



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**ESTANDARIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS DE
LABORATORIOS DE ANÁLISIS DE MOVIMIENTO PARA LA RED ORITEL**

POR

Rosario Ulloa Barrientos

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Biomédico

Profesor(es) Guía:
Esteban Pino Quiroga

Profesional Supervisor:
Stephania Yáñez

Comisión:
Rosa Figueroa

Agosto 2023
Concepción (Chile)

© 2023 Rosario Ulloa

© 2023 Rosario Ulloa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Agradecimientos

Este informe refleja el termino de mi etapa de pregrado y sin lugar a dudas, me gustaría expresar mis agradecimientos.

Me gustaría agradecer a mi familia por estar presente a lo largo de mis estudios académicos, que me impulsan a continuar con mis proyectos y metas. Gracias por el cariño, comprensión y los momentos que hemos compartidos juntos. Agradezco la paciencia y apoyo incondicional de mi hermana, Isidora, que a pesar de distancia sigue estando presente. Siempre ha confiado en mi y mis capacidades, por lo que su soporte es un pilar en mi vida.

Quiero agradecer a Tomi por todas las maratones de estudios. Su ayuda, compañía y apoyo son invaluable. Su presencia y ánimo han hecho esta etapa más llevadera.

A Merlín, gracias por estar y calmarme en los momentos más estresantes ofreciéndome momentos de descanso para jugar y regalonear. Siempre sacándome una sonrisa con su colita.

Agradezco sinceramente a todos los profesores que me acompañaron durante esta etapa, con un especial agradecimiento a mi profesor guía, Esteban Pino, por el tiempo, paciencia y consejos. Reuniones semanales que siempre fueron un aporte significativo en mi trabajo.

A Stefania Yáñez, muchas gracias por animarme y enseñarme con tanto entusiasmo sobre esta área. Por presentarme el laboratorio y explicarme con paciencia hasta el más mínimo detalle.

Quiero agradecer también al equipo presente del proyecto *Movement Analysis Network*, en especial a la profesora Manuela Galli y Lucia Donno, por la disposición y amabilidad de enseñarme e integrarme.

Muchas gracias a todos.

Resumen

El presente informe se centra en la creación de una guía de estandarización para la adquisición y almacenamiento de datos de la red Oritel en el contexto de los laboratorios de marcha. La problemática identificada radica en la falta de uniformidad y la heterogeneidad de los sistemas de captura de movimiento utilizados en los laboratorios, lo cual dificulta la comparación de datos entre ellos.

Para abordar esta problemática, se llevó a cabo un estudio bibliográfico exhaustivo sobre la marcha, los parámetros que la definen y los estándares aplicables en el campo. Además, se realizaron reuniones periódicas con profesionales especializados en laboratorios de marcha para recopilar su experiencia y conocimiento. Como resultado se destacó la importancia de sus análisis, abordando temas como la detección de eventos de la marcha y los sistemas de captura de movimiento.

El objetivo principal de esta guía es lograr una mayor coherencia y comparabilidad en los datos obtenidos en los laboratorios de marcha de la red Oritel. Al seguir estos procedimientos, se espera que los laboratorios estandaricen sus prácticas de adquisición y almacenamiento de datos, lo que facilitará la comparación y el intercambio de información entre los distintos centros de la red. Esto es especialmente relevante para el proyecto *Movement Analysis Network*, cuyo objetivo es promover y facilitar el intercambio de conocimientos y datos entre los centros de laboratorios de marcha participantes.

En el informe, se trabajó con datos provenientes de los sistemas BTS *GaitLab* y Vicon, ya que son los sistemas que utilizan los centros pertenecientes a la red Oritel. En base a esto, se propone una guía detallada para la adquisición de datos que incluye consideraciones importantes para obtener datos de calidad para un análisis preciso de la marcha, teniendo en cuenta el conjunto de procesos que lo integran. Se consideraron los siguientes puntos: calibración del sistema, configuración de parámetros, calibración para paciente, rutina de ejercicios y por último el procesamiento de datos en el software de análisis de movimiento para la interpretación de resultados. Asimismo, se presenta una guía para el almacenamiento de datos, el cual define la plataforma común de trabajo utilizando las herramientas de Matlab y Mokka, además se definieron los formatos de exportación específicos para cada sistema utilizado: el formato .emt para BTS *GaitLab* y el formato .c3d para Vicon. Por otra parte, se llevó a cabo un levantamiento de datos en los centros participantes del proyecto *Movement Analysis Network* con el objetivo de conocer el estado actual de los laboratorios, identificar posibles problemas y recopilar cualquier inquietud que pudiera surgir al respecto.

El trabajo realizado tiene una gran importancia, ya que establece estándares y guías que permitirán

una mayor uniformidad en la adquisición, almacenamiento y análisis de datos de marcha. Esto no solo facilitará la comparación y el intercambio de información entre los centros de la red Oritel, sino que también sentará las bases para futuras investigaciones y avances en el campo del análisis de la marcha.

Abstract

This report focuses on the creation of a standardization guide for the acquisition and storage of data from the Oritel network in the context of gait laboratories. The problem identified lies in the lack of uniformity and heterogeneity of the motion capture systems used in the laboratories, which makes it difficult to compare data between them.

To address this problem, an exhaustive bibliographic study was carried out on gait, the parameters that define it and the standards applicable in the field. In addition, periodic meetings were held with professionals specialized in gait laboratories to gather their experience and knowledge. As a result, the importance of their analysis was highlighted, addressing topics such as gait event detection and motion capture systems.

The main objective of this guide is to achieve greater consistency and comparability in the data obtained in the gait laboratories of the Oritel network. By following these procedures, it is expected that the laboratories will standardize their data acquisition and storage practices, which will facilitate the comparison and exchange of information between the different centers in the network. This is particularly relevant to the *Movement Analysis Network* project, which aims to promote and facilitate the exchange of knowledge and data between participating gait laboratory centers.

In the report, we worked with data from the BTS *GaitLab* and Vicon systems, since these are the systems used by the centers belonging to the Oritel network. Based on this, a detailed guide for data acquisition is proposed, which includes important considerations to obtain quality data for an accurate gait analysis, taking into account the set of processes that integrate it. The following points were considered: system calibration, parameter configuration, patient calibration, exercise routine and finally data processing in the motion analysis software for the interpretation of results. Also, a guide for data storage is presented, which defines the common working platform using Matlab and Mokka tools, and the specific export formats were defined for each system used: the .emt format for BTS and the .c3d format for Vicon. On the other hand, a data survey was carried out in the centers participating in the project *Movement Analysis Network* with the aim of knowing the current state of the laboratories, identifying possible problems and collecting any concerns that might arise in this regard.

The work carried out is of great importance, as it establishes standards and guidelines that will allow greater uniformity in the acquisition, storage and analysis of gait data. This will not only facilitate the comparison and exchange of information between Oritel network centers, but will also lay the

groundwork for future research and advances in the field of gait analysis.

Tabla de Contenidos

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	IV
Índice de Tablas	IX
Índice de Figuras	X
1. Introducción.	1
1.1. Introducción general	1
1.2. Problemática	2
1.3. Motivación	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Alcances y Limitaciones	3
1.6. Metodología	3
2. Análisis de la marcha.	5
2.1. Introducción	5
2.2. Ciclo de la marcha	5
2.2.1. Fases y Subfases de la marcha	7
2.2.1.1. Fase de Apoyo	7
2.2.1.2. Fase de Balanceo	8
2.3. Parámetros temporales, espaciales y espacio-temporales que describen la marcha	8
2.4. Métodos de estudio de la marcha	9
2.5. Indicadores de la marcha	10
2.5.1. <i>Gillette Gait Index (GGI)</i>	11
2.5.2. <i>Gait Deviation Index (GDI)</i>	11
2.5.3. <i>Gait Profile Score (GPS)</i>	12
2.6. Laboratorio de análisis de movimiento - Sistemas basado en tecnología óptica	13
2.6.1. Hardware de los Laboratorios de marcha	13

2.6.2.	Sistemas ópticos de captura de movimiento	14
2.6.2.1.	BTS <i>GaitLab</i>	14
2.6.2.2.	Vicon	15
2.6.2.3.	Otros	16
2.7.	Aplicación Clínica	16
2.7.1.	Parálisis Cerebral	16
2.7.2.	Marcha idiopática en punta de pies	17
2.7.3.	Espina bífida	17
2.8.	Discusión	17
3.	Adquisición y almacenaje de datos.	19
3.1.	Introducción	19
3.2.	Estandarización de adquisición de datos	19
3.2.1.	Configuración de parámetros	20
3.2.2.	Calibración del sistema	21
3.2.3.	Calibración para paciente	22
3.2.3.1.	Posicionamiento de marcadores	23
3.2.4.	Rutina	23
3.2.5.	Interpretación Resultados	24
3.3.	Software de Sistemas basado en tecnología óptica - Almacenamiento de datos	24
3.3.1.	Smart Clinic	24
3.3.1.1.	Extensión de archivo TDF	26
3.3.1.2.	Extensión de archivo EMT	26
3.3.1.3.	Generación de reportes de BTS	26
3.3.2.	Nexus	27
3.3.2.1.	Extensión de archivo C3D	28
3.3.2.2.	Generación de reporte de Vicon	28
3.4.	Almacenamiento de datos	29
3.4.1.	Software para almacenamiento	29
3.4.1.1.	Mokka	29
3.4.1.2.	Librería BTK - Matlab	30
3.4.2.	Almacenamiento para archivos de extensión TDF	30
3.4.3.	Almacenamiento de archivos de extensión EMT	30
3.4.4.	Almacenamiento de archivos de extensión C3D	31
3.5.	Discusión	33

4. Guía de adquisición y almacenaje propuestos para red Organización Internacional de Teletones (Oritel).	37
4.1. Introducción	37
4.2. Levantamiento estado actual <i>Movement Analysis Network</i>	37
4.3. Sistema de Información de la Discapacidad de la Red Oritel (SIDRO)	45
4.4. Guía para la adquisición y almacenaje de datos para laboratorios de marcha.	46
4.4.1. Guía de adquisición de datos en sistemas basados en cámaras optoelectrónicas infrarrojas.	46
4.4.2. Procesamiento y exportación en Software	48
4.4.3. Almacenaje y comparación con la red de datos	49
4.5. Próximos pasos <i>Movement Analysis Network</i>	50
4.6. Discusión	52
5. Discusión y conclusiones.	53
5.1. Discusión	53
5.2. Conclusiones	54
5.3. Trabajo Futuro	55
A. Teletón - Examen Físico de Laboratorio de marcha	60
B. Posicionamiento de marcadores Convencionales	64
B.1. Protocolo de Davis	64
B.2. Protocolo Helen Hayes	65
B.3. Plug in Gait	66
C. Encuesta para <i>Movement Analysis Network</i>	68
D. Instalación Biblioteca BTK	75

Índice de Tablas

2.1. Valores promedio de parámetros de la marcha [1].	10
2.2. Parámetros de la marcha [2].	12
4.1. Centros participantes de <i>Movement Analysis Network</i>	38
4.2. Respuestas de levantamiento para <i>Movement Analysis Network</i> - Parte 1	39
5.1. Propuesta de exportación/almacenaje de datos de marcha.	55
A.1. Evaluaciones de examen físico	61
A.2. Evaluaciones donde se observan las respuestas del paciente	61
A.3. Grupos musculares - Examen Físico	62
A.4. Escala de Ashworth Modificada [3]	63
C.1. Respuestas de levantamiento para <i>Movement Analysis Network</i> - Parte 2	74

Índice de Figuras

2.1. Ciclo de la marcha, basado en [4].	6
2.2. Representación de principales componentes de la marcha, basaso en [5]	6
2.3. Esquema de fases y subfases de la marcha, basado en [4].	7
2.4. Representación métodos de estudio de la marcha, basado en [6].	11
2.5. Reconstrucción de la posición del centro, a partir de 2 cámaras infrarrojas, basado en [7].	14
3.1. Pasos preliminares de análisis de la marcha, basado en [8].	20
3.2. Varilla con marcadores para calibración sistema Vicon [9]	21
3.3. Definición del volumen para una evaluación de marcha. Captura de pantalla de plataforma Mokka.	22
3.4. Ángulo rodilla - Plano Sagital - BTS, obtenido en Matlab.	31
3.5. Potencia Cadera - Plano Sagital - BTS, obtenido en Matlab.	32
3.6. Momento Tobillo - Plano Sagital - BTS, obtenido en Matlab.	32
3.7. Ángulo rodilla (Estudio Completo) - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.	33
3.8. Detección de eventos en plataforma Mokka. Captura de pantalla Mokka.	34
3.9. Ángulo rodilla - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.	34
3.10. Potencia Cadera - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.	35
3.11. Momento Tobillo - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.	35
4.1. Cantidad de personas que compone cada laboratorio.	39

	XI
4.2. Sistema basado en tecnología óptica.	40
4.3. Año de inicio de funcionamiento de cada centro.	41
4.4. Cantidad de pacientes que atiende cada centro a la semana.	42
4.5. El posicionamiento de marcadores utilizado por cada centro.	43
4.6. Propuesta de guías para la adquisición y almacenaje de datos para laboratorios de marcha.	45
4.7. Pasos para recolección de base de datos.	51
4.8. Ejemplo formato de nombre para los datos.	51
B.1. Esquema localización de marcadores con Protocolo de Davis. [10]	65
B.2. Esquema localización de marcadores con Protocolo Helen Hayes. [11]	66
B.3. Esquema localización de marcadores con Protocolo Plug-in gait. [12]	67
C.1. Cantidad de plataformas de fuerza por laboratorio.	73
C.2. Cantidad de cámaras por laboratorio.	73
C.3. Sensores Electromiografía (EMG) por laboratorio.	73
D.1. Captura de pantalla - Añadir ruta manualmente en MATLAB.	76
D.2. Captura de pantalla - Verificación intalación correcta de la librería en MATLAB. . .	76

Siglas

ASH Escala de Ashworth modificada

ASIS anterior superior iliac spine

BTK Biomechanical-ToolKit

CMS Control Motor Selectivo

EMG Electromiografía

FM Fuerza Muscular

GDI Gait Deviation Index

GGI Gillette Gait Index

GPS Gait Profile Score

GVS Gait Variable Score

MAP Movement Analysis Profile

Oritel Organización Internacional de Teletones

Polimi Politécnico de Milán

PSIS posterior superior iliac spine

SENIAM Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles

SIDRO Sistema de Información de la Discapacidad de la Red Oritel

Capítulo 1 : Introducción.

1.1 Introducción general

La biomecánica se enfoca en el estudio de las fuerzas y los movimientos del cuerpo humano. En el contexto de la marcha, la biomecánica analiza los aspectos cinemáticos y cinéticos de los diferentes segmentos corporales durante la locomoción [1].

El estudio de la marcha se lleva a cabo mediante sistemas que utilizan diferentes tecnologías, como la electromecánica, la electromagnética, los sensores inerciales y las cámaras infrarrojas [13]. Estos sistemas permiten capturar y analizar el movimiento durante la marcha, brindando información detallada y precisa sobre los parámetros espacio-temporales [14]. En el caso de este informe, se trabajó con datos de laboratorios basados en cámaras infrarrojas. Además existen distintas empresas que comercializan sistemas completos para la adquisición y análisis de movimiento, donde incluyen hardware y software, sin embargo, para el desarrollo de este informe se considero sistemas BTS y Vicon.

Los laboratorios de marcha desempeñan un papel fundamental en el estudio y análisis de los patrones de movimiento humano durante la locomoción. Estos laboratorios utilizan sistemas de captura de movimiento y diversas técnicas para recopilar datos precisos y detallados sobre la marcha de los individuos. Es importante mencionar que este tipo de laboratorios se encuentran a lo largo de centros de rehabilitación como lo es la Teletón [14].

Los laboratorios de marcha se equipan con una serie de componentes clave para llevar a cabo un análisis preciso. Estos incluyen cámaras infrarrojas, marcadores reflectantes, plataformas de fuerzas, sensores de Electromiografía (EMG) y cámaras de vídeo [15]. Además, estos sistemas suelen incluir licencias de software especializado para el procesamiento y análisis de los datos capturados. Para la captura de movimiento hay que tener consideraciones previas como es la calibración del sistema, configuración de parámetros, establecer una rutina para el sujeto, entre muchas otras [14].

A pesar de que los laboratorios de marcha cuentan con sistemas tecnológicamente avanzados, su potencial completo no se aprovecha debido a las diferencias en el funcionamiento y los métodos de evaluación entre diferentes centros. Con el fin de superar estas diferencias y optimizar el uso de los laboratorios de marcha, resulta necesario establecer estándares que unifiquen los procesos que los componen.

1.2 Problemática

La falta de uniformidad y estandarización en los laboratorios de marcha es una problemática recurrente, que dificulta la comparación e intercambio de información entre diferentes centros de investigación y clínicas de rehabilitación. Para abordar esta situación, es crucial contar con guías estandarizadas para la adquisición y almacenamiento de datos. Estas guías estandarizadas se enfocan en mejorar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos en los laboratorios, permitiendo una mayor coherencia y consistencia en los resultados.

1.3 Motivación

El proyecto *Movement Analysis Network* es coordinado por "*MovLab - Luigi Divieti*" del Polimi y la Universidad de Concepción. Tiene como objetivos:

1. Creación de red de laboratorios de análisis de marcha.
 - Base de datos con fines educacionales.
 - Oportunidad de compartir protocolos, las mejores prácticas y metodologías realizadas.
 - Mejorar el uso del análisis de movimiento, para propósitos clínicos.
2. Generación de Base de datos común.
 - Desarrollo un sistema de inteligencia artificial basado en esta red de datos como un sistema de soporte de decisiones para la selección de tratamiento para el paciente.

Haciendo uso de los datos obtenidos de la red de Organización Internacional de Teletones (Oritel), así ayudando a la institución a mejorar sus prácticas y aprovechando al máximo el uso de los laboratorios de marcha.

La implementación de las guías estandarizadas de adquisición y almacenamiento de datos en los laboratorios de marcha contribuye a la creación de una red de datos más sólida, aportando al proyecto *Movement Analysis Network*. Estas guías permiten la comparación de información entre diferentes centros y establecen una base confiable para la recopilación y el almacenamiento de datos compartidos. Además, mejoran la calidad y la confiabilidad de los datos de marcha, lo que beneficia tanto a los profesionales como a los pacientes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Definir procedimientos estandarizados para el laboratorio de marcha a través de la creación de una guía para facilitar el uso de la tecnología, unificar los datos recolectados en la red y permitir comparaciones entre evaluaciones de marcha en pacientes de Teletón Oritel.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudio bibliográfico de la marcha y estándares aplicables.
- Levantar capacidades actuales de laboratorios de marcha en la red de Oritel, para determinar el nivel basal.
- Comprender los distintos procesamientos y softwares utilizados para la evaluación de la marcha.
- Investigar acerca de los tipos de datos existentes en la red de Oritel y evaluar plataforma común para proponer formato de datos.
- Proponer guías para estandarizar captura de datos y almacenamiento, que permita interoperabilidad.

1.5 Alcances y Limitaciones

- Sólo se considerarán procedimientos en base a sistemas de cámaras optoelectrónicas y sensores EMG.
- Sólo se utilizarán datos obtenidos de sistemas BTS *GaitLab* y Vicon.
- Se cuenta con un acuerdo firmado entre Polimi, Oritel y UdeC.

1.6 Metodología

Se llevó a cabo un estudio bibliográfico sobre el estado del arte de la marcha y su análisis, centrándose en los conceptos más relevantes y los parámetros principales que la definen. También se investigó

acerca de los laboratorios de marcha para comprender los diferentes procesos, exámenes y parámetros de evaluación involucrados.

Posteriormente, se procedió al levantamiento de capacidades actuales de los laboratorios de marcha en la red Oritel, que incluye centros en Colombia, Uruguay, Chile, El Salvador, Paraguay, Puerto Rico y México. Se aplicó una encuesta a estos centros con el objetivo de determinar su estado actual y recopilar información relevante.

Se llevaron a cabo reuniones periódicas con profesionales especializados en laboratorios basados en sistemas ópticos, como BTS y Vicon, para comprender los diferentes procesamientos y softwares utilizados en cada sistema. Esta información se complementó con un estudio personal sobre los tipos de datos obtenidos a partir del examen de marcha, con el fin de proponer una plataforma común que permita comparaciones entre los datos.

Para la proposición de las guías estandarizadas, se decidió trabajar en dos partes. La primera parte consiste en una guía para la adquisición de datos, que busca estandarizar el proceso, recomendando una organización para la recolección de datos, considerando los siguientes puntos: calibración del sistema, configuración de parámetros, calibración para paciente, rutina e interpretación de resultados. En la segunda parte, se desarrolló una guía para el almacenamiento de datos, con el objetivo de definir un formato de almacenamiento sencillo y formas de exportación que permitan la visualización de los archivos en diferentes softwares, facilitando así la comparación de datos.

Mediante esta metodología, se busca establecer guías estandarizadas que promuevan la coherencia y comparabilidad de los datos obtenidos en los laboratorios de marcha, fomentando así la colaboración e intercambio de información en la red Oritel.

Capítulo 2 : Análisis de la marcha.

2.1 Introducción

Este capítulo ofrece una visión completa del estado del arte del análisis de la marcha, abordando conceptos fundamentales relacionados con su estudio. Se presentaron los conceptos básicos del ciclo de marcha, sus fases y eventos, sentando las bases para comprender la complejidad del movimiento humano durante el acto de caminar.

Además, se describieron los métodos utilizados para analizar la marcha en detalle, destacando la relevancia de los sistemas basados en tecnología óptica para la obtención precisa de los parámetros principales de la marcha. Estos parámetros son cruciales para evaluar la calidad del movimiento y detectar posibles alteraciones que puedan estar relacionadas con condiciones médicas.

En el contexto de los laboratorios de Teletón, se mencionaron los sistemas específicos utilizados en el proyecto, incluyendo Vicon y BTS. Estas tecnologías han demostrado ser herramientas valiosas para el análisis de la marcha, impulsando avances en el campo de la rehabilitación y diagnóstico médico.

2.2 Ciclo de la marcha

La marcha humana se puede describir como *”Una serie de movimientos alternantes, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad”* correspondiente a uno de los movimientos cíclicos que ejecuta el organismo [5].

La acción de marcha posee 2 requisitos básicos:

- Movimiento periódico de cada pie desde una posición de soporte a la siguiente [4].
- Fuerzas de reacción de la superficie aplicadas a los pies suficientes para el soporte del cuerpo [4].

Estos requisitos se deben de cumplir independiente de la distorsión que haya.

La marcha se compone de varios ciclos, donde un ciclo inicia cuando talón del pie está en contacto con el piso y finaliza cuando el talón de este mismo pie vuelve a contactar el piso [5], cabe agregar que

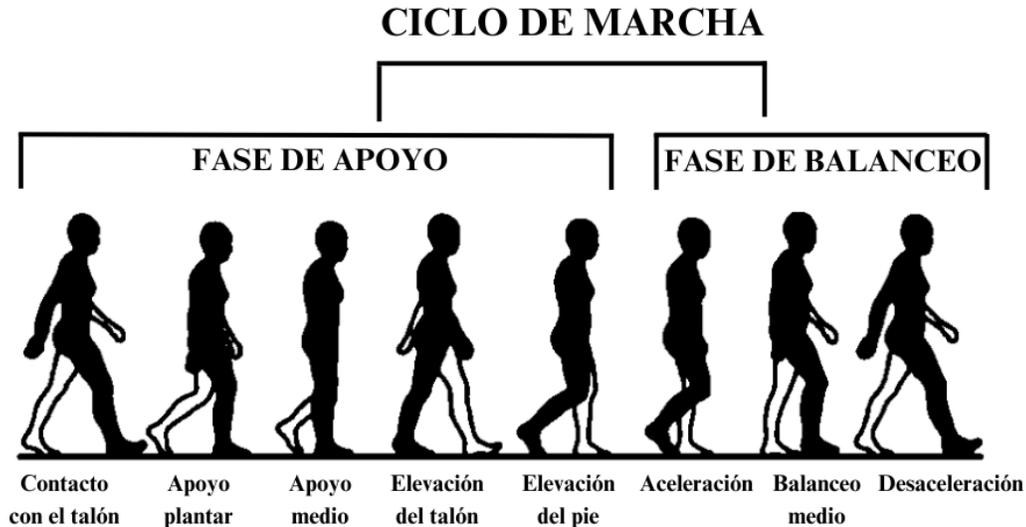


Fig. 2.3: Esquema de fases y subfases de la marcha, basado en [4].

2.2.1 Fases y Subfases de la marcha

2.2.1.1 Fase de Apoyo

El apoyo sencillo corresponde a cuando solo una pierna está en contacto con el piso y apoyo doble cuando ambas piernas están en el suelo, cabe mencionar que mientras se camine con mayor velocidad, menor será el intervalo de apoyo doble hasta llegar a su ausencia, que vendría a ser la acción de correr [5].

La fase de apoyo se puede identificar 3 intervalos. (1) *Apoyo doble inicial o primer apoyo doble*, el cual corresponde al inicio de un ciclo de la marcha, donde ambos pies están en contacto con el piso. (2) *Apoyo simple o soporte de una extremidad*, corresponde cuando todo el peso descansa sobre una pierna, mientras que la otra se encuentra en fase de balanceo. (3) *Apoyo doble Terminal o segundo apoyo doble*, donde nuevamente ambos pies se encuentran en contacto con el suelo. Además la fase de apoyo se compone de 5 eventos, los cuales se pueden de ver en la Fig 2.3 [16].

1. *Contacto con el talón:* Corresponde al punto donde la posición del centro de gravedad es más baja [4].
2. *Apoyo plantar:* Momento donde la superficie plantar toca el suelo [4].
3. *Apoyo medio:* Sucede cuando el pie que se encuentra en fase de balanceo, sobrepasa al pie en fase de apoyo y el centro de gravedad del cuerpo está en su posición más alta [4].

4. *Elevación del talón:* Ocurre cuando el talón deja de estar en contacto con el piso [4].
5. *Elevación del pie:* Termina la fase de apoyo cuando el pie deja de estar en contacto total con el suelo [4].

2.2.1.2 Fase de Balanceo

La fase de balanceo ocurre cuando el pie no está en contacto con el piso.

1. *Aceleración:* Inicia cuando el pie deja el suelo y continua hasta la etapa de balanceo medio. En este evento se activan los músculos flexores de la cadera para acelerar la pierna [4].
2. *Balanceo medio:* Ocurre cuando el pie que balancea pasa directamente debajo del cuerpo, coincidiendo con la posición media del otro pie en fase de apoyo [4].
3. *Desaceleración:* describe el momento donde acción de los músculos al reducir la velocidad de la pierna y estabilizar el pie en preparación para el próximo contacto inicial [4].

Para un estudio completo de la marcha se realiza un examen físico, donde se obtienen las medidas antropométricas del sujeto y también se realiza un análisis cinemático de los parámetros principales que lo define, en los tres planos existentes, es decir, plano sagital, plano frontal y transversal, además de este es complementado análisis cinético y con estudios de EMG, conceptos que se explican más adelante. Es importante la mención de los laboratorios de marcha, ya que se han vuelto indispensable para el análisis biomecánico del ser humano, permitiendo observar de manera detallada los parámetros y eventos de la marcha.

2.3 Parámetros temporales, espaciales y espacio-temporales que describen la marcha

Los parámetros que describen la marcha se pueden dividir en 3 categorías, estos siendo: los parámetros temporales, espaciales y los espacio-temporales. Estas medidas suelen ser representativas cuando los factores que afectan la marcha se presentan de forma constante, por lo que entrega información detallada del movimiento [17].

- *Parámetros temporales:* apoyo, balanceo, doble apoyo, duración de la zancada, duración de soporte o apoyo, periodo de balanceo, cadencia [17].

- *Parámetros espaciales*: longitud de zancada, longitud de paso, ancho de paso, ángulo del paso o ángulo de la marcha [17].
- *Parámetros espacio-temporales*: velocidad, velocidad balanceo, velocidad media [17].

La marcha de una persona se caracteriza por diversas características que la distinguen de las demás, como se ha demostrado en los parámetros mencionados previamente. Entre estos, los más comunes son los siguientes:

- *Largo del paso*: que corresponde a la distancia entre el punto inicial que un pie entra en contacto con el suelo y el punto inicial de contacto con el pie contrario, como se muestra en la figura 2.1 [1].
- *Largo de paso completo*: el cual corresponde a la distancia de un ciclo de la marcha. Es decir, la distancia entre el punto en que un pie contacta el piso con el punto de cuando nuevamente contacta con el suelo del mismo pie [1].
- *Velocidad*: es el producto entre la cadencia y el largo el paso [1].
- *Marcha base para caminar*: es la suma perpendicular de distancias del punto inicial de contacto del pie derecho e izquierdo con la línea de progresión de avance [1].
- *Ángulo de progresión del pie*: Se define como el ángulo entre la línea que va del calcáneo al segundo metatarsiano y la línea de progresión media desde el apoyo del talón hasta el despegue de la punta del pie durante la fase de apoyo de la marcha para cada paso [18].

El rango promedio de los parámetros recién mencionados, se pueden visualizar en la Tabla 2.1, tanto como para hombres como para mujeres adultos.

2.4 Métodos de estudio de la marcha

Para el análisis de la marcha, se mencionan diversos estudios que permiten cuantificar y hacer medible e interpretable dicho análisis.

Tabla 2.1: Valores promedio de parámetros de la marcha [1].

	Hombres	Mujeres
Largo del paso (cm)	79	66
Largo de paso completo(cm)	158	132
Cadencia (pasos/min)	117 (60-132)	137 (60-132)
Velocidad (m/seg)	1.54	1.31
Marcha base para caminar (cm)	8.1	7.1
Ángulo del pie (°)	7	6

1. *EMG*: mide la actividad muscular, mediante señales eléctricas musculares al momento de contracción. Medida útil para evaluar la dinámica de las articulaciones [19].
2. *Antropometría*: se define como la medición del cuerpo humano. Sin embargo, en términos de un análisis de marcha, se necesita principalmente longitudes de los segmentos de las extremidades inferiores [19].
3. *Cinemática*: describe movimientos del cuerpo en conjunto y los movimientos relativos de las partes del cuerpo durante las diferentes fases de la marcha [14]. La información cinemática se obtiene a partir del uso de cámaras infrarrojas para captar el movimiento, ejemplificado en la Fig.2.4.
4. *Cinética*: fuerzas que producen el movimiento, como la gravedad, contracción muscular, inercia, reacciones del suelo [14]. En los laboratorios de marcha la cinética se obtiene de las plataformas de fuerza, ilustrado en la Fig.2.4.

Si bien un análisis de la marcha se compone de estos 4 estudios principalmente, para un examen más completo y específico se apoyan de herramientas como de reportes de los parámetros tanto temporales como espaciales y además de la visualización de la marcha del paciente [14].

En la Tabla 2.2 se pueden observar los parámetros espacio-temporales, cinemáticos y cinéticos a modo resumen de las consideraciones para un análisis de la marcha.

2.5 Indicadores de la marcha

Los indicadores de la marcha proporcionan una medida numérica que resume la calidad de la marcha y la gravedad de las desviaciones en múltiples parámetros cinemáticos y/o cinéticos. Existen

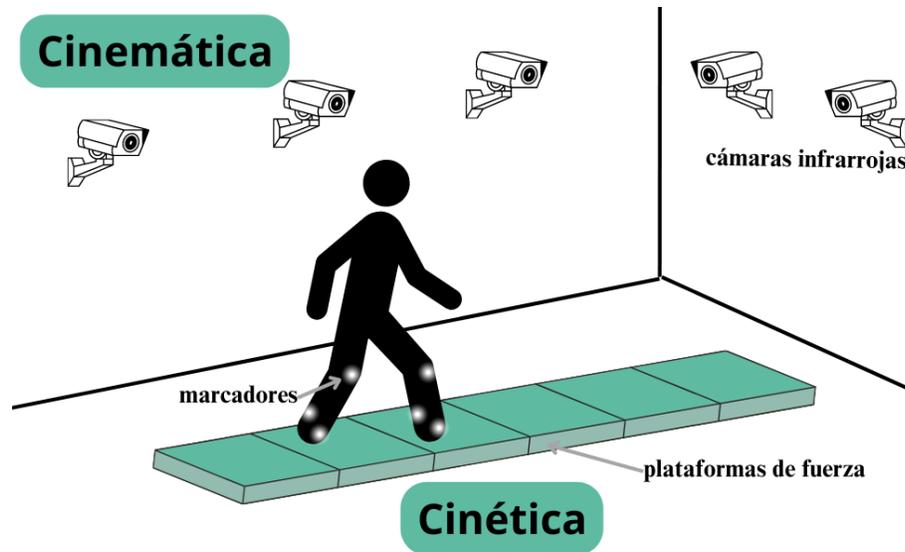


Fig. 2.4: Representación métodos de estudio de la marcha, basado en [6].

varios, sin embargo, dentro de los más utilizados se encuentran los que están a continuación.

2.5.1 Gillette Gait Index (GGI)

También conocida como *Normalcy Index (NI)* es una medida obtenida a partir de un conjunto de 16 variables independientes, parámetros que describen la marcha del paciente. Donde de estas 16 variables, 13 son variables cinemáticas y 3 corresponden a parámetros temporales: momento en que ocurre la elevación del pie, la velocidad de marcha y la cadencia [20].

Los 16 parámetros normales crean un espacio de 16 dimensiones, donde el origen corresponde a la referencia normal. Por lo que ya teniendo los parámetros solicitados para el indicador, se puede obtener la ubicación del paciente en este espacio, permitiendo calcular la distancia entre la posición del paciente y el origen, así obteniendo el GGI [20].

2.5.2 Gait Deviation Index (GDI)

Esta medida considera nueve variables cinemáticas, las cuales son: tres ángulos de la pelvis (oblicuo, inclinación y rotación), tres ángulos de cadera (aducción - abducción, flexión - extensión, rotación), ángulo de rodilla (flexión - extensión) y dos ángulos de pie (dorsiflexión - plantiflexión, progresión). Si bien considera estas nueve variables, por cada uno de éstas se extrae 51 muestras, por lo que en total se trabaja con 459 datos [21].

Tabla 2.2: Parámetros de la marcha [2].

ESPACIO-TEMPORALES	CINEMÁTICOS	CINÉTICOS
Temporales	Valores de los ángulos articulares con el paciente de pie (Valores <i>offset</i>).	Gráficas de momento en las articulaciones.
Tiempo en fase de soporte (ms)	Plano frontal	Gráficas de potencias en las articulaciones.
Tiempo en fase de balanceo (ms)		
Tiempo de soporte (% del ciclo)	Oblicuidad de la pelvis.	Fuerza de reacción antero-posterior.
Tiempo de balanceo (% del ciclo)		
Duración del ciclo o zancada (ms)	Aducción-abducción de cadera.	Fuerza de reacción medio-lateral.
Cadencia (pasos/min)		
Duración de doble soporte (ms)	Plano sagital	Fuerza de reacción antero-posterior.
Porcentaje de doble soporte (% ciclos)		
Espaciales	Flexo-extensión de cadera	Fuerza de reacción medio-lateral.
Largo del paso (ms)	Flexo-extensión rodilla	
Longitud del ciclo (mm)	Dorsiflexión tobillo	Fuerza de reacción vertical.
Ancho del paso (mm)	Plano transversal	
Espacio-temporales	Rotación de la pelvis	Gráficas del centro de presión antero-posterior.
Velocidad (m/s)	Rotación cadera	
Velocidad de balanceo (m/s)	Rotación rodilla	
Velocidad media (m/s)	Ángulo de progresión del pie.	

Esta medida puede tomar valores entre el 0 y 100, donde 100 indica que ausencia de patología [21].

2.5.3 *Gait Profile Score (GPS)*

GPS es a una medida única que resume la desviación general de los datos cinemáticos de marcha en relación con los datos normativos. El cual representa el área total de diferencia (diferencia cuadrática media) entre dos trazos. Esta medida se puede descomponer por nueve componentes claves de la marcha los que representan el perfil de análisis de movimiento, tal como viene del inglés *Movement Analysis Profile (MAP)*, para obtener el *Gait Variable Score (GVS)* [22].

La descomposición de estas nueve componentes son: pelvis anterior/posterior, pelvis rotación interna/externa, pelvis arriba/abajo, flexión/extensión de cadera, aducción/abducción de cadera, rotación

interna/externa de la cadera, flexión/extensión de rodilla, flexión dorsal/plantar del tobillo, rotación interna/externa del pie [23].

2.6 Laboratorio de análisis de movimiento - Sistemas basado en tecnología óptica

2.6.1 Hardware de los Laboratorios de marcha

Un laboratorio de análisis de movimiento está compuesto principalmente por cámaras infrarrojas y marcadores, ya que son los componentes que permiten el estudio de la cinemática, sin embargo, son complementadas con plataformas de fuerzas, para el análisis cinético, sensores EMG, para la actividad muscular y cámaras de vídeo, como apoyo al análisis cinemático.

- *Cámaras Infrarrojas:* Estas cámaras emiten una luz infrarroja paralela al eje de esta, así pudiendo captar la luz reflejada por los marcadores, como imágenes [7]. Generalmente un laboratorio de marcha posee al menos 8 cámaras infrarrojas, ubicadas en lugares estratégicos para definir el campo de evaluación, sin embargo, igualmente existen sistemas con 6 cámaras.
- *Marcadores:* Existen marcadores de dos tipos, los marcadores activos y pasivos, donde este último son los más utilizados en la actualidad.
 1. *Marcadores Activos:* Estos son menos comunes, pero igualmente utilizados. Estos se adhieren al paciente están unidos por cables, lo que es una ventaja y desventaja, ya que dificulta su operación, pero tiene una conexión más directa, por lo que se sabe su ubicación con precisión. Emiten activamente una luz infrarroja a partir de la cual las cámaras generan una imagen [7].
 2. *Marcadores Pasivos:* son esferas con revestimiento retroreflectante, que vienen en distintos tamaños. Estos se adhieren al sujeto en evaluación, normalmente posicionados en base a algún protocolo convencional [7].
- *Plataformas de fuerza:* se utilizan de manera simultánea para obtener un registro de las fuerzas de reacción del suelo y los momentos generados durante la fase de apoyo de la marcha [24].
- *Cámaras de vídeo:* entrega información cualitativa que complementa el análisis clínico de la marcha [14]. Los vídeos se analizan de forma sincrónica con los movimientos obtenidos por el sistema basado en tecnología óptica.
- *Sensores de EMG:* permiten identificar la sincronización e intensidad muscular relativa [25].

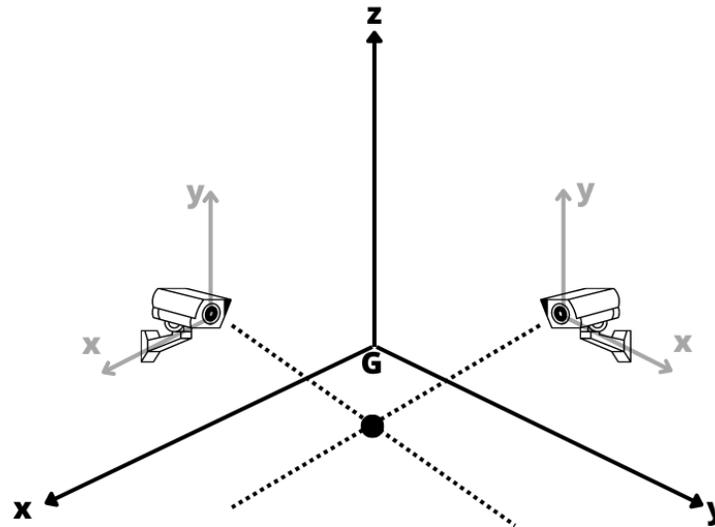


Fig. 2.5: Reconstrucción de la posición del centro, a partir de 2 cámaras infrarrojas, basado en [7].

Los sistemas ópticos de captura de movimiento hacen uso de múltiples cámaras infrarrojas para seguir la posición de los marcadores adheridos a segmentos del cuerpo del sujeto. Donde la luz reflejada de los marcadores, son capturadas por las cámaras como una imagen en 2D, sin embargo, para poder obtener la posición 3D el marcador debe ser capturado por al menos 2 cámaras, así siendo posible la reconstrucción de la posición del centro del marcador, en la Fig.2.5, se puede observar la representación [7].

2.6.2 Sistemas ópticos de captura de movimiento

En las Teletones pertenecientes a la Oritel, se utilizan principalmente 2 tipos de sistemas para el laboratorio de marcha, estos siendo BTS *GaitLab* y tecnología de Vicon. Estos sistemas de tecnología que poseen el hardware y licencias de software que permiten una evaluación completa y detallada.

2.6.2.1 BTS *GaitLab*

BTS *Bioengineering* es una empresa italiana que ofrece productos con tecnología avanzada, donde uno de ellos es BTS *GaitLab*, el cual corresponde a un laboratorio de marcha equipado.

BTS *GaitLab* es un laboratorio completo para análisis movimiento clínico, correspondiente a un sistema de captura de movimiento donde usa tecnología fabricada por la misma compañía. Los datos que entrega el sistema son los necesarios para identificar y analizar problemas de marcha y postura,

anomalías y fallas musculares, que no serían medibles con exámenes clínicos normales.

El sistema consiste en 8 cámaras infrarrojas, 6 placas con sensores, 8 sondas EMG inalámbricas. Incluyen licencias de softwares que permiten el procesamiento de datos, estos están equipados con varias librerías que contienen protocolos para el posicionamiento de marcadores, tales como Davis, Helen Hayes, entre otros; también contiene librerías para el análisis cinemático y de EMG dinámico. Permite la obtención de vídeos del sujeto en varios ángulos de forma simultánea, el cálculo de variables como *GDI* y *GPS*, entre otras [8].

El laboratorio de marcha BTS *GaitLab* posee la licencia para el software Smart Clinic. Este software es utilizado para el procesamiento de datos proveniente de este sistema [8], el cual dispone de varias herramientas que facilita el cálculo de parámetros y la aplicación de protocolos, lo que permite un mejor análisis del movimiento.

2.6.2.2 Vicon

Otro de los sistemas utilizados en los laboratorios de marcha de Teletón es Vicon.

Vicon *Motion Systems* es una empresa fundada en el Reino Unido, que contribuye con tecnología innovadora, como lo son los sistemas de captura de movimiento y tecnología de análisis de movimiento.

El sistema óptico de captura de movimiento de Vicon es un laboratorio de biomecánica, que está basado en un sistema de detección de movimiento, este siendo de alta precisión [26]. La tecnología es diseñada y desarrollada por la misma empresa, la cual proporciona un sistema de captura de movimiento para distintos fines como: el estudio de deporte, la biomecánica, etc.

El hardware proporciona un sistema de captura de movimiento óptico y uno de detección inercial, igualmente ofrece licencias para softwares, herramientas y dispositivos para la obtención de datos más precisos.[26]

En el caso del sistema ofrecido por Vicon se utiliza principalmente el software NEXUS, el cual es una herramienta de procesamiento y modelado integral, que permite la captura de datos sobre marcha clínica biomecánica [26]. De este software se obtienen resultados de modelos clínicamente válidos.

Una de las ventajas de trabajar en conjunto con Vicon es que los modelos actuales son compatibles con los modelos antiguos, no siendo necesario el reemplazo de todo el equipo adquirido.

2.6.2.3 Otros

Existen otras marcas de sistemas ópticos de captura de movimiento como Optitrack [27] y Codamotion [28], sin embargo, en este informe no se profundizará en otros sistemas, ya que para los centros participantes de este proyecto solo hacen uso de Vicon o BTS, esto se obtuvo a partir de la encuesta realizada, la cual está disponible en el Anexo C.

2.7 Aplicación Clínica

Un laboratorio de marcha proporciona una evaluación detallada del movimiento, lo cual es de gran importancia debido a su utilidad como herramienta diagnóstica. Además, permite evaluar la respuesta y evolución del paciente frente a un tratamiento y facilita el seguimiento clínico a largo plazo de pacientes sometidos a cirugía. [19].

Un laboratorio de análisis de movimiento está enfocado en evaluar pacientes con patologías que afectan el sistema motor, principalmente que altera la marcha [14]. En la encuesta realizada a los centros de Teletón, se mencionaron las siguientes patologías: parálisis cerebral, trastornos degenerativos, enfermedades neuromusculares, enfermedad vascular cerebral, artrogriposis múltiple congénita y traumatismo craneoencefálico.

En este capítulo se indagó sobre las más comunes que se suelen evaluar estos laboratorios.

2.7.1 Parálisis Cerebral

La parálisis cerebral es la causa más frecuente de discapacidad motora. Corresponde a un trastorno que se presenta en la primera etapa de la vida, es decir, la infancia, y persiste a lo largo del tiempo. Este trastorno presenta secuelas neurológicas que afectan la esfera motora [29], es difícil poder generalizar características, ya que engloba bastantes repercusiones y alteraciones motoras.

El laboratorio de marcha se ha vuelto indispensable y fundamental para comprender las anomalías que este trastorno presenta, por lo que permite planificar y proponer tratamientos que se adapten al individuo, cabe agregar que este tipo de análisis ha permitido disminuir considerablemente la cantidad de intervenciones quirúrgicas que deben someterse. Si bien la parálisis cerebral es un trastorno que persiste con el tiempo, este puede ser tratado, con el fin de reducir las secuelas existentes [14].

La evaluación completa en este tipo de pacientes permite definir si requieren ayuda de alguna ortésis, para la corrección de algún movimiento, además de la definición del tratamiento que deberá realizar [14].

2.7.2 Marcha idiopática en punta de pies

La marcha idiopática en punta de pies es una patología que se presenta en infantes, consiste en la acción de caminar apoyando únicamente la punta de los pies[30]. Se diagnóstica una vez que este patrón persiste una vez el infante haya cumplido 3 años de edad [14].

El estudio de marcha brinda herramientas para poder definir el nivel de severidad de la condición, realizar seguimiento evaluando las mejoras, para posibles tratamientos [14].

2.7.3 Espina bífida

La espina bífida es una malformación congénita consistente en el cierre incompleto del tubo neural, por lo que produce un cierre incompleto de las vértebras. Esta malformación conlleva consecuencias que varían por individuo, siendo las más comunes: parálisis sensitivomotora de las extremidades inferiores, deformaciones ortopédicas, osteoporosis con riesgo elevado de fractura espontánea de las extremidades inferiores y problemas genitosexuales [31].

Realizando la evaluación de análisis de la marcha se comprenden varios aspectos de la patología, pudiendo mejorar la movilidad de las regiones que estén afectadas, con la finalidad de evitar compensar en regiones sanas, así evitando posibles alteraciones a futuro [14].

2.8 Discusión

En este capítulo se ha presentado el marco teórico fundamental para el estudio de la marcha, destacando la importancia de obtener los parámetros principales relacionados con los aspectos espacio-temporales, temporales y espaciales. Asimismo, se mencionó que la evaluación de la marcha involucra el análisis de variables como (EMG), cinemática, cinética y antropometría del sujeto en estudio [2]. Estos parámetros son fundamentales para realizar un análisis completo de la marcha y asegurar que sean considerados adecuadamente en las guías.

La determinación de indicadores a partir de las variables y parámetros mencionados permite re-

sumir la desviación de la marcha del paciente en comparación con un patrón de marcha considerado normal. Esta comparación es de vital importancia para identificar posibles desviaciones o alteraciones en el patrón de movimiento que puedan requerir atención médica o intervención de rehabilitación.

En el proceso de obtención de los parámetros de interés, se utiliza tecnología óptica a través de sistemas basados en cámaras infrarrojas. Estos sistemas proporcionan información detallada sobre la evaluación del paciente y desempeñan un papel crucial como herramientas diagnósticas. Además, permiten evaluar la evolución de un paciente a lo largo del tratamiento, lo que amplía su utilidad clínica y resulta esencial para el seguimiento de la marcha en el contexto de la rehabilitación.

Es relevante mencionar que existen diversas empresas que ofrecen sistemas de análisis de marcha basados en tecnología óptica y para este informe, en particular, se centró en la investigación y trabajo con BTS *GaitLab* y Vicon como los sistemas de interés. Estas herramientas tecnológicas brindan valiosa información que complementa las guías de adquisición y almacenamiento de datos, fortaleciendo así el análisis de la marcha y enriqueciendo las capacidades de los laboratorios.

Capítulo 3 : Adquisición y almacenaje de datos.

3.1 Introducción

En el estudio y análisis de la marcha, la adquisición y almacenaje de datos son procesos cruciales para obtener información detallada y precisa sobre el movimiento del sujeto en estudio. Este capítulo se enfoca en el proceso de captura de datos mediante sistemas basados en cámaras optoelectrónicas infrarrojas.

La adquisición de datos se logra mediante la captura de secuencias de imágenes, permitiendo calcular la trayectoria de cada marcador adherido al sujeto y visualizar eventos imperceptibles al ojo humano. Una vez capturados, los datos se procesan en el mismo sistema para obtener información cuantitativa y cualitativa relevante, y luego se almacenan para su interpretación posterior por el especialista.

Es importante mencionar que se trabajó con dos sistemas comerciales distintos, BTS y Vicon, lo que requirió considerar diferentes formatos de almacenaje. Para abordar esta diversidad, se estableció una plataforma común, Matlab, que permite la apertura y análisis de datos de ambos sistemas.

En este capítulo, se profundiza en cada uno de estos pasos, detallando las metodologías y consideraciones clave que garantizan la calidad y fiabilidad de los datos obtenidos en los laboratorios de marcha. El objetivo es proporcionar una guía práctica y estandarizada para la adquisición y almacenaje de datos, optimizando el análisis de la marcha y su aplicación clínica en el diagnóstico y tratamiento de patologías relacionadas con el movimiento.

3.2 Estandarización de adquisición de datos

Para la estandarización de adquisición de datos hay que considerar los tres pasos preliminares que se llevan a cabo en un análisis de marcha utilizando sistemas basados en cámaras optoelectrónicas infrarrojas, en la Figura 3.1 se presentan los pasos preliminares. Desde la adquisición de datos durante el examen en el laboratorio, pasando por el procesamiento en el software de análisis de movimiento, hasta la generación del reporte final, que contiene la información interpretada por el especialista.

Al momento de realizar un nuevo estudio en el laboratorio generalmente se cuenta con dos a tres



Fig. 3.1: Pasos preliminares de análisis de la marcha, basado en [8].

profesionales, equipo que puede estar compuesto por fisiatras, kinesiólogos e ingenieros biomédicos. La toma de un examen de rutina dura alrededor de 2 horas, donde primero se realiza un examen físico, donde se obtienen medidas antropométricas del sujeto, tales como el peso, estatura, ángulos internos y externos de articulaciones, largo de segmentos corporales, entre otros [2]. En el Anexo A se puede observar con más detalle de los parámetros que se miden en el examen físico. Igualmente es importante mencionar que se requiere del historial médico del paciente y que en la mayoría de los casos se realizan exámenes complementarios, como radiografías, antes de realizar un nuevo estudio, esto debido a que el laboratorio de marcha es una herramienta de diagnóstico y también evalúa la evolución del paciente luego de algún tratamiento, por lo que toda información complementaria es útil [19].

3.2.1 Configuración de parámetros

Antes de la adquisición de datos se debe realizar una configuración de parámetros, donde primero se debe generar un nuevo ensayo en blanco en el software correspondiente para el sistema, en el cual se ingresan los datos personales del paciente y luego se deben de ajustar los parámetros de adquisición tales como: la frecuencia de adquisición de los marcadores, sensores de EMG y de las plataformas de fuerza, igualmente se debe definir que protocolo se utilizará para la colocación de marcadores, ya que esto depende de que se quiere evaluar y cual es parámetro de interés [2]. Cabe mencionar que la frecuencia de muestreo dependerá del movimiento evaluado, mientras más rápido sea el movimiento debería de aumentar la frecuencia, sin embargo, para la evaluación de la marcha a una velocidad normal, se recomienda utilizar 100[Hz], lo cual coincide con el valor dado por los especialistas de BTS como de Vicon [32].



Fig. 3.2: Varilla con marcadores para calibración sistema Vicon [9]

3.2.2 Calibración del sistema

Antes de hacer exámenes en el laboratorio de análisis de movimiento, se debe de realizar la calibración del sistema, este es recomendable hacerlo al menos una vez al día o luego de algún incidente que haya producido el movimiento de cámaras [14].

Objetivos de este proceso:

1. Definir el volumen.
2. Verificar reconocimiento de las cámaras.
3. Definir el origen.

En este proceso se define el volumen, es decir, el espacio de trabajo, tal como se puede observar en la Fig.3.3; donde este volumen dependerá de que se quiere analizar, debido a que las cámaras se calibran en base a este, por ejemplo en la Fig.3.3 está definido para una evaluación de marcha de un paciente, en el cual además se reconocieron las plataformas de fuerza y sus direcciones. En este proceso se verifica el reconocimiento de cámaras y de marcadores, normalmente haciendo uso de una varilla con marcadores, en la Fig.3.2 se observa la varilla utilizada para calibración en sistema Vicon [9]. El profesional debe seguir el manual de instrucciones según el sistema que posea. Finalmente, se linealizan las cámaras y queda calibrado el sistema, listo para el ingreso del paciente [2].

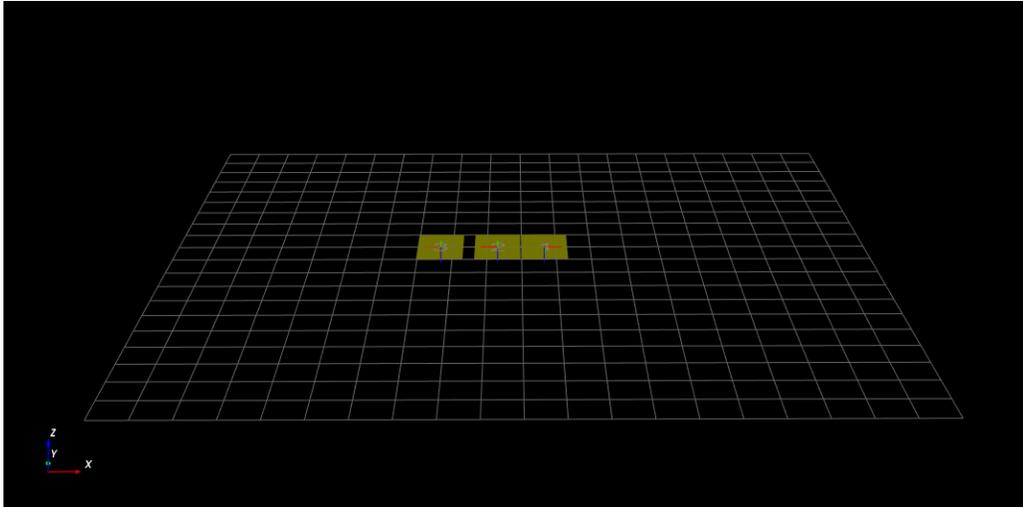


Fig. 3.3: Definición del volumen para una evaluación de marcha. Captura de pantalla de plataforma Mokka.

3.2.3 Calibración para paciente

Para la calibración para el paciente se requiere de las medidas antropométricas que se muestran en el Anexo A. En la calibración para el paciente se deben colocar de forma correcta los marcadores, estos pueden ser posicionados según protocolos convencionales, tales como: Davis, Helen Hayes, *Plug-in gait*), los cuales se encuentran en el Anexo B, o posicionar los marcadores utilizando protocolos funcionales, estos se basan en una calibración dinámica y cada vez son más utilizados. Hay que tener en consideración que para poder generar una articulación se requieren tres marcadores no colineales por lo menos [7]. Este paso corresponde uno de los más meticulosos, ya que es el que tiende a más errores, que luego se presentan en los parámetros cinemáticos, por lo que es un punto crítico en la adquisición de datos [33]. Se aconseja tomarse el tiempo necesario para la correcta colocación de marcadores.

En el caso que se complemente el análisis de la marcha con el uso de sensores EMG, también deben de ser colocados, sin embargo, no existen protocolos establecidos como es el caso de los marcadores, en cambio algunos los profesionales los colocan según conocimiento propio y experiencia; otros se apoyan de la normativa *Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM)*, el cual corresponde a un proyecto del Programa de Investigación y Salud Biomédica de la Unión Europea, que posee como objetivos: (i) Facilitar el intercambio útil de datos y experiencias. (ii) Integrar la investigación básica y aplicada sobre sensores EMG [34].

Luego de la colocación de los marcadores hay que verificar estos sean captados de forma correcta por las cámaras a través del software utilizado, es decir, tanto la lectura como del posicionamiento de estos.

3.2.3.1 Posicionamiento de marcadores

Para el posicionamiento de marcadores existen variados protocolos, dentro los más populares está el protocolo de Davis, de Helen Hayes y *plug-in gait*, estos se encuentran en el Anexo B. Además no está de más mencionar que en ocasiones los profesionales modifican estos protocolos convencionales según la experiencia. Los marcadores son posicionados de forma que estos al unirlos representen la trayectoria de marcha de una persona, por lo que la localización principal de los marcadores es en las articulaciones [2].

3.2.4 Rutina

Igualmente antes de iniciar la captura de datos se realiza una evaluación subjetiva, la cual consiste en la observación de los movimientos del paciente, se les puede solicitar que realicen evaluaciones específicas, tales como: Test de Romberg, Apoyo monopodal, Test de alcance funcional, Test Tinetti, Test *get up and go*, Test de la tarea doble, entre otros [35].

Una vez definido lo anterior se comienza a recolección de datos, donde se le solicita al paciente realizar una serie de ejercicios, como puede ser: caminar en línea recta, caminar en reversa, saltar, sentarse, recoger algún objeto etc. Esto se define según lo que se desea estudiar y la capacidad física de la persona. En toda rutina mínimo se requiere la adquisición de un ciclo completo de la marcha, sin embargo, se recomienda que el largo de la pista permita realizar más de un ciclo, para la elección del ciclo más representativo del paciente, es decir, el con mayor naturalidad. Durante la rutina las cámaras infrarrojas captan la luz reflejada por los marcadores adheridos al sujeto en estudio. Generalmente la adquisición de datos por marcadores es apoyada con los vídeos obtenidos del examen, donde luego se observan de forma sincrónica, para obtener información adicional [2] [7] [14].

Dentro de lo posible en la rutina, el paciente que utiliza órtesis debe tratar de realizar el examen sin uso de ellas y/o asistencia, esto con el fin de obtener el movimiento más real de la persona. En algunas ocasiones se les solicita a pacientes fijar otra fecha para la realización del estudio, esto se debe a que los movimientos obtenidos deben ser lo más representativo para la persona, sin embargo, normalmente en una primera instancia no se obtiene lo deseado, esto se puede dar por incomodidad, ya que hay profesionales observando la rutina de ejercicios o no hubo un buen entendimiento de instrucciones, así resultando una mala adquisición de datos.

Ya cuando se cree que se obtuvo una buena adquisición, se detiene el estudio y se inicia con el procesamiento de datos, el cual se realiza en el software que viene incluido en el sistema. Estos

softwares poseen herramientas que facilitan el trabajo del procesamiento de datos.

3.2.5 Interpretación Resultados

Como resultado se obtiene un reporte con el análisis de la marcha correspondiente a parámetros temporales y espaciales, cinemático, cinético articular y electromiografía dinámica. Los reportes generados por el software permite obtener la información acerca de la eficiencia de la marcha, su grado de normalidad o la regularidad del movimiento, en base a los resultados se elige el tratamiento para continuar [2]. Destacar que los datos deben ser interpretados en conjunto, para ser comparados con los parámetros normales según el individuo, parámetros como los que se encuentran en la Tabla 2.1, con el objetivo de ver que dato está fuera de intervalo, para identificar la anormalidad y proponer un diagnóstico y tratamiento [14].

3.3 Software de Sistemas basado en tecnología óptica - Almacenamiento de datos

Luego de la adquisición de los datos para poder realizar un análisis de ellos, estos deben de ser procesados, donde cada laboratorio trabaja con un software asociado al tipo de sistema que tengan. Se recomienda etiquetar todos los marcadores, plataformas, sensores, entre otros, para luego saber con exactitud que se está trabajando.

Estos softwares permiten observar los datos obtenidos del estudio cinemático, cinético y de los sensores EMG, sincronizados, con el fin de representar la trayectoria más real para su futuro análisis. Estos datos después son exportados para almacenarlos como registro para futuras comparaciones.

3.3.1 Smart Clinic

Smart Clinic corresponde al software cuya licencia incluye BTS *GaitLab* [8]. Se hace uso de la plataforma para facilitar el procesamiento, el cual permite obtener un reporte cinemático en los tres planos (frontal, sagital y transversal).

Algunas de las funciones y características que ofrece BTS Smart Clinic incluyen:

1. Captura de datos: El software permite la captura de datos de movimiento a través de sistemas de cámaras ópticas infrarrojas. Estos datos se obtienen al colocar marcadores reflectantes en puntos

estratégicos del cuerpo del sujeto en estudio [8].

2. Procesamiento y análisis de datos: BTS Smart Clinic procesa las secuencias de imágenes capturadas para calcular la trayectoria y posición de los marcadores a lo largo del tiempo. Con esta información, se pueden analizar los parámetros espaciales y temporales relacionados con el movimiento durante la marcha [8].
3. Generación de informes: El software puede generar informes detallados y personalizados sobre los resultados del análisis de movimiento. Estos informes son una herramienta valiosa para el diagnóstico y seguimiento de pacientes, ya que proporcionan información objetiva sobre el rendimiento y la evolución del movimiento [8].
4. Interfaz amigable: BTS Smart Clinic ofrece una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, lo que facilita el proceso de captura y análisis de datos para los profesionales de la salud [8].

En este software antes de dar inicio con el procesamiento de un nuevo estudio, primero se debe definir la edad del paciente para clasificar si el sujeto corresponde a un niño o adulto, ya que los parámetros estandarizados para el rango etario son distintos. Luego esta la opción de agregar observaciones del individuo en estudio, como pudiese ser una patología, si hizo uso de alguna órtesis en el examen, entre otros.

Una vez ya ingresados los datos del paciente, se da inicio al procesamiento, donde primero se debe seleccionar el protocolo utilizado para la localización de los marcadores, para así poder identificarlos dentro del programa, después se les asigna etiquetas a cada uno de estos puntos. Estos marcadores se deben unir formando la silueta del sujeto que está siendo evaluado. Luego se recomienda verificar que la simulación cumpla con la rutina indicada en el examen, para proceder con el cálculo de los parámetros.

Para que el programa pueda calcular todos los parámetros necesarios para hacer el análisis completo, se deben identificar los eventos de la marcha de forma manual, es decir, definir el momento en que se cumple un ciclo de la marcha, momento en que se levanta el pie, entre otros; eventos que se describen en el Capítulo 2 de la sección 2.2.1.

Luego de que el software calcula los parámetros se debe seleccionar el estudio más consistente, en otras palabras, que represente mejor la marcha del sujeto. Para aquello hay que realizar una comparativa entre los estudios obtenidos a partir del examen, una vez elegido se procede escoger el tipo de reporte, este dependerá de lo que se desea observar, pudiendo ser parámetros temporales, parámetros

espaciales, gráficas cinemáticas, análisis dinámico, análisis de EMG, tablas que indiquen que si el perfil de la marcha está dentro de los parámetros estandarizados, entre otros.

3.3.1.1 Extensión de archivo TDF

Formato para almacenar datos de movimiento capturados durante el análisis de marcha haciendo uso de Smart Clinic. Este archivo contiene la información 3D del estudio, los datos de plataforma de fuerza, señales de EMG, entre otros [36]. La apertura de este tipo de archivo es más compleja debido a la poca accesibilidad de hay, ya que no hay plataforma pública que permite abrirlo de forma directa, por lo que hay que evaluar otras posibilidades, tales como: extracción de datos o conversión de formato.

3.3.1.2 Extensión de archivo EMT

Corresponde a un archivo texto, por lo que se puede visualizar por distintas plataformas, como Excel, ya que están en formato tabla [36]. El software Smart Clinic permite exportar datos de forma específica en este tipo de archivo, es decir, que puede exportar según lo que se quiera estudiar, no necesariamente todo el estudio.

3.3.1.3 Generación de reportes de BTS

Una vez que se ha completado el análisis, BTS Smart Clinic permite generar informes completos y detallados que resumen los hallazgos y resultados obtenidos durante la evaluación de la marcha. Estos informes suelen incluir gráficos, tablas y datos numéricos, que proporcionan una visión objetiva y cuantitativa del movimiento del sujeto evaluado [8].

Para la generación de reportes en Smart Clinic de BTS, existen distintos tipos de reporte, el cual dependerá de lo que se quiera investigar, estos son generados de forma automática haciendo uso del mismo software. Los reportes tienen que analizar los parámetros espacio-temporales, la cinemática en los tres planos, cinética y la actividad de EMG [8].

En los reportes se presentan los resultados en gráficas en los tres planos obtenidos durante el ciclo de marcha, en cada una de estas gráficas se muestra los resultados tanto de la pierna izquierda como derecha, del ángulo, momento o fuerza que se este analizando.

Para poder interpretar y analizar los resultados es necesario la banda de normalidad de los parámetros cinemáticos y cinéticos, la cual se generará a partir de los indicadores, tales como: *GGI*, *GDI*, *GPS*, entre otras. Esta plantilla de base de normalidad se superpone con los resultados obtenidos, por lo que permite clasificar por periodos del ciclo de la marcha si es normal o anormal [37]. Para los resultados de los reportes de Smart Clinic, la base de normalidad debe ser seleccionada, por las presentadas por el mismo software [8].

Los informes generados por BTS Smart Clinic son una herramienta valiosa para los profesionales de la salud, como médicos, fisioterapeutas y especialistas en rehabilitación. Estos informes les permiten obtener una comprensión clara del patrón de movimiento del paciente, identificar desviaciones o alteraciones en la marcha y tomar decisiones informadas sobre el diagnóstico y el plan de tratamiento.

3.3.2 Nexus

Nexus es una plataforma de software desarrollada por Vicon, este que posee herramientas para el procesamiento y modelado de análisis de movimiento de marcha, que es utilizado en otras áreas tales como: neurociencia y control motor, ciencia de animales y biomecánica deportiva. Dispone de características automatizadas, procesamiento inteligente, controles flexibles e integración [38].

Algunas de las características y capacidades destacadas de Nexus son:

1. Captura de movimiento: Nexus es compatible con los sistemas de captura de movimiento de Vicon, que utilizan cámaras infrarrojas para rastrear marcadores colocados en el sujeto o objeto de estudio. Estos marcadores reflejan la luz infrarroja emitida por las cámaras, lo que permite medir con precisión la posición y orientación en el espacio tridimensional [38].
2. Procesamiento en tiempo real: Nexus puede procesar datos en tiempo real, lo que permite a los usuarios visualizar y analizar el movimiento en vivo mientras se lleva a cabo la captura. Esto es especialmente útil para obtener retroalimentación inmediata durante sesiones de captura y análisis en tiempo real de movimientos específicos [38].
3. Análisis y exportación de datos: Nexus ofrece una variedad de herramientas de análisis para calcular parámetros cinemáticos, cinéticos y espacio-temporales del movimiento. Los datos analizados se pueden exportar en diferentes formatos para su posterior procesamiento en otros software o para su presentación en informes y estudios científicos [38].
4. Integración con otros sistemas: Nexus es compatible con una amplia gama de dispositivos y

software de terceros, lo que facilita su integración en diferentes entornos y flujos de trabajo. Compatible con múltiples programas, estos siendo: *Vicon BodyBuilder*, Python, Matlab y *Vicon ProCalc* [38].

3.3.2.1 Extensión de archivo C3D

Los archivos con extensión C3D, *Coordinate 3D Format* es de dominio público por lo que hay mayor información y programas compatibles con este tipo de archivo, además de ser ampliamente utilizado en la industria de la biomecánica y en laboratorios de movimiento para almacenar información detallada sobre la cinemática y cinética del movimiento. Se obtiene a partir de los estudios realizados en Nexus, Vicon [36], además tal como se mencionaba anteriormente no solo es compatible con este software, sino con otras plataformas como Matlab y Python (mientras se añadan las librerías correspondientes) [38]. Este archivo contiene toda la información necesaria para la lectura, visualización y análisis de datos de movimiento [39].

Los archivos C3D contienen datos de posición tridimensional de los marcadores colocados en el sujeto o objeto de estudio, así como otros parámetros relevantes, como la fuerza, el momento y la actividad EMG registrados durante la captura de movimiento. Estos archivos almacenan datos cronometrados en función del tiempo, lo que permite una reconstrucción precisa del movimiento.

3.3.2.2 Generación de reporte de Vicon

En cuanto al software utilizado en Vicon, Nexus, este adquiere, procesa y realiza modelado de análisis de la marcha [38], sin embargo, no genera los reportes de forma automática, por lo que se requiere de ayuda de otra plataforma para la generación de ellos, en el caso de los centros participantes del proyecto que hacen uso de Vicon, se ayudan del software Polygon, herramienta igualmente disponible en el paquete de Vicon.

El software Polygon ofrece funciones para la elaboración de informes, es decir, que este permite ordenar los datos mediante etiquetas. También posibilita la revisión y anotación de datos, para así poder comparar datos superponiendo el vídeo del examen y/o exportar imágenes [40].

En el software Polygon de Vicon, después de realizar una captura de movimiento y procesar los datos, se puede generar un informe que incluye una amplia variedad de información, como:

1. Gráficos y visualizaciones: El informe puede incluir gráficos y visualizaciones que represen-

tan los datos capturados, como las trayectorias de los marcadores, las curvas de cinemática y cinética, las fuerzas y momentos registrados y otras métricas relevantes [40].

2. Resúmenes estadísticos: Se pueden incluir resúmenes estadísticos de los parámetros de interés, como promedios, desviaciones estándar y rangos, que proporcionan una visión general de las características del movimiento estudiado [40].
3. Comparaciones: El informe puede permitir comparaciones entre diferentes pruebas o sujetos, lo que facilita el análisis de la evolución del movimiento a lo largo del tiempo o entre diferentes condiciones [40].
4. Interpretación y conclusiones: El informe puede incluir una sección donde los resultados se interpretan y se proporcionan conclusiones basadas en el análisis de los datos [40].

En cuanto a la banda de normalidad, Vicon no posee una establecida por defecto para el estudio comparativo, como en BTS *GaitLab*, por lo que los centros que utilizan este sistema hacen uso de la base de normalidad creada por *Gillette Children's Specialty Healthcare* y la Universidad de Minnesota (*University of Minnesota, Minneapolis*), la cual se basa en la velocidad de marcha. El estudio realizado definió que la velocidad de la marcha influye significativamente en muchas de las medidas de interés, como los parámetros cinemáticos, cinéticos, señales de EMG y los parámetros espacio-temporales [41].

3.4 Almacenamiento de datos

Como se trabajó con dos distintos sistemas basados en tecnología óptica, es necesario plantear el almacenamiento de datos. Se investigó sobre variados software y librerías que permitiesen la apertura de archivos de extensión C3D, TDF y EMT, donde finalmente se decidió trabajar con el software Mokka y la librería BTK en la plataforma Matlab, ya que son plataformas de fácil acceso, permitiendo que este disponible para todos.

3.4.1 Software para almacenamiento

3.4.1.1 Mokka

En cuanto a la visualización de los datos se decidió trabajar con el programa Mokka, el cual es un software de código abierto que permite la lectura, edición, escritura y visualización de datos de

captura de movimiento, tales como: trayectorias, salida de modelos, eventos analógicos, placas de fuerza y vídeos de la adquisición. Mokka permite seleccionar los marcadores que se desean visualizar, modificar la velocidad de reproducción en caso que se quiera observar detalles, definir los eventos de marcha, entre otras funciones [42].

3.4.1.2 Librería BTK - Matlab

En el programa Matlab se realizó la instalación de *Biomechanical-ToolKit (BTK) Package*, el cual corresponde a una biblioteca de código abierto de lenguaje C++, que tiene por finalidad facilitar el análisis biomecánico. La librería BTK permite leer, escribir y modificar archivos de adquisición [43]. El proceso de instalación de esta librería se encuentra disponible en el Anexo D.

A continuación se comentará un proceso para la apertura y visualización de datos.

3.4.2 Almacenamiento para archivos de extensión TDF

Para sistemas BTS los archivos TDF son los que contienen la mayor información relevante, sin embargo, es bastante complejo trabajar con ellos debido a su poca accesibilidad y exclusividad, por lo que se buscó una forma de poder trabajar con ellos, donde una de las posibilidades es la extracción manual de datos o incluso la conversión del archivo a otro formato, pero al evaluar estas opciones se concluyó que la extracción manual de datos es un trabajo lento, además de propenso a errores y en cuanto a la posibilidad de conversión de datos a otro tipo de archivo esta asociada a pérdida de información y requerimientos para la adquisición de datos.

3.4.3 Almacenamiento de archivos de extensión EMT

El sistema BTS GaitLab permite la exportación de igualmente archivos EMT, el cual es más sencillo de trabajar, ya que corresponde a un archivo de texto que se puede visualizar en variadas plataformas [36], específicamente son valores separados por tabuladores.

La plataforma Matlab no permite la apertura inmediata de archivos EMT, por lo que se debió realizar un paso previo bastante simple, los archivos EMT fueron convertidos a formato .xlsx, es decir, se trabajó con archivos Excel en Matlab. En los archivos EMT se encuentran tablas que contienen la información ordenada por columnas, donde indica el número de muestras por fila y la etiqueta correspondiente por columna.

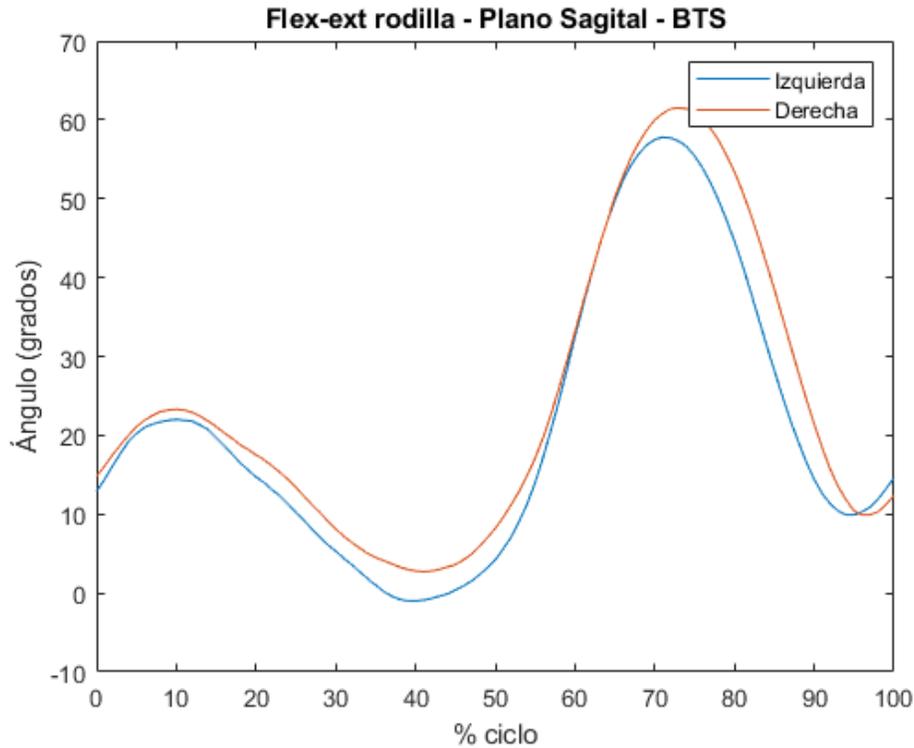


Fig. 3.4: Ángulo rodilla - Plano Sagital - BTS, obtenido en Matlab.

Se realizó la apertura de esta archivo en Matlab, donde se acotó las tablas para poder trabajar y visualizar con cada parámetro por separado. Se realizó la definición del ciclo marcha en %, el cual depende directamente de la cantidad de muestras obtenidas en el estudio.

Para la muestra de resultados se escogió un ejemplo para ángulo, potencia y momento, es decir, uno de cada uno, estos se pueden observar en la Fig.3.4, Fig3.5 y Fig3.6.

3.4.4 Almacenamiento de archivos de extensión C3D

Los datos de marcha obtenidos del software Nexus, estos siendo archivos tipo C3D, *Coordinate 3D Format*. Es un tipo de formato que es compatible con el programa Mokka, permitiendo la apertura sin problemas, es decir, posibilitando la visualización del estudio. Los archivos C3D entregan el estudio completo, es decir, que dentro de una variable hay varios ciclos, tal como se puede apreciar en la Fig.3.7. También es importante mencionar que cada variable presenta tres columnas, donde cada una de estas es un plano anatómico, es decir, sagital, frontal y transversal.

Para la apertura de datos de extensión C3D se utilizó la librería BTK en Matlab. Se realizó la lectura del archivo, luego se extrajeron las etiquetas del estudio realizado, permitiendo el acceso a

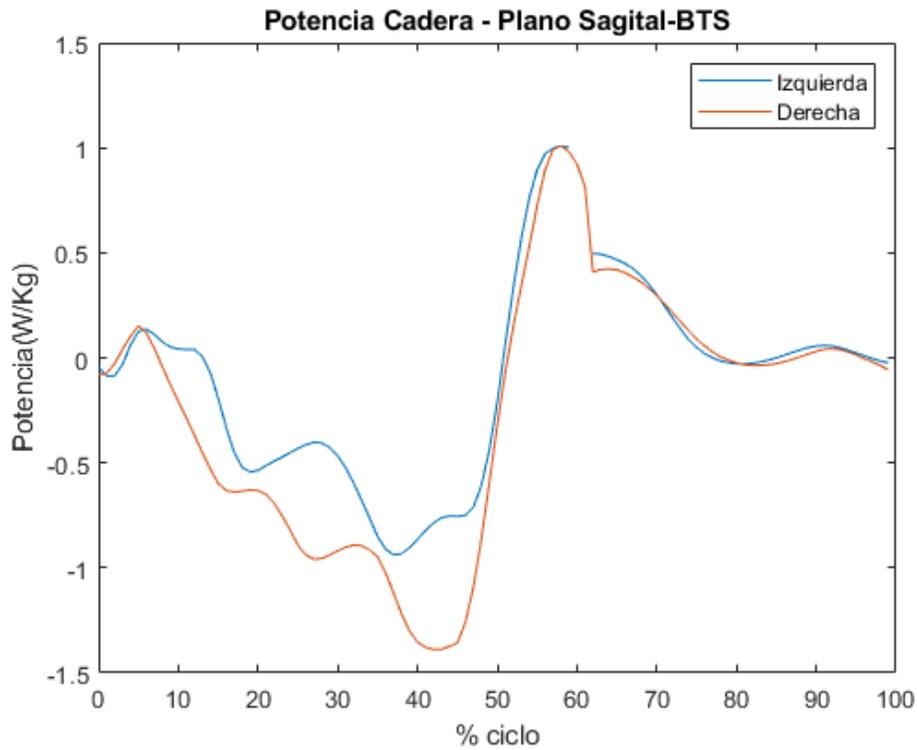


Fig. 3.5: Potencia Cadera - Plano Sagital - BTS, obtenido en Matlab.

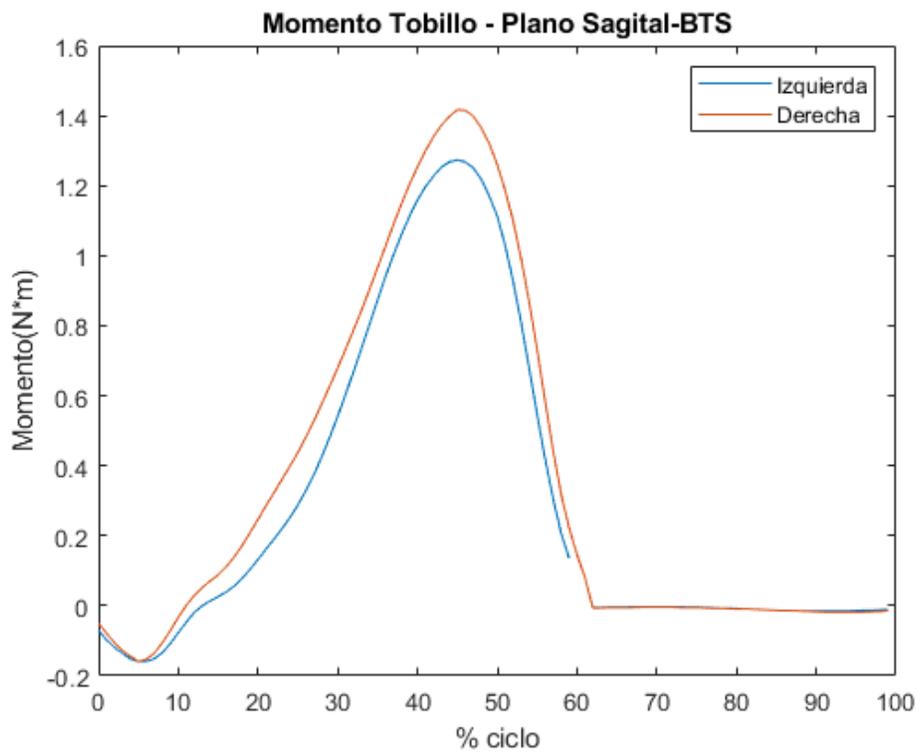


Fig. 3.6: Momento Tobillo - Plano Sagital - BTS, obtenido en Matlab.

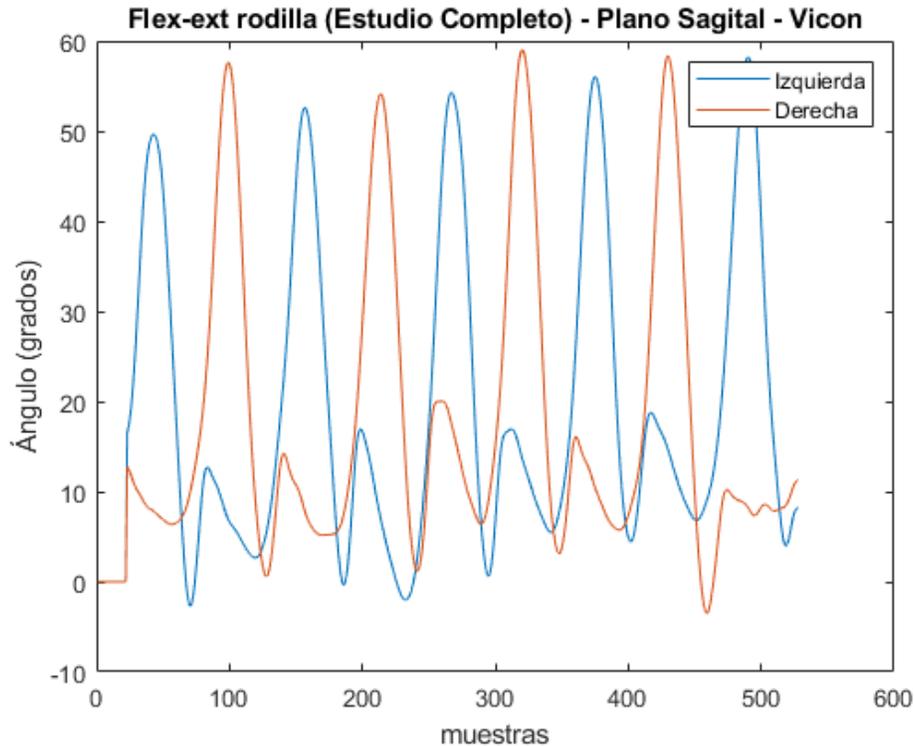


Fig. 3.7: Ángulo rodilla (Estudio Completo) - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.

todos los datos obtenidos durante el estudio. Dentro de estos datos se encuentran los marcadores, los ángulos, las progresiones, los momentos, las fuerzas, entre otros.

Para los resultados se definió trabajar con el plano sagital, ya que es el que entrega información relevante. Se acotó el intervalo de solo un ciclo, debido a que los datos presentan todo el estudio, para este proceso se apoyo en la plataforma Mokka, ya que este permite la visualización y modificación de los eventos, indicando el punto exacto de cuando inicia un ciclo y cuando termina, tanto para la pierna izquierda como la derecha, esto se puede ver la Fig.3.8.

Luego ya definidos los intervalos de trabajo, dado los eventos identificados, se graficaron los mismos parámetros ejemplificados para BTS *GaitLab*, estos se pueden visualizar en la Fig.3.9, Fig.3.10 y Fig.3.11.

3.5 Discusión

En este capítulo, se abordaron los aspectos clave relacionados con la adquisición y almacenaje de datos en el contexto del análisis de la marcha. Al trabajar con dos sistemas distintos, se reconoció la necesidad de adaptar los procedimientos y formatos de captura para lograr una coherencia y

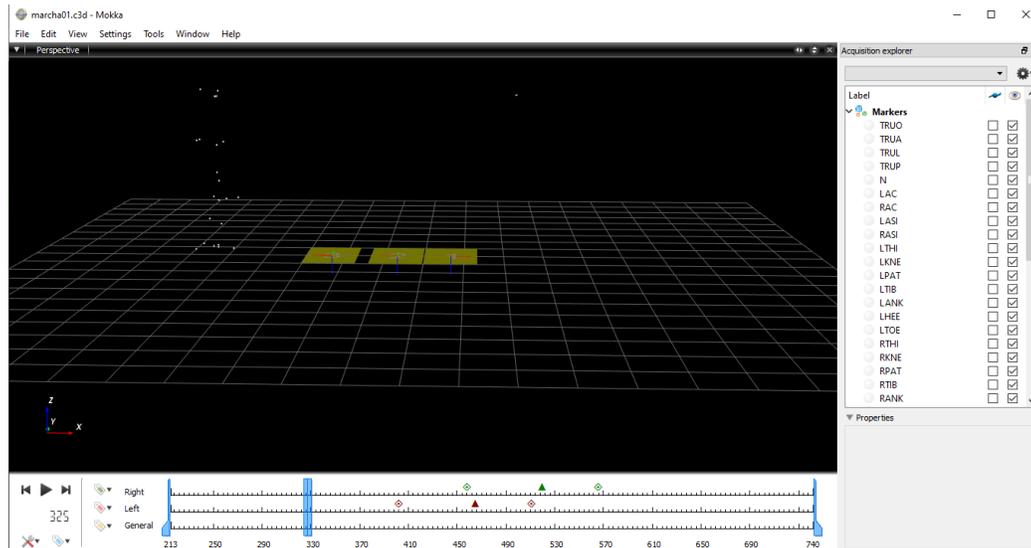


Fig. 3.8: Detección de eventos en plataforma Mokka. Captura de pantalla Mokka.

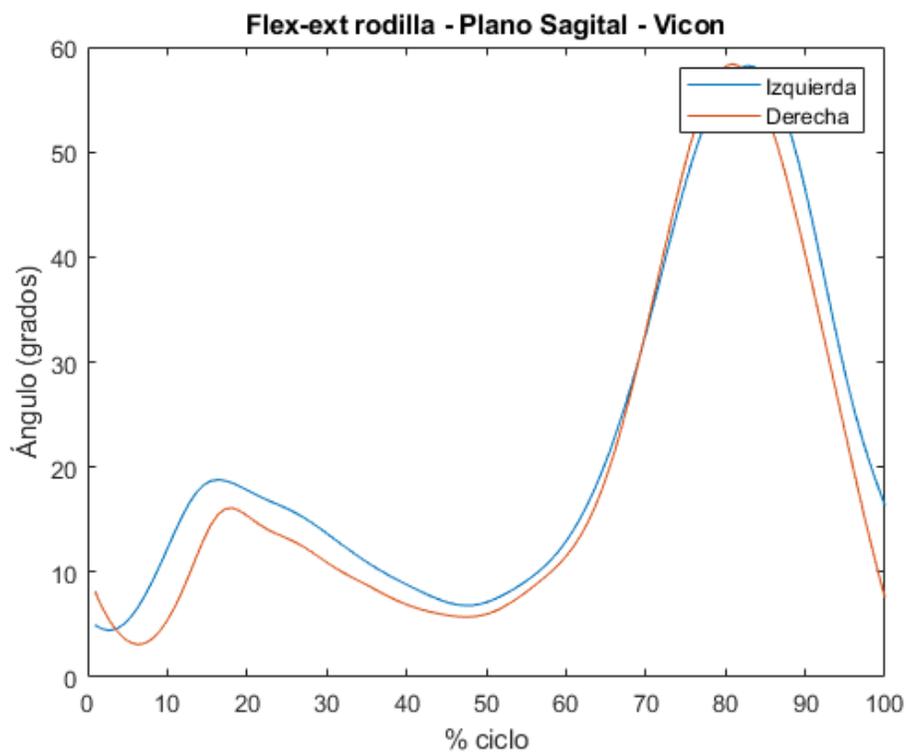


Fig. 3.9: Ángulo rodilla - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.

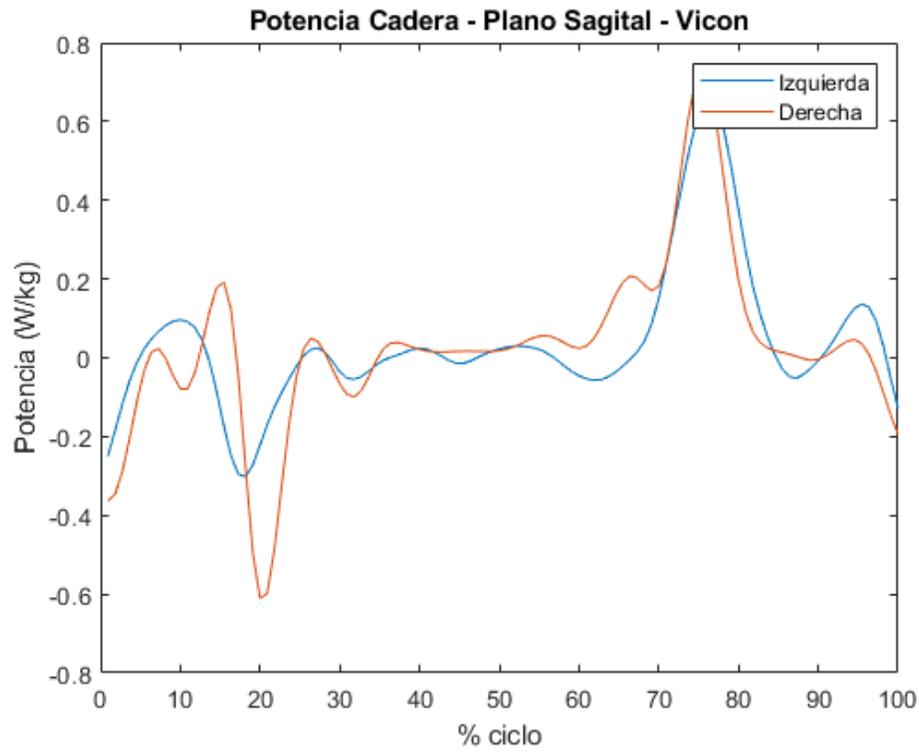


Fig. 3.10: Potencia Cadera - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.

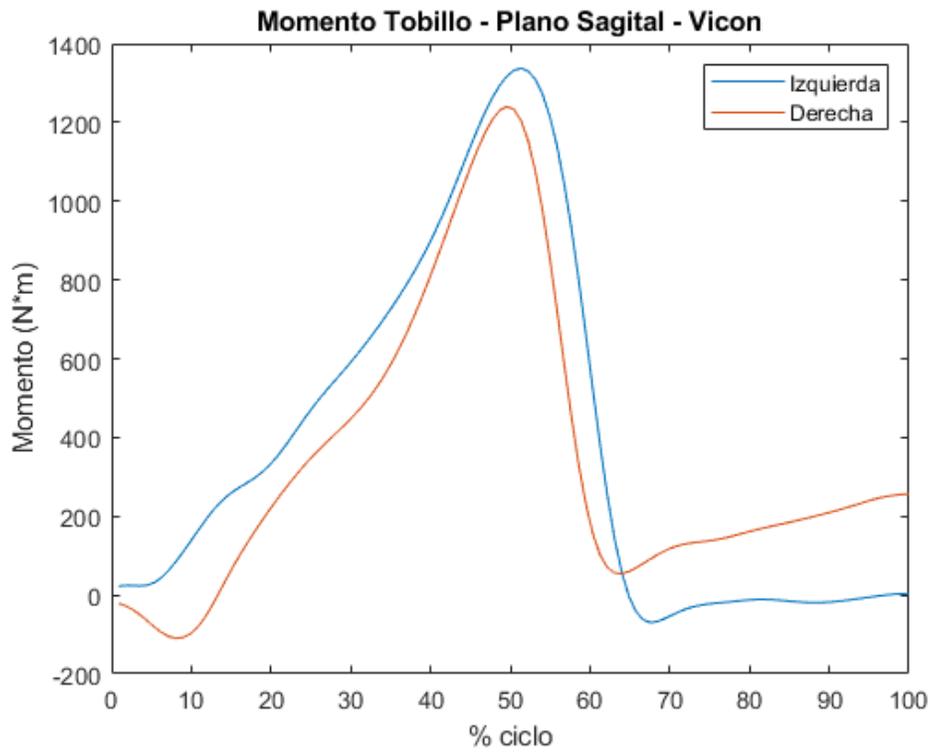


Fig. 3.11: Momento Tobillo - Plano Sagital - Vicon, obtenido en Matlab.

comparabilidad de los datos obtenidos.

La estandarización de la adquisición de datos fue un objetivo fundamental, ya que permite obtener parámetros consistentes e independientes del sistema utilizado. Se propusieron recomendaciones y pautas para ajustar la captura de datos, lo que garantiza que los laboratorios de marcha obtengan mediciones uniformes y precisas, independientemente de la tecnología que empleen.

En cuanto al almacenaje de datos, se consideró la elección de formatos que ofrecen versatilidad y accesibilidad. Para sistemas BTS *GaitLab*, se recomendó exportar los datos en formato EMT, aprovechando la amplia disponibilidad de programas compatibles con sistemas operativos para el procesamiento de texto. Para sistemas Vicon, se sugirió exportarlos en archivos C3D, que al ser de dominio público, facilita el acceso a estos datos.

Es importante destacar que para obtener resultado, se trabajó con la plataforma Matlab, utilizando la librería BTK. Además, se utilizó la plataforma Mokka como apoyo para la visualización y observación precisa de los eventos de la marcha.

La estandarización en la adquisición y almacenaje de datos es esencial para la comparación y el intercambio de información entre diferentes centros de investigación y clínicas. Estas guías permiten obtener información más precisa sobre el movimiento durante la marcha, lo que contribuye a un mejor diagnóstico y tratamiento de patologías relacionadas con el movimiento.

Capítulo 4 : Guía de adquisición y almacenaje propuestos para red Oritel.

4.1 Introducción

En este capítulo, se aborda las guías propuestas enfocados en la adquisición y almacenaje de datos en laboratorios de marcha pertenecientes a la red Oritel. El objetivo principal es proponer guías estandarizadas que mejoren la calidad y comparabilidad de los datos obtenidos en estos centros. Mediante una encuesta, reuniones con especialistas y una investigación bibliográfica exhaustiva, se busca optimizar los procesos de captura de datos, para su posterior interpretación. La utilización de plataformas como Matlab y Mokka para la apertura de datos en distintos sistemas es una solución práctica y versátil. Con estos avances, se aspira a fortalecer el diagnóstico y tratamiento de patologías relacionadas con el movimiento en pacientes de la red Oritel.

4.2 Levantamiento estado actual *Movement Analysis Network*

Movement Analysis Network corresponde a un proyecto que tiene la finalidad de crear una red de datos con fines educacionales, donde se permita compartir las mejores prácticas, metodologías y resultados de cada laboratorio. Se espera en el futuro, al contar con una base de datos común, utilizar herramientas de inteligencia artificial para mejorar la utilidad de los laboratorios de análisis de movimiento.

En este proyecto actualmente se encuentran participando diez centros de Teletón de Oritel, a los cuales se les realizó una encuesta, con el fin de obtener el nivel basal de cada uno de los laboratorios y consultar acerca de inquietudes y problemas que pudiesen tener, para luego de definir los próximos pasos del proyecto.

En la Tabla 4.1 se encuentran los centros que participan actualmente en *Movement Analysis Network*, por lo que la base de datos provendrá de 10 centros de Teletón. A cada uno de estos centros se les asignó una abreviación, la cual está indicada en la misma tabla.

Se llevó a cabo una encuesta que constaba de doce preguntas, divididas en diez consultas de carácter técnico y dos enfocadas en las inquietudes y problemas que pudiesen existir en el laboratorio. El catastro completo de los resultados de la encuesta se encuentra en el Anexo C. Esta encuesta tenía

Tabla 4.1: Centros participantes de *Movement Analysis Network*.

País	Ciudad	Abreviación
México (4)	Saltillo	Sa.mx
	Guadalajara	Gu.mx
	Tlalnepantla	Tl.mx
	Altamira	Al.mx
Salvador (1)	La Libertad	Li.sv
Colombia (1)	Bogota	Bo.co
Uruguay (1)	Montevideo	Mo.uy
Chile (2)	Santiago	Sa.cl
	Concepción	Ccp.cl
Puerto Rico (1)	San Juan	Sj.pr

como objetivo obtener información detallada sobre las características de cada laboratorio de análisis de movimiento participante en el proyecto, permitiendo así determinar el nivel basal de cada centro.

A continuación, en la Tabla 4.2 se presentan algunas de las respuestas recopiladas en el catastro realizado, organizadas por centro. El resto de las respuestas se encuentran en la Tabla C.1, disponible en el Anexo C.

A continuación se presenta el análisis de la encuesta:

1. ¿Cuántas personas conforman su laboratorio de análisis de movimiento?

En cuanto a la Fig.4.1, se puede observar en la gráfica que un 80 % de los centros participantes poseen al menos dos personas en el laboratorio de marcha .

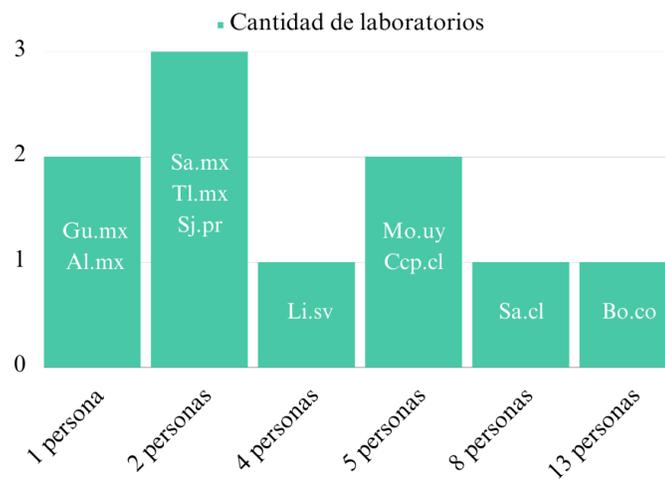
En general, tener al menos dos personas en el laboratorio de marcha permite una mayor eficiencia, seguridad y calidad en el proceso de adquisición y almacenaje de datos, lo que contribuye a obtener resultados más precisos y confiables para el análisis de la marcha. También disminuye el tiempo que demora el examen.

2. ¿Qué tipo de tecnología se utiliza en su Laboratorio de análisis de movimiento?

Basado en la Fig.4.2 se puede obtener que la mayoría de los laboratorios de marcha participantes del proyecto utilizan el sistema de captura de movimiento BTS, representando un 80 % de los centros. Por otro lado, el 20 % restante de los laboratorios utilizan el sistema de captura

Tabla 4.2: Respuestas de levantamiento para *Movement Analysis Network* - Parte 1

ID	N° Personas en el laboratorio	Tipo sistema	Año inicio	N° Plataformas	N° Cámaras	N° Sensores EMG	N°Paciente por semana
Sa.mx	2	BTS	2021	6	8	21	6
Gu.mx	1	BTS	2012	6	8	16	12
Tl.mx	2	BTS	2000	6	8	16	16
Al.mx	1	BTS	2023	1	8	0	7
Li.sv	4	BTS	2004	2	8	8	1
Bo.co	13	BTS	2001	8	8	8	40
Mo.uy	5	VICON	2011	2	8	8	2
Sa.cl	8	BTS	2002	4	8	16	7
Ccp.cl	5	VICON	2008	3	8	8	2
Sj.pr	2	BTS	2015	4	12	16	0

**Fig. 4.1:** Cantidad de personas que compone cada laboratorio.

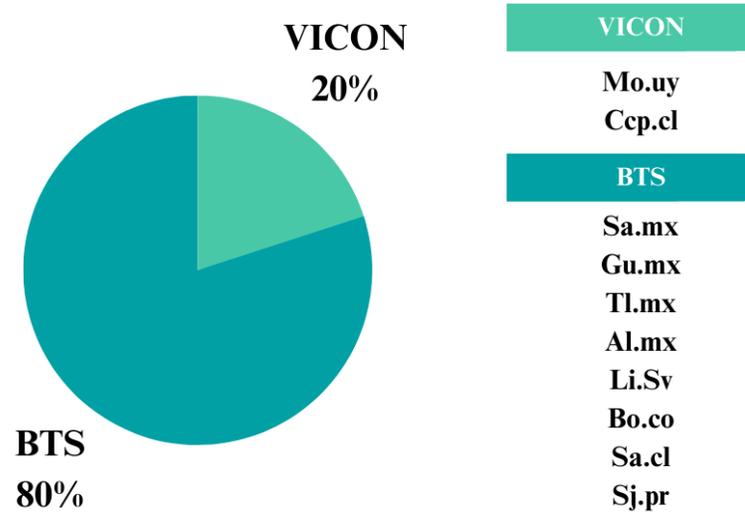


Fig. 4.2: Sistema basado en tecnología óptica.

de movimiento Vicon.

Esta distribución de sistemas es relevante a la hora de proponer las guías de adquisición y almacenaje de datos, ya que es necesario considerar ambas plataformas para asegurar que los procedimientos propuestos sean aplicables y útiles para la mayoría de los centros de la red.

3. Año inicio del funcionamiento del laboratorio.

De la Fig.4.3 se puede analizar que todos los centros participantes en el proyecto de la red Oritel iniciaron su funcionamiento en años distintos, lo que sugiere que los sistemas que poseen algunos de estos centros pueden ser más actualizados que otros.

Esta variabilidad en el año de inicio de funcionamiento de los centros puede tener implicaciones importantes para el análisis de la marcha y la adquisición de datos. Los centros con sistemas más antiguos podrían enfrentar limitaciones tecnológicas o tener menos características avanzadas en comparación con los centros con sistemas más recientes. Por lo tanto, es crucial tener en cuenta esta diversidad al crear las guías para la adquisición y almacenaje de datos para asegurar que sean aplicables a todos los centros de la red Oritel, independientemente del año de inicio de funcionamiento y la tecnología de los sistemas utilizados. Además, esto destaca la importancia de estandarizar los procesos para garantizar la calidad y comparabilidad de los datos obtenidos en todos los laboratorios de marcha de la red.

4. ¿Cuántas plataformas de fuerza poseen?

De la Tabla 4.2, se puede analizar que todas las instalaciones de la red Oritel poseen al me-

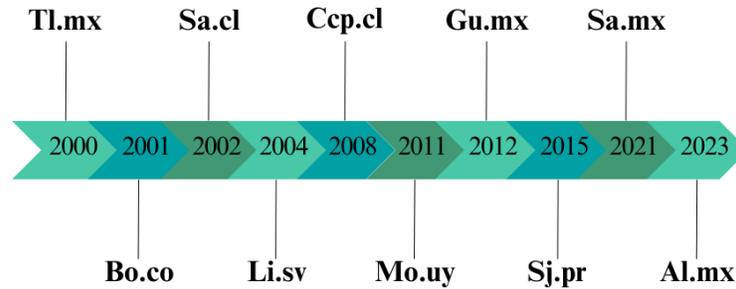


Fig. 4.3: Año de inicio de funcionamiento de cada centro.

nos una plataforma de fuerza, lo que indica que es una herramienta ampliamente utilizada en el proceso de realización del examen de la marcha. Además, el hecho de que al menos el 90 % de los centros cuenten con dos o más plataformas de fuerza sugiere que esta herramienta es considerada fundamental para obtener información precisa y detallada sobre la cinética y la fuerza aplicada durante el ciclo de marcha.

5. ¿Cuántas cámaras poseen en el laboratorio?

De las respuesta de la Tabla 4.2 se obtuvo un 90 % de los laboratorios de marcha en la red Oritel poseen 8 cámaras, mientras que el 10 % restante cuenta con 12 cámaras. Este hallazgo indica que la mayoría de los centros de la red han optado por utilizar sistemas compuestos por 8 cámaras para llevar a cabo los exámenes de marcha.

6. ¿Cuántos sensores de EMG posee en su laboratorio?

De acuerdo con los datos recopilados de la Tabla 4.2, específicamente el 90 % de los centros participantes del proyecto, utilizan sensores de EMG en sus evaluaciones de marcha. Este hallazgo indica que la mayoría de los laboratorios de marcha están aprovechando la tecnología de sensores de EMG para obtener información adicional sobre la actividad muscular durante el movimiento, lo que puede ser especialmente relevante en la evaluación de patologías y en la planificación de tratamientos de rehabilitación.

Es importante destacar que el uso de sensores de EMG no es obligatorio en un laboratorio de marcha, ya que esta tecnología brinda información complementaria a la cinemática y cinética del paciente. Sin embargo, su utilización se recomienda ampliamente debido a que proporciona datos valiosos que ayudan en la interpretación y análisis de los resultados obtenidos.

7. ¿Aproximadamente cuántos pacientes atienden a la semana en el laboratorio de marcha?

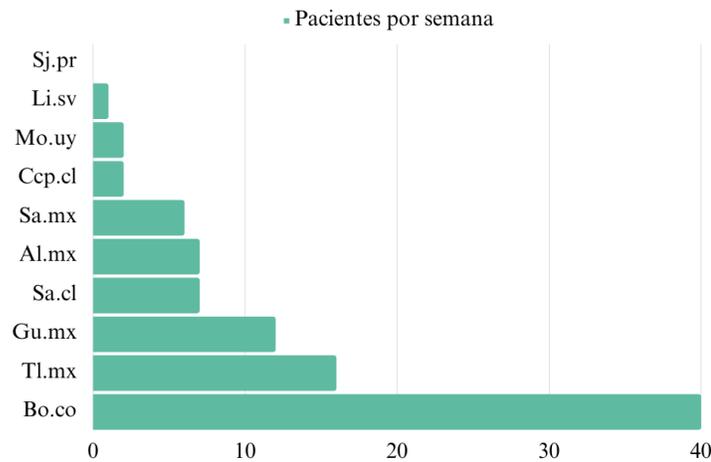


Fig. 4.4: Cantidad de pacientes que atiende cada centro a la semana.

En la Figura 4.4 se presenta la gráfica sobre la cantidad de pacientes que son atendidos a la semana en los laboratorios de marcha participantes del proyecto. Es destacable que un alto porcentaje, específicamente el 90 %, de los laboratorios atienden al menos a una persona a la semana, lo que indica una actividad constante y significativa en la realización de evaluaciones de marcha.

Este hallazgo sugiere que la mayoría de los centros están activos y en funcionamiento, llevando a cabo evaluaciones de marcha de manera regular. La frecuencia de atender a pacientes semanalmente denota una demanda y necesidad continua de estos servicios especializados en el análisis de la marcha, lo cual respalda la relevancia y utilidad de estos laboratorios en el campo de la rehabilitación y el diagnóstico de trastornos del movimiento.

No obstante, es importante resaltar que se identificó un centro que, actualmente, no atiende a pacientes. La razón detrás de esta situación se debe a la falta de un experto que guíe y supervise adecuadamente el funcionamiento del laboratorio. La ausencia de esta figura de especialista puede generar inseguridad en los resultados obtenidos, lo que impacta negativamente en la certeza y confianza del examen de marcha realizado en dicho centro.

Para mantener la calidad y precisión de los resultados en los laboratorios de marcha, es esencial contar con personal experto que esté capacitado para operar y verificar la adecuada ejecución del sistema de análisis de movimiento. La presencia de profesionales especializados garantiza que las evaluaciones sean realizadas de manera adecuada y que los datos obtenidos sean confiables, lo que a su vez contribuye a una mejor atención y tratamiento de los pacientes.

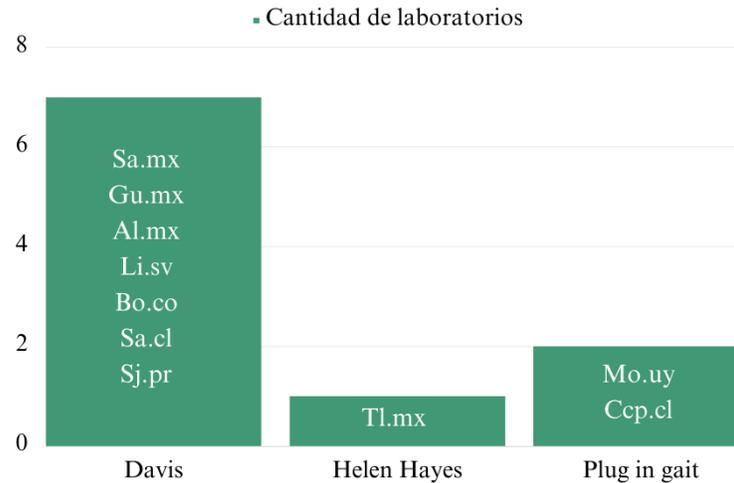


Fig. 4.5: El posicionamiento de marcadores utilizado por cada centro.

8. ¿Cuáles son las patologías que suelen atender?

De la encuesta se obtuvo el siguiente listado: parálisis cerebral, enfermedades neuromusculares, espina bífida, lesiones medulares, traumatismo encéfalo craneano, enfermedad vascular cerebral, trastornos degenerativos amputados, marcha idiopática en puntas de los pie y artrogriposis múltiple congénita.

La recopilación de datos de pacientes con diferentes patologías enriquece la comprensión científica de los trastornos del movimiento y contribuir al avance de la medicina y la rehabilitación.

9. ¿Qué protocolo usa para el posicionamiento de marcadores?

Las respuestas de la esta pregunta se puede ver en la Fig.4.5, donde se obtiene que un 70 % de los laboratorios hacen uso del protocolo de Davis, un 10 % el de Helen Hayes y un 20 % el de *Plug-in gait*, este ultimo asociado Vicon.

El hecho de que un 70 % de los laboratorios de marcha utilice el protocolo de Davis es beneficioso para la estandarización y comparabilidad de los datos entre diferentes centros. Al utilizar un protocolo común ampliamente reconocido y validado, se asegura que los marcadores se coloquen de manera consistente en el mismo lugar en cada paciente, lo que permite obtener mediciones más precisas y comparables entre diferentes evaluaciones.

10. ¿Qué exámenes se realizan en el laboratorio?

De la pregunta 10 se obtuvo el siguiente listado de exámenes: cinemática, cinética, EMG, rasgos de movimiento, fuerza manual muscular, tono muscular, análisis computarizado, podografía di-

námica y estática, estabilometría, análisis de salto vertical, *timed up and go*, seis minutos con sensor de inercia, análisis 3D de marcha, pruebas en extremidad superior, telemetría y barometría.

La amplia variedad de análisis realizados en los laboratorios de marcha refleja el enfoque integral y personalizado que se busca brindar a los pacientes, garantizando una atención especializada y adaptada a sus necesidades específicas.

11. Si tiene alguna problemática recurrente en el laboratorio de marcha, descríbala (Posicionamiento de marcadores, error en la adquisición, etc.)

Se obtiene que los problemas que ocurren con mayor regularidad en el laboratorio son: Error en el posicionamiento de los marcadores, programación, calibración del sistema, confiabilidad de los datos (debido a fallos técnicos), dificultades en el *standing* en usuarios de bajo peso y por último error en el posicionamiento de las barras.

Al abordar estos problemas de manera proactiva, los laboratorios de marcha pueden mejorar la calidad y precisión de los datos obtenidos, lo que a su vez contribuirá a un diagnóstico más preciso y a un tratamiento más efectivo.

12. Inquietudes relacionadas con el convenio *Movement Analysis Network*.

Por último, las inquietudes fueron respondidas mediante reuniones con los centros participantes. Mayormente las consultas estaban relacionadas con la preocupación de la anonimización de los datos personales de los pacientes, la plataforma donde se compartirá la base de datos.

Se recibieron todas las respuestas en marzo 2023, lo que permitió definir los siguientes pasos y confirmar que centros participarán del proyecto *Movement Analysis Network*. El catastro realizado se encuentra en el Anexo C.

Tras realizar este diagnóstico básico, se observó que la mayoría de los centros están en condiciones de participar en el proyecto. Sin embargo, algunos de ellos actualmente no se encuentran en funcionamiento y/o carecen de profesionales especialistas a cargo de los laboratorios, lo que ha generado cierta desconfianza en los resultados obtenidos. Con el objetivo de abordar esta problemática, se llevaron a cabo reuniones individuales con dichos centros para realizar una evaluación detallada de cada caso y encontrar soluciones adecuadas.

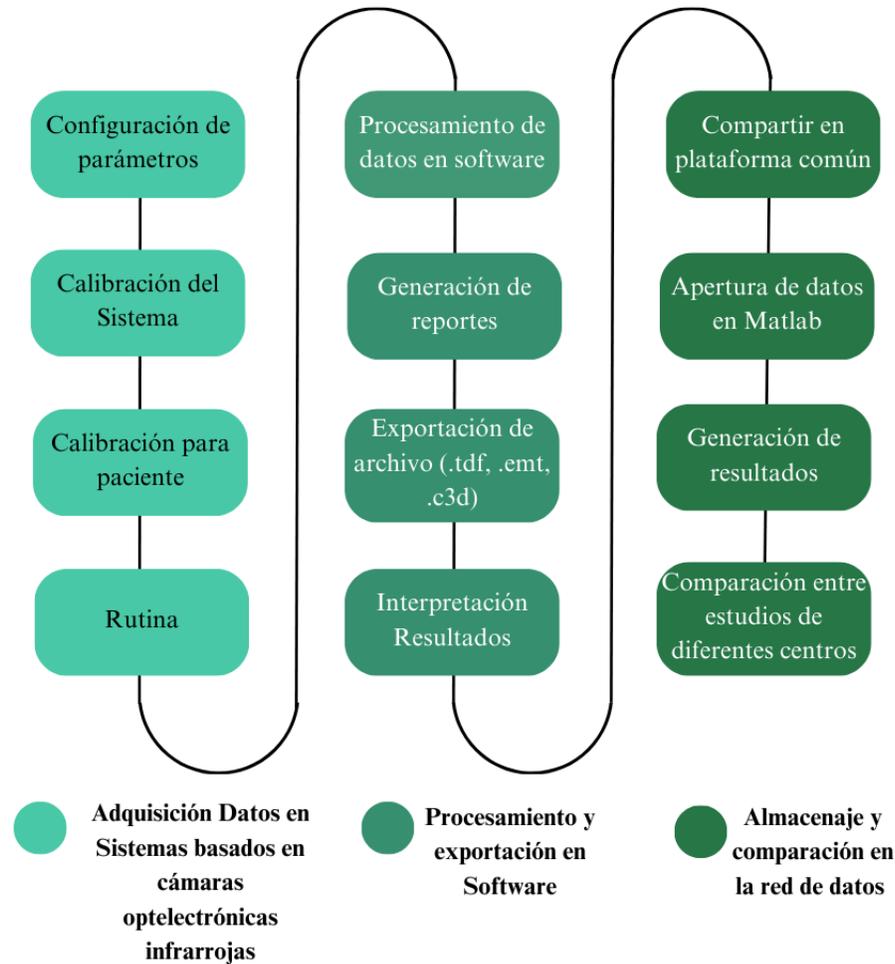


Fig. 4.6: Propuesta de guías para la adquisición y almacenaje de datos para laboratorios de marcha.

4.3 Sistema de Información de la Discapacidad de la Red Oritel (SIDRO)

Es una plataforma de Oritel que permite la recolección, gestión y análisis en tiempo real de toda la información procedente de los Centros [44]. SIDRO sigue en desarrollo y mejoras hasta la fecha.

El objetivo principal de SIDRO es permitir el acceso a información objetiva, precisa y medible en el campo de la discapacidad, no solo para los integrantes de la Red Oritel, sino para los Estados y organizaciones civiles de nuestro continente, en el diseño de estrategias tanto asistenciales, como de docencia, investigación, fomento y protección en esta materia [44].

SIDRO corresponde a la plataforma que el proyecto utilizará para la generación de la base común, donde se permitirá la oportunidad de compartir los protocolos y las mejores metodologías entre centros. En esta plataforma los centros subirán casos seleccionados que representen sus mejores prácticas. Los datos compartidos en la plataforma SIDRO tendrán ningún tipo de información personal del

paciente, ya que solo se subirán datos anónimos.

4.4 Guía para la adquisición y almacenaje de datos para laboratorios de marcha.

La guía propuesta para la adquisición y almacenaje de datos para laboratorios de marcha, se puede ver en la Fig.4.6, este se realizó en base a la estudio bibliográfico, reuniones periódicas con especialistas y el levantamiento del estado actual de *Movement Analysis Network*. Por lo tanto, se consideró procesos y archivos de BTS *GaitLab* y *Vicon*.

La guía se dividió en tres grandes procesos generales: (1) Adquisición de datos en sistemas basados en cámaras optoelectrónicas infrarrojas, (2) Procesamiento y exportación en Software y (3) Almacenaje y comparación en la red de datos.

4.4.1 Guía de adquisición de datos en sistemas basados en cámaras optoelectrónicas infrarrojas.

Esta compuesto por un conjunto de procedimientos que realizan en el laboratorio de marcha. Se propone realizar primero tres procesos previos a la captura de datos. Los procedimiento son:

1. Configuración de parámetros:

En este proceso se considera la cantidad de cámaras y su disposición, cantidad de plataforma de fuerzas y la definición de la frecuencia de muestreo.

Se debe determinar cuántas cámaras se utilizarán para el sistema de captura de movimiento y cómo se colocarán en el laboratorio para cubrir adecuadamente el área de interés.

Si se utilizan plataformas de fuerza, es necesario configurarlas correctamente para capturar las fuerzas y presiones plantares durante la marcha. Esto implica calibrar las plataformas y asegurarse de que estén correctamente sincronizadas con el sistema de captura de movimiento.

Una frecuencia de muestreo adecuada es de 100Hz para capturar con precisión los detalles del movimiento de una marcha con velocidad normal.

2. Calibración del sistema:

Es un proceso esencial para garantizar la precisión y la confiabilidad de los datos recopilados durante las evaluaciones. El sistema utiliza las posiciones conocidas de los marcadores de

calibración para calcular los parámetros de calibración espacial, que son transformaciones matemáticas que relacionan las coordenadas 2D de las cámaras con las coordenadas 3D del espacio real. Se recomienda realizarlo por lo menos una vez al día, al menos de que ocurra algún incidente que produzca el movimiento de la cámaras, por lo que habría que calibrar nuevamente.

En este proceso se define el volumen de trabajo, es decir, el espacio que capturan las cámaras. Luego se verifica el reconocimiento de las cámaras, haciendo uso de una varilla con marcadores. Por ultimo, se define el origen, el cual se refiere a un punto o conjunto de puntos en el espacio tridimensional que sirven como referencia para establecer el sistema de coordenadas utilizado para medir el movimiento. Es el punto de referencia desde el cual se miden todas las posiciones de los marcadores y se determina la posición y orientación relativa de las cámaras y otros dispositivos en el sistema.

El sistema también realiza una calibración temporal para sincronizar los datos capturados por todas las cámaras y otros dispositivos, como las plataformas de fuerza y los sensores de EMG.

Ya finalizando la calibración del sistema se verifica que las cámaras estén alineadas y estén funcionando como corresponden.

3. Calibración para el paciente:

Antes de comenzar el análisis de marcha con un paciente específico, se requiere una calibración individualizada. Sin embargo, previo a la colocación de marcadores es necesario realizar el examen físico y obtener la mayor información, detalle que se encuentra en el Anexo A.

Para la colocación de los marcadores se recomienda la utilización del protocolo de Davis, disponible en el Anexo B. Se recomienda este protocolo debido a que es reconocido por la comunidad científica y es el más utilizado por los centros participantes del proyecto *Movement Analysis Network*.

Esta calibración implica que el paciente realice movimientos específicos, como posturas estáticas y dinámicas, para establecer la relación entre las posiciones reales de su cuerpo y las posiciones proyectadas en el sistema de captura de movimiento. La calibración para el paciente se realiza para cada sesión de análisis y permite mapear de manera precisa los datos del paciente en el espacio tridimensional.

4. Rutina

En el proceso de rutina, una vez completada la calibración del sistema y ubicados los marcadores en el paciente, se procede a realizar el ensayo de captura de datos. Durante este ensayo,

se le solicita al paciente realizar una serie de ejercicios o actividades específicas que permiten registrar el movimiento de su marcha de manera sistemática y controlada.

Los ejercicios realizados durante el ensayo pueden variar dependiendo del objetivo del análisis y los protocolos utilizados, pero comúnmente incluyen:

- a) Marcha a velocidad normal: El paciente camina de forma natural a su velocidad habitual.
- b) Marcha a diferentes velocidades: El paciente puede caminar a diferentes velocidades, como una marcha lenta, una marcha rápida o una marcha intermedia.
- c) Marcha con cambios de dirección: El paciente puede caminar en línea recta y luego girar en diferentes direcciones, como giros de 90 grados o giros completos de 180 grados.
- d) Marcha con obstáculos: Se pueden colocar obstáculos en el camino del paciente, como escalones o barreras, para evaluar la capacidad de evitarlos y adaptar su marcha.

Durante el ensayo, el sistema de captura de movimiento registra continuamente la posición y movimiento de los marcadores en el cuerpo del paciente mientras realiza estos ejercicios.

4.4.2 Procesamiento y exportación en Software

Luego de la captura de datos, sigue el procesamiento de estos, donde este se realiza en el software según el sistema que tengan, BTS o Vicon. En el procesamiento, se realiza una serie de pasos para preparar los datos capturados y obtener información relevante sobre el movimiento y la marcha del paciente. Algunos de los pasos más comunes en el procesamiento de datos son:

1. Etiquetado de marcadores.
2. Identificación de eventos.
3. Segmentación del movimiento.
4. Filtrado y suavizado de datos.
5. Cálculo de parámetros cinemáticos y cinéticos.

Una vez completado el procesamiento, se obtiene una gran cantidad de datos detallados y precisos sobre el movimiento y la marcha del paciente, para luego la generación de reportes y su exportación.

Para la exportación de datos se propone que para laboratorios que trabajen con BTS *GaitLab*, lo exporten como archivo EMT y para laboratorios Vicon se propone formato C3D, ya que como se pudo ver en el capítulo anterior estos se pudieron trabajar en la plataforma Matlab.

Una vez realizado lo anterior, se procede la interpretación de resultados, el cual lo realizan profesionales los cuales cuentan con los conocimientos necesarios para analizar los datos procesados y extraer información relevante para el diagnóstico, tratamiento y seguimiento del paciente. Algunos aspectos que se suelen evaluar en la interpretación incluyen:

1. Cinemática.
2. Cinética.
3. EMG.
4. Parámetros espacio-temporales.
5. Patrones de movimiento.

4.4.3 Almacenaje y comparación con la red de datos

Los datos exportados por cada laboratorio deberán ser anonimizados para compartirlos en la plataforma SIDRO. Plataforma donde se encontrará la red de datos de todos los centros participantes del proyecto.

Los archivos poseerán los datos capturados durante el examen, además del protocolo utilizado para el posicionamiento de los marcadores, la rutina realizada, el diagnóstico o posible diagnóstico, el tratamiento propuesto, entre otros. En resumen los archivos tendrán toda la información útil para el análisis de ellos.

Se propone utilizar las plataformas Matlab y Mokka para la apertura de datos en distintos sistemas. Estas herramientas permiten generar reportes, realizar análisis libre y explorar otras posibles aplicaciones. Su versatilidad y funcionalidad facilitan el procesamiento de datos de forma eficiente y ofrecen opciones adicionales para enriquecer el estudio y análisis de la marcha.

La apertura de datos en Matlab y Mokka facilita la colaboración y el intercambio de información entre diferentes laboratorios de marcha, al proporcionar un formato común para el almacenamiento y análisis de datos. Esto abre la posibilidad de realizar estudios multicéntricos y comparaciones

entre distintas cohortes de pacientes, enriqueciendo la investigación y el avance en el campo de la biomecánica y el análisis de la marcha.

4.5 Próximos pasos *Movement Analysis Network*

A partir de los resultados obtenidos en la encuesta, se han identificado los próximos pasos a seguir en el proyecto para la recolección de la base de datos. Estos pasos se encuentran detallados en la Figura 4.7, que indica las acciones necesarias para continuar con el proceso de recopilación de datos.

1. **Aprobación del comité ético:** Cada centro presentará la documentación correspondiente para la aprobación del comité ético.
2. **Recolección de data:** En este paso cada centro elegirá sus mejores prácticas de trabajos previos, es decir, datos ya adquiridos. Se recopilarán datos de los distintos centros participantes del proyecto, tanto de sistemas BTS *GaitLab* como de Vicon.
3. **Anonimización data:** Corresponde a uno de los pasos más importantes, ya que ningún dato de la base tendrá información del paciente. Por lo que se propone un formato de nombre para los datos, este se puede ver en la figura 4.8, para un mejor entendimiento. Cabe mencionar que primero se realizará una prueba preliminar donde solo se trabajarán con dos dígitos para el número de paciente, sin embargo, en caso de que este superé los dos dígitos hay que anteponer un cero en el número del paciente en el formato de nombre.
4. **Exportación data:** Se les facilitará a los centros participantes manuales de como exportar los datos, tanto para sistemas BTS como Vicon, esto con la finalidad de mantener un tipo de formato. Según lo concluido en el Capítulo 3 para sistemas que utilicen sistemas BTS *GaitLab* se recomienda exportar como archivo .emt y para sistemas Vicon, .c3d.
5. **Compartir en plataforma común:** Todos los datos recolectados que hayan cumplido con los pasos anteriores podrán ser subidos a la plataforma SIDRO. Es importante mencionar, que SIDRO no tendrá información del paciente, ya que este para subirlo debe ser anónimo. Tal como se mencionaba, primero se realizará una prueba preliminar para verificar el funcionamiento correcto de la plataforma SIDRO, para observar si requiere realizar correcciones o mejoras.



Fig. 4.7: Pasos para recolección de base de datos.

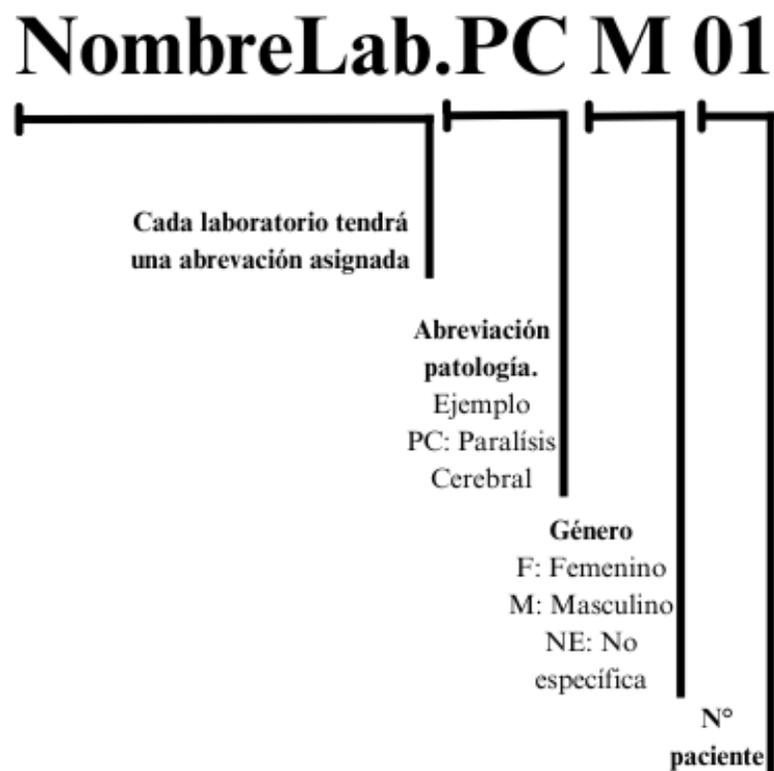


Fig. 4.8: Ejemplo formato de nombre para los datos.

4.6 Discusión

La guía propuesta se llevó a cabo mediante la aplicación de una encuesta que permitió recopilar información valiosa sobre los sistemas y prácticas utilizados en los laboratorios de marcha. Gracias a esta encuesta, se pudo conocer la infraestructura y los equipos con los que cuentan los centros, así como los protocolos que emplean para la captura. Los resultados obtenidos revelaron que la mayoría de los laboratorios de marcha utilizan sistemas basados en tecnología óptica, sistemas BTS y Vicon.

La creación de las guías estandarizadas para la adquisición y almacenaje de datos se basó en los hallazgos de la encuesta, así como en reuniones periódicas con especialistas y una exhaustiva investigación bibliográfica. Estos procedimientos proponen una guía práctica y uniforme que permitirá una captura de datos más consistente y comparable entre los diferentes centros de la red Oritel.

Además, se observó que algunos laboratorios enfrentan desafíos técnicos y de recursos humanos que afectan la confiabilidad de los resultados obtenidos. Por ello, se realizaron reuniones con estos centros específicos para evaluar sus situaciones y brindarles el apoyo necesario para mejorar sus prácticas y procesos.

La utilización de plataformas como Matlab y Mokka para la apertura de datos en distintos sistemas representa una solución práctica y eficiente. Estas herramientas ofrecen la flexibilidad y la compatibilidad necesarias para realizar análisis, generar reportes y explorar diversas aplicaciones relacionadas con el estudio de la marcha.

En conclusión, las guías propuestas enfocadas en la red Oritel ha sido un paso importante para avanzar hacia la estandarización y mejora de los procesos de adquisición y almacenaje de datos en los laboratorios de marcha. Con la implementación de las guías propuestas y el uso de herramientas versátiles como Matlab y Mokka, se espera potenciar la calidad y utilidad de los datos obtenidos, lo que contribuirá a un mejor diagnóstico y tratamiento de patologías relacionadas con el movimiento en pacientes de la red Oritel.

Capítulo 5 : **Discusión y conclusiones.**

5.1 **Discusión**

Se destaca la importancia de la utilización del laboratorio de marcha para la obtención detallada de los parámetros principales que describen el movimiento. Estos laboratorios corresponden a una herramienta de diagnóstico y evaluación de la evolución de un paciente ante un tratamiento en específico [19].

Si bien los laboratorios de marcha consisten en sistemas con tecnología actualizada, estos no son utilizados con todo su potencial, ya que existen diferencias de funcionamiento y la forma en que realizan la evaluación entre distintos centros.

Cada centro de Teletón realiza este examen basándose en los conocimientos y experiencia de profesionales del laboratorio de marcha, lo que conlleva diferencias en la forma en que realizan el examen y el tratamiento a seguir. Sin embargo, actualmente existen un gran número de casos tratados, que podrían aportar a mejorar la utilización del laboratorio, permitiendo la creación de una red de datos global la cual beneficiaría, sin lugar a dudas, la eficacia y confiabilidad de los diagnósticos y tratamientos, por lo que es necesario estandarizar este proceso, definiendo guías que faciliten el uso de estos sistemas.

Para la creación de esta red de datos es necesario la estandarización de procesos realizados en los laboratorios, como es la adquisición de los datos y el almacenaje de estos. Esto debe a que se requiere un formato consistente para que los datos sean comparables entre diferentes sujetos. A continuación, se presentan los beneficios de la creación de la red de datos.

1. **Comparabilidad de los datos:** la estandarización asegura que los datos recolectados de diferentes sujetos o estudios puedan ser comparados de manera adecuada. Esto es fundamental para realizar análisis cuantitativos y establecer comparaciones significativas entre diferentes grupos de población, tratamientos o condiciones.
2. **Coherencia y reproducibilidad:** La estandarización garantiza la coherencia y reproducibilidad de los resultados obtenidos en diferentes momentos o por diferentes investigadores. Si los procesos no están estandarizados, existe el riesgo de inconsistencias en los datos, lo que dificulta la interpretación y la comparación de los resultados. Al contar con un formato y una guía estandarizada,

se puede lograr una mayor coherencia y confiabilidad en los resultados obtenidos.

3. Intercambio de datos y colaboración: La estandarización de los procesos permite el intercambio de datos entre diferentes laboratorios de marcha y profesionales especializados. Lo que puede aportar a la comprensión de los patrones de marcha y permitir un avance más rápido en el campo.
4. Base de normalidad: Se utiliza como referencia para comparar los resultados del examen de marcha. Al contar con una red de datos estandarizados, este permitiría la creación de una base de normalidad más representativa para los centros de Teletón.

Mediante el uso de la red de datos e Inteligencia Artificial (IA) se podría realizar comparaciones entre pacientes, lo que permitiría la agrupación de ellos para comparar tratamientos. La IA introduce nuevas posibilidades para futuras aplicaciones e ideas.

5.2 Conclusiones

El proyecto *Movement Analysis Network* tiene como finalidad la creación de una red de datos para el análisis de movimiento, es por esto que se estandarizó el proceso de adquisición de datos, explicando paso a paso las consideraciones para un buen análisis de marcha. Además se determinó el uso de una plataforma común, Matlab, para el procesamiento de los datos, proponiendo el tipo de formato de archivo para cada sistema, para permitir la interoperabilidad entre estos. Se plantea que los archivos sean exportados como se muestra en Tabla 5.1.

Para determinar el nivel basal de cada laboratorio participante del proyecto, se realizó un catastro de un total de 12 preguntas, 10 correspondientes a consultas de carácter técnico y 2 acerca de dudas y problemas que pudiesen existir con respecto al uso de los laboratorios de marcha. De esta encuesta se concluye que los centros están aptos para poder participar en el proyecto, aportando con sus mejores prácticas y metodologías.

Estas guías corresponden a un paso más cercano para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos en los laboratorios. Permiten minimizar las variaciones en los resultados y mejorar la calidad de los datos recopilados. Además, la guía establecida para el almacenamiento de datos, definió un formato de datos interoperable, lo que facilita el intercambio y la integración de información entre diferentes sistemas y software de análisis. Esto permite una mayor eficiencia en el procesamiento y la interpretación de los datos.

Tabla 5.1: Propuesta de exportación/almacenaje de datos de marcha.

	Vicon	BTS <i>GaitLab</i>
Tipo archivo	.c3d	.emt
Paso previo	–	.xlsx
Plataforma	Matlab	Matlab

5.3 Trabajo Futuro

Para los próximos pasos se espera obtener la aprobación del comité ético para que permita el intercambio de datos anónimos, iniciando la creación de la red de datos. Igualmente se planifica realizar una prueba preliminar con algunos de centros seleccionados para verificar el buen funcionamiento de la plataforma SIDRO. Es importante para el trabajo futuro que sigan los pasos para exportación datos, ya que de esa forma poseerán la misma estructura, lo que facilitará el proceso de comprensión y comparación.

Es esencial validar las guías de adquisición de datos mediante estudios comparativos y análisis estadísticos. Se pueden realizar investigaciones para evaluar la consistencia y la precisión de los datos obtenidos utilizando diferentes protocolos de colocación de marcadores y configuraciones de sistema, lo que permite identificar las mejores prácticas y recomendaciones.

Se espera utilizar herramientas de inteligencia artificial para mejorar la utilidad de los laboratorios de análisis de movimiento. Para ello se plantea realizar un estudio de las patologías que se suelen atender en el laboratorio, tales como la parálisis cerebral, la marcha idiopática en punta de los pies y la espina bífida, evaluando las diferencias que existen entre ellas en la cinemática, cinética. A partir de la anterior se buscará crear un clasificador que permita entregar un diagnóstico básico y sugerencias basadas de metodologías de la red de datos.

Bibliografía

- [1] S. V. Madihally, *Principles of Biomedical Engineering*, 2nd ed. Artech House, 2020, ch. 5. Biomechanics, p. 197.
- [2] A. Villa Moreno, E. Gutiérrez Gutiérrez, and J. C. Pérez Moreno, “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.
- [3] A. Harb and K. Stephen, “Modified ashworth scale,” *StatPearls*, enero 2023. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554572/>
- [4] C. L. Vaughan, B. L. Davis, and J. C. O’Connor, *Dynamics of Human Gait*. Kiboho Publishers, 1992, no. 2, ch. Chapter 2: The ThreeDimensional and Cyclic Nature of Gait, pp. 7–14.
- [5] P. Vera Luna, *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*. Valencia: IBV, 1999, ch. 3.
- [6] “Análisis según laboratorio de marcha mayo 2010,” 2010. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/joelitos/anlisis-segn-laboratorio-de-marcha-mayo-2010>
- [7] M. Kutz, *Handbook of Measurement in Science and Engineering*. John Wiley & Sons, 2013, vol. 3.
- [8] BTS Bioengineering. [Online]. Available: <https://www.btsbioengineering.com>
- [9] *ACTIVE WAND USER GUIDE*, 2nd ed., Vicon Motion Systems Limited, 2011.
- [10] R. B. Davis III, S. Ounpuu, D. Tyburski, and J. R. Gage, “A gait analysis data collection and reduction technique,” *Human movement Science*, vol. 10, no. 5, pp. 575–587, Octubre 1991.
- [11] M. Kadaba, H. K. Ramakrishnan, and M. E. Wootten, “Measurement of lower extremity kinematics during level walking,” *Journal of Orthopaedic Research*, vol. 8, no. 3, pp. 383–392, mayo 1990.
- [12] *Plug-in Gait Reference Guide*, Vicon Motion Systems Limited, 2016.
- [13] D. Bravo M, C. Rengifo R., and W. Agredo R., “Comparación de dos sistemas de captura de movimiento por medio de las trayectorias articulares de marcha,” *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, vol. 37, no. 2, 2016.

- [14] M. Haro, "Laboratorio de análisis de marcha y movimiento," *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 25, no. 2, pp. 237–247, Marzo 2014.
- [15] J. Perry and J. M. Burnfield, *Gait Analysis: Normal and Pathological*. Slack Incorporated, 2010.
- [16] J. Cámara, "Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales," *Entramado*, vol. 7, no. 1, julio 2011.
- [17] J. R. Duque Ramírez, A. I. Agudelo Mendoza, T. J. Briñez Santamaría, V. Guarín Urrego, J. P. Ruiz Restrepo, and M. C. Zapata García, "Descripción de los parámetros de referencia de la marcha en adultos de la población antioqueña entre 20 y 54 años de edad," Universidad CES Facultad de fisioterapia Medellín, Tech. Rep., 2012.
- [18] N. Stergiou, *Biomechanics and gait analysis*. Elsevier, 2020, no. 1, ch. 7. The basics of gait analysis, p. 236.
- [19] C. Ethier and C. A. Simmons, *Introductory Biomechanics - From Cells to Organisms*. Cambridge University Press, 2007.
- [20] L. Schutte, U. Narayanan, J. L. Stout, P. Selber, J. R. Gage, and M. H. Schawartz, "An index for quantifying deviations from normal gait," *Gait & Posture*, vol. 11, no. 1, pp. 25–31, 2000.
- [21] M. H. Schwartz and A. Rozumalski, "The gait deviation index: a new comprehensive index of gait pathology," *Gait & Posture*, vol. 28, no. 3, pp. 351–357, 2008.
- [22] S. Beynon, J. L. McGinley, F. Dobson, and R. Baker, "Correlations of the gait profile score and the movement analysis profile relative to clinical judgments," *Gait & Posture*, vol. 32, no. 1, pp. 129–132, mayo 2010.
- [23] E. Manousaki, A.-C. Esbjörnsson, L. Mattsson, and H. Andriessse, "Correlations between the gait profile score and standard clinical outcome measures in children with idiopathic clubfoot," *Gait & Posture*, vol. 71, 2019.
- [24] R. B. Davis, "Clinical gait analysis," *IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY MAGAZINE*, pp. 35–40, Septiembre 1988.
- [25] G. M. Lee and F. E. Pollo, "Technology overview: The gait analysis laboratory," *Journal of Clinical Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 129–135, 2001.
- [26] VICON. [Online]. Available: <https://www.vicon.com/>

- [27] Optitrack. [Online]. Available: <https://optitrack.com/>
- [28] Codamotion. [Online]. Available: <https://codamotion.com/>
- [29] A. Camacho-Salas, C. Pallás-Alonso, J. de la Cruz-Bértolo, R. Simón-de las Heras, and F. Mateos-Beato, “Parálisis cerebral: concepto y registros de base poblacional,” *REVISTA DE NEUROLOGÍA*, vol. 45, no. 8, pp. 503–508, 2007.
- [30] S. Le Cras, J. Bouck, S. Brausch, and A. Taylor-Haas, “Cincinnati children’s hospital medical center: Evidence-based clinical care guideline for management of idiopathic toe walking,” *Cincinnati Children’s Hospital Medical Center*, febrero 2011.
- [31] E. Jauffret, “Espina bífida,” *EMC Kinesiterapia*, vol. 43, no. 4, pp. 1–24, noviembre 2022.
- [32] Fundamentos de la biomécanica: Técnicas para el análisis instrumental de movimiento y fuerzas. Unidad didáctica. [Online]. Available: https://teach.ibv.org/wp-content/uploads/sites/18/2021/07/BF_D1_Didactic_Unit_ES.pdf
- [33] E. Szczrbik and M. Kalinowska, “The influence of knee marker placement error on evaluation of gait kinematic parameters,” *Acta of Bioengineering and biomechanics*, vol. 13, no. 3, 2011.
- [34] Seniam. [Online]. Available: <http://www.seniam.org/>
- [35] L. Cerda, “Evaluación del paciente con trastorno de la marcha,” *Rev Hosp Clín Univ Chile*, vol. 21, 2010.
- [36] *SmartAnalyzer Handbook*, BTS Bioengineering., 2009.
- [37] Y. Torres Pérez, “Evaluación cuantitativa de una prótesis de miembro inferior unilateral,” *Tecnura*, vol. 9, no. 17, 2005.
- [38] *BEYOND MOTION*, Vicon Motion Systems Limited, 2020.
- [39] The 3d standard. [Online]. Available: <https://www.c3d.org/>
- [40] *Polygon 4*, Vicon Motion Systems Limited, 2015.
- [41] M. H. Schwartz, A. Rozumalskia, and J. P. Trosta, “The effect of walking speed on the gait of typically developing children,” *Journal of Biomechanics*, vol. 41, no. 8, 2008.
- [42] Introduction
welcome to mokka. [Online]. Available: http://biomechanical-toolkit.github.io/docs/Mokka/_mokka_intro.html

- [43] Biomechanical-toolkit / btkcore. [Online]. Available: <https://github.com/Biomechanical-ToolKit/BTKCore>
- [44] Oritel implementa nuevo sistema para perfeccionar estrategias de rehabilitación en la región. [Online]. Available: <https://www.teleton.cl/oritel-implementa-nuevo-sistema-para-perfeccionar-estrategias-de-rehabilitacion-en-la-region/>
- [45] A. I. Agudelo Mendoza, T. J. Briñez Santamaria, V. Guarín Urrego, J. P. Ruiz Restrepo, and M. C. Zapata García, “Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura,” *CES Movimiento y Salud*, vol. 1, no. 1, 2013.
- [46] Teletón. [Online]. Available: <https://www.teleton.cl/>
- [47] V. Montoya-Leal and Z. Pérez, “Valoración cuantitativa para la reincorporación ocupacional,” *Revista Salud Uninorte*, vol. 32, no. 2, 2016.
- [48] M. Brown, H. Hislop, and D. Avers, *Daniels and Worthingham’s Muscle Testing: Techniques of manual examination and performance testing*. Elsevier Saunders, 2013, no. 9, ch. 1. Principles of manual muscle testing, pp. 1–6.
- [49] L. T. Ordóñez Mora and D. P. Sánchez, *Evaluación de la función neuromuscular*. Universidad de Santiago de Cali, 2020, no. 1, ch. 5. Evaluación de la función motora general, pp. 139–167.
- [50] b-tk. [Online]. Available: <https://code.google.com/archive/p/b-tk/downloads>

Anexo A : Teletón - Examen Físico de Laboratorio de marcha

Antes de cualquier análisis de marcha y movimiento se realiza un examen físico por un fisiatra o kinesiólogo, donde se obtienen las medidas antropométricas del paciente y se le realiza variadas evaluaciones, estas incluyen la observación, palpación e inspección de diferentes estructuras, centradas en los miembros inferiores [45]. Normalmente el examen físico dura dos horas aproximadamente, si no se tiene registro previo del paciente.

En el examen físico se obtiene el rango disponible de articulaciones para movimientos específicos y solicitados, también se observa la fuerza muscular, alineamiento de las extremidades inferiores, presencia de fenómenos patológicos como la espasticidad o distonía, entre otros [46].

Para las evaluaciones de la Tabla A.1 se toman las medidas con un goniómetro y con cinta de medir, en algunos de los resultados se define si la evaluación de cada uno de los términos es positivo o es negativo, de ser positivo es porque presenta alguna condición o si se encuentra fuera de rango normal. Varias de estas evaluaciones podrían ayudar a definir la necesidad de órtesis para el paciente [47].

Hay evaluaciones donde se observan las respuestas del paciente ante algún movimiento o estímulo, este listado de *tests* en la Tabla A.2.

Para los grupos musculares de la Tabla A.3 se evalúan la Fuerza Muscular (FM), el Control Motor Selectivo (CMS) y la Escala de Ashworth modificada (ASH).

- FM: Para medir la FM hay diferentes métodos. Normalmente se le pide al paciente que realice un movimiento sin carga adicional, en caso que lo haga correctamente, se le aplica una fuerza externa que ejerce presión en la extremidad que está siendo evaluada y se le solicita al paciente actuar contra esta fuerza ejercida, con el fin de ver si es capaz de romper esa resistencia, como resultado se obtiene un valor adimensional. Esta evaluación determina la flexibilidad, movilidad, extensibilidad y elasticidad muscular [48].
- CMS: corresponde cuando la persona es capaz de realizar un movimiento aislado, activando voluntariamente solo los grupos musculares específicos, sin ningún movimiento extraño o involuntario en las articulaciones relacionadas [49].
- ASH: mide la espasticidad, es decir, mide la tensión y rigidez de los músculos. Es definido

Tabla A.1: Evaluaciones de examen físico

Prueba Thomas (modificado)
Ángulo Poplíteo (R1/R2/R2U)
Rango de movimiento Rodilla/ Extensión Lag
Patela alta
Dorsiflexión Tobillo (Rodilla Flectada/Rodillo Extendida)
Plantiflexión tobillo
ABD Cadera (Rodilla Flectada/Rodillo Extendida)
Test Duncan-Ely (+/Eng)
Rotación interna de la cadera
Rotación externa de la cadera
Test de Anteversión Femoral
Ángulo Bimaleolar
Ángulo muslo - pie
Test segundo orjejo

Tabla A.2: Evaluaciones donde se observan las respuestas del paciente

Clonus tobillo
Ober test
Coleman Block test
Root test
Confusion test

Tabla A.3: Grupos musculares - Examen Físico

Extensión de cadera (Rodilla Extendida)
Extensión de cadera (Rodilla Flectada)
Flexión de rodilla
Abducción de cadera
Aducción de cadera
Abdominales
Flexión cadera
Extensión rodilla
Dorsiflexión tobillo
Plantiflexión tobillo (Rodilla Flectada/Rodilla Extendida)
Inversión. tobillo
Eversión tobillo

como un aumento dependiente de la velocidad de reflejo de estiramiento muscular asociado con el aumento del tono muscular como componente del síndrome de la neurona motora superior [3]. En la Tabla A.4 se puede ver la escala con la que se realiza la evaluación.

Dentro del examen físico igualmente se evalúa el pie en tres partes: retropié, mediopié y antepié, con y sin carga de la Articulación Astragalina. Esta evaluación solo se puede realizar si se logra la alineación del pie, en caso que no se logró, no se puede realizar este examen y se procede con los siguientes.

Las longitudes que se requieren para este examen son las que se encuentran a continuación:

- Ancho pelvis [cm]
- Profundidad pelvis [cm]
- Longitud extremidad inferior [cm]
- Diámetro rodilla [cm]
- Diámetro tobillo [cm]
- Talla [cm]

Tabla A.4: Escala de Ashworth Modificada [3]

Escala	Descripción
0	Sin aumento de tono muscular.
1	Pequeño aumento de tono muscular, que se manifiesta como una contracción y resistencia mínima al final de la amplitud de movimiento cuando se una o varias partes afectadas en flexión o extensión.
1+	Ligero aumento del tono muscular, que se manifiesta como una contracción, seguida de una resistencia mínima durante el resto (menos de la mitad) de la amplitud de movimiento.
2	Aumento marcado del tono muscular en la mayor parte de la amplitud de movimiento, pero la(s) parte(s) afectada(s) se sigue(n) moviendo con facilidad.
3	Aumento considerable del tono muscular, movimiento pasivo difícil.
4	Parte(s) afectada(s) rígida(s) en flexión o extensión.

Ya una vez obtenido los resultados del examen físico se define si el paciente realizará el examen de análisis de marcha: Descalzo, calzado, con asistencia, con órtesis y/o ayudas técnicas. También se define si se les tomará foto a sus pies y hacer uso de los sensores de EMG, en caso de ser necesario.

No olvidar que siempre es necesario contar con el consentimiento informado.

Anexo B : Posicionamiento de marcadores Convencionales

Es la colocación estratégica de marcadores en el cuerpo de un sujeto para capturar y rastrear con precisión los movimientos durante la marcha u otras actividades.

B.1 Protocolo de Davis

En cuanto al posicionamiento de marcadores existen distintos tipos de protocolos, sin embargo, el más utilizado es el protocolo de Davis, el cual consiste en 22 marcadores en total [10].

Configuración de los marcadores y la alineación.

- Pelvis. ‘R’ y ‘B’ marcadores se posicionan en el lado derecho e izquierdo del anterior superior iliac spine (ASIS), la base del sacro ‘H’ se coloca un marcador en una varita, el cual estará ubicado en el posterior superior iliac spine (PSIS), con ángulo modificado de modo que se posiciona en el plano formado por el ASIS y PSIS, derecho e izquierdo del sujeto.[10]
- Muslo. Palpan la zona medial lateral derecha del epicóndilo, para alinearlos con el eje epicondular. En el muslo derecho se encontrarán los marcadores ‘RK’, ‘RF’ y ‘RH’ que son ubicados en el eje epicondular, formando un plano orientado en ese eje. Cabe mencionar que estos 3 marcadores se consideran como una unidad. Se realiza el mismo procedimiento para el lado izquierdo.[10]
- Tibia: en esta zona están los marcadores RA, RB y RP que son posicionados en otro plano del eje epicondular, tratando que sea lo más distal posible para reducir artefactos por movimiento. Se realiza el mismo procedimiento en el lado izquierdo.[10]
- Pie: se coloca un marcador en el pie derecho (RT) este es localizado específicamente el lateral del pie en la cabeza del quinto metatarsiano.[10].
El marcador del talón (RQ) se posiciona en la línea desde el centro del tobillo hacia el espacio entre las cabezas de segundo y tercer metatarso. Este proceso se repite para el lado izquierdo.[10]
- Tronco: los marcadores de los hombros (RS y LS) y el marcador en una varilla (N), ubicado en la cervical, se ubican de manera que la línea que pasa a través de la articulación esternoclavicular y

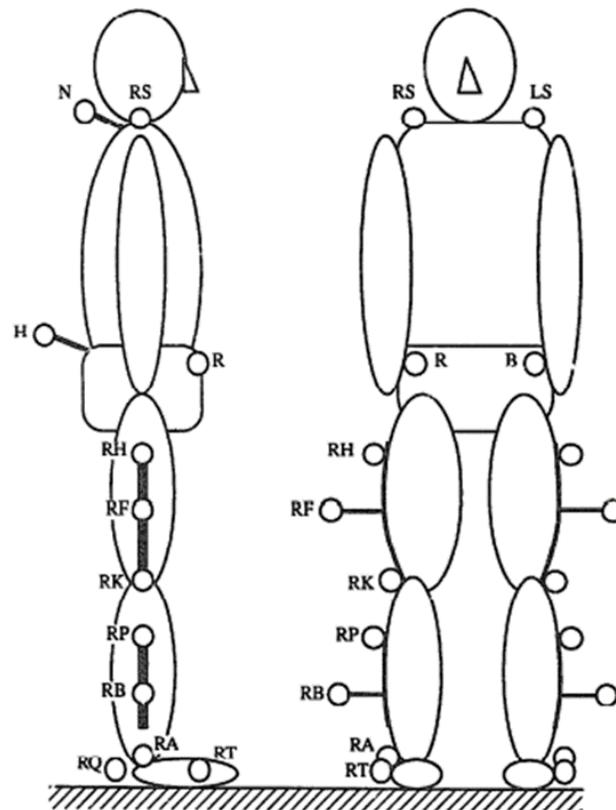


Fig. B.1: Esquema localización de marcadores con Protocolo de Davis. [10]

la séptima vertebra cervical, sea paralela con el plano del marcador. Cada marcador de hombro es localizado a mitad de distancia entre el cuello y el aspecto lateral del hombro.[10]

La configuración de los marcadores se pueden ver en la figura B.1.

B.2 Protocolo Helen Hayes

Consistió en una investigación del hospital Helen Hayes, donde se realizó un sistema simple de colocación de marcadores para el análisis de la marcha. Se utilizan pocos marcadores, en un total de 15 y son fáciles de posicionar.

Dos marcadores se colocan en lado derecho e izquierdo la ASIS; otro marcador es colocado en una varilla de 10 cm que se extiende desde la parte superior del sacro (L4- L5) y en el plano espinal. Cuatro otros marcadores son posicionados en el trocánter mayor, lateral al eje de rotación promedio estimado de la rodilla, el maléolo lateral y en el espacio entre las cabezas del segundo y tercer metatarsiano. [11]

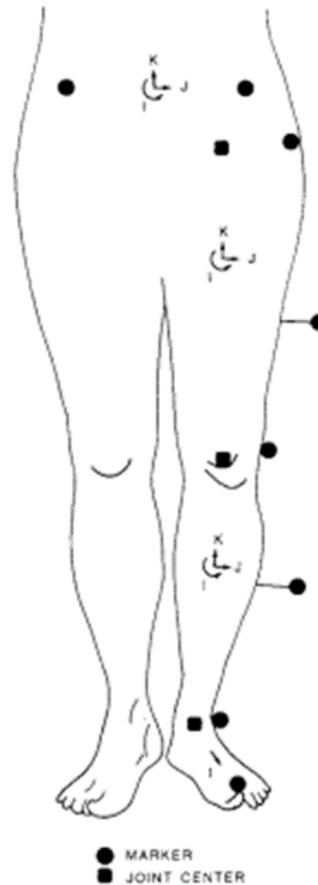


Fig. B.2: Esquema localización de marcadores con Protocolo Helen Hayes. [11]

Además, una varilla con un marcador es posicionado en la mitad del muslo y otro en la mitad de la tibia, lo suficientemente distal a la cadera y articulaciones de la rodilla.[11]

La localización de los marcadores se puede observar en la figura B.2, donde los círculos son los marcadores reflectantes.

B.3 Plug in Gait

Este posicionamiento de marcadores es un modelo asociado a los sistemas MoCap de Vicon. Está basado en el modelo Newington-Helen Hayes [12].

Existen dos variaciones para la parte inferior del cuerpo:

1. Un marcador sacro único para la pelvis [12].
2. Dos marcadores de la PSIS para la pelvis. Este modelo posee ventajas, ya que presenta redun-



Fig. B.3: Esquema localización de marcadores con Protocolo Plug-in gait. [12]

dancia lo que permite reconstruir un marcador virtual basado en los tres marcadores restantes [12].

En la figura B.3 se puede observar la localización de los marcadores.

Anexo C : Encuesta para *Movement Analysis Network*

Catastro de convenio: Movement Analysis Network

El Politécnico de Milán, la Universidad de Concepción y Oritel (Organización Internacional de Teletones) están colaborando en el Movement Analysis Network, con el objetivo de definir un protocolo estandarizado para los laboratorios de marcha. Se busca crear una guía paso a paso del proceso, con el fin de facilitar el uso de la tecnología y unificar los datos recolectados en la red.

A continuación le solicitamos responder una serie de preguntas con respecto a su laboratorio de marcha, para conocer sus características.

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Nombre del centro Teletón *

2. Ciudad *

3. Nombre de persona a cargo del laboratorio *

4. Email de persona a cargo del laboratorio *

5. ¿Cuántas personas conforman su laboratorio de análisis de movimiento? *

6. ¿Qué tipo de tecnología se utiliza en su Laboratorio de análisis de movimiento? *

Marca solo un óvalo.

BTS

VICON

Otro: _____

7. Año inicio del funcionamiento del laboratorio *

8. ¿Cuántas plataformas de fuerza poseen? *

Marca solo un óvalo.

2

4

6

8

Otro: _____

9. ¿Cuántas cámaras poseen en el laboratorio? *

Marca solo un óvalo.

6

8

10

Otro: _____

10. ¿Cuántos sensores de EMG posee su laboratorio? *

Marca solo un óvalo.

0

4

8

16

Otro: _____

11. ¿Aproximadamente cuántos pacientes atienden a la semana en el laboratorio de marcha? *

12. ¿Cuáles son las patologías que suelen atender? *

13. ¿Qué protocolo usa para el posicionamiento de marcadores? *

14. ¿Qué exámenes se realizan en el laboratorio?

15. Si tiene alguna problemática recurrente en el laboratorio de marcha, descríbala (Posicionamiento marcadores, error en la adquisición, etc.)

16. Inquietudes relacionadas con el convenio Movement Analysis Network

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

¿Cuántas plataformas de fuerza poseen?

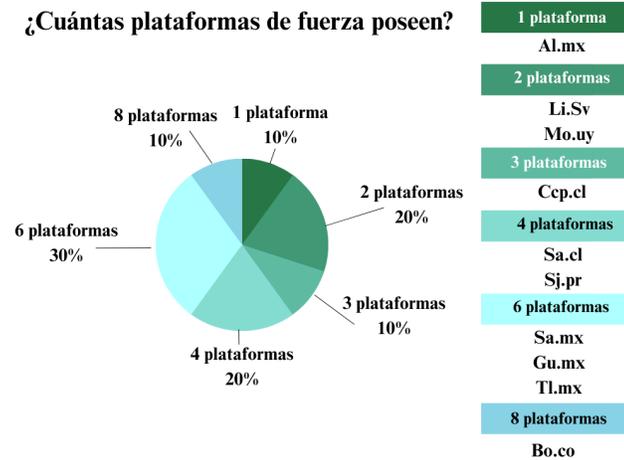


Fig. C.1: Cantidad de plataformas de fuerza por laboratorio.

¿Cuántas cámaras poseen en el laboratorio?

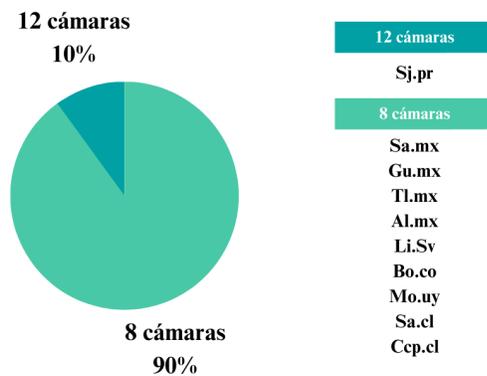


Fig. C.2: Cantidad de cámaras por laboratorio.

¿Cuántos sensores EMG posee el laboratorio?

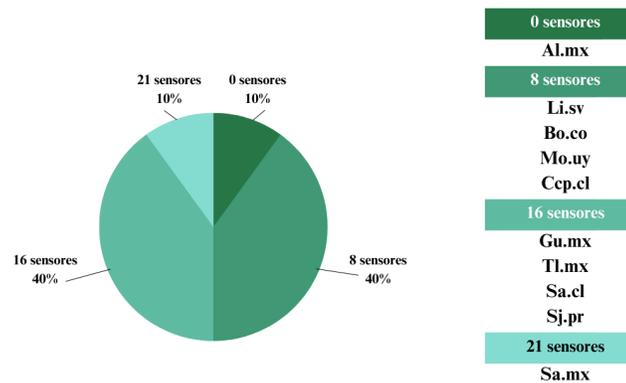


Fig. C.3: Sensores EMG por laboratorio.

Tabla C.1: Respuestas de levantamiento para *Movement Analysis Network* - Parte 2

ID	Patologías que suelen atender	Protocolo de posicionamiento de marcadores	Exámenes que realizan
Sa.mx	Parálisis cerebral, Trastornos Degenerativos	Davis	Cinemática, cinética, telemetría y barometría
Gu.mx	Parálisis cerebral	Davis	Cinemática, cinética y electromiografía
Tl.mx	Parálisis cerebral	Helen Hayes	Rangos de movimiento, fuerza manual muscular y tono muscular
Al.mx	Lesión cerebral / Parálisis cerebral	Davis	Cinemática y cinética
Li.sv	Parálisis cerebral infantil	Davis	Cinemática, cinética y EMG
Bo.co	Parálisis cerebral y enfermedades neuromusculares	Davis	Análisis computarizado, podografía dinámica y estática, estabilometría, análisis de salto vertical, up go y 6 minutos con sensor inercia.
Mo.uy	Parálisis cerebral y otras patologías neuromusculoesqueléticas del niño y adolescente en menor proporción	Plug-in gait	
Sa.cl	Parálisis cerebral, espina bífida, amputados, marcha idiopática en puntas de pies, enf. neuromusculares, AMC	Davis	99% son estudios de marcha
Ccp.cl	Parálisis Cerebral, Espina Bífida, patología Neuromuscular, lesionados medulares, TEC	Plug-in gait	análisis 3D de marcha, pruebas en extremidad superior
Sj.pr	Parálisis cerebral	Davis	Ninguno

Anexo D : Instalación Biblioteca BTK

Para la generación de resultados de este informe, disponibles en el Capítulo 3, se hizo uso de la plataforma Matlab, con la librería BTK, por lo que a continuación, se presenta la instalación de esta biblioteca.

1. Descargar biblioteca de BTK del enlace referenciado [50], donde se debe seleccionar el que sea compatible con la versión de Matlab que posean.
2. Guardar los archivos en una carpeta.
3. Para hacer uso de librería y de sus funciones, hay que añadir la ruta de la carpeta en Matlab. Esto se puede realizar de dos formas.
 - a) Manualmente: añadiendo la ruta en *HOME >Set Path*, luego se abrirá una ventana donde hay que buscar la carpeta en *Add Folder* y por ultimo guardarla, como se puede observar en la Fig.D.1
 - b) *addpath*: Se añade la ruta de la carpeta en la función *addpath*.
4. Para verificar que la librería se ha instalado exitosamente, se puede colocar *help btk* en la ventana de comando. Si se instaló de forma correcta debería de aparecer como en la Fig.D.2.

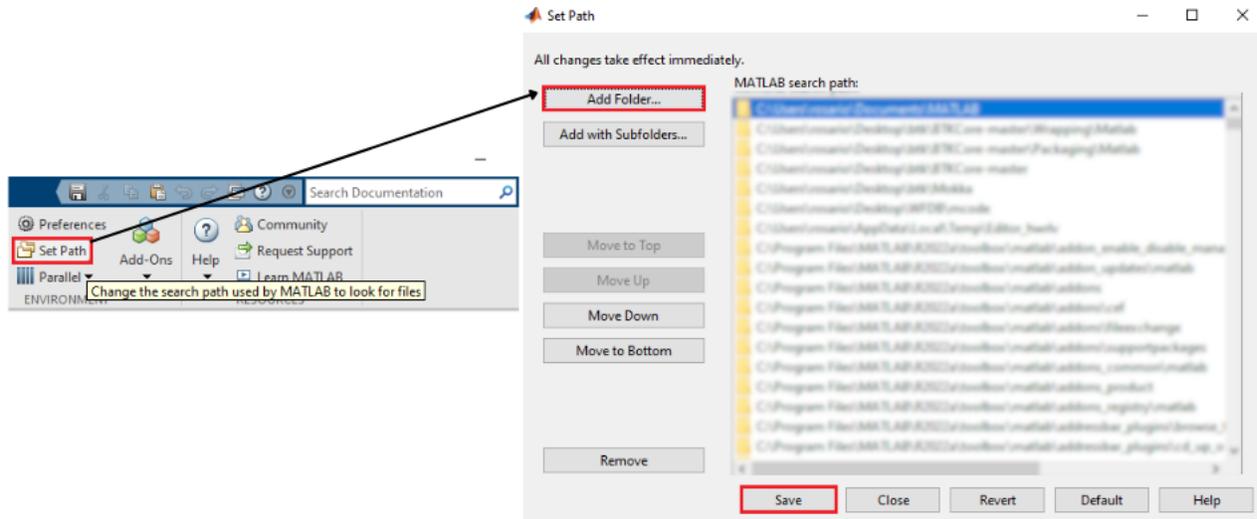


Fig. D.1: Captura de pantalla - Añadir ruta manualmente en MATLAB.

```

Command Window
>> help btk
Biomechanical ToolKit (btk) Toolbox
Version 0.3.0

Table of Contents (TOC)
-----

Modules
  Basic Filters           - Compute parameters from acquisition's data
  Common                 - Access acquisition data
  I/O                     - Read/Write biomechanical files

General functions
  btkEmulateC3Dserver     - Creates an emulated COM object for C3Dserver
  btkGetVersion          - Return the btk release number
  btkTransformTDFToViconC3DFile - Transform a TDF file to a C3D file compatible with Vicon
  >>

```

Fig. D.2: Captura de pantalla - Verificación intalación correcta de la librería en MATLAB.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA
RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Eléctrica
Carrera : Ingeniería Civil Biomédica
Nombre del memorista : Rosario María Ulloa Barrientos.
Título de la memoria : Estandarización de la adquisición y almacenamiento de datos de laboratorios de análisis de movimiento para Red Oritel.
Fecha de la presentación oral : 30 de agosto, 2023.

Profesor(es) Guía : Esteban Pino.
Profesor(es) Revisor(es) : Rosa Figueroa.
Concepto :
Calificación :

Resumen

Este informe se centra en establecer procedimientos de estandarización para adquirir y almacenar datos de la red Oritel en laboratorios de marcha, abordando la falta de uniformidad en sistemas de captura de movimiento. Se realizó un estudio bibliográfico sobre la marcha y estándares aplicables, junto con reuniones con profesionales especializados en laboratorios de marcha. El objetivo principal es lograr coherencia y comparabilidad en los datos de laboratorios de la red Oritel. Estas guías buscan estandarizar prácticas de adquisición y almacenamiento de datos, facilitando la comparación e intercambio de información en la red, lo cual es de interés para el proyecto Movement Analysis Network. Se trabajó con datos de sistemas BTS GaitLab y Vicon. Se propone una guía detallada de adquisición de datos que considera calibración, configuración de parámetros, calibración para pacientes, rutina de ejercicios y procesamiento en software de análisis. También se presenta una guía de almacenamiento utilizando los programas Matlab y Mokka, definiendo los formatos específicos para cada sistema. Además, se evalúa el estado actual de los laboratorios a través de un levantamiento de datos en los centros del proyecto Movement Analysis Network. Con el fin de definir estándares para adquisición y almacenamiento de datos de marcha, facilitando la comparación e intercambio en la red Oritel y sentando bases para futuras investigaciones en análisis de movimiento