULO RODILLA DERECHA
E=caderecha-roderecha;
F=tobderecho-roderecha;
G= dot(E,F,2);
H1(1:size(E),1)=sqrt(E(1:end,1).^2 + E(1:end,2).^2 + E(1:end,3).^2);
H2(1:size(F),1)=sqrt(F(1:end,1).^2+F(1:end,2).^2+F(1:end,3).^2);
H=H1.*H2;
for i=1:size(A)
Angrodilladerecha(i,1)=180-(acos(G(i,1)/H(i,1)))*(180/pi);
end
%%La variable global Amean Guarda los ángulos calculados y filtrados
global Amean
window = 5; Amean = movmean(Angrodillaizquierda,window);
global Amean1
window1 = 5; Amean1 = movmean(Angrodilladerecha,window1);

%%CALCULO DE TOBILLO

I=rodizqui-tobizqui;
J=pieizqui-tobizqui;
K = dot(I,J,2)
L1(1:size(I),1)=sqrt(I(1:end,1).^2 + I(1:end,2).^2 + I(1:end,3).^2);
L2(1:size(J),1)=sqrt(J(1:end,1).^2 + J(1:end,2).^2 + J(1:end,3).^2);
L=L1.*L2

for i=1:size(I)
Angtobilloizquierdo(i,1)=(acos(K(i,1)/L(i,1)))*(180/pi)-115;
end
M=roderecha-tobderecho;

```

```

N=piederecho-tobderecho;
O = dot(M,N,2);
P1(1:size(M),1)=sqrt(M(1:end,1).^2 + M(1:end,2).^2 + M(1:end,3).^2);
P2(1:size(N),1)=sqrt(N(1:end,1).^2 + N(1:end,2).^2+ N(1:end,3).^2);
P=P1.*P2;
for i=1:size(M)
Angtobilloderecho(i,1)=(acos(O(i,1)/P(i,1)))*(180/pi)-115;
end
global Amean2
window2 = 7; Amean2 = movmean(Angtobilloizquierdo,window2);
global Amean3
window3 = 7; Amean3 = movmean(Angtobilloderecho,window3);

```

%% CALCULO CADERA FLEXION Y EXTENSION

```

a=cadmedia(1:end,1)-cadizqui(1:end,1);
b=cadmedia(1:end,2)-cadizqui(1:end,2);
c=cadmedia(1:end,3)-cadizqui(1:end,3);

distcadmediacadizqui=(sqrt(a.^2 + b.^2 + c.^2));

espememod=espmedia(1:end,1)-distcadmediacadizqui(1:end,1);
espememod(1:end,2)=espmedia(1:end,2);
espememod(1:end,3)=espmedia(1:end,3);
A1=espememod(1:end,2:3)-cadizqui(1:end,2:3);
B2=rodizqui(1:end,2:3)-cadizqui(1:end,2:3);
G1= dot(A1,B2,2);
H3(1:size(A1),1)=sqrt(A1(1:end,1).^2 + A1(1:end,2).^2 );
H4(1:size(B2),1)=sqrt(B2(1:end,1).^2+ B2(1:end,2).^2);
H5=H3.*H4
for i=1:size(A1)
Angulocaderai(i,1)=180-(acos(G1(i,1)/H5(i,1)))*(180/pi);
end

a1=cadmedia(1:end,1)-caderecha(1:end,1);
b1=cadmedia(1:end,2)-caderecha(1:end,2);
c1=cadmedia(1:end,3)-caderecha(1:end,3);
distcadmediacaderecha=sqrt(a1.^2 + b1.^2 + c1.^2);
pnuevo=espmedia(1:end,1)+ distcadmediacaderecha*2;
pnuevo(1:end,2)=espmedia(1:end,2);
pnuevo(1:end,3)=espmedia(1:end,3);

A3=pnuevo(1:end,2:3)-caderecha(1:end,2:3);
B4=roderecha(1:end,2:3)-caderecha(1:end,2:3);
G2= dot(A3,B4,2);
H6(1:size(A3),1)=sqrt(A3(1:end,1).^2 + A3(1:end,2).^2 );
H7(1:size(B4),1)=sqrt(B4(1:end,1).^2+B4(1:end,2).^2);
H8=H6.*H7;

for i=1:size(A3)
Angulocaderad(i,1)=180-(acos(G2(i,1)/H8(i,1)))*(180/pi);
end
global Amean4
window4 = 5; Amean4 = movmean(Angulocaderai,window4);

```

```

global Amean5
window5 = 5; Amean5 = movmean(Angulocaderad,window5);

if size (t1)==size(Amean4)

msgbox('Captura Correcta');
else
    msgbox('ERROR EN CAPTURA');
end

% --- Executes on selection change in popup_gráficas.

function popup_gráficas_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Comparacion de casos para la represnetacion grafica dependiendo de la eleccion
%%campo =1 Gráficas de angulo de Cadera , campo=2 Gráficas de angulo de Rodilla ,campo=3 Gráficas de tobillo

global t1 Amean Amean2 Amean3 Amean4 Amean5 Amean1

campo= get(handles.popup_gráficas,'Value')

if campo==1
    axes(handles.izquierda);
    plot(t1, Amean4,'b','linewidth',2)
    zoom on;
    xlabel({'Tiempo'})
    ylabel({'Ángulos'})
    title('CADERA IZQUIERDA');
    grid on

    axes(handles.derecha);
    plot(t1, Amean5,'r','linewidth',2)
    zoom on;
    xlabel({'Tiempo'})
    ylabel({'Ángulos'})
    title('CADERA DERECHA')
    grid on
else if campo==2

    axes(handles.izquierda);
    plot(t1,Amean,'b','linewidth',2)
    zoom on
    title('RODILLA IZQUIERDA');
    xlabel({'Tiempo'})
    ylabel({'Ángulos'})
    grid on

    axes(handles.derecha);
    plot(t1,Amean1,'r','linewidth',2 )
    zoom on;
    title('RODILLA DERECHA')
    xlabel({'Tiempo'})
    ylabel({'Ángulos'})
    grid on

```

```

else campo==3

    axes(handles.izquierda);
    plot(t1,Amean2,'b','linewidth',2)
    zoom on;
    title('TOBILLO IZQUIERDO');
    xlabel({'Tiempo'})
    ylabel({'Ángulos'})
    grid on

    axes(handles.derecha);
    plot(t1,Amean3,'r','linewidth',2 )
    zoom on;
    title('TOBILLO DERECHO')
    xlabel({'Tiempo'})
    ylabel({'Ángulos'})
    grid on
end
end
% --- Executes on button press in buscar.
function buscar_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Al seleccionar el boton buscar se activaran los siguiente botones
set(handles.popupTomas,'Enable','on');
set(handles.gráficas,'Enable','on');
set(handles.borrar,'Enable','on');

%%Se realiza la coneccion de Matlab con la base de datos
try
    %% Set preferences
    prefs = setdbprefs('DataReturnFormat');
    setdbprefs('DataReturnFormat','table')
    %% Make connection to database
    conn = database('mysql','');
    %% Execute query and fetch results
    curs = exec(conn,['SELECT concat(nombre, " - toma No. ", id_toma) ' ...
        'FROM marcha_humana.tomas ORDER BY CAST(id_toma AS UNSIGNED)']);
    curs = fetch(curs);
    tomas = curs.Data{1:end,1};
    set(handles.popupTomas,'String',tomas);
    close(curs)
    %% Close connection to database
    close(conn)
    %% Restore preferences
    setdbprefs('DataReturnFormat',prefs)

    %% Clear variables
    clear prefs conn curs

catch exception
    throw(exception)
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popup_gráficas_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popup_gráficas (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in guardar.
function guardar_Callback(~, eventdata, handles)
%%Al seleccionar el boton guardar se activan los siguientes botones
set(handles.capturar,'Enable','on');
set(handles.buscar,'Enable','on');
    global m
    global t1
%%Se guarda la Informacion del Paciente
tomaId = get(handles.idToma,'String');
tomaFecha = get(handles.fecha,'String');
tomaCedula = get(handles.cedula,'String');
tomaNombre = get(handles.nombre,'String');
tomaGenero = get(handles.genero,'String');
tomaEdad = get(handles.edad,'String');
tomaPeso = get(handles.peso,'String');
tomaEstatura = get(handles.estatura,'String');

%% Notificación de error en caso de no llenar los campos obligatorios

if tomaId == '';
    msgbox(' N° de toma *Campo Obligatorio');
end
if tomaNombre == '';
    msgbox(' Nombre *Campo Obligatorio');
end
if tomaPeso == '';
    msgbox('Peso *Campo Obligatorio');
end
if tomaEstatura == '';
    msgbox('Altura *Campo Obligatorio');
end
%% Cálculo de IMC informacion Peso en kg y Altura en m

calculoimc = str2double(tomaPeso)/(str2double(tomaEstatura)^2);
tomaImc = num2str(calculoimc);
set(handles.imc,'String',tomaImc);

%-----INICIAR CONEXION-----
conexion1 = database('mysql','');
datosenviar = {tomaId, tomaFecha, tomaCedula, tomaNombre, tomaGenero, tomaEdad, tomaPeso, tomaEstatura,
tomaImc};
colguardar= {'id_toma','fecha','cedula','nombre','genero','edad','peso','estatura','imc'};
insert(conexion1, 'tomas', colguardar, datosenviar);

%%Se guarda la matriz general que contiene los datos del paciente

for i = 1:size(m,1)
    datoX = mat2str(m(i,1));

```



```

datoY = mat2str(m(i,2));
datoZ = mat2str(m(i,3));

datosenviar2 = {tomaId,datoX, datoY, datoZ};
colguardar2= {'tomas_id_toma','x','y','z'};
insert(conexion1, 'datos', colguardar2, datosenviar2);

end

global Amean Amean1 Amean2 Amean3 Amean4 Amean5

%%Se guarda la Informacion de tiempo y los ángulos calculados de cadera,rodilla y tobillo

for i = 1:size(t1,1)
    tiempo = mat2str(t1(i,1));
    caderaizquierda=mat2str(Amean4(i,1));
    caderaderecha=mat2str(Amean5(i,1));
    rodillaizquierda=mat2str(Amean(i,1));
    rodilladerecha=mat2str(Amean1(i,1));
    tobilloizquierdo=mat2str(Amean2(i,1));
    tobilloderecho=mat2str(Amean3(i,1));

    datosenviar3 =
{tomaId,tiempo,caderaizquierda,caderaderecha,rodillaizquierda,rodilladerecha,tobilloizquierdo,tobilloderecho};
    colguardar3=
{'tomas_id_toma','tiempo','A_Cadera_izquierda','A_Cadera_derecha','A_Rodilla_izquierda','A_Rodilla_derecha','A_
Tobillo_izquierdo','A_Tobillo_derecho'};
    insert(conexion1, 'tiempo', colguardar3, datosenviar3);

    %-----FIN DE LA CONEXION-----
end
close(conexion1);
msgbox('Se ha registrado correctamente','Mensaje');

% --- Executes on selection change in popupTomas.
function popupTomas_Callback(hObject, eventdata, handles)
    %% Al seleccionar un paciente se activara el boton de actualización
    set(handles.actualizar,'Enable','on');

try
    id=num2str(get(hObject,'Value'));

    prefs = setdbprefs('DataReturnFormat');
    setdbprefs('DataReturnFormat','table')
    conn = database('mysql','');
    curs = exec(conn,sprintf('SELECT * FROM marcha_humana.tomas where id_toma=("%s");',id));
    curs=fetch(curs);

    tomaId = curs.Data{1,1};

    set(handles.idToma,'String',tomaId);

    tomaFecha = curs.Data{1,2};

```

```

if tomaFecha=="null"
    tomaFecha="";
end
set(handles.fecha,'String',tomaFecha);
tomaCedula = curs.Data{1,3};
if tomaCedula=="null"
    tomaCedula="";
end
set(handles.cedula,'String',tomaCedula);
tomaNombre = curs.Data{1,4};
    if tomaNombre=="null"
        tomaNombre="";
    end
set(handles.nombre,'String',tomaNombre);
tomaGenero = curs.Data{1,5};
    if tomaGenero=="null"
        tomaGenero="";
    end
set(handles.genero,'String',tomaGenero);
tomaEdad = curs.Data{1,6};
    if tomaEdad=="null"
        tomaEdad="";
    end
set(handles.edad,'String',tomaEdad);
tomaPeso = curs.Data{1,7};
    if tomaPeso=="null"
        tomaPeso="";
    end
set(handles.peso,'String',tomaPeso);
tomaEstatura=curs.Data{1,8};
    if tomaEstatura=="null"
        tomaEstatura="";
    end
set(handles.estatura,'String',tomaEstatura);
tomaImc=curs.Data{1,9};
    if tomaImc=="null"
        tomaImc="";
    end
set(handles.imc,'String',tomaImc);
close(curs)
close(conn)
setdbprefs('DataReturnFormat',prefs)
clear prefs conn curs

id=num2str(get(hObject,'Value'));

prefs = setdbprefs('DataReturnFormat');
setdbprefs('DataReturnFormat','table')
conn = database('mysql','');
curs = exec(conn,sprintf('SELECT * FROM marcha_humana.datos where tomas_id_toma=("%s"),id) ');
curs=fetch(curs);
datos = curs.Data{1:end,1:end};
    m=[];
global m
for i=1:size(datos,1)

```

```

m(i,1)=str2double(datos(i,2));
m(i,2)=str2double(datos(i,3));
m(i,3)=str2double(datos(i,4));

end
close(curs)
close(conn)
setdbprefs('DataReturnFormat',prefs)
clear prefs conn curs

id=num2str(get(hObject,'Value'));
prefs = setdbprefs('DataReturnFormat');
setdbprefs('DataReturnFormat','table')
conn = database('mysql','');
curs = exec(conn,sprintf('SELECT * FROM marcha_humana.tiempo where tomas_id_toma=("%s")',id) );
curs=fetch(curs);
datos1 = curs.Data{ 1:end,2};
t1=[];
global t1
for i=1:size(datos1,1)
t1(i,1)=str2double(datos1(i,1));
end
close(curs)
close(conn)
setdbprefs('DataReturnFormat',prefs)
clear prefs conn curs

Amean1=[];
Amean2=[];
Amean3=[];
Amean4=[];
Amean5=[];

%% Matrices de cada articulacion de la marcha

espmidia(1,1:3)=m(2,1:3);
cadmedia(1,1:3)=m(1,1:3);
cadizqui(1,1:3)=m(13,1:3);
rodizqui(1,1:3)=m(14,1:3);
tobizqui(1,1:3)=m(15,1:3);
pieizqui(1,1:3)=m(16,1:3);
caderecha(1,1:3)=m(17,1:3);
roderecha(1,1:3)=m(18,1:3);
tobderecho(1,1:3)=m(19,1:3);
piederecho(1,1:3)=m(20,1:3);
AB2=size(t1)-1;

for i=1:AB2
espmidia(i+1,1:3)=m((i*25)+2,1:3);
cadmedia(i+1,1:3)=m((i*25)+1,1:3);
cadizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+13,1:3);
rodizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+14,1:3);
tobizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+15,1:3);

```

```

pieizqui(i+1,1:3)=m((i*25)+16,1:3);
caderecha(i+1,1:3)=m((i*25)+17,1:3);
roderecha(i+1,1:3)=m((i*25)+18,1:3);
tobderecho(i+1,1:3)=m((i*25)+19,1:3);
piederecho(i+1,1:3)=m((i*25)+20,1:3);
end

```

%% CALCULO DE ÀNGULO RODILLA IZQUIERDA

```

A=cadizqui-rodizqui;
B=tobizqui-rodizqui;
C = dot(A,B,2)
D1(1:size(A),1)=sqrt(A(1:end,1).^2 + A(1:end,2).^2 + A(1:end,3).^2);
D2(1:size(B),1)=sqrt(B(1:end,1).^2+B(1:end,2).^2+B(1:end,3).^2);
D=D1.*D2
for i=1:size(A)
Angrodillaizquierda(i,1)=180-(acos(C(i,1)/D(i,1)))*(180/pi)
end

```

%%CALCULO DE ÀNGULO RODILLA DERECHA

```

E=caderecha-roderecha;
F=tobderecho-roderecha;
G= dot(E,F,2)
H1(1:size(E),1)=sqrt(E(1:end,1).^2 + E(1:end,2).^2 + E(1:end,3).^2);
H2(1:size(F),1)=sqrt(F(1:end,1).^2+F(1:end,2).^2+F(1:end,3).^2);
H=H1.*H2
for i=1:size(A)
Angrodilladerecha(i,1)=180-(acos(G(i,1)/H(i,1)))*(180/pi)
end
global Amean
window = 5; Amean = movmean(Angrodillaizquierda,window);
global Amean1
window1 = 5; Amean1 = movmean(Angrodilladerecha,window1);

```

%%CALCULO DE TOBILLO IZQUIERDO

```

I=rodizqui-tobizqui;
J=pieizqui-tobizqui;
K = dot(I,J,2)
L1(1:size(I),1)=sqrt(I(1:end,1).^2 + I(1:end,2).^2 + I(1:end,3).^2);
L2(1:size(J),1)=sqrt(J(1:end,1).^2 + J(1:end,2).^2 + J(1:end,3).^2);
L=L1.*L2
for i=1:size(I)
Angtobilloizquierdo(i,1)=(acos(K(i,1)/L(i,1)))*(180/pi)-115
end

```

%%CALCULO DE TOBILLO DERECHO

```

M=roderecha-tobderecho;
N=piederecho-tobderecho;
O = dot(M,N,2)
P1(1:size(M),1)=sqrt(M(1:end,1).^2 + M(1:end,2).^2 + M(1:end,3).^2);
P2(1:size(N),1)=sqrt(N(1:end,1).^2 + N(1:end,2).^2 + N(1:end,3).^2);

```

```
P=P1.*P2
```

```
for i=1:size(M)
Angtobilloderecho(i,1)=(acos(O(i,1)/P(i,1)))*(180/pi)-115
end
global Amean2
window2 = 7; Amean2 = movmean(Angtobilloizquierdo,window2);
global Amean3
window3 = 7; Amean3 = movmean(Angtobilloderecho,window3);
```

%%CALCULO CADERA IZQUIERDA

```
a=cadmedia(1:end,1)-cadizqui(1:end,1);
b=cadmedia(1:end,2)-cadizqui(1:end,2);
c=cadmedia(1:end,3)-cadizqui(1:end,3);
distcadmediacadizqui=(sqrt(a.^2 + b.^2 + c.^2));
espememod=espmedia(1:end,1)-distcadmediacadizqui(1:end,1);
espememod(1:end,2)=espmedia(1:end,2);
espememod(1:end,3)=espmedia(1:end,3);
A1=espememod(1:end,2:3)-cadizqui(1:end,2:3);
B2=rodizqui(1:end,2:3)-cadizqui(1:end,2:3);
G1= dot(A1,B2,2)
H3(1:size(A1),1)=sqrt(A1(1:end,1).^2 + A1(1:end,2).^2 );
H4(1:size(B2),1)=sqrt(B2(1:end,1).^2+ B2(1:end,2).^2);
H5=H3.*H4
for i=1:size(A1)
Angulocaderai(i,1)=180-(acos(G1(i,1)/H5(i,1)))*(180/pi)
end
```

%%CALCULO CADERA DERECHA

```
a1=cadmedia(1:end,1)-caderecha(1:end,1);
b1=cadmedia(1:end,2)-caderecha(1:end,2);
c1=cadmedia(1:end,3)-caderecha(1:end,3);
distcadmediacaderecha=sqrt(a1.^2 + b1.^2 + c1.^2)
pnuevo=espmedia(1:end,1)+ distcadmediacaderecha*2;
pnuevo(1:end,2)=espmedia(1:end,2);
pnuevo(1:end,3)=espmedia(1:end,3);
A3=pnuevo(1:end,2:3)-caderecha(1:end,2:3);
B4=roderecha(1:end,2:3)-caderecha(1:end,2:3);
G2= dot(A3,B4,2)
H6(1:size(A3),1)=sqrt(A3(1:end,1).^2 + A3(1:end,2).^2 );
H7(1:size(B4),1)=sqrt(B4(1:end,1).^2+B4(1:end,2).^2);
H8=H6.*H7
for i=1:size(A3)
Angulocaderad(i,1)=180-(acos(G2(i,1)/H8(i,1)))*(180/pi)
end
global Amean4
window4 = 5; Amean4 = movmean(Angulocaderai,window4);
global Amean5
window5 = 5; Amean5 = movmean(Angulocaderad,window5);
catch exception
throw(exception)
end
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupTomas contents as cell array
```

```

% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupTomas
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupTomas_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupTomas (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFns called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on key press with focus on gráficas and none of its controls.
function gráficas_KeyPressFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to gráficas (see GCBO)
% eventdata structure with the following fields (see MATLAB.UI.CONTROL.UICONTROL)
% Key: name of the key that was pressed, in lower case
% Character: character interpretation of the key(s) that was pressed
% Modifier: name(s) of the modifier key(s) (i.e., control, shift) pressed
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on button press in cerrar.
function cerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to cerrar (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
close(interfaz)
% --- Executes on button press in borrar.
function borrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to borrar (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
s = char(get(handles.idToma,'String'));
conn = database('mysql','');
sqlquery = ['delete FROM marcha_humana.tiempo where tomas_id_toma=' s '''];
exec(conn, sqlquery);

sqlquery = ['delete FROM marcha_humana.datos where tomas_id_toma=' s '''];
exec(conn, sqlquery);

sqlquery = ['delete FROM marcha_humana.tomas where id_toma=' s '''];
exec(conn, sqlquery);

close(conn)
clear conn

%% Recargamos el popupTomas
prefs = setdbprefs('DataReturnFormat');
setdbprefs('DataReturnFormat','table')
%% Make connection to database
conn1 = database('mysql','');
%% Execute query and fetch results
curs1 = exec(conn1,['SELECT concat(nombre, " - toma No. ", id_toma) ' ...
    'FROM marcha_humana.tomas']);
curs1 = fetch(curs1);
tomas = curs1.Data{1:end,1};
set(handles.popupTomas,'String',tomas);

```

```

close(curs1)

%% Close connection to database
close(conn1)

%% Restore preferences
setdbprefs('DataReturnFormat',prefs)

%% Clear variables
clear prefs conn1 curs1

%% Vaciar los text

    set(handles.idToma,'String','');

    set(handles.fecha,'String','');

    set(handles.cedula,'String','');

    set(handles.nombre,'String','');

    set(handles.genero,'String','');

    set(handles.edad,'String','');

    set(handles.peso,'String','');

    set(handles.estatura,'String','');

    set(handles.imc,'String','');

%-----FIN DE LA CONEXION-----
msgbox('Eliminado','Mensaje');
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function guardar_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to guardar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% --- Executes on button press in gráficas.
function gráficas_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.popup_gráficas,'Enable','on');
% --- Executes on button press in actualizar.
function actualizar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to actualizar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
s = char(get(handles.idToma,'String'));
tomaId1 = char(get(handles.idToma,'String'));
tomaFecha1 = char(get(handles.fecha,'String'));
tomaCedula1 = char(get(handles.cedula,'String'));
tomaNombre1 = char(get(handles.nombre,'String'));
tomaGenero1 = char(get(handles.genero,'String'));
tomaEdad1 = char(get(handles.edad,'String'));
tomaPeso1 = char(get(handles.peso,'String'));
tomaEstatura1 = char(get(handles.estatura,'String'));

```

```

%% Peso en kg y Altura en m
calculoimc1 = str2double(tomaPeso1)/(str2double(tomaEstatura1)^2);
tomaImc1 = num2str(calculoimc1);
set(handles.imc,'String',tomaImc1);
% % %-----INICIAR CONEXION-----
conexion = database('mysql','');
colnames = {'id_toma','fecha','cedula','nombre','genero','edad','peso','estatura','imc'};
datosenviar={tomaId1,tomaFecha1, tomaCedula1, tomaNombre1, tomaGenero1, tomaEdad1, tomaPeso1,
tomaEstatura1, tomaImc1};
tablename = 'tomas';
whereclause = ['WHERE id_toma = ' s ""'];
update(conexion,tablename,colnames,datosenviar,whereclause)
close(conexion)
%-----FIN DE LA CONEXION-----
msgbox('Actualización Completada','Mensaje');

```