



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRICA**



**PROTOCOLO DE ESTUDIO PARA TERAPIA DE REHABILITACIÓN DE
EXTREMIDAD SUPERIOR MEDIANTE EL USO DE EQUIPO ARMEO Y
ANÁLISIS DE MOVIMIENTO**

POR

Monserrat Catalina Rivera Segura

Informe Final Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al grado académico de Ingeniero(a) Civil Biomédico(a)

Profesor(es) Guía
Esteban Pino Quiroga

Supervisora
Stephanía Yáñez Arias

Profesor(es) Comisión
Pamela Guevara Álvez
Carlos Medina Muñoz

Agosto 2022
Concepción
(Chile)

© 2022 Monserrat Catalina Rivera Segura

© 2022 Monserrat Catalina Rivera Segura

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



Agradecimientos

Solo existe una persona en el mundo que me ha acompañado y guiado durante toda mi vida, que me ha cuidado y apoyado en cada paso que doy, agradezco a mi mamá Julieta, ya que, sin ella, no sería lo que soy en el ámbito personal ni académico, mi vida entera por ella, sin duda estoy donde estoy gracias a su amor y comprensión, te amo mucho. A mi papá Patricio y mi hermano Benjamin, gracias por apoyarme durante toda mi formación universitaria y entenderme cuando tenía momentos de frustración y peleaba con todo el mundo.

A mis amigas Ángela y Valentina, por levantarme cada vez que pensé que el mundo se me venía encima, por celebrar cada uno de mis logros por más pequeños que sean y alegrar mis días, por su amistad incondicional y sincera. A mi primo Gerardo, por siempre estar para mi cuando lo necesité, dándome una palabra de apoyo o un reto si era necesario, por acompañarme en momentos de recreación y siempre hacerme sentir que podía con todo. A mis compañeros de carrera y amigos Antonia, Javiera, Sofía, Sergio y Gonzalo, gracias a ustedes mi estadía en la universidad fue como siempre soñé, por su compañerismo incomparable y amistad pura dentro y fuera del ámbito universitario. A G por acompañarme y darme ánimos cada vez que lo necesitaba, por su contención y paciencia, mucha paciencia.

A mi profesor Esteban por su comprensión y dedicación, por su paciencia y entrega, por su simpatía y por tranquilizarme cuando llegaban los momentos de frustración. A Stephania y todo el equipo de Teletón quienes me brindaron toda su ayuda siempre con buena disposición y cooperación, y facilitarme el trabajo. Y a todas las personas que me han acompañado en este proceso, muchas gracias.

Resumen

En Chile, 1 de cada 8 personas presenta alguna discapacidad y un 31,1% de ellas ven afectada su movilidad física. Dentro de las patologías que afectan la discapacidad de extremidad superior está la parálisis braquial obstétrica (PBO). La PBO es una lesión originada prenatalmente o al momento del parto, donde se dañan las raíces nerviosas del plexo braquial, impidiendo el movimiento de una de las extremidades. Esta patología se puede tratar mediante el uso de equipos. Además, existen estudios donde se plantea el uso de la electromiografía (EMG) para evaluar el avance de la lesión.

Actualmente, no existen estudios de rehabilitación de pacientes con PBO en combinación con electromiografía, es por ello que se necesita establecer los pasos a seguir para tratar esta patología combinando ambas tecnologías.

Se estudiará y utilizará el equipo Armeo Senso, usado para tratar lesiones leves o moderadas en la extremidad superior. Asimismo, se estudiará el Laboratorio de Análisis de Movimiento el cual consta de marcadores de posición y sensores de electromiografía. Los sensores presentes en el laboratorio son los sensores inalámbricos Delsys Trigno de 8 canales.

La rehabilitación consiste en 15 sesiones con el equipo Armeo Senso sumado a la terapia convencional. Además, se realizan pruebas en el Laboratorio de Análisis de Movimiento pre y post terapia. Los marcadores de posición son ubicados según el modelo Plug-In-Gait modificado. Los sensores de electromiografía son ubicados en el deltoides, trapecio, bíceps y pectoral mayor, utilizando un total de 8 sensores distribuidos en ambas extremidades. Las evaluaciones realizadas son la escala de SHUEE, la cual entrega una calificación semicuantitativa de la movilidad del paciente y la escala de Mallet modificada para evaluar la calidad de los movimientos realizados y determinar los instantes de actividad e inactividad del músculo, junto con el alcance máximo de la extremidad lesionada del paciente.

En esta memoria de título se realizó un estudio y posterior protocolo e informe de presentación de resultados para rehabilitación de extremidad superior en niños con parálisis braquial obstétrica mediante el uso de equipos en conjunto con electromiografía. Este protocolo de estudio y propuesta de informe de resultados beneficia a todo el personal encargado de la rehabilitación de pacientes con PBO, dejando establecidos los pasos a seguir del tratamiento combinado y permite evaluar su avance pre y post terapia.

Abstract

In Chile, 1 out of every 8 people has a disability and 31.1% of them have their physical mobility affected. Among the pathologies that affect upper extremity disability is obstetric brachial palsy (OBP). OBP is an injury originated prenatally or at the time of delivery, where the nerve roots of the brachial plexus are damaged, preventing the movement of one of the extremities. This pathology can be treated through the use of equipment. In addition, there are studies where the use of electromyography (EMG) is proposed to evaluate the progression of the lesion.

Currently, there are no studies of rehabilitation of patients with OBP in combination with electromyography, which is why it is necessary to establish the steps to follow to treat this pathology combining both technologies.

The Armeo Senso equipment, used to treat mild to moderate upper extremity injuries, will be studied and used. The Motion Analysis Laboratory, which consists of position markers and electromyography sensors, will also be studied. The sensors present in the laboratory are 8-channel Delsys Trigno wireless sensors.

Rehabilitation consists of 15 sessions with the Armeo Senso equipment in addition to conventional therapy. In addition, tests are performed in the Motion Analysis Laboratory pre and post therapy. The position markers are placed according to the modified Plug-In-Gait model. Electromyography sensors are placed in the deltoid, trapezius, biceps and pectoralis major, using a total of 8 sensors distributed in both extremities. The evaluations performed are the SHUEE scale, which provides a semiquantitative rating of the patient's mobility and the modified Mallet scale to evaluate the quality of the movements performed and determine the moments of activity and inactivity of the muscle, along with the maximum range of the patient's injured limb.

In this degree thesis, a study and subsequent protocol and report of results presentation for upper extremity rehabilitation in children with obstetric brachial palsy was carried out using equipment in conjunction with electromyography. This study protocol and results report proposal benefits all the personnel in charge of the rehabilitation of patients with BPP, establishing the steps to be followed in the combined treatment and allowing the evaluation of their progress pre and post therapy.

Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	10
1.2. OBJETIVOS	11
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	11
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	11
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES	11
1.4. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. INTRODUCCIÓN	13
2.2. TRABAJOS PREVIOS	13
2.2.1 <i>Parálisis braquial obstétrica (PBO)</i>	14
2.2.2 <i>Armeo Senso</i>	19
2.2.3 <i>Delsys Trigno</i>	22
2.2.4 <i>Laboratorio de Análisis de Movimiento</i>	24
2.3. DISCUSIÓN	27
CAPÍTULO 3. DESARROLLO	28
3.1. INTRODUCCIÓN	28
3.2. EXPERIMENTACIÓN.....	28
3.3. RESULTADOS	32
3.4. DISCUSIÓN	40
CAPÍTULO 4. PROTOCOLO DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE INFORME DE RESULTADOS	41
4.1. INTRODUCCIÓN	41
4.2. PROTOCOLO DE ESTUDIO	41
4.3. PROPUESTA DE INFORME DE RESULTADOS.....	42
4.4. DISCUSIÓN	54
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	55
5.1. DISCUSIÓN	55
5.2. CONCLUSIONES	56
5.3. TRABAJO FUTURO.....	56
ANEXO A. VALORES DE POTENCIA.....	61

Lista de Tablas

Tabla 1 Descripción General de Tecnología Usada [3].	17
Tabla 2 Principales Datos Obtenidos en el Estudio [16].	22
Tabla 3 Ubicación de los Sensores de EMG	29
Tabla 4 Datos de los Pacientes en Estudio	31
Tabla 5 Resultado Escala de SHUEE Pre y Post Tratamiento para las Pacientes 1 y 2	33
Tabla 6 Distancias Máximas por Movimiento para las Pacientes 1 y 2 Pre y Post Terapia	34
Tabla 7 Valores RMS Paciente 1	36
Tabla 8 Valores RMS Paciente 2	38
Tabla 9 Valores de Potencia Previo al Tratamiento de la Paciente 1 en V2/segundo	61
Tabla 10 Valores de Potencia Posterior al Tratamiento de la Paciente 1 en V2/segundo	62
Tabla 11 Valores de Potencia Previo al Tratamiento de la Paciente 2 en V2/segundo	63
Tabla 12 Valores de Potencia Posterior al Tratamiento de la Paciente 2 en V2/segundo	64



Lista de Figuras

Fig. 1 Raíces del Plexo Braquial [8]	16
Fig. 2 Escala de Mallet Modificada [12].....	18
Fig. 3 Escala de SHUEE [14].....	19
Fig. 4 Armeo Senso. Ubicación de Sensores (1,2,3) y Posición Módulo de Mano (4).....	20
Fig. 5 Sensores del Armeo Senso [15]	20
Fig. 6 Módulo de Mano [15]	21
Fig. 7 Base de Sensores para Carga y Comunicación [15]	23
Fig. 8 Ubicación del Sensor en el Músculo [18]	23
Fig. 9 Posición de los Marcadores Plug-In-Gait [22].....	26
Fig. 10 Ubicación de los 23 Marcadores y Sensores de EMG	29
Fig. 11 Posiciones de la Prueba de Mallet Modificada	30
Fig. 12 Gráfica de Alcance Pre y Post Terapia de la paciente 1	32
Fig. 13 Gráfica de Alcance Pre Terapia de la paciente 2	33
Fig. 14 Ubicación de Nuevos Marcadores para Trabajos Futuros	57





Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción General

La discapacidad en Chile afecta a 1 de cada 8 personas siendo un 31,1% las que ven afectada su movilidad física [1]. Dentro de las patologías que producen la discapacidad de la extremidad superior del cuerpo está la Parálisis Braquial Obstétrica. La PBO es un daño que puede ser originado prenatalmente o al momento del parto, donde se dañan las raíces nerviosas del plexo braquial, que es la red de nervios que envía señales desde la médula espinal hacia el hombro, brazo y mano. Esta patología existe desde tiempos remotos, pero lamentablemente el desconocimiento y la falta de tecnología impedía realizar un correcto tratamiento [2]. Existen 4 tipos de PBO dependiendo de la raíz lesionada.

Dentro de las terapias usadas para tratar esta patología se encuentra el uso de exoesqueletos, en particular, para este estudio, se usará el Armeo Senso [3]. Existen estudios donde se plantea la complementariedad del uso de electromiografía para evaluar el tratamiento y avance de las lesiones del plexo braquial. Se realizó una comparación pre y post operatorias en relación a la electrofisiología presentada por el paciente, la cual también ayuda a determinar el grado de la lesión [4].

Los equipos a estudiar y usar se encuentran en el centro Teletón Concepción. Teletón es una institución sin fines de lucro dedicada a la rehabilitación de niños, niñas y jóvenes con discapacidad motora. Fue fundada en 1947 bajo el nombre de Sociedad Pro Ayuda del Niño Lisiado, y en 1978 se realizó la primera Teletón televisada. Los fondos son recaudados mediante aportes solidarios de los chilenos, grandes empresas y empresarios. El centro Teletón Concepción fue inaugurado el 20 de julio de 1981 [5].

El año 2022 se realizó un estudio en el centro Teletón Concepción en donde se compara el uso del equipo Armeo Spring con la terapia convencional para rehabilitar a pacientes que sufrieron un accidente cerebrovascular. Se seleccionaron a 20 sujetos, divididos en 2 grupos de 10 pacientes cada uno, un grupo fue tratado solo con Armeo Spring y el otro con terapia convencional. Se realizaron 15 sesiones distribuidas en 3 sesiones por semana. Se concluyó que ambos grupos mejoraron su movilidad y no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos [6].

Dada la inexistencia de estudios de rehabilitación de extremidad superior a pacientes con parálisis braquial obstétrica mediante la combinación del Armeo Senso y sensores de electromiografía, es que nace la necesidad de elaborar un protocolo para guiar y estandarizar los pasos a seguir para estudiar la rehabilitación de esta patología mediante ambas tecnologías.

En la siguiente sección se investigará sobre el uso de este equipo para tratar pacientes con PBO en combinación con electromiografía y realizar un protocolo de estudio y propuesta de informe de presentación de resultados.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Preparar un estudio piloto combinando el equipo Armeo Senso con sensores de EMG en pacientes con PBO para obtener una mejor evaluación de la terapia de rehabilitación

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar protocolo de estudio combinando Armeo Senso y EMG de miembro superior
- Obtener datos del Armeo Senso y de los sensores de EMG de forma sincronizada
- Interpretar los datos obtenidos por los equipos
- Describir protocolo para futuros estudios que combinen Armeo Senso con EMG en pacientes con PBO
- Elaborar protocolo de pruebas e informe de resultados.



1.3. Alcances y Limitaciones

Esta investigación se centrará en usuarios pediátricos de la Teletón Concepción quienes requieran rehabilitación de extremidad superior mediante el equipo Armeo Senso. La investigación consta de realizar mediciones mediante el uso del equipo en conjunto con sensores de electromiografía en pacientes con parálisis braquial obstétrica. La información de EMG será acompañada por la información postural obtenida en el laboratorio de análisis de movimiento de Teletón Concepción.

1.4. Metodología

A modo de contextualización, se realizará una revisión bibliográfica de la discapacidad en Chile. Se presentará una revisión histórica de la parálisis braquial obstétrica (PBO) y estudio de las causas de la patología, como afecta al paciente y una comparación entre los tratamientos antiguos y actuales. Se estudiará el uso de exoesqueletos para tratar las lesiones producidas, en específico, el equipo Armeo Senso en conjunto con sensores de electromiografía. Se estudiará además sobre el laboratorio de análisis de movimiento que es el lugar donde se realizan las pruebas con los sensores de EMG. Se usarán los equipos mencionados anteriormente para realizar un estudio sobre la mejora

de la lesión en el plexo braquial combinando estas tecnologías, además, se realizará un protocolo de estudio de la lesión. Los datos obtenidos serán condensados en una planilla para poder dejar una base, la cual puede ser usada en estudios posteriores.

Se seleccionaron a 2 pacientes de 9 y 12 años quienes sufren de PBO. Se observará y analizará su mejora en el transcurso de 15 sesiones.



Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Introducción

Los estudios de personas con movilidad reducida en Chile muestran que un 12,5% de la población presenta algún tipo de discapacidad. Dentro del listado de patologías se encuentra la PBO, cuyo descubrimiento se remonta al año 1700, sin embargo, los médicos de la época tenían vagos conocimientos sobre la anatomía, especialmente la diferencia entre ligamentos, nervios y tendones, por lo tanto, no lograban descubrir exactamente qué parte era la que se dañaba, pero la mayoría de los investigadores coincidían en que la parálisis se producía al momento del parto.

Existen diferentes clasificaciones para esta patología. Según el origen de la lesión, que puede ser prenatal o al momento del parto, y de acuerdo a la zona de la lesión. Los tratamientos usados son terapias convencionales donde se los fisioterapeutas realizan ejercicios físicos, cirugías dependiendo del grado de la lesión y el uso de exoesqueletos que combinan la terapia convencional con la tecnología, permitiendo el paciente mover la extremidad en distintos grados de libertad, dependiendo de la necesidad de este. Para el presente protocolo se estudia el equipo Armeo Senso, el cual sirve para rehabilitar pacientes que no requieren de gran ayuda para realizar movimientos. Además, se combinará con el estudio de EMG presente en el laboratorio de análisis de movimiento para establecer los parámetros y datos que se pueden obtener mediante el uso de ambas tecnologías.

2.2. Trabajos Previos

En Chile 1 de cada 8 personas presenta alguna discapacidad, que corresponde a 2.068.072 habitantes. El concepto discapacidad se refiere a personas que ven limitadas o restringidas sus actividades cotidianas o que presentan una deficiencia de las funciones o estructuras corporales.

Un 7,2% de la población presenta una discapacidad leve, un 3,2% tiene una discapacidad moderada y un 2,5% una discapacidad severa. Del total de personas con discapacidad, un 58,2% corresponde a mujeres mientras que un 41,8% son hombres.

Un dato muy importante es que un 3,2% de las personas con discapacidad son niños de entre 0-15 años, este dato corresponde al posible público objetivo de la presente investigación [1].

2.2.1 Parálisis braquial obstétrica (PBO)

La parálisis braquial obstétrica corresponde a una lesión del plexo braquial provocada en el parto, donde se paraliza la extremidad superior del recién nacido, impidiendo el movimiento de éste. Las lesiones del plexo han existido desde hace muchos años, sin embargo, no existe información concreta respecto al tratamiento dado. Desde los años 400 A.C. aproximadamente existen registros bibliográficos del daño de los nervios, este concepto de nervios engloba a nervios, ligamentos y tendones, debido a que antiguamente se les hacía imposible distinguir entre uno y otro. A pesar de que en el año 100 A.C. existió alguien que diferenció cada una de estas estructuras, recién se lograron distinguir completamente en el siglo XIX.

La primera técnica descrita fue en 1608 para sanar una neurorrafia, en donde se sumergen los cabos proximal y distal del nervio que se quiere sanar, los cuales deben absorber un líquido hecho con vino y rosas, luego se unen estos cabos con hilo y aguja, y finalmente se inmoviliza el miembro que recién se acaba de curar. Duchenne de Boulogne, conocido como el padre de la electroterapia y el electrodiagnóstico, usó estas técnicas para tratar la parálisis braquial obstétrica, teniendo como justificación la estimulación de los nervios mediante electricidad. En 1877 Erb analizó y estudió la estimulación del plexo braquial mediante electricidad en cuatro tipos de parálisis. En 1885, Augusta Klumpke analizó un caso de una paciente quien era incapaz de mover los pequeños músculos de la mano y tenía adormecimiento de esta, dando a conocer otro tipo de parálisis, conocida como Parálisis de Klumpke.

Los primeros tratamientos que se usaron para tratar la parálisis fue estimular los músculos de manera física, sin embargo, a pesar del arduo trabajo realizado por los médicos de la época, el tratamiento no tuvo resultados satisfactorios. A principios del siglo XX comenzaron con procedimientos quirúrgicos, y ya en 1903, luego de un estudio de la anatomía de la lesión, algunos médicos comenzaron a suturar directamente en las raíces. De 200 personas intervenidas, 70 de ellas tuvieron resultados exitosos, por lo que esta técnica obtuvo resultados satisfactorios. Sin embargo, algunos años después determinaron que estos resultados no eran lo suficientemente concluyentes, por tanto, volvieron a los procedimientos tradicionales, y hubo un declive de la investigación de la parálisis braquial.

A principios de los 80, llegó la microcirugía, lo que nuevamente llamó la atención de los médicos e incentivó la investigación del tratamiento para la PBO. Desde ahí, se ha usado la microcirugía y la transferencia nerviosa, junto a los tratamientos convencionales de manera física para rehabilitar a pacientes que padecen de parálisis braquial obstétrica [2].

Los principales factores de riesgo de la PBO son la disociación del hombro, la macrosomía y el parto instrumental. Esta parálisis se asocia a una mala extracción del recién nacido, presionando excesivamente sobre su hombro, provocando desgarro o rompimiento de las raíces nerviosas, sin embargo, existen casos donde la parálisis no se origina por una mala extracción, sino que se produce por causa de una lesión intrauterina. Se puede determinar que la parálisis fue producida prenatalmente mediante electromiografía o si presenta amiotrofia.

Un origen de la parálisis braquial obstétrica es la que ocurre al momento del parto debido a una mala intervención. Afecta a los nervios del plexo braquial, mostrados en Fig. 1, los cuales se encargan de controlar los movimientos del hombro, codo, brazo y manos. La recuperación es mucho más efectiva dentro de los primeros 3 meses de nacido, en caso de que el diagnóstico no sea oportuno, puede producir daños neuronales, por ello la importancia de detectar esta patología a tiempo.

Se presenta un caso clínico de una paciente que no lograba levantar el brazo ni empuñar la mano. Se realizó fisioterapia por 10 meses. Al cabo de este tiempo, la paciente lograba empuñar la mano y levantar el brazo.

La idea de evaluar este caso clínico es concluir que existen distintos orígenes de la parálisis, pudiendo ser intrauterino o al momento del parto, en ambos casos, se dañan las raíces nerviosas afectando a las vértebras cervicales hasta T1, dependiendo del tipo de parálisis [7].

La terapia se lleva a cabo por un grupo de profesionales que son fisiatra, kinesiólogo, terapeuta ocupacional y cirujanos ortopédicos especialistas en el área. Se debe detectar a tiempo e informar a la familia de forma oportuna para poder llevar a cabo el tratamiento. Se realiza una neurocirugía de plexo para unir los nervios dañados y para mejorar la funcionalidad se debe realizar una segunda cirugía de transferencia de tendones y músculos.

Es fácil saber si estamos en presencia de una parálisis, puesto que el recién nacido no tiene movilidad en la extremidad superior.

Existen distintos tipos de PBO de acuerdo con las raíces afectadas:

- Parálisis de Erb: Afecta a las raíces C5 y C6, afectación del tronco superior
- Afectación del tronco superior y medio: Afecta a las raíces C5 – C7, afectando principalmente al hombro y codo
- Afectación de tronco superior, medio e inferior: Afecta a las raíces C5- C8 y T1
- Afectación del tronco inferior: Afecta a las raíces C8 y T1.

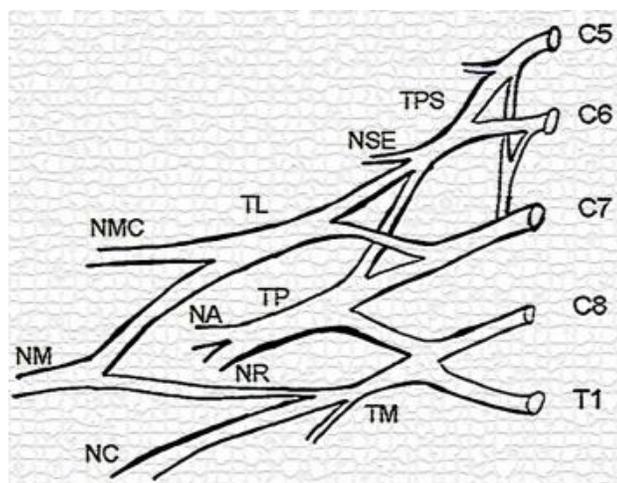


Fig. 1 Raíces del Plexo Braquial [8]

Previo al tratamiento de la patología, se realizan estudios imagenológicos y neurofisiológicos, dentro de los que se encuentran resonancia magnética, tomografía axial computarizada y electromiografía. Estos estudios sirven para determinar el grado de la lesión y adecuar el tratamiento según su gravedad [9].

El tratamiento convencional para tratar la PBO consta de 3 secciones, las cuales son ejercicios, férulas y estimulación eléctrica. La primera se realiza desde que se detecta la patología en el recién nacido realizando ejercicios junto a un fisiólogo 2 o 3 veces por mes. El tratamiento con férula se realizaba en la antigüedad, inmovilizando el brazo del niño, sin embargo, provocaba luxaciones al levantarlo a nivel del hombro. Actualmente, solo se usan las férulas para limitar ciertos movimientos posoperatorios del bebé. Finalmente, la estimulación eléctrica se usa para evitar la atrofia muscular, mejorar la irrigación sanguínea y estimular la regeneración, se debe usar con mesura.

Otro tratamiento es mediante técnicas quirúrgicas. La cirugía directa en donde se reparan los elementos del plexo braquial, se intervienen las partes blandas u óseas cuyo objetivo es intentar sustituir la función perdida debido a la lesión.[10].

Otro procedimiento válido para la recuperación de la PBO es el uso de exoesqueletos. En Tabla 1 se muestra una descripción general de tecnología usada para la rehabilitación:

Tabla 1 Descripción General de Tecnología Usada [3].

Objetivo	Características de los dispositivos	Ejemplo de tecnología simple existente
Aumentar la actividad: Proporcionar actividades que permitan el ejercicio y práctica de tareas funcionales de forma independiente	Los robots pueden simular una gran variedad de actividades computarizadas, de forma rápida y automática entre ellas.	TheraBand, tableros, bloques
Proporcionar asistencia: Ayudar a los pacientes a posicionar o mover el brazo o la mano a modo terapéutico	Los robots pueden generar patrones arbitrarios de asistencia o fuerza de resistencia contra la extremidad del paciente, y ajustar automáticamente esta fuerza en función del rendimiento.	Férulas, apoya brazos.
Evaluar los resultados: Medir el rendimiento de los pacientes	Los robots pueden evaluar el rendimiento de una manera integrada y objetiva utilizando sus sensores	Dispositivos de agarre para medir la fuerza, temporizadores, electrogoniómetros.

Dentro de las terapias convencionales existe la escala de Mallet, mostrada en Fig. 2, la cual otorga un puntaje de acuerdo a los movimientos que realiza el paciente y se utiliza para evaluar los cambios funcionales del hombro y brazo [11]. La escala le asigna un puntaje del 2 al 5, dependiendo de que tan logrado sea la posición solicitada, siendo 5 el puntaje máximo, es decir, que la posición fue realizada de forma perfecta, y 2 el puntaje más bajo. Cada posición puede tener un puntaje diferente en base al grado y tipo de lesión.

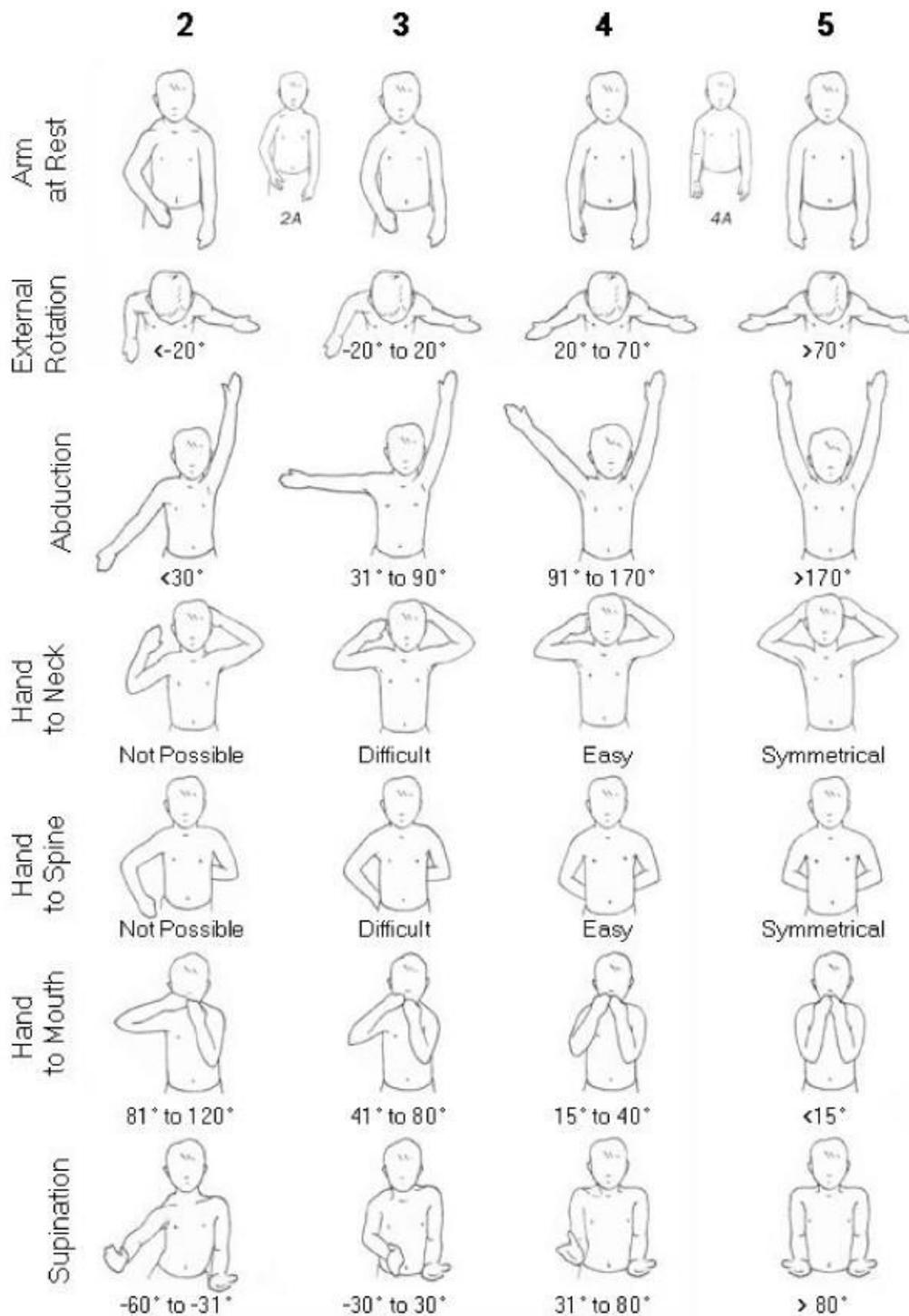


Fig. 2 Escala de Mallet Modificada [12]

Otro método de evolución del movimiento de las extremidades es la escala de SHUEE (Shriners Hospital Upper Extremity Evaluation). La cual consiste en otorgar un puntaje de acuerdo a los movimientos realizados por el paciente. Es una evaluación semi cualitativa y semi cuantitativa.

Incluye la evaluación de Análisis Funcional Espontáneo, Análisis Posicional Dinámico y Agarre/Liberación. Generalmente esta escala se aplica para pacientes con parálisis cerebral hemipléjica, sin embargo, funciona muy bien para pacientes con PBO [13]. Las actividades que se realizan se muestran en Fig. 3

Análisis Posicional Dinámico																					
Análisis Funcional Espontáneo	Actividad	segmento del pulgar			segmento de dedo			segmento de muñeca					segmento del antebrazo			segmento del codo					
		1	2	3	0	3	0	1	2	3	0	3	0	0	1	2	3	1	2	3	
		palma	cerrar	abrir	flexión	neutral	extensión	flexión	neutral	extensión	desviación cubital	neutral	desviación radial	pronación extrema	pronación	neutral	supinación	flexión extrema	flexión	extensión	
0 1 2 3 4 5	Dinero de la Billetera																				
0 1 2 3 4 5	Doblar Papel																				
0 1 2 3 4 5	Rasgar Papel																				
0 1 2 3 4 5	Cordón																				
0 1 2 3 4 5	Desenroscar Tapa de Botella																				
0 1 2 3 4 5	Separar la Plastilina																				
0 1 2 3 4 5	cortar Plastilina con un Cuchillo																				
	Lanzar una Pelota Grande																				
	Aceptar Monedas/Cambio																				
	Recibir 5																				
	Llevar la Mano a la Boca																				
	Tocar Oreja con la Palma																				
	Colocar la Etiqueta en la Pelota																				
0 1 2 3 4 5	Ponerse Calcetines																				
0 1 2 3 4 5	Sujetar el Zapato																				
	Gatear																				

Sistema de Clasificación Funcional			
0. No lo usa: Extremidad no es utilizada, sin ninguna capacidad para realizar la tarea			
1. Pobre asistencia pasiva: Usa solo para estabilizar el peso			
2. Asistencia pasiva: Puede sostener objetos en la mano y quizás estabilizarlos usando la otra mano			
3. Pobre asistencia pasiva: Puede activamente sostener objetos y soltarlos débilmente.			
4. Asistencia activa: Puede activamente sostener objeto y estabilizarlo, y quizás manipularlo contra la otra mano.			
5. Uso espontáneo: De forma fácil realiza parcialmente o completamente actividades bimanuales. Puede usar la mano espontáneamente sin la otra mano.			

Análisis Agarrar/Liberar				
Posición	Agarrar		Liberar	
Muñeca Flexionada	S	N	S	N
Muñeca Neutra	S	N	S	N
Muñeca Extendida	S	N	S	N

Fig. 3 Escala de SHUEE [14]

De acuerdo a que tan lograda sea cada actividad se le asigna un puntaje, el cual es convertido a porcentaje.

2.2.2 Armeo Senso

El Armeo Senso es un equipo usado para rehabilitación de miembro de extremidad superior usando sensores. Este equipo sirve para pacientes con limitaciones leves o moderadas y permite el movimiento tridimensional del brazo. Armeo Senso es capaz de medir el rango de movimiento, el espacio de trabajo 3D y la calidad del movimiento realizado. Busca aumentar el rango de movimiento,

aumentar la fuerza y resistencia, y facilitar el movimiento generado por el usuario. Es fácil de instalar, adaptar y de usar debido a su diseño compacto a diferencia de otros equipos Armeo.

Sus principales componentes son un módulo de mano, sensores que se ubican en la muñeca, brazo y tórax, y además cuenta con un soporte externo, el sensor ubicado en el tórax sirve como referencia con respecto a los otros sensores. La ubicación de estos sensores y módulo de mano se muestran en Fig. 4



Fig. 4 Armeo Senso. Ubicación de Sensores (1,2,3) y Posición Módulo de Mano (4)

Los sensores tienen un botón, un LED que se enciende cuando el equipo está en uso y un puerto USB. Existen 3 tipos de sensores, de 1 punto, de 2 puntos y de 3 puntos, como se muestra en Fig. 5. El sensor de 1 punto se ubica en el tórax, el de 2 puntos en el brazo y el de 3 puntos en la muñeca.



Fig. 5 Sensores del Armeo Senso [15]

El módulo de mano es usado para entrenar la función del agarre y de la muñeca (Fig. 6)



Fig. 6 Módulo de Mano [15]

Puede ser usado por cualquier tipo de persona sin importar edad, sexo, peso u otro. Las únicas contraindicaciones que tiene son usuarios con lesiones abiertas en la piel, con limitaciones visuales, déficit atencional grave y contracturas fijas que afecten a la zona de trabajo.

Este sistema se puede utilizar para evaluar las deficiencias presentes en el brazo y obtener datos de desempeño y progreso. Detecta movimientos compensatorios del tronco, esto es, los movimientos que el usuario realiza con el tronco, a modo de suplir los movimientos que no puede realizar con el brazo. Además, se puede utilizar para aumentar la intensidad y la eficiencia de los ejercicios. El Armeo Senso entrega 2 tipos de evaluaciones: ROM mide los límites físicos del paciente, donde este puede mover su brazo en varios grados de libertad, uno a la vez, en varios planos, también define la región de entrenamiento para regiones en 1D. La evaluación MOVE mide los límites del paciente en 3 dimensiones, define el espacio de trabajo personal para movimiento en 2 y 3 dimensiones.

Al comenzar a usar el equipo se debe configurar los datos del paciente y seleccionar la extremidad afectada (lado izquierdo, lado derecho), luego se realizan las calibraciones que son el ROM y el MOVE. Esto se realiza al inicio de cada sesión. Para cada paciente se debe seleccionar los objetivos de la sesión, los cuales pueden ser coordinación de movimiento, entrenamiento cognitivo, función de agarre e inatención espacial, en base a estos objetivos aparece un listado de actividades a las cuales se le debe indicar la duración, que puede ser de 2 a 15 min y la dificultad del ejercicio. Luego de estos pasos se puede comenzar con la terapia, que consiste en realizar actividades que se muestran en una pantalla, donde el paciente debe alcanzar o mover objetos con su brazo. Es importante

establecer los límites de trabajo para que así el equipo no ponga objetos en lugares donde el paciente no puede acceder. El equipo genera un informe luego de cada sesión, donde se muestran gráficos para evaluar el avance del paciente.

El equipo debe ser usado en habitaciones limpias con pisos nivelados. No debe haber equipos que emitan pulsos electromagnéticos en la misma habitación durante el entrenamiento y se debe evitar acercar dispositivos electrónicos al equipo [15].

El departamento de fisioterapia pediátrica de Egipto en conjunto con el departamento de fisioterapia y rehabilitación del hospital infantil de Makkah realizó un estudio para determinar la efectividad de la rehabilitación de miembro superior de la terapia convencional en comparación con terapia realizada por exoesqueletos. Para esto, se seleccionaron 40 niños de media etaria 6 años los cuales presentaban lesiones en el plexo braquial. Se separaron en 2 grupos aleatorios de igual cantidad de integrantes, siendo el grupo A pacientes tratados con terapia convencional y el grupo B pacientes tratados con exoesqueletos. Los resultados obtenidos demostraron que los pacientes del grupo B obtuvieron mejores resultados en cuanto a movimientos de abducción y rotación, y mayor fuerza en los músculos de abducción y rotación externa que los pacientes tratados con terapia convencional [16].

Los principales resultados se muestran en Tabla 2.

Tabla 2 Principales Datos Obtenidos en el Estudio [16].

	ROM de Abducción		ROM de Rotación Externa		Fuerza de los Músculos de Abducción		Fuerza de los Músculos de Rotación Externa	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Grupo A	70,1±4,24	88,1±4,11	34,75±2,61	48±3,71	6,49±0,51	8,53±0,68	4,23±0,57	5,88±0,48
Grupo B	71,25±2,88	110,8±6,0	35,55±2,11	62,4±4,84	6,68±0,89	11,3±1,08	4,4±0,64	7,45±0,81
Valor P	0,32*	< 0,001**	0,29*	< 0,001*	0,41*	<0,001**	0,37*	<0,001**

Los valores de P marcados con * representan valores no significativos, mientras que los valores de P marcados con ** corresponden a valores significativos. Se observa que en general, los resultados post terapia son significativos y mayores que los valores pre terapia.

2.2.3 Delsys Trigno

La electromiografía es un procedimiento que mediante señales eléctricas logra evaluar el estado de los músculos y de las neuronas motoras. Este procedimiento sirve para diagnosticar trastornos musculares, enfermedades relacionadas con la disociación entre el nervio y el músculo,

nervios que están fuera de la médula espinal, trastornos a nivel de la raíz del nervio y trastornos que afectan a las neuronas motoras del cerebro o la médula espinal [17].

Los sensores inalámbricos Delsys Trigno son un dispositivo de biorretroalimentación el cual adquiere señales de EMG y señales de apoyo propias de cada sujeto. Cuenta con un sensor de EMG configurable en términos de ancho de banda y rango de entrada, tiene una unidad de medición inercial integrada de 9 grados de libertad que permite obtener información sobre aceleración, rotación y campo magnético terrestre. Entrega cálculos de media y RMS. Estos sensores se pueden usar en un rango de 20 metros con respecto a la estación base.

La estación base de la Fig. 7 se comunica al PC mediante USB, tiene capacidad para cargar 16 sensores, los cuales deben estar en la orientación correcta, contiene salidas analógicas de 64 canales con un rango de $\pm 5V$ y posee una antena desmontable. Además, es la encargada de enviar la información obtenida por los sensores a un PC mediante un software que configura el rango de entrada, la selección del ancho de banda y la tasa de muestreo. También configura el rango del acelerómetro y del giroscopio.



Fig. 7 Base de Sensores para Carga y Comunicación [15]

No se deben usar en pacientes con dispositivos electrónicos implantados como marcapasos cardiacos o similares. No usar sobre piel dañada o con heridas abiertas. Al momento de ubicar los sensores la piel debe estar limpia, seca y sin exceso de vellos. Los sensores deben ser ubicados en la misma dirección de la fibra muscular, de la forma mostrada en Fig. 8 [18].

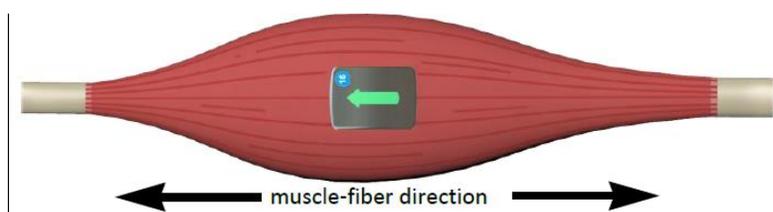


Fig. 8 Ubicación del Sensor en el Músculo [18]

La electrofisiología es una ciencia que mide las variaciones de la actividad eléctrica de distintos órganos como el corazón, los músculos y el cerebro mediante electrodos [19]. Se presenta un estudio realizado en el Hospital Ortopédico Nacional Docente “Frank País” en la ciudad de la Habana a 13 pacientes que presentan daño en el plexo braquial y son tratados mediante la electrofisiología. Se recomiendan las técnicas de EMG, velocidades de conducción nerviosa, motora y sensitiva (VCNMS) y potenciales evocados somatosensoriales (PESS) para el diagnóstico preoperatorio electrofisiológico de las lesiones del plexo braquial y para el postoperatorio se realiza seguimiento con EMG en los meses 3, 6, 9, 12, 18 y 24.

Con el transcurso de las sesiones se observa una reinervación muscular, lo que no necesariamente indica una mejora visible instantánea en cuanto a la movilidad del paciente. De los 13 pacientes que calificaron para el estudio, 12 de ellos presentaron mejoría con EMG en el mes 12 después de ser operado. Considerando que la recuperación total ocurre en promedio al tercer año, se espera una mejoría paulatina. Este procedimiento fue exitoso en términos de diagnóstico y seguimiento de la lesión, por lo que se comprueba la utilidad del uso de EMG en pacientes con PBO [4].

2.2.4 Laboratorio de Análisis de Movimiento

El laboratorio de análisis de movimiento es un espacio que se dedica a analizar distintos tipos de movimientos humanos. Permite generar diagnósticos más acertados y ayuda a los terapeutas a identificar de mejor manera las zonas lesionadas. Es importante que la persona encargada del laboratorio sea calificada para poder adquirir los datos de manera correcta [20]. Es un instrumento tridimensional no invasivo y fácil de usar que permite dar información cuantitativa con alta precisión y obtener múltiples datos al mismo tiempo, esto es adquirir datos de la cinemática, dinámica, datos de la actividad muscular y videos de los movimientos.

La instrumentación de un laboratorio de análisis tradicional es el siguiente:

- Sistemas optoelectrónicos: Son sistemas que miden la tridimensionalidad de los marcadores y logra calcular trayectorias, velocidades, aceleraciones y ángulos mediante un software. Los marcadores son esferas de tamaño pequeño compuestos por un material reflectante, estos se posicionan en las protuberancias óseas del paciente con la precaución que no estén cerca de tejidos blandos para evitar el desplazamiento de los mismos. Estos

se pueden pegar al cuerpo o sobre la ropa con un adhesivo o bien, con bandas amarradas al cuerpo. Deben ser totalmente visibles para poder ser captados por las cámaras.

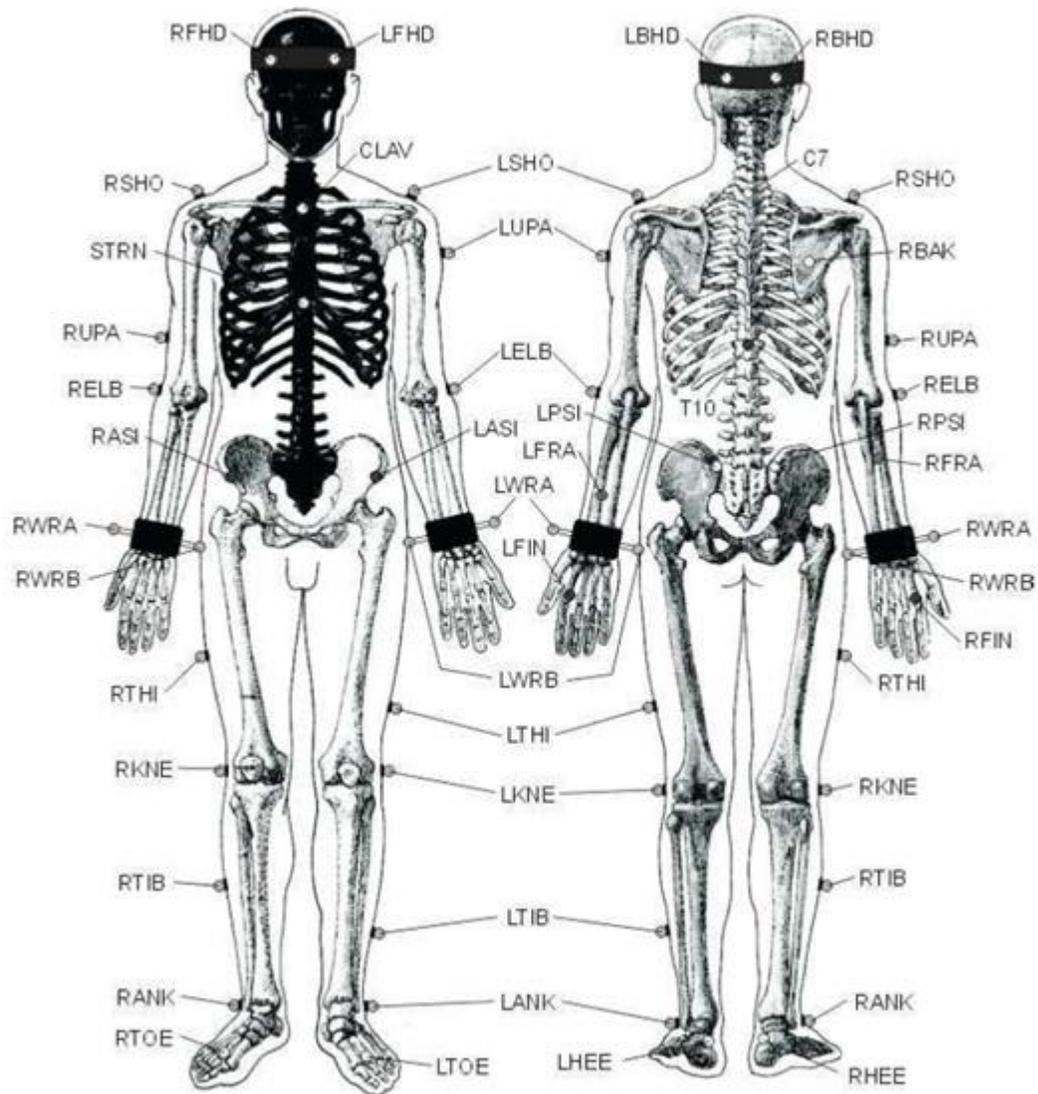
- Plataformas de fuerza: Es una plataforma ubicada en el centro del laboratorio que mide la fuerza ejercida cuando una persona se posiciona sobre ella.
- Electromiografía: Permiten obtener los momentos en que el músculo se activa e inactiva al realizar un movimiento.
- Sistemas de videograbación [21]

Para estimar la posición de los centros de las articulaciones es necesario brindar al software datos paramétricos tales como peso, altura y diámetros de segmentos anatómicos[20] .

La ubicación de los marcadores en este estudio es realizada de acuerdo al modelo Plug-In-Gait Marker Placement representado en Fig. 9.



Plug-in-Gait Marker Placement



The following describes in detail where the Plug-in-Gait markers should be placed on the subject. Where left side markers only are listed, the positioning is identical for the right side.

Fig. 9 Posición de los Marcadores Plug-In-Gait [22]

2.3. Discusión

La parálisis braquial obstétrica no tiene un origen único, puede ser por mala intervención al momento del parto, o bien, lesiones intrauterinas. Desde el descubrimiento de esta patología los médicos han intentado corregir esta lesión mediante terapias convencionales y ejercicios físicos. Afortunadamente, la llegada de la tecnología ha permitido complementar estos tratamientos para obtener mejores resultados.

La extremidad superior es una zona compleja de estudiar, por lo mismo existen muy pocos estudios sobre la rehabilitación de esta. Los estudios sobre rehabilitación a pacientes con PBO mediante el uso de tecnologías como el Armeo Senso son prácticamente inexistentes. Considerando que Teletón Concepción es la primera institución en Chile que tiene el Armeo Senso, se puede aprovechar este equipo para realizar un estudio de cómo evolucionan los pacientes mediante la terapia convencional sumada a la terapia realizada por el equipo, además se complementa con electromiografía para así obtener datos que el Armeo por sí solo no entrega. Se estaría estudiando entonces cómo evoluciona el paciente en términos de rango de movilidad, fuerza para realizar los movimientos, coordinación, y además se suma el estado del músculo del paciente luego de cada sesión. El laboratorio de análisis de movimiento nos brinda datos de la cinemática de los movimientos realizados por el paciente, además de datos cualitativos. En conjunto con los sensores de EMG permite revisar la activación del músculo en ciertos movimientos de forma cuantitativa.

Si bien no existen estudios que complementen todas estas tecnologías para rehabilitar pacientes con PBO si existen estudios donde se analiza la mejora del movimiento con exoesqueletos, con electromiografía y con el uso del laboratorio de análisis de movimiento. Se espera que los datos obtenidos sean concluyentes y complementarios, a pesar del error humano que pueda existir a la hora de manipular los equipos.

Capítulo 3. Desarrollo

3.1. Introducción

Actualmente existen protocolos para el uso de la cinemática en pacientes con PBO, los cuales brindan información clave a la hora de establecer los tratamientos para rehabilitar al paciente tales como identificar qué segmentos del miembro suelen ser los más afectados, cuáles son los segmentos que frecuentemente son usados por el paciente para la compensación de movimientos y datos estadísticos de acuerdo a la fiabilidad de estos protocolos [23].

Se realizó un análisis de datos combinando los gráficos obtenidos por el Armeo Senso y los obtenidos por el Laboratorio de Análisis de Movimiento, correspondientes a valores de electromiografía y cinemática de los movimientos, realizando una comparación de estos para así, establecer un protocolo para especialistas quienes se enfoquen en tratamientos para pacientes con PBO.

3.2. Experimentación

Se realiza en primera instancia y a modo de prueba una sesión breve a una voluntaria de 23 años, la cual realizó pruebas con Armeo Senso. Las actividades se realizaron en el brazo izquierdo. Esta terapia tuvo una duración de 4 minutos y los objetivos de la sesión fueron coordinación de movimiento, entrenamiento cognitivo, fuerza de agarre e inatención espacial. Se obtuvo gráficamente el alcance de la extremidad en los planos frontal, sagital y transversal. Además, se obtuvieron los porcentajes de cumplimiento de los objetivos por actividad.

En una segunda prueba, se complementó el uso de los marcadores con los sensores de EMG en ambas extremidades. Estos sensores fueron ubicados en el trapecio superior descendente, deltoides medio, bíceps medio y pectoral mayor, usando un total de 8 sensores de EMG. Se posicionaron los marcadores mediante el modelo de Plug-In-Gait modificado, usando solo desde la pelvis hacia la parte superior del cuerpo, ocupando un total de 23 marcadores. La ubicación de los sensores y marcadores se aprecian en Fig. 10.



Fig. 10 Ubicación de los 23 Marcadores y Sensores de EMG

La ubicación detallada de los sensores se observa en Tabla 3.

Tabla 3 Ubicación de los Sensores de EMG

N° Sensor	Músculo Derecho	N° Sensor	Músculo Izquierdo
1	Trapezio Superior Descendente	5	Trapezio Superior Descendente
12 (2)	Deltoides Medio	6	Deltoides Medio
3	Bíceps Medio	7	Bíceps Medio
4	Pectoral Mayor	8	Pectoral Mayor

Se realizaron los movimientos de la prueba de Mallet de la Fig. 11, analizando el movimiento uno por uno y el conjunto de estos, obteniendo registros fotográficos.



Fig. 11 Posiciones de la Prueba de Mallet Modificada

El procedimiento consiste en, al comienzo del ciclo, realizar la terapia con el Armeo Senso, del cual se obtienen los objetivos y el rango de movimiento en forma gráfica, se realiza la terapia convencional y además se evalúa con la escala de SHUEE, luego, en el laboratorio de análisis de movimiento se posicionan los marcadores y los sensores de EMG y se realizan las pruebas de Mallet. Con esto se obtienen la activación del músculo y los rangos de movimiento del paciente según los

marcadores. Al finalizar la terapia se repite el procedimiento para obtener la gráfica del rango de movimiento, se evalúa la escala de SHUEE y se obtienen los datos del laboratorio de análisis de movimiento.

Los datos del laboratorio de análisis de movimiento fueron procesados en MATLAB usando la biblioteca ezc3d de GitHub [24]. Se identificó cada uno de los marcadores de posición de forma manual y se calculó la distancia máxima entre el marcador ubicado en el hombro y en la mano para cada movimiento, a ambas extremidades. Luego, cada señal de EMG fue dividida en 4 ventanas sin traslape, se calculó el valor RMS y la potencia de cada una de ellas, para identificar los tramos con mayor activación muscular. Cada movimiento fue captado de forma independiente, al final de la sesión se obtienen 56 señales de EMG.

La potencia fue calculada con los valores RMS por ventana para cada movimiento y para cada sensor según la ecuación (1).

$$P = \frac{\text{Valor RMS}^2}{\text{Tiempo}} \frac{v^2}{\text{segundos}} \quad (1)$$

Esta metodología será aplicada a dos pacientes con PBO. Los datos de las pacientes se encuentran en Tabla 4.

Tabla 4 Datos de los Pacientes en Estudio

Paciente	Edad (años)	Sexo	Brazo Afectado	Objetivos
1.	9	Femenino	Izquierdo	Aumentar ROM (1D, 2D, 3D) Inatención espacial Coord. De movimiento Entrenamiento cognitivo Función de agarre
2.	12	Femenino	Derecho	Aumentar ROM (1D, 2D, 3D) Inatención espacial Coord. De movimiento Entrenamiento cognitivo Función de agarre

La paciente número 1 realizó la evaluación en el laboratorio de análisis de movimiento en la sesión número 8 y al final de su tratamiento, mientras que la paciente número 2 lo hizo en la sesión número 1 y al final de su tratamiento. Ambas pacientes tuvieron 15 sesiones de tratamiento con el Armeo y terapia convencional.

3.3. Resultados

Los primeros resultados visuales que se obtienen son el área de trabajo antes y después de la terapia.

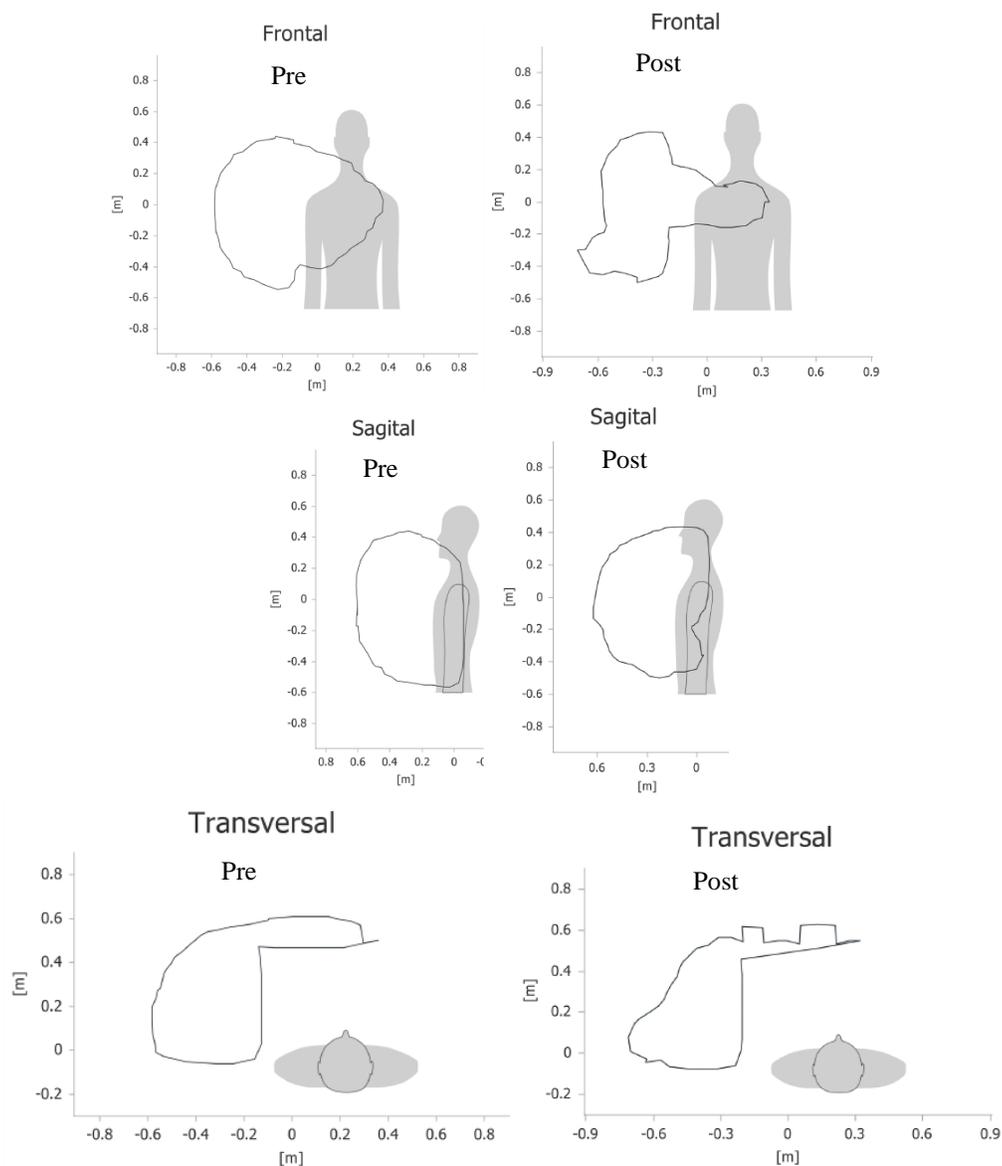


Fig. 12 Gráfica de Alcance Pre y Post Terapia de la paciente 1

Las gráficas de la Fig. 12 corresponden al área de trabajo obtenido por la paciente 1 antes y después de la terapia con Armeo. Las gráficas de la izquierda corresponden al área de trabajo pre tratamiento y las gráficas de la derecha son las áreas de trabajo post tratamiento. En el plano frontal, y transversal se observa el aumento del alcance de la extremidad en los ejes X e Y, ampliando el rango

del movimiento, mientras que en el caso del plano sagital no se aprecia un cambio significativo en el alcance.

Para el caso de la paciente 2, las áreas se muestran en Fig. 13

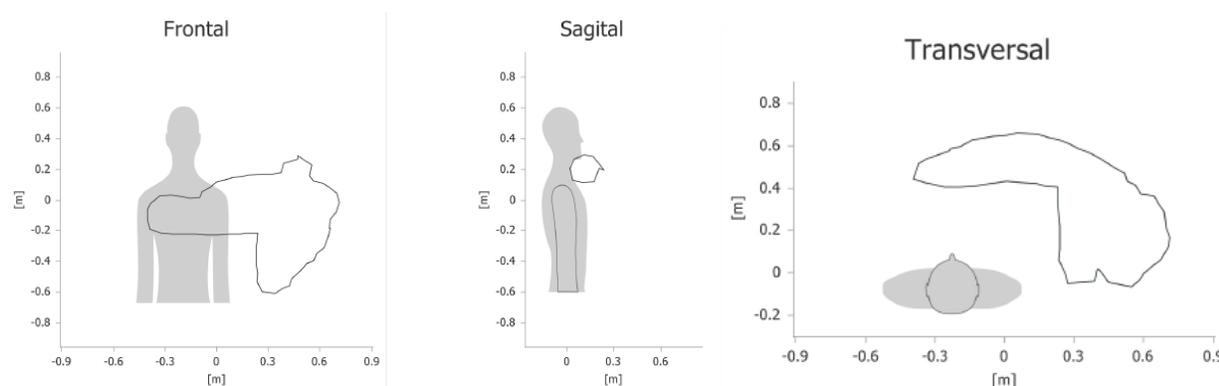


Fig. 13 Gráfica de Alcance Pre Terapia de la paciente 2

Lamentablemente, por temas de tiempo y de disponibilidad del equipo no fue posible realizar la calibración A-MOVE de la paciente posterior a la terapia, por tanto, no se tienen cambios visuales.

Luego, en Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos de la escala de SHUEE.

Tabla 5 Resultado Escala de SHUEE Pre y Post Tratamiento para las Pacientes 1 y 2

Paciente 1					
Análisis Funcional Espontáneo		Análisis Posicional Dinámico		Agarrar/Soltar	
Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
89%	98%	90%	93%	100%	100%
Paciente 2					
Análisis Funcional Espontáneo		Análisis Posicional Dinámico		Agarrar/Soltar	
Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
100%	100%	89%	90%	100%	100%

Esta escala fue realizada por la terapeuta de la Teletón, la cual le asignó los puntajes correspondientes. La paciente 1 tuvo un avance significativo en el análisis funcional espontáneo y análisis posicional dinámico, lo cual se ve reflejado en sus movimientos posteriores. Para la paciente 2 el cambio solo fue de 1%, pero de igual forma hubo un aumento de puntaje y no una disminución de la movilidad que es lo que la terapia espera lograr, puesto que, si las pacientes no realizan actividades para mejorar su movilidad, su extremidad lesionada se tiende a atrofiar.

Se realizó además una pequeña entrevista a las mamás de las pacientes respecto a lo observado con las usuarias antes y después del tratamiento. Ambas coincidieron en que mejoró su movilidad

después del tratamiento, esto es notorio a la hora de realizar actividades de la vida cotidiana tales como vestirse o abrocharse los zapatos.

Los resultados gráficos mostrados en Fig. 12 y Fig. 13 son la representación visual del rango de movimiento de las pacientes. En el laboratorio de análisis de movimiento se obtuvo la distancia entre el hombro y la mano de cada paciente (Tabla 6), para así evaluar de forma cuantitativa y con valores más exactos. Se considera un error de $\pm 3\text{mm}$ en la ubicación de los marcadores de la prueba inicial con respecto a la prueba final.

Tabla 6 Distancias Máximas por Movimiento para las Pacientes 1 y 2 Pre y Post Terapia

Paciente	Distancia Pre		Distancia post		Dist	Paciente	Distancia pre		Distancia post		Dist
	Terapia (mm)		Terapia (mm)				final-dist	Mov.	terapia (mm)		
Mov.	Extr.	Extr.	Extr.	Extr.	inicial	Mov.	Extr.		Extr.	Extr.	Extr.
	Der	Izq.	Der	Izq.	extr.		Der	Izq.	Der	Izq.	extr.
					izquierda						derecha
1	484,9	146,6	488,9	476,8	330,2	1	486,23	540,75	495,38	531,8	9,15
2	491,3	469,8	492,2	476,0	6,2	2	510,22	543,07	494,5	539,4	-15,72
3	495,3	479,6	496,3	482,0	2,4	3	502,29	539,44	496,8	535,41	-5,49
4	495,7	475,6	487,4	471,9	-3,7	4	499,71	534,69	504,61	534,6	4,9
5	492,0	470,3	Error	475,8	5,5	5	439,57	402,06	508,78	532,99	69,21
6	499,4	477,0	489,5	474,9	-2,1	6	508,33	601,73	503,68	539,96	-4,65
7	431,6	408,7	494,3	480,4	71,7	7	120,55	385,02	502,2	536,95	381,65

Para la paciente 1 se observa que para los movimientos 1, 2, 3, 5 y 7 las distancias máximas alcanzadas por la extremidad izquierda fueron mayores después del tratamiento, mientras que para los movimientos 4 y 6, las distancias máximas previas al tratamiento fueron mayores.

En el caso de la paciente 2 cuya extremidad lesionada corresponde a la extremidad derecha, para los movimientos 1, 5 y 7 se observa un aumento considerable de la distancia máxima entre el hombro y la mano, tomando en cuenta el error. En el caso de los movimientos 2 y 3, las distancias máximas fueron mayores antes del tratamiento, y para los movimientos 4 y 6 las diferencias antes y después no son significativas.

Finalmente, tenemos la actividad muscular en cada movimiento por sensor junto a la potencia por movimiento. Se dividió cada movimiento en 4 ventanas de tiempos iguales para evaluar la cantidad de actividad muscular realizada por el paciente y determinar los instantes en que hay más trabajo muscular, dependiendo del movimiento y del músculo. Se seleccionó un umbral de

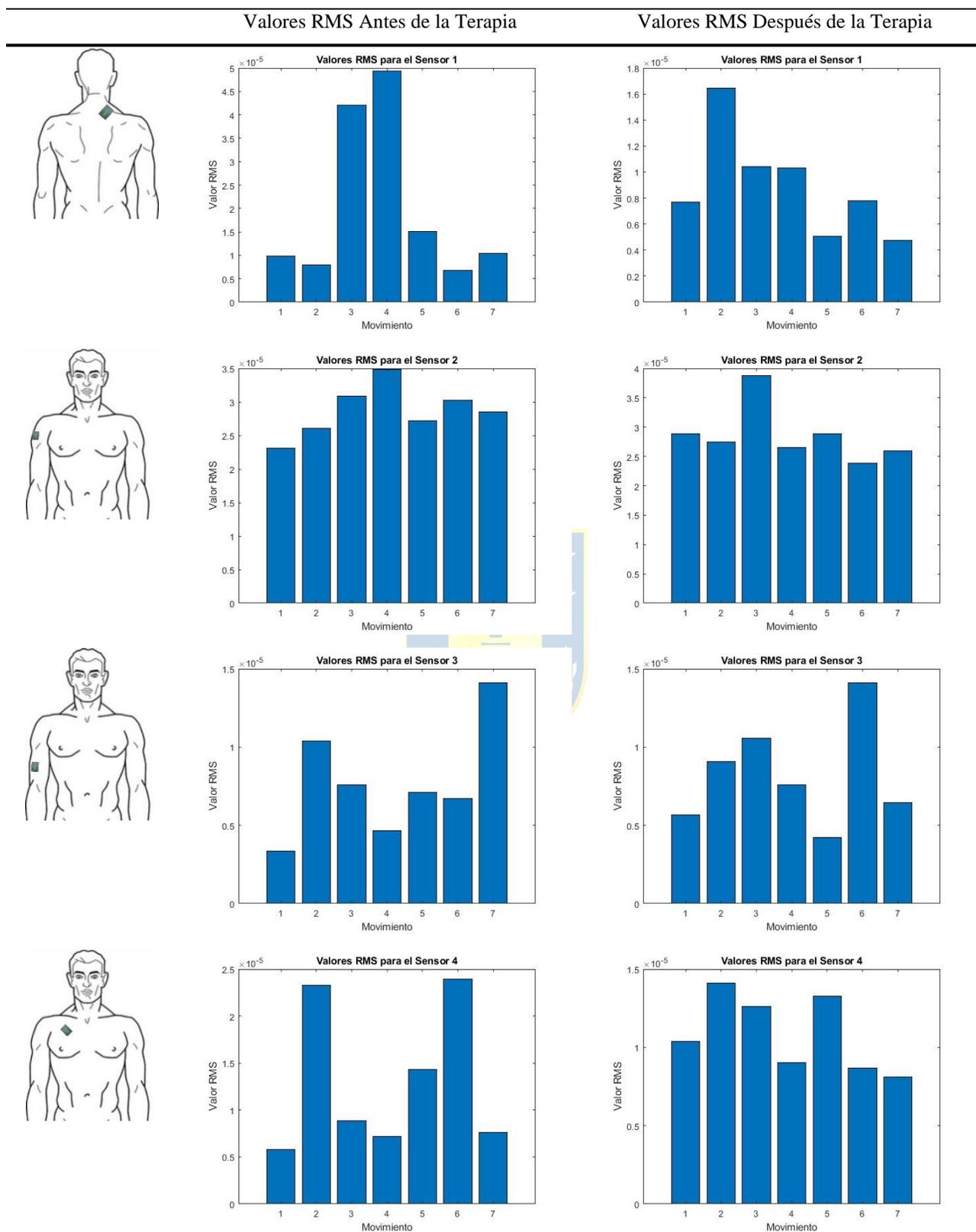
$5 \times 10^{11} \text{ V}^2/\text{segundo}$ para las potencias. Los valores destacados en verde en las tablas Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 ubicados en Anexo A corresponden a las potencias más altas registradas durante la prueba de Mallet completa (7 movimientos) antes y después de la terapia.

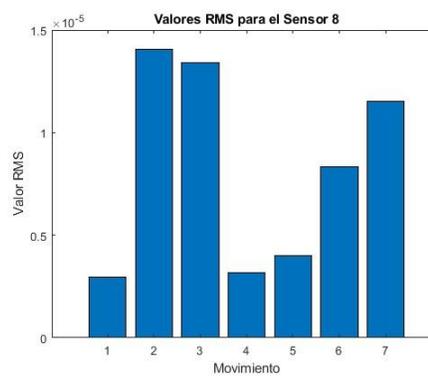
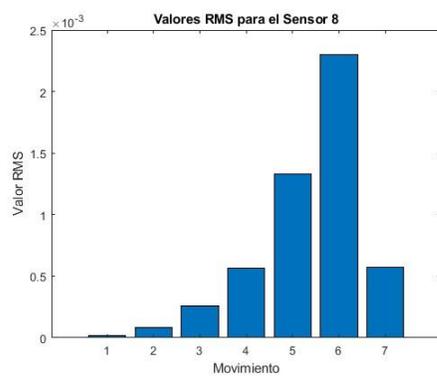
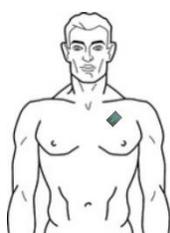
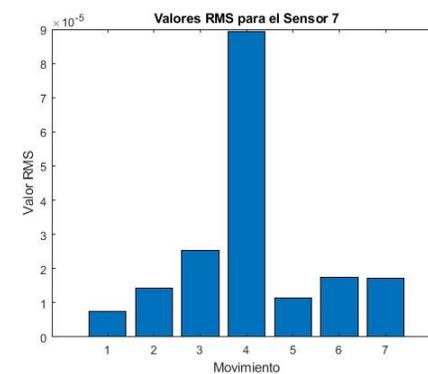
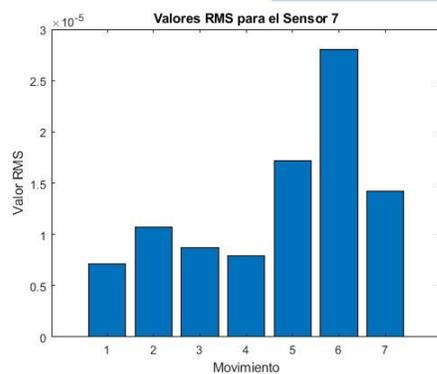
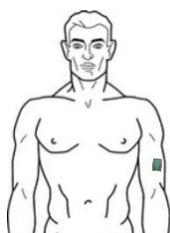
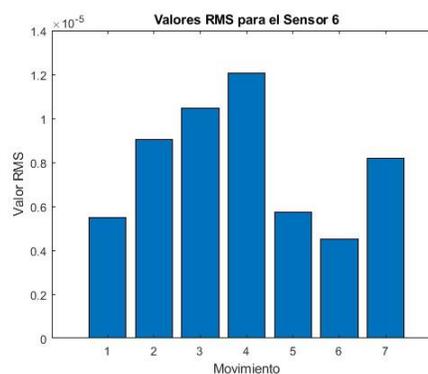
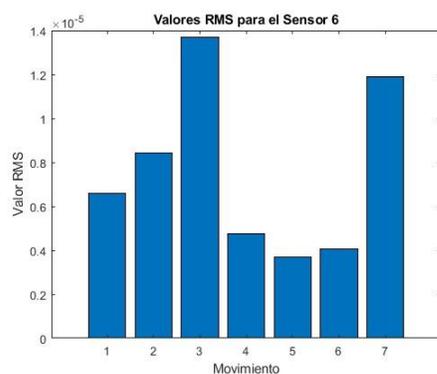
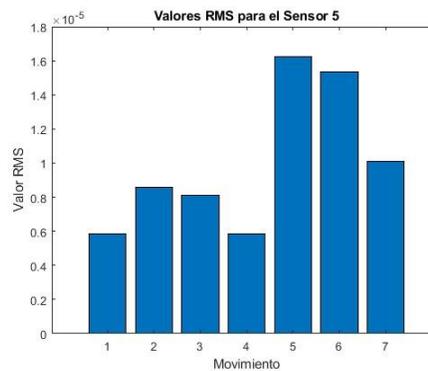
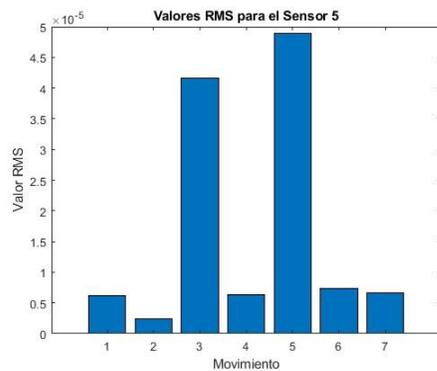
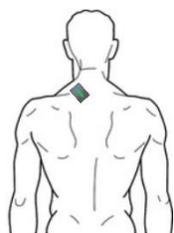
Para la paciente 1, en rasgos generales se observa que la actividad muscular realizada por el brazo derecho e izquierdo es mayor previo al tratamiento.

En el caso de la paciente 2, el movimiento 1 realizado después del tratamiento no registró valores, mientras que para el movimiento 2 posterior al tratamiento, el tiempo de duración de la prueba fue tan pequeño que el valor de la potencia tiende a infinito. Para los movimientos 3, 4 y 6 se observa una mayor activación en los músculos de la extremidad derecha, que coincide con la extremidad lesionada. Para los movimientos 5 y 7 la actividad muscular de la extremidad lesionada es más alta previa al tratamiento. Para visualizar de manera gráfica los cambios de la actividad muscular antes y después de la terapia se muestran los valores RMS por sensor durante todos los movimientos para ambas pacientes. Para el caso de la paciente 1 las gráficas se encuentran en Tabla 7 y para la paciente 2 en Tabla 8.



Tabla 7 Valores RMS Paciente 1



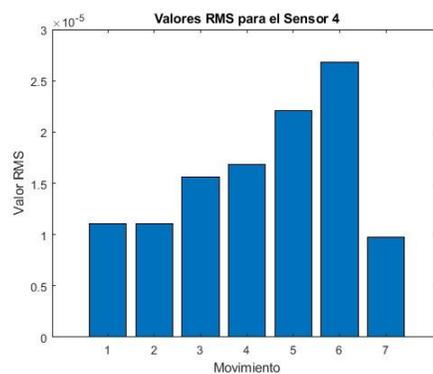
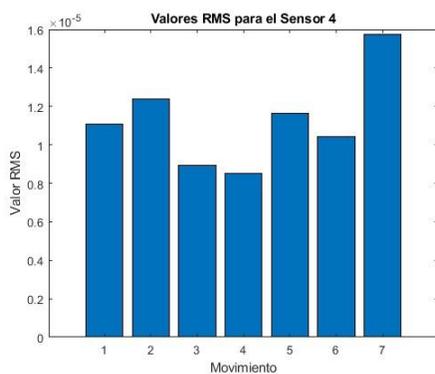
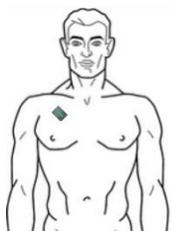
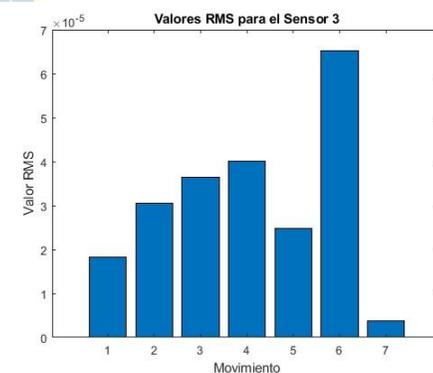
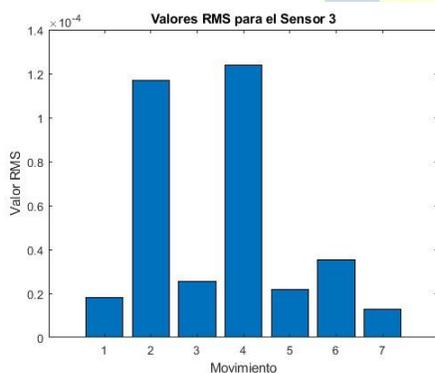
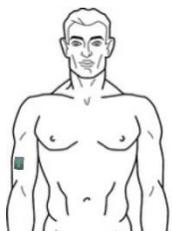
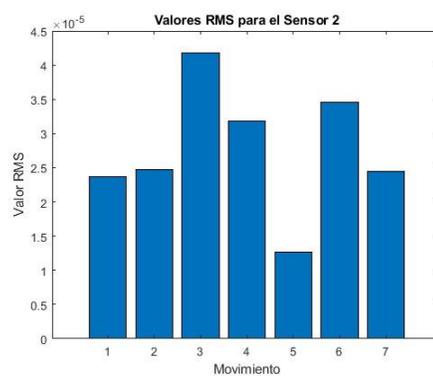
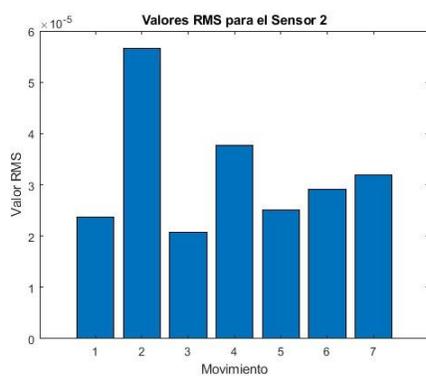
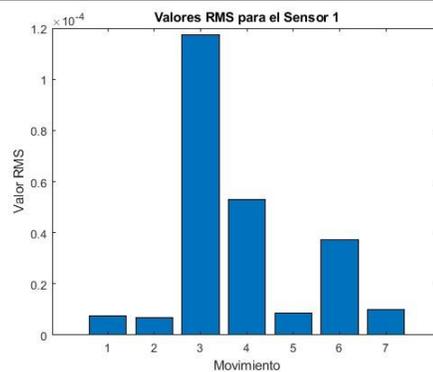
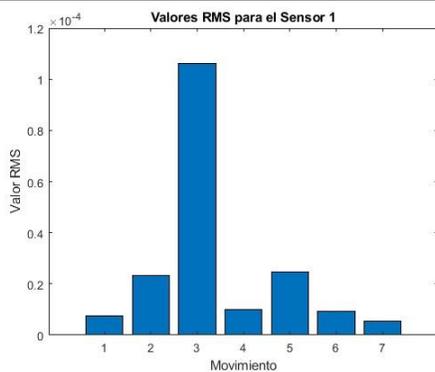


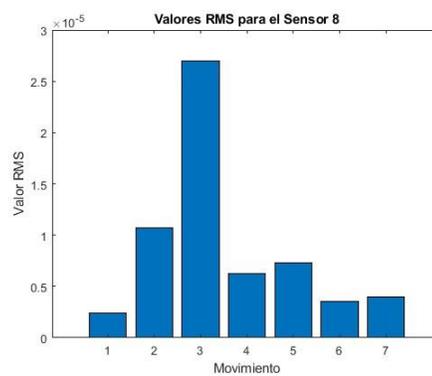
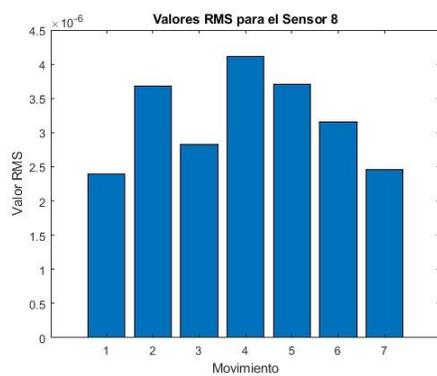
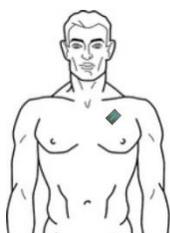
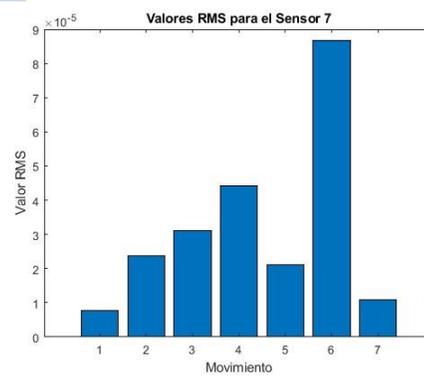
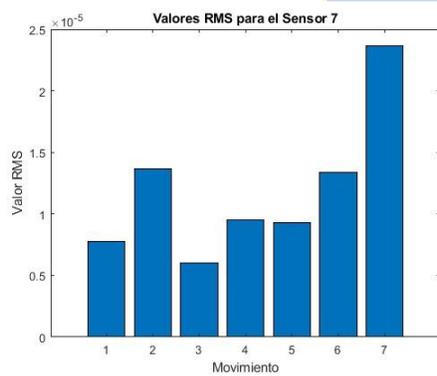
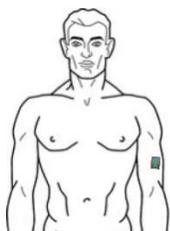
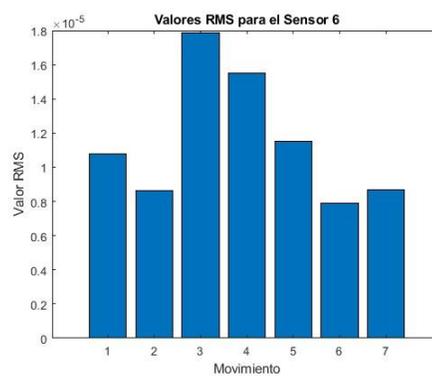
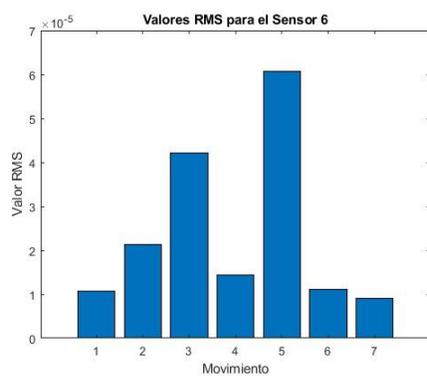
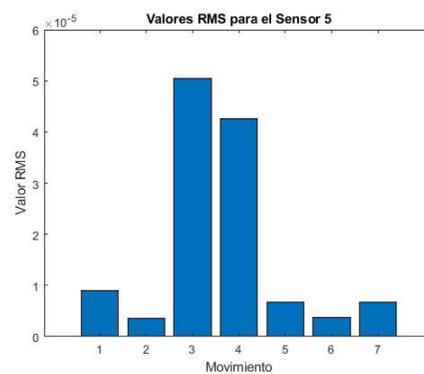
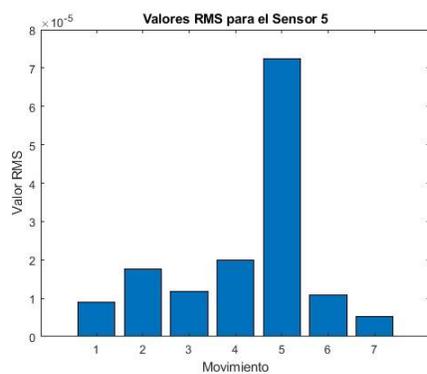
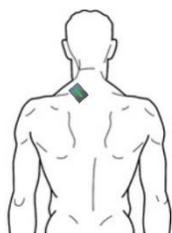
Como se mencionó anteriormente, para la paciente 1 los valores de EMG obtenidos son mayores previos a la terapia.

Tabla 8 Valores RMS Paciente 2

Valores RMS Antes de la Terapia

Valores RMS Después de la Terapia





Para la paciente 2 hay sensores donde se registra mayor actividad muscular posterior al tratamiento, de igual forma, existen sensores que registraron valores más altos en la sesión previa.

3.4. Discusión

Se presentó la forma en que se deben obtener los datos del Armeo Senso y la información obtenida por el Laboratorio de Análisis de Movimiento, lo que incluye las ubicaciones espaciales de los marcadores para calcular las distancias máximas en cada movimiento y además el procesamiento de las señales de EMG para obtener las activaciones e inactivaciones de los músculos en cada movimiento de la prueba de Mallet. Además, se interpretaron los datos obtenidos por los equipos.

Del informe del Armeo Senso, se seleccionan los objetivos de la terapia, las gráficas del área de trabajo y los gráficos de desempeño del paciente. Con los marcadores de posición se obtienen las distancias máximas del paciente para cada movimiento. Estos valores son tabulados y se calcula el delta entre la distancia previa y posterior al tratamiento, para cada una de las extremidades. Los valores de potencia calculados de las señales de EMG son graficados y permiten observar los instantes de activación muscular para un sensor y movimiento específico, y revisar la activación de cada músculo a lo largo de toda la prueba.



Capítulo 4. Protocolo de Estudio y Propuesta de Informe de Resultados

4.1. Introducción

Anteriormente se presentó la forma en que se realizan las evaluaciones, como interpretar los datos obtenidos por los equipos y los diferentes métodos de evaluación. A continuación, se presenta de forma detallada los pasos a seguir para evaluar a pacientes con PBO quienes realicen su terapia combinando el uso de equipos y de electromiografía. Además, se presenta una propuesta de informe de estos resultados, facilitando la interpretación de estos y condensando los resultados más importantes obtenidos por el Armeo Senso y el Laboratorio de Análisis de Movimiento.

4.2. Protocolo de Estudio

La forma de evaluar a pacientes con PBO, combinando el uso del Armeo Senso y de electromiografía es el siguiente:

1. Recepción del paciente. Se ingresan los datos del paciente al equipo (nombre, edad, sexo, extremidad lesionada)
2. Evaluación del terapeuta usando la escala de SHUEE. Se debe realizar antes de la terapia con Armeo Senso
3. Evaluación con el Armeo Senso. Previo a la terapia, se debe realizar la evaluación A-ROM y A-MOVE, siendo esta última, la que posteriormente se utilizará como parte del informe de presentación de resultados. Se seleccionan los objetivos y se realiza la primera sesión.
4. Se entregan al software datos paramétricos del paciente. Estos son altura, peso y diámetro de los segmentos anatómicos.
5. Evaluación en el laboratorio de Análisis de Movimiento. Se posicionan los 23 sensores ubicados según el modelo Plug-In-Gait modificado y ubicación de los 8 sensores de electromiografía siguiendo la distribución mencionada en Tabla 3.
6. Se deben realizar los movimientos de la escala de Mallet modificada. Cada movimiento es captado de forma independiente, obteniendo un total de 7 archivos .c3d.
7. Se procesan de los datos usando MATLAB y la biblioteca ezc3d. Se deben identificar qué número de marcador corresponde al que está ubicado en el hombro y en la mano, se calculan las distancias iniciales para cada movimiento y para cada extremidad.

8. Para las señales de EMG se debe dividir el movimiento en 4 ventanas para determinar los instantes del movimiento donde hay mayor activación. Se calcula el valor RMS y la potencia según la fórmula 1.
9. Realizar las sesiones con el Armeo y con las terapias convencionales, las cuales incluyen video juegos y juegos didácticos.
10. Al finalizar las terapias se debe volver a obtener el área de trabajo mediante la calibración A-MOVE y observar las diferencias pre y post terapia.
11. Evaluación final con la escala de SHUEE.
12. Evaluación final en el laboratorio de análisis de movimiento repitiendo los pasos 5 a 8.
13. Generar reporte de evaluación pre-post terapia.

4.3. Propuesta de Informe de Resultados

Se propone un formato de informe para mostrar los resultados obtenidos por cada una de las estaciones. En el caso de la terapia convencional, se presentan los valores obtenidos según la escala de SHUEE pre y post terapia. Del Armeo Senso se obtienen los objetivos de la terapia, los gráficos del rango del movimiento alcanzado por el paciente pre y post terapia y los gráficos de desempeño de la terapia. Finalmente, se presentan los datos obtenidos en el laboratorio de Análisis de Movimiento, los cuales son las distancias máximas para cada movimiento y los instantes de activación e inactivación muscular en cada prueba. Se usarán los datos de la paciente 1 para la presentación de estos resultados.

Nombre: Paciente 1

Edad: 9 años

Sexo: Femenino

Extremidad Lesionada: Izquierda

I. Terapia Convencional

Paciente 1					
Análisis Funcional Espontáneo		Análisis Posicional Dinámico		Agarrar/Soltar	
Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
89%	98%	90%	93%	100%	100%

Describir lo observado por el o la terapeuta al aplicar la escala de SHUEE en conjunto con observaciones realizadas por los padres de los pacientes, en cuanto a cómo han evolucionado las actividades de la vida cotidiana. Se analizan los porcentajes obtenidos pre y post terapia, en este caso, se observa un aumento significativo en el análisis funcional espontáneo y en el análisis posicional dinámico.

II. Terapia Armeo Senso

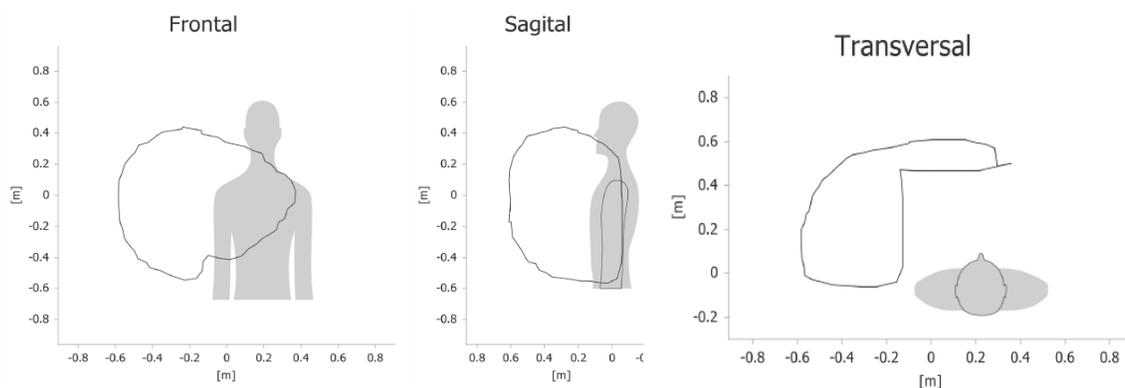
Objetivos de la terapia

- Aumentar ROM (1D, 2D, 3D)
- Inatención espacial
- Coordinación de movimiento
- Entrenamiento cognitivo
- Función de agarre

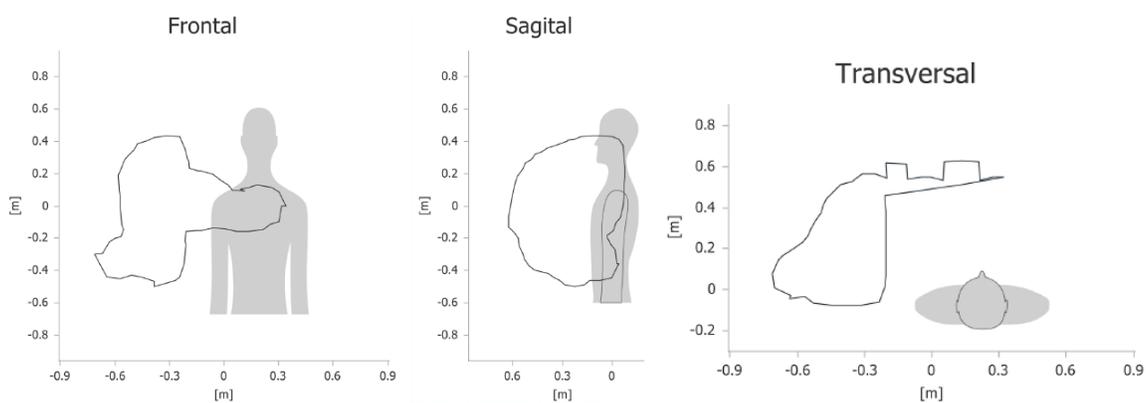


Alcance gráfico previo y post tratamiento

Alcance Previo al Tratamiento

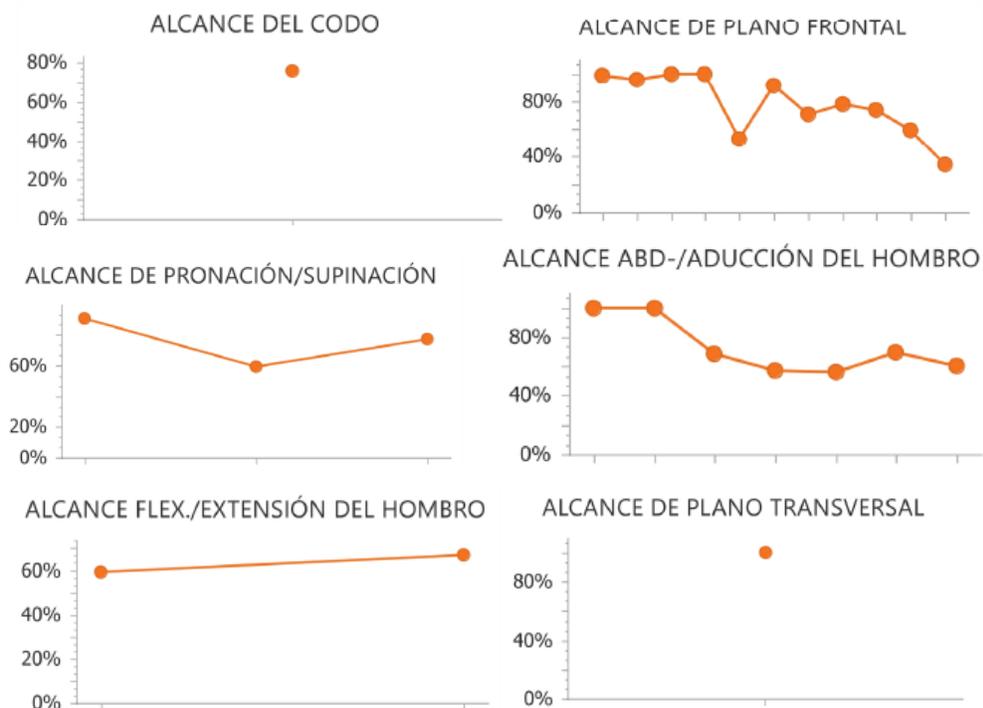


Alcance Posterior al Tratamiento



Se propone que los especialistas realicen un análisis breve sobre las áreas de trabajo obtenidas antes y después de la terapia realizada.

Desempeño de la Terapia



Estos resultados son los obtenidos durante las 15 sesiones de terapia obtenidos por el Armeo Senso, cabe mencionar que todas las terapias abarcan distintos objetivos.

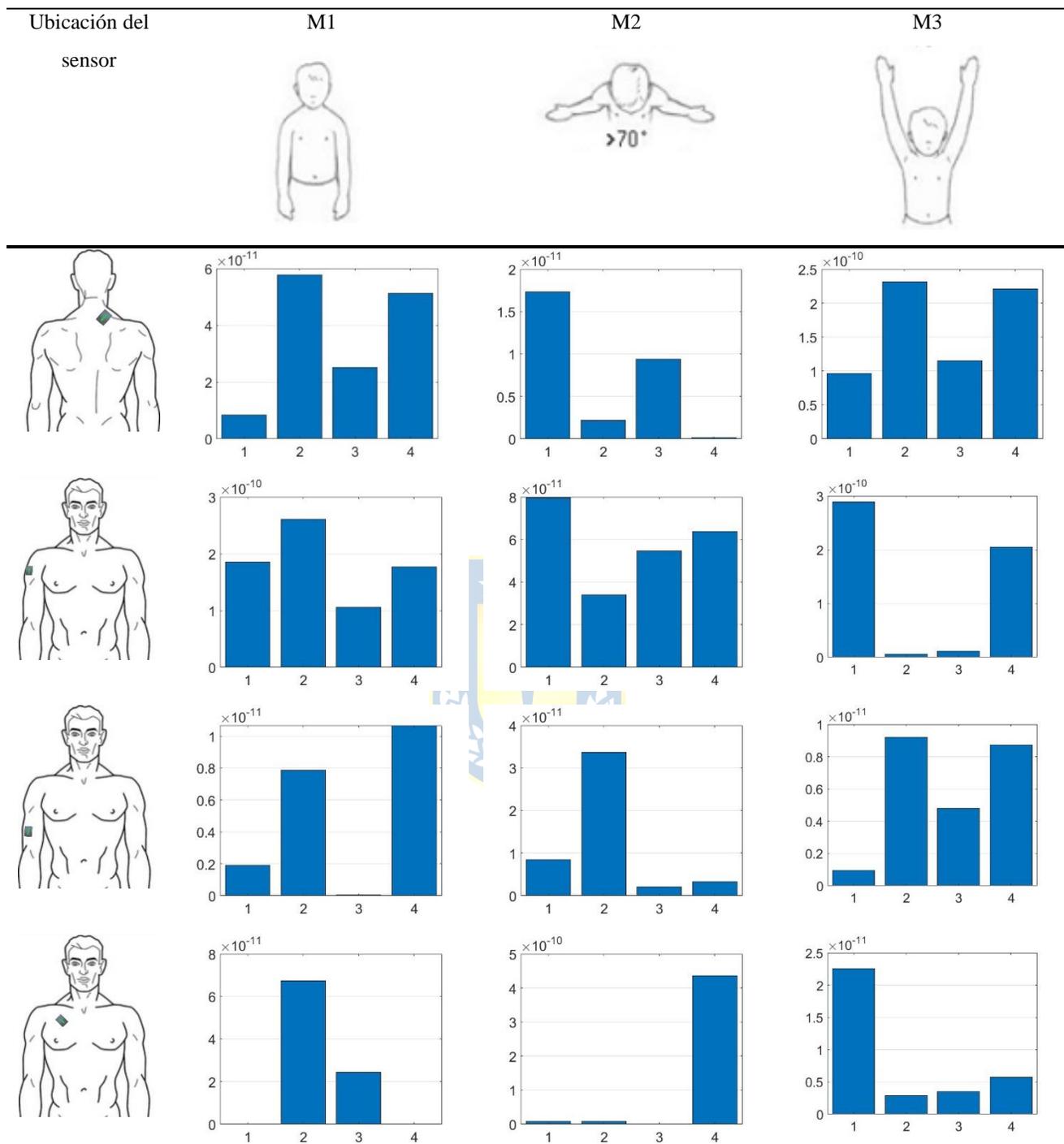
III. Evaluaciones Realizadas en Laboratorio de Análisis de Movimiento. Distancias y EMG Distancias máximas previas y posterior al tratamiento

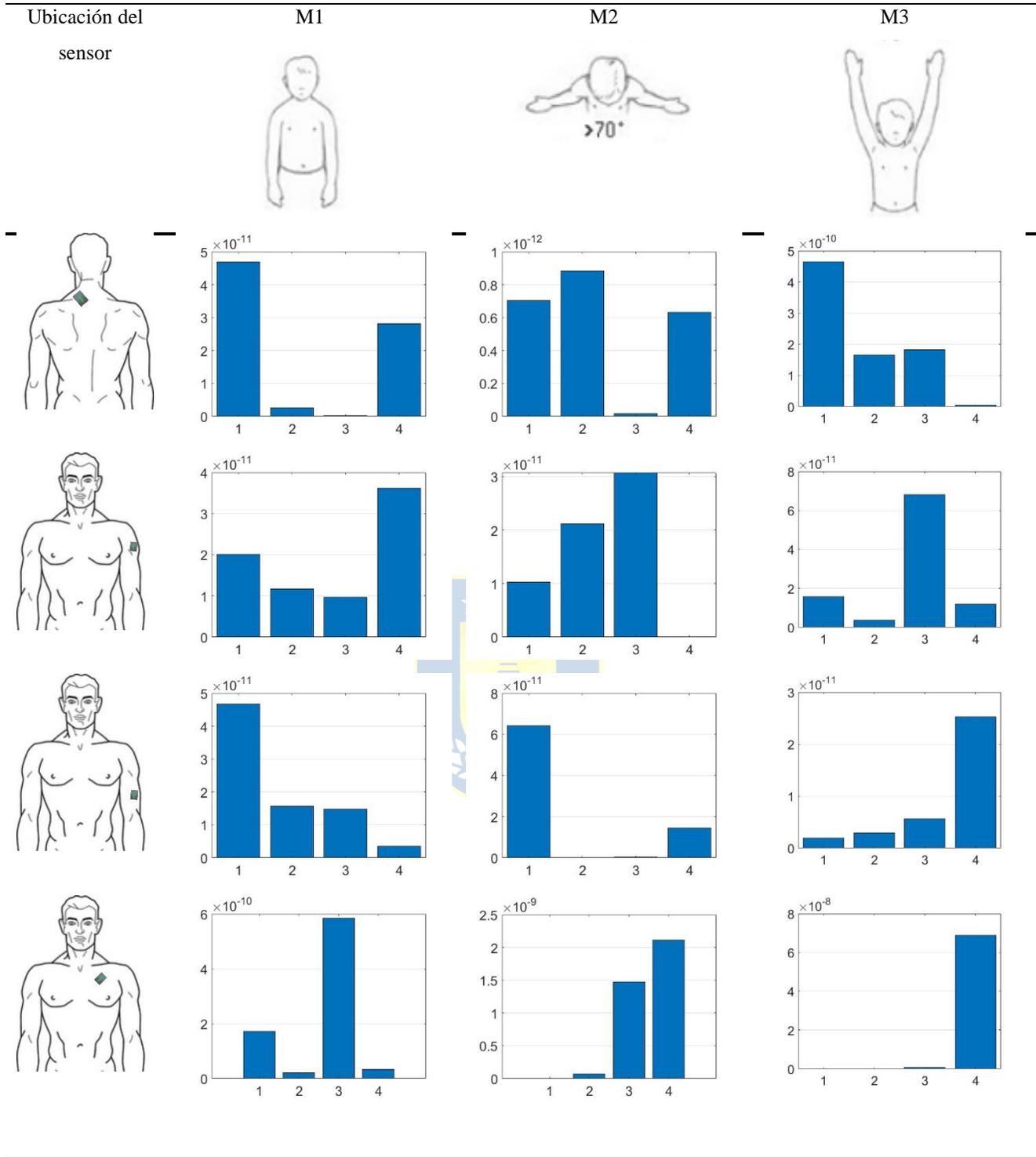
Paciente 1	Distancia pre tratamiento (mm)		Distancia post tratamiento (mm)	
	Extr. Der	Extr. Izq.	Extr. Der.	Extr. Izq.
1	484,9	146,6	488,9	476,8
2	491,3	469,8	492,2	476,0
3	495,3	479,6	496,3	482,0
4	495,7	475,6	487,4	471,9
5	492,0	470,3	Error	475,8
6	499,4	477,0	489,5	474,9
7	431,6	408,7	494,3	480,4

Actividad muscular previa y posterior al tratamiento

A continuación, se presentan los valores de la actividad muscular registrada por cada sensor en cada uno de los movimientos de Mallet. Cada movimiento fue dividido en 4 cuartos iguales, para así poder identificar en que instante del movimiento se activa más el músculo. Los valores de actividad muscular o potencia están en $V^2/segundo$.

Actividad Muscular Previa al Tratamiento





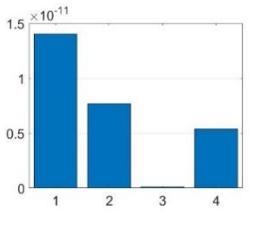
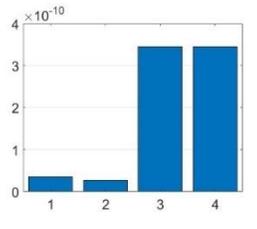
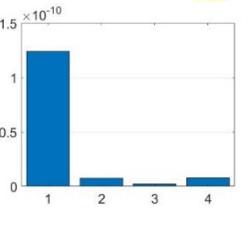
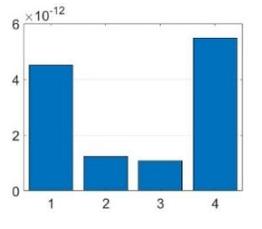
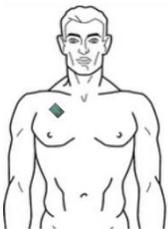
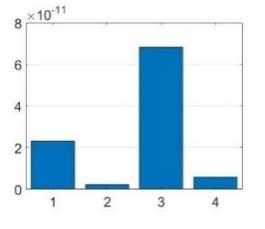
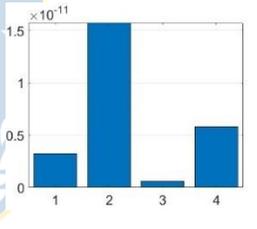
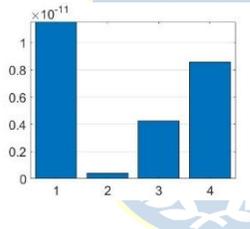
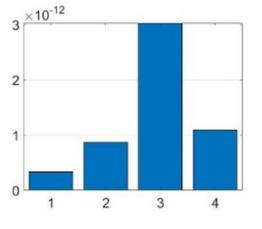
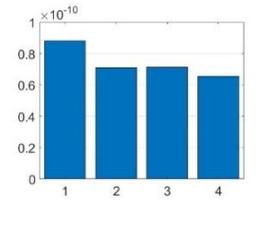
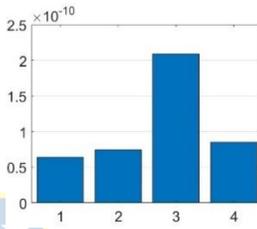
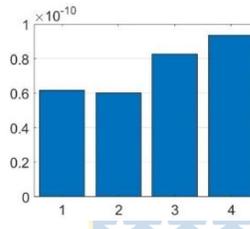
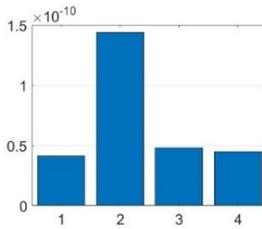
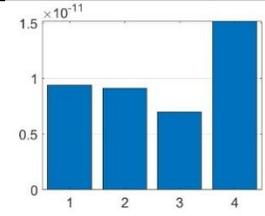
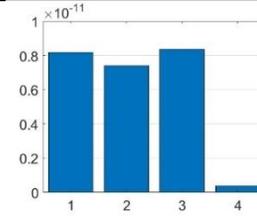
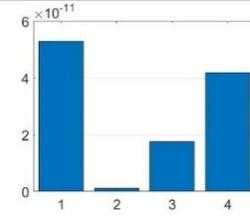
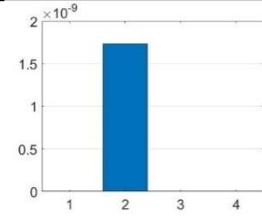
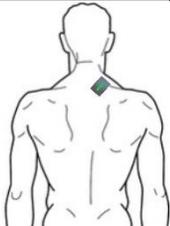
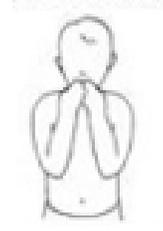
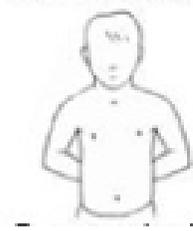
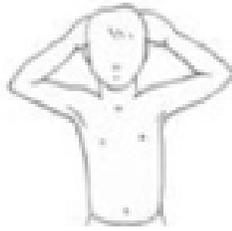
Ubicación del Sensor

M4

M5

M6

M7



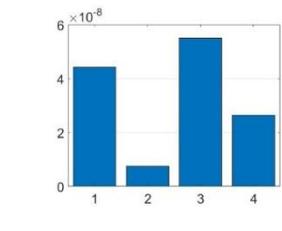
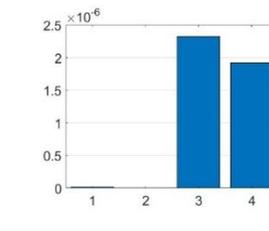
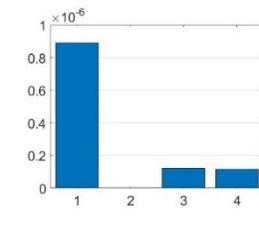
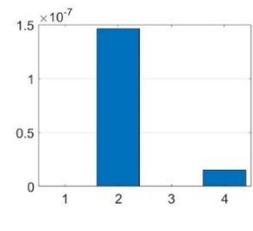
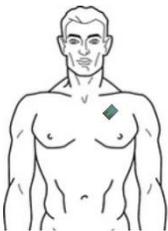
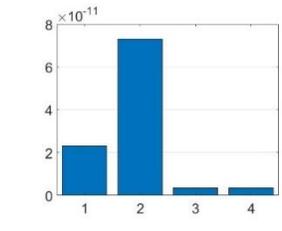
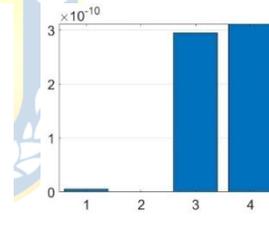
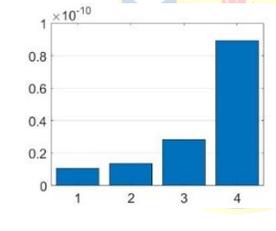
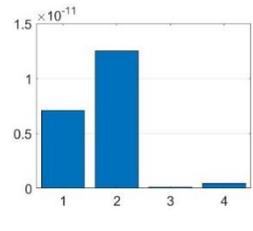
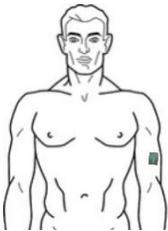
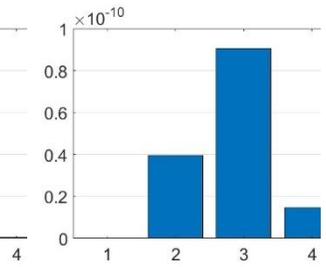
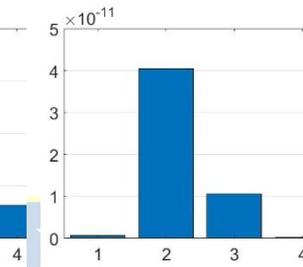
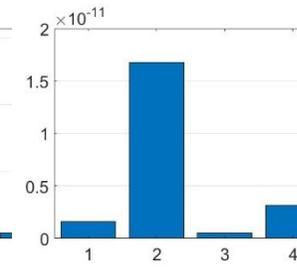
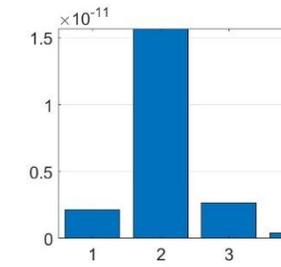
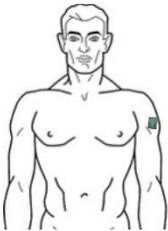
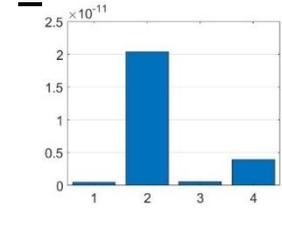
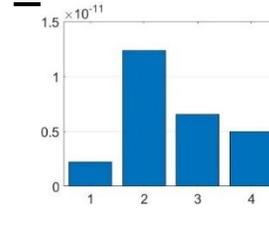
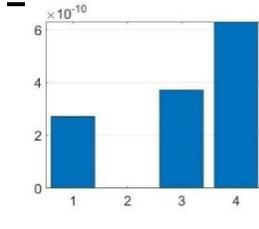
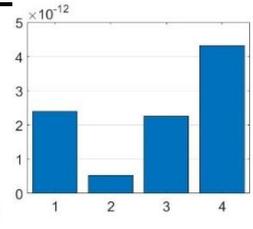
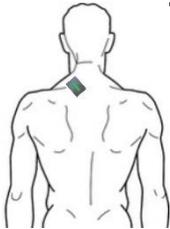
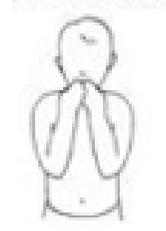
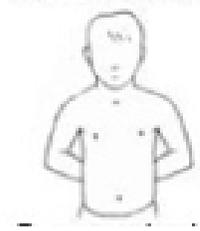
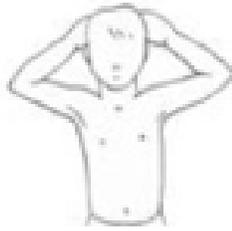
Ubicación del Sensor

M4

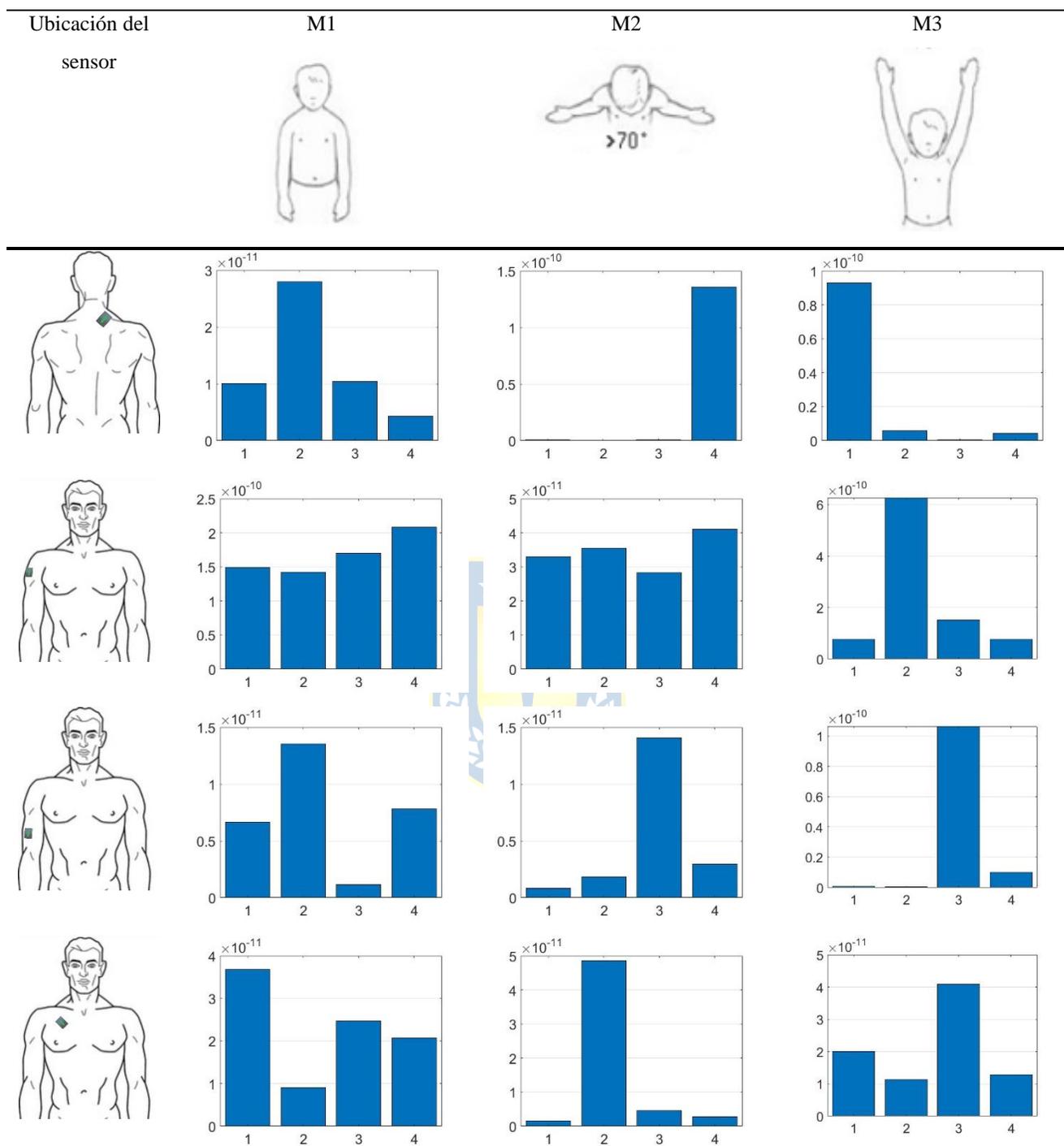
M5

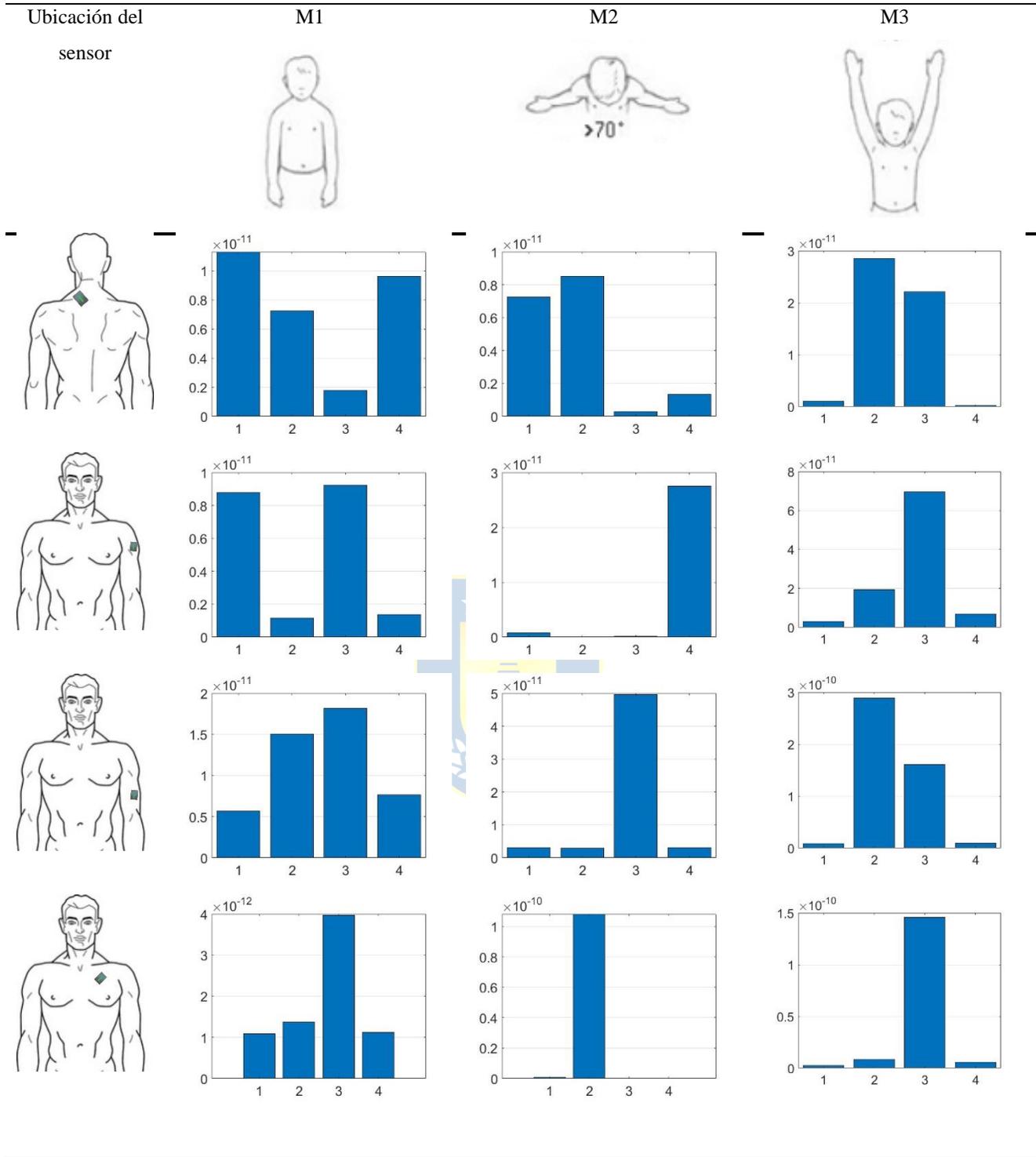
M6

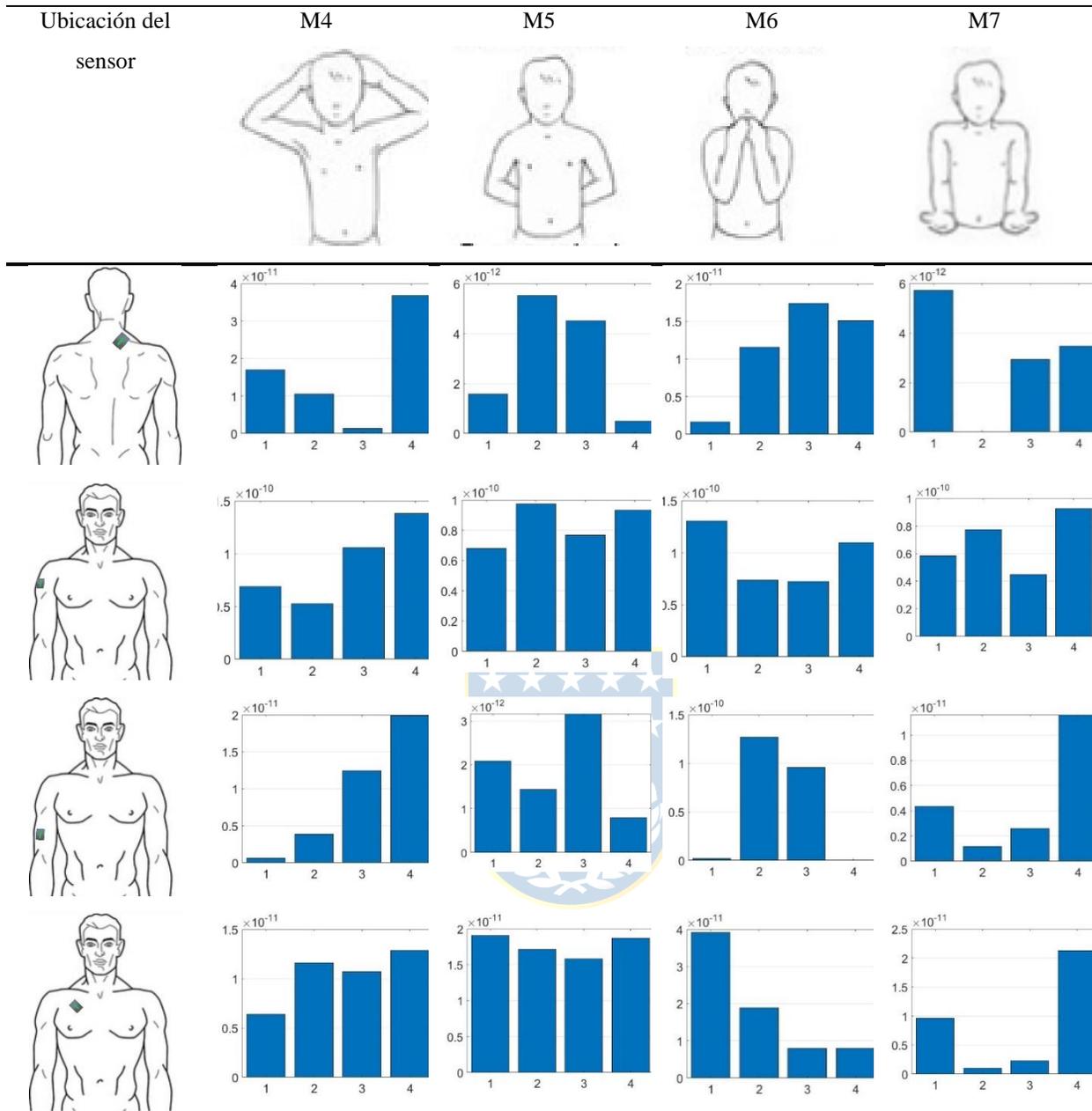
M7

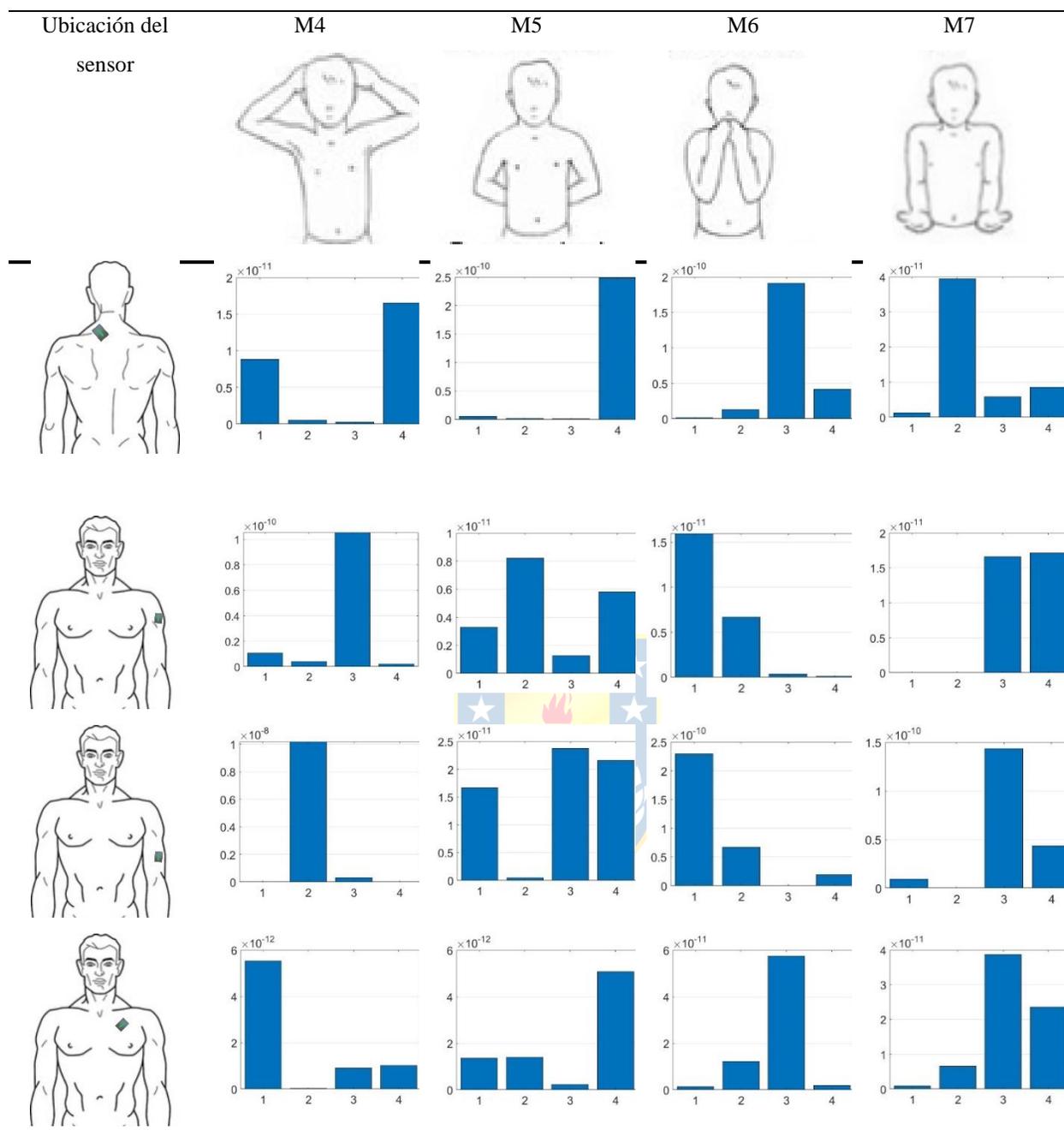


Actividad Muscular Posterior al Tratamiento









Con estos gráficos se puede distinguir fácilmente los instantes de mayor activación muscular para un sensor y movimiento específico.

IV. Conclusiones

Se sugiere que los especialistas involucrados en la rehabilitación del paciente describan lo obtenido posterior a la terapia. Kinesiólogos, terapeutas e ingenieros.

4.4. Discusión

Se establecieron los pasos a seguir para evaluar y tratar a pacientes con PBO mediante la combinación del equipo Armeo Senso junto con los sensores de electromiografía y el laboratorio de Análisis de Movimiento. Además, se propone un formato de presentación de resultados el cual consta de 3 partes principales, la terapia convencional, la terapia con Armeo Senso y los datos obtenidos por el Laboratorio de Análisis de movimiento. Es importante destacar que actualmente no existen protocolos sobre cómo abordar una terapia de rehabilitación que combinen las tecnologías mencionadas anteriormente. Por lo tanto, este estudio es pionero en el área y permite abrir paso a investigaciones de evolución post terapia o efectividad del tratamiento al usar tecnologías combinadas. Aún no se han encontrado investigaciones donde se compruebe la efectividad de esta fusión, por lo que este protocolo podría ser el inicio de esta línea de investigación. La elaboración de este protocolo ayuda a los terapeutas, kinesiólogos e ingenieros que participan en la rehabilitación de pacientes con PBO, y se puede extender a pacientes con otras patologías que afecten a la extremidad superior. El formato de presentación de resultados beneficia a los médicos y encargados de la evolución del paciente, para observar los resultados de manera más clara y evaluar el avance del usuario.

Se espera que este protocolo y propuesta de informe puedan ser mejorados y profundizados a partir de este trabajo que entrega una base completa y con los pasos a seguir de forma clara y detallada.

Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Discusión

Gracias a un sinnúmero de estudios y especialistas se ha logrado tratar la parálisis braquial obstétrica de diferentes formas a lo largo de los años. Se sabe además que existen distintos tipos y orígenes para la patología, adecuando las terapias para obtener los resultados deseados.

El uso del Armeo Senso permite rehabilitar a pacientes que tienen una movilidad levemente reducida y que en general, pueden realizar la mayoría de las actividades de forma normal. Este equipo nos brinda un reporte por sesión, de acuerdo a las actividades y objetivos solicitados. Sin embargo, esta información es bastante débil en general, puesto que solo sirve para interpretación más que para realizar un estudio más profundo del avance de los pacientes. La fusión de esta terapia con los sensores de electromiografía permite observar, además de los resultados gráficos obtenidos del Armeo, la evolución del músculo a lo largo de la terapia.

Las principales dificultades son relacionadas al procesamiento de los datos, en el caso de los EMG, la mala posición del sensor implica la no obtención de la señal, o bien, señales no acordes al movimiento, por lo que se pierde la continuidad del estudio. Además, es difícil obtener el movimiento exacto en el que se activa el músculo, en este caso, cada movimiento fue grabado de forma independiente, y este se dividió en 4 ventanas de tiempos iguales, por lo que puede haber tiempos muertos al comienzo o al final de la grabación. Se deben considerar los factores que afectan el desempeño del paciente, tales como fatiga muscular debido a la terapia o a otro tipo de ejercicio físico, condiciones ambientales al momento de las pruebas y elementos psicológicos que puedan afectar el rendimiento del usuario.

Este protocolo se realizó con 2 pacientes las cuales tuvieron 15 sesiones con Armeo y 2 monitoreos con los sensores de electromiografía y marcadores de posición. Permitted establecer las bases del procedimiento para que en un futuro las terapias que se realicen sean estandarizadas y permitan estudiar más a fondo la rehabilitación de la PBO con la combinación del Armeo Senso y electromiografía, puesto que, actualmente, hay muy pocos estudios sobre rehabilitación de PBO. Además, se puede extender el protocolo a pacientes que requieran rehabilitación de extremidad superior sin importar el origen de la lesión.

5.2. Conclusiones

La combinación del Armeo Senso con los sensores de electromiografía para tratar a pacientes con PBO no habían sido implementados anteriormente. La poca existencia de evidencia científica respecto a rehabilitación de extremidad superior nos incentiva a investigar y elaborar estudios los cuales pueden ser clave para las personas que necesitan mejorar su movilidad superior, brindándoles una mejor calidad de vida.

Se realizó un protocolo de estudio donde se mencionan los equipos utilizados para la rehabilitación, la ubicación de los sensores de electromiografía y marcadores de posición, las pruebas que se deben realizar en el laboratorio de análisis de movimiento y en la terapia convencional, y los datos que se deben extraer del informe generado por el Armeo Senso. Además, se analizaron los resultados obtenidos pre y post terapia. La metodología de estudio presenta de forma clara los pasos a seguir para realizar la evolución del paciente, además se propone un formato de informe para la presentación de los resultados. Tanto el protocolo de estudio como el formato de informe fueron elaborados de forma exitosa y acorde a lo esperado.

Este protocolo y propuesta de informe de resultados beneficia a ingenieros, kinesiólogos, terapeutas, médicos y todo el personal que forme parte de la rehabilitación de extremidad superior de pacientes con PBO quienes realicen su terapia con Armeo Senso en conjunto con electromiografía

5.3. Trabajo Futuro

Se plantea la posibilidad de mejorar el protocolo en cuanto al orden en que se ubican los marcadores, es decir, se comienza por brazo derecho, torso y luego brazo izquierdo, u algún otro método, al igual que para los sensores de EMG. Establecer como parte del protocolo la realización de la calibración A-MOVE (correspondiente al gráfico de alcance funcional) antes y después de la terapia, ya que actualmente queda a criterio del terapeuta si la hace al final del tratamiento o no. Se espera también encontrar una forma de automatizar el código en MATLAB para el procesamiento de las potencias y distancias, puesto que encontrar la posición de los marcadores se realizó de forma manual. Finalmente, para las próximas evaluaciones se pretende incorporar 6 marcadores más, 1 en cada ante brazo y 4 en la cabeza, uno en la frente, uno en la parte posterior y uno en cada costado a la altura de la sien (Fig. 14), para así encontrar las posibles compensaciones que los pacientes con PBO realizan con la cabeza para cumplir con ciertos movimientos.

Establecer la forma en que se realiza la captura del movimiento, si se realizará desde posición anatómica hasta la realización del movimiento, o bien, que sea solo del movimiento, esto para poder

comparar de mejor forma las distancias máximas que alcanza el paciente antes y después del tratamiento.



Fig. 14 Ubicación de Nuevos Marcadores para Trabajos Futuros



Bibliografía

- [1] Gobierno de Chile, “Caracterización General Prevalencia Nacional de la Discapacidad,” 2004. Accessed: Dec. 20, 2021. [Online]. Available: https://www.senadis.gob.cl/pag/136/1196/resultados_endisc_i
- [2] S. Collado-Vazquez, C. Jiménez-Antona, and J. M. Carrillo, “Obstetric brachial palsy, a historical review,” 2012. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/233396145>
- [3] H. A. de Lima Briceño, “Análisis Cinemático de un Exoesqueleto Para Rehabilitación del Miembro Superior,” p. 88, 2016, Accessed: Dec. 20, 2021. [Online]. Available: https://oa.upm.es/44391/1/tfm_helen_andreina_de_lima_briceño.pdf
- [4] R. Martínez Suarez, O. L. Marrero Riveron, R. Monreal Gonzalez, and M. E. Burguet Lago, “Valor de la Electrofisiología en el Estudio de las Lesiones Traumáticas del Plexo Braquial,” Jun. 1996. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-215X1996000100007 (accessed Dec. 19, 2021).
- [5] “Teletón Concepción.” <https://www.teleton.cl/nosotros/>
- [6] L. Aburto Ojeda, Ana, Quiero Ebner, Belén, Llorente Dobbs, “Efectividad de la terapia robótica Armeo spring en la funcionalidad de extremidad superior de niños con parálisis cerebral unilateral espástica inyectados con toxina botulínica. Ensayo clínico aleatorio de grupos paralelos, simple ciego,” *Rehabilitación Integral*, vol. 15, no. 2, pp. 65–75, 2022, doi: 10.51230/ri.v15i2.71.
- [7] M. Dieguez, María Cecilia, Cerisola, Alfredo, Moraes, “Parálisis braquial obstétrica de etiología prenatal,” 2013. Accessed: Dec. 20, 2021. [Online]. Available: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-12492013000100007
- [8] E. M. Vergara-Amador, “Parálisis obstétrica del plexo braquial. Revisión del estado actual de la enfermedad,” 2014, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112014000200012
- [9] Teletón, “Parálisis Braquial Obstétrica.” <https://www.teleton.cl/teleton/que-hacemos/rehabilitacion-integral/patologias/paralisis-braquial-obstetrica/> (accessed Dec. 19, 2021).
- [10] D. Luis Oscar Marrero Riverón *et al.*, “Diagnóstico y tratamiento de la parálisis braquial obstétrica "Juan ‘Hermanos Ameijeiras,’” 1998.

- [11] C. Lopez, “Parálisis Braquial Obstétrica. Que es, causas y su Tratamiento en Fisioterapia,” *Parálisis Braquial Obstétrica. Que es, causas y su Tratamiento en Fisioterapia*, 2016. <https://www.fisioterapia-online.com/articulos/paralisis-braquial-obstetrica-que-es-causas-y-su-tratamiento-en-fisioterapia>
- [12] C. Kumar Nath, Rahul, Somasundaram, “Brazo rotado medialmente con supinación la variante ARMS: Descripción de su corrección quirúrgica,” 2009. https://www.researchgate.net/publication/24205602_Arm_rotated_medially_with_supination_the_ARMS_variant_Description_of_its_surgical_correction
- [13] W. M. R. Davids, Jon, CPaz, Laura, Wagner, Lisa V, Gidewall, María Ann, Blackhurst, Dawn W, Roberson, “Validación de la evaluación de las extremidades superiores (SHUEE) del Hospital Shriners para Niños para niños con parálisis cerebral hemipléjica,” *Validación de la evaluación de las extremidades superiores (SHUEE) del Hospital Shriners para Niños para niños con parálisis cerebral hemipléjica*, 2006. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16452744/>
- [14] “Análisis Posicional Dinámico,” p. 4.
- [15] Hocoma, “Armeo Senso,” 2021.
- [16] S. El-Shamy and R. Alsharif, “Effect of virtual reality versus conventional physiotherapy on upper extremity function in children with obstetric brachial plexus injury,” *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, vol. 17, no. 4, pp. 319–326, 2017.
- [17] Mayo Clinic, “Electromiografía,” *Electromiografía*, May 21, 2019. <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/emg/about/pac-20393913> (accessed Dec. 19, 2021).
- [18] Delsys Incorporated, “Trigno ® Wireless Biofeedback System User’s Guide,” 2021. Accessed: Dec. 20, 2021. [Online]. Available: <https://www.delsys.com/downloads/USERSGUIDE/trigno/wireless-biofeedback-system.pdf>
- [19] U. Aso Poza, “Electrofisiología,” 2019. <https://psicologiaymente.com/neurociencias/electrofisiologia> (accessed Dec. 19, 2021).
- [20] D. Mariana Haro, “Laboratorio de análisis de marcha y movimiento,” *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 25, no. 2, pp. 237–247, 2014, doi: 10.1016/s0716-8640(14)70034-3.
- [21] “Chapter 1 Posture and Movement Analysis in Healthcare,” pp. 1–17.
- [22] V. Corporation, “Plug-in-Gait Marker Placement,” *Mocap*, pp. 1–4, 2006.
- [23] F. M. Herisson, Olivier, Maurel, Nathalie, Diop, Amadou, Le Chatelier, Morgane, Cambon-Binder, Adeline, Fitoussi, “Shoulder and elbow kinematics during the Mallet score in

obstetrical brachial plexus palsy,” *Clinical Biomechanics*, 2017.
<http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L614262587%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.01.006> (accessed May 28, 2022).

[24] pariterre, “Biblioteca ezc3d,” 2018. <https://github.com/pyomeca/ezc3d>



Anexo A. Valores de Potencia

A continuación, se detallan los valores de potencias obtenidos en cada ventana de los 7 movimientos por sensor. Los valores en color verde en la Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 son los valores sobre un umbral de $5 \times 10^{-11} \frac{V^2}{\text{segundo}}$, los que corresponden a las instantes donde se produce una actividad muscular más alta.

Tabla 9 Valores de Potencia Previo al Tratamiento de la Paciente 1 en $V^2/\text{segundo}$

Mov	Ventana	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8
1	1	8,42E-12	1,85E-10	1,90E-12	1,31E-14	4,69E-11	2,01E-11	4,67E-11	1,73E-10
	2	5,78E-11	2,60E-10	7,88E-12	6,73E-11	2,61E-12	1,17E-11	1,56E-11	2,01E-11
	3	2,50E-11	1,06E-10	5,75E-14	2,44E-11	1,66E-13	9,61E-12	1,48E-11	5,84E-10
	4	5,12E-11	1,77E-10	1,07E-11	3,35E-14	2,82E-11	3,63E-11	3,49E-12	3,39E-11
2	1	1,73E-11	7,96E-11	8,51E-12	8,15E-12	7,05E-13	1,03E-11	6,42E-11	6,56E-13
	2	2,21E-12	3,40E-11	3,37E-11	7,78E-12	8,84E-13	2,12E-11	7,53E-15	6,99E-11
	3	9,43E-12	5,46E-11	2,12E-12	9,77E-14	1,67E-14	3,08E-11	2,54E-13	1,47E-09
	4	1,47E-13	6,37E-11	3,26E-12	4,37E-10	6,32E-13	2,51E-14	1,44E-11	2,11E-09
3	1	9,68E-11	2,89E-10	9,59E-13	2,25E-11	4,65E-10	1,57E-11	1,92E-12	5,94E-11
	2	2,31E-10	6,14E-12	9,20E-12	2,92E-12	1,66E-10	3,74E-12	2,90E-12	1,54E-10
	3	1,15E-10	1,16E-11	4,80E-12	3,49E-12	1,83E-10	6,80E-11	5,63E-12	8,11E-10
	4	2,21E-10	2,05E-08	8,73E-12	5,72E-12	4,97E-12	1,19E-11	2,52E-11	6,88E-08
4	1	3,86E-12	4,12E-09	3,30E-13	4,51E-12	2,39E-12	2,14E-12	7,10E-12	8,39E-11
	2	1,73E-09	1,44E-10	8,68E-13	1,23E-12	5,28E-13	1,57E-11	1,25E-11	1,46E-07
	3	3,43E-14	4,79E-11	3,03E-12	1,07E-12	2,26E-12	2,67E-12	1,30E-13	1,40E-11
	4	2,20E-12	4,47E-11	1,09E-12	5,48E-12	4,32E-12	3,93E-13	4,65E-13	1,50E-08
5	1	5,29E-11	6,16E-11	1,15E-11	1,24E-10	2,72E-10	1,62E-12	1,07E-11	8,91E-07
	2	1,25E-12	6,02E-11	3,89E-13	7,59E-12	1,07E-12	1,68E-11	1,37E-11	2,17E-09
	3	1,75E-11	8,27E-11	4,24E-12	1,87E-12	3,72E-10	5,12E-13	2,84E-11	1,23E-07
	4	4,18E-11	9,36E-11	8,59E-12	7,88E-12	6,30E-10	3,18E-12	8,92E-11	1,15E-07
6	1	8,17E-12	6,41E-11	3,26E-12	3,51E-11	2,23E-12	6,43E-13	5,03E-12	2,04E-08
	2	7,39E-12	7,44E-11	1,57E-11	2,74E-11	1,23E-11	4,04E-11	7,49E-14	1,09E-10
	3	8,37E-12	2,09E-10	5,93E-13	4,87E-12	6,56E-12	1,06E-11	2,95E-10	2,32E-06
	4	3,86E-13	8,53E-11	5,78E-12	3,45E-10	4,99E-12	1,84E-13	3,11E-10	1,92E-06
7	1	9,41E-12	8,82E-11	2,32E-11	1,41E-11	4,69E-13	3,13E-14	2,31E-11	4,42E-08
	2	9,14E-12	7,09E-11	2,27E-12	7,67E-12	2,04E-11	3,96E-11	7,32E-11	7,44E-09
	3	6,99E-12	7,14E-11	6,84E-11	1,35E-13	5,97E-13	9,07E-11	3,60E-12	5,51E-08
	4	1,52E-11	6,55E-11	5,86E-12	5,40E-12	3,96E-12	1,44E-11	3,45E-12	2,63E-08

Tabla 10 Valores de Potencia Posterior al Tratamiento de la Paciente 1 en V^2 /segundo

Fin sujeto 1									
Mov	Ventana	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8
1	1	1,01E-11	1,49E-10	6,63E-12	3,68E-11	1,13E-11	8,77E-12	5,69E-12	1,09E-12
	2	2,80E-11	1,42E-10	1,35E-11	9,06E-12	7,23E-12	1,16E-12	1,50E-11	1,38E-12
	3	1,04E-11	1,71E-10	1,14E-12	2,47E-11	1,78E-12	9,22E-12	1,82E-11	3,97E-12
	4	4,26E-12	2,09E-10	7,80E-12	2,07E-11	9,61E-12	1,37E-12	7,69E-12	1,13E-12
2	1	7,51E-13	3,29E-11	8,52E-13	1,56E-12	7,26E-12	7,25E-13	3,14E-12	7,60E-13
	2	3,71E-13	3,55E-11	1,83E-12	4,86E-11	8,51E-12	1,15E-14	2,93E-12	1,08E-10
	3	7,75E-13	2,82E-11	1,41E-11	4,55E-12	2,99E-13	1,04E-13	4,97E-11	1,54E-13
	4	1,36E-10	4,11E-11	2,94E-12	2,79E-12	1,34E-12	2,75E-11	3,10E-12	9,62E-14
3	1	9,30E-11	7,58E-11	6,48E-13	2,00E-11	1,05E-12	2,95E-12	8,47E-12	2,51E-12
	2	5,85E-12	6,27E-10	4,30E-13	1,14E-11	2,84E-11	1,94E-11	2,89E-10	8,51E-12
	3	3,04E-13	1,51E-10	1,07E-10	4,09E-11	2,22E-11	6,95E-11	1,60E-10	1,46E-10
	4	4,38E-12	7,72E-11	1,00E-11	1,29E-11	1,82E-13	6,83E-12	9,82E-12	5,56E-12
4	1	1,70E-11	6,87E-11	6,08E-13	6,37E-12	8,83E-12	1,05E-11	5,55E-12	5,52E-12
	2	1,05E-11	5,25E-11	3,90E-12	1,16E-11	4,96E-13	3,88E-12	1,02E-08	3,14E-14
	3	1,33E-12	1,50E-10	1,24E-11	1,07E-11	2,60E-13	1,06E-10	3,11E-10	9,09E-13
	4	3,69E-11	1,38E-10	1,99E-11	1,29E-11	1,65E-11	2,08E-12	2,87E-11	1,02E-12
5	1	1,57E-12	6,79E-11	2,09E-12	1,90E-11	5,81E-12	3,28E-12	1,67E-11	1,35E-12
	2	5,52E-12	9,75E-11	1,44E-12	1,71E-11	1,81E-12	8,22E-12	4,91E-13	1,40E-12
	3	4,51E-12	7,67E-11	3,16E-12	1,59E-11	9,84E-13	1,27E-12	2,37E-11	2,21E-13
	4	4,88E-13	9,33E-11	7,97E-13	1,87E-11	2,49E-10	5,80E-12	2,16E-11	5,08E-12
6	1	1,64E-12	1,31E-10	2,06E-12	3,92E-11	1,54E-12	1,60E-11	2,30E-10	1,42E-12
	2	1,15E-11	7,37E-11	1,27E-10	1,89E-11	1,28E-11	6,70E-12	6,68E-11	1,21E-11
	3	1,74E-11	7,21E-11	9,56E-11	5,95E-13	1,92E-10	3,82E-13	4,79E-13	5,74E-11
	4	1,51E-11	1,10E-10	3,02E-13	8,02E-12	4,16E-11	1,02E-13	1,88E-11	1,83E-12
7	1	5,73E-12	5,85E-11	4,33E-12	9,68E-12	1,25E-12	4,87E-14	9,10E-12	8,52E-13
	2	2,52E-15	7,73E-11	1,15E-12	9,88E-13	3,95E-11	7,22E-15	4,19E-14	6,56E-12
	3	2,93E-12	4,50E-11	2,60E-12	2,32E-12	5,81E-12	1,66E-11	1,43E-10	3,88E-11
	4	3,46E-12	9,27E-11	1,16E-11	2,13E-11	8,62E-12	1,72E-11	4,39E-11	2,36E-11

Tabla 11 Valores de Potencia Previo al Tratamiento de la Paciente 2 en V^2 /segundo

Mov	Ventana	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8
1	1	3,98E-11	3,20E-10	1,07E-10	1,29E-11	2,03E-11	3,40E-11	1,93E-11	2,43E-14
	2	2,52E-11	6,67E-12	3,55E-12	4,24E-11	1,10E-10	1,24E-11	8,55E-12	2,20E-12
	3	2,52E-12	1,16E-12	2,23E-10	3,89E-11	1,72E-13	1,97E-11	2,01E-11	8,73E-13
	4	4,29E-12	6,63E-10	8,61E-11	3,33E-11	5,89E-12	5,57E-13	1,42E-11	4,93E-12
2	1	1,88E-12	1,40E-10	6,15E-12	1,73E-11	2,65E-12	1,10E-11	1,90E-11	2,70E-12
	2	1,05E-10	9,94E-10	3,98E-09	1,89E-11	9,07E-11	2,60E-11	7,11E-11	2,37E-12
	3	4,48E-10	9,19E-10	1,01E-08	7,27E-11	9,73E-11	1,96E-10	7,22E-11	3,87E-12
	4	2,49E-11	3,56E-10	6,19E-10	1,02E-11	5,85E-11	8,12E-11	9,98E-13	7,38E-13
3	1	2,24E-09	1,01E-11	1,75E-11	2,38E-12	2,28E-11	4,18E-10	1,09E-13	1,03E-12
	2	8,99E-12	4,62E-11	5,95E-13	5,07E-12	1,56E-11	2,94E-10	5,78E-12	3,77E-15
	3	3,72E-09	4,56E-11	5,40E-10	1,26E-11	1,76E-11	2,51E-10	1,09E-11	8,02E-13
	4	3,97E-11	3,88E-11	2,54E-14	6,56E-12	7,38E-14	2,21E-11	3,76E-13	1,35E-12
4	1	3,96E-12	1,53E-10	7,34E-11	9,46E-12	3,99E-11	1,11E-11	8,02E-12	6,83E-12
	2	3,21E-14	2,41E-10	2,31E-08	1,22E-11	1,73E-10	6,75E-09	6,84E-11	6,87E-13
	3	1,71E-10	3,66E-10	2,40E-10	1,24E-11	2,52E-11	8,43E-11	6,41E-13	1,93E-12
	4	1,59E-12	2,10E-10	6,88E-10	1,45E-11	6,45E-11	5,31E-12	1,28E-11	3,52E-12
5	1	1,39E-11	2,50E-10	6,71E-11	4,45E-12	2,17E-11	2,72E-10	3,83E-12	7,46E-13
	2	8,52E-11	6,10E-13	8,51E-11	1,19E-11	2,71E-10	1,70E-09	1,14E-11	1,19E-13
	3	7,06E-11	1,84E-11	4,30E-11	6,70E-11	1,78E-10	2,11E-10	2,15E-11	1,02E-11
	4	7,27E-11	8,65E-11	5,68E-12	7,81E-14	2,80E-09	1,29E-09	1,59E-12	2,08E-15
6	1	9,74E-13	9,87E-11	1,90E-10	1,76E-12	2,85E-12	6,45E-12	2,99E-12	6,30E-13
	2	1,33E-11	4,94E-11	1,61E-12	2,50E-11	9,23E-12	9,99E-13	4,37E-11	5,37E-14
	3	7,32E-12	3,04E-11	2,89E-10	1,10E-11	2,92E-11	2,51E-12	9,25E-12	2,09E-12
	4	3,26E-12	3,43E-11	5,73E-12	2,38E-13	1,97E-13	2,62E-12	2,53E-12	3,44E-13
7	1	4,02E-12	3,99E-11	2,14E-12	1,26E-11	2,86E-12	4,30E-12	5,72E-12	4,00E-14
	2	1,63E-14	7,58E-11	4,39E-11	4,22E-11	2,93E-12	2,75E-12	1,81E-11	5,07E-13
	3	8,58E-12	8,65E-11	2,60E-11	1,92E-11	4,64E-13	1,84E-13	1,97E-10	2,30E-13
	4	6,90E-14	5,89E-11	2,49E-14	1,71E-12	1,62E-12	1,85E-12	8,80E-12	1,13E-12

Tabla 12 Valores de Potencia Posterior al Tratamiento de la Paciente 2 en V^2 /segundo

Mov	Ventana	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8
1	1	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---
	3	---	---	---	---	---	---	---	---
	4	---	---	---	---	---	---	---	---
2	1	Inf							
	2	Inf							
	3	Inf							
	4	Inf							
3	1	8,69E-12	4,92E-12	7,90E-12	1,54E-11	1,40E-10	2,28E-13	4,90E-11	6,10E-13
	2	1,76E-10	1,77E-10	6,84E-10	1,44E-16	1,25E-09	8,06E-11	1,39E-11	2,01E-13
	3	1,39E-08	9,23E-10	8,14E-11	5,69E-11	8,43E-11	1,80E-10	6,34E-13	1,17E-10
	4	5,36E-11	1,97E-11	3,55E-11	5,44E-11	2,00E-11	1,70E-12	6,74E-10	4,20E-10
4	1	2,48E-13	1,06E-10	2,91E-13	7,32E-11	7,43E-11	6,25E-11	1,07E-10	2,25E-12
	2	1,25E-09	4,13E-10	2,16E-09	1,08E-11	1,34E-09	5,64E-10	1,34E-09	4,17E-11
	3	1,04E-10	1,92E-10	1,05E-11	9,63E-11	3,04E-10	1,84E-11	3,92E-11	1,35E-12
	4	1,15E-09	1,38E-11	1,08E-10	1,42E-11	2,66E-12	1,11E-11	1,90E-10	1,09E-13
5	1	8,57E-11	4,39E-11	2,39E-12	7,06E-11	5,03E-13	7,49E-13	3,11E-11	6,32E-13
	2	2,89E-13	5,98E-11	3,89E-10	2,68E-10	1,20E-12	2,10E-10	1,38E-12	6,71E-12
	3	1,44E-12	1,81E-11	4,74E-11	2,56E-11	1,33E-11	5,23E-12	1,45E-10	4,72E-12
	4	3,38E-12	3,19E-13	8,79E-11	1,23E-11	2,34E-11	3,97E-11	1,71E-10	3,01E-11
6	1	1,03E-13	1,93E-10	1,99E-09	1,79E-10	4,23E-12	2,25E-12	9,62E-10	1,26E-13
	2	2,51E-12	3,28E-10	1,73E-09	4,79E-12	4,88E-14	6,87E-12	8,03E-11	4,36E-12
	3	3,04E-14	2,56E-10	3,99E-10	5,46E-10	3,40E-12	7,45E-14	8,12E-12	4,72E-15
	4	3,43E-09	7,00E-11	9,39E-14	2,33E-11	4,35E-12	6,36E-12	9,80E-09	1,09E-11
7	1	5,01E-12	7,02E-11	5,39E-15	5,93E-12	4,46E-12	5,55E-12	2,24E-14	3,90E-12
	2	1,10E-11	3,62E-11	1,45E-12	7,41E-12	1,65E-12	2,89E-13	4,23E-12	6,81E-13
	3	2,90E-12	1,72E-13	3,45E-12	1,30E-12	1,23E-12	3,67E-16	1,42E-11	3,69E-13
	4	9,64E-12	1,10E-10	4,50E-13	1,44E-11	6,45E-12	1,31E-12	2,84E-11	5,22E-13

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA

RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO

Departamento: Departamento de Ingeniería Eléctrica

Carrera: Ingeniería Civil Biomédica

Nombre del memorista: Monserrat Catalina Rivera Segura

Título de la memoria: PROTOCOLO DE ESTUDIO PARA TERAPIA DE REHABILITACIÓN DE EXTREMIDAD SUPERIOR MEDIANTE EL USO DE EQUIPO ARMEO Y ANÁLISIS DE MOVIMIENTO

Fecha de la presentación oral: 01 de septiembre, 2022

Profesor Guía: Esteban Pino Quiroga

Profesores Revisores: Pamela Guevara Álvez, Carlos Medina Muñoz

Concepto:

Calificación:

Resumen:

En Chile 1 de cada 8 personas presenta alguna discapacidad y un 31,1% de ellas ven afectada su movilidad física. Dentro de las patologías que afectan la discapacidad de extremidad superior está la parálisis braquial obstétrica (PBO), que es una lesión del plexo braquial.

Actualmente, no existen estudios de rehabilitación de pacientes con PBO combinando equipos con electromiografía, es por ello que se necesita establecer los pasos a seguir para tratar esta patología combinando ambas tecnologías.

Se estudiará y utilizará el equipo Armeo Senso, el Laboratorio de Análisis de Movimiento y los sensores de electromiografía Delsys Trigno.

La rehabilitación consiste en 15 sesiones con el equipo Armeo sumado a la terapia convencional y se realizan pruebas en el Laboratorio de Análisis de Movimiento pre y post terapia. Las evaluaciones realizadas son la escala de SHUEE y la escala de Mallet.

En esta memoria de título se realizó un estudio y posterior protocolo e informe de presentación de resultados para rehabilitación de extremidad superior en niños con PBO mediante el uso de equipos en conjunto con electromiografía. Esto beneficia a todo el personal encargado de la rehabilitación de pacientes con PBO, dejando establecidos los pasos a seguir del tratamiento combinado.