



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Desarrollo de Manual Digital de Prácticas
Teóricas y Experimentales para el Estudio de
Electrofisiología**

**INFORME DE ACTIVIDAD DE APOYO A
LA DOCENCIA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

FÍSICO BIOMÉDICO

P R E S E N T A

SAUL ARTURO SALDAÑA ENCISO



TUTOR

DRA. ERIN CHRISTY MCKIERNAN

Agosto de 2024

*A todas aquellas personas con las que tuve
el placer de coincidir, gracias por ser y estar.*

A Ana María Enciso Castro.

Agradecimientos.

A mi madre que ha sido mi compañera de vida, mi fuerza y mi principal pilar para seguir, aun con todo en contra. Mamá, aunque la vida nos acaba de separar sé que nos volveremos a ver, te amaré siempre, gracias por cada día juntos.

Agradezco a mi tutora, la Dra. Erin McKiernan, por confiar en mí después de que todo estuviera oscuro, gracias por darme una segunda oportunidad y guiarme en todo momento en todo este nuevo proceso. A la Dra. Gaby González, llegaste en el momento justo para darnos una dirección completamente distinta y ayudar que todo esto fuera posible, por creer en el proyecto y brindarnos tu tiempo, amistad y conocimientos.

Agradezco a mis abuelos, Tito, gracias por darme tu amor y apoyo incondicional, por siempre estar juntos en las buenas y en las malas, ser valiente hasta el último momento, Tita, por estar conmigo aún ante la adversidad. Spanky, mi compañero más fiel en todas esas horas de espera. Susana y Ari, gracias por enseñarme tanto de la vida. Dany, mi hermana, gracias por estar conmigo toda mi vida, porque siempre seremos los dos hasta el fin de los tiempos, por el amor y ser de las personas que más han creído en mí, por darme un lugar para compartir mis sueños. Edna, hermana, con la que comparto lazos más fuertes que la sangre misma, siempre nos apoyaremos porque siempre hemos estado.

A Rich, por creer en nosotros. Diana G., Laura, Luis, Blanca y América, mis amigos más valiosos de años. A Fer, una de mis almas gemelas y compañera de grandes momentos. A mis amigos de la facultad: Diana, Javi, Mirely, Karla, Andrea, Ramón, Carol y Juanito, con los que viví tantas cosas invaluable para toda la vida. A Isma, por permitirme ser y estar.

Resumen.

En el siguiente informe se presenta la realización de un proyecto educativo en el área de electrofisiología cuyo propósito es la realización de prácticas experimentales como material didáctico de carácter multidisciplinario para complementar el entendimiento de diferentes procesos fisiológicos.

Tiene como finalidad apoyar la formación del alumnado en diferentes materias que requiera la complementación dentro de esta rama de la ciencia, principalmente dentro de la Licenciatura de Física Biomédica. El producto generado será de libre acceso a Docentes y alumnos de otras instituciones, tanto al público en general, con base a un plan estructurado para que sea aplicable como complemento práctico en diferentes materias afines, siendo un material de apoyo a la docencia en todo su criterio.

Dicho material se encontrará en el portal académico recopilatorio de datos, actividades, posters y prácticas con enfoque a la electrofisiología y afines, donde la Dra. Erin C. McKiernan lidera el proyecto en colaboración de académicos y alumnos, cuyo dominio dentro de la plataforma Github es: <https://github.com/emckiernan/electrophys>; y en una carpeta de forma permanente para su consulta dentro del informe cuyo dominio es:

https://drive.google.com/drive/folders/1egOwBLb7ZNuypj2hU_0SX_1N5mTaRWR?usp=sharing

El trabajo consta de un total de seis prácticas que han sido desarrolladas y después pilotadas a diferentes grupos de las Asignaturas dentro del plan de estudios de la Licenciatura en Física Biomédica de la Facultad de Ciencias, UNAM, durante los semestres 2023-1, 2023-2 y 2024-1, con la finalidad de complementar sus asignaturas y

que puedan familiarizarse a los procesos experimentales para realizar la integración teórica con la parte experimental y tangible.

Los temas predilectos de las prácticas trabajadas son Electromiografía y Electroencefalografía, siendo dos de las técnicas electrofisiológicas más utilizadas en la clínica y dentro de la investigación, por lo que son tópicos ideales para fortalecer conceptos dentro de diferentes materias en Física Biomédica.

Índice General

Agradecimientos.....	II
Resumen	III
Índice General	V
1. Listado de Productos Finales	1
2. Antecedentes	2
3. Planteamiento del problema y Objetivos	9
3.1 Objetivos.....	10
4. Metodología.....	11
5. Resultados	21
5. Conclusiones y trabajo futuro	31
6. Bibliografía	33

1. Listado de Productos finales.

- I. Práctica de Electromiografía: Registro de la Fatiga muscular en pruebas físicas.
- II. Práctica de Electromiografía: Registro de la actividad de músculos Antagonistas y Agonistas.
- III. Práctica de Electromiografía: Registro de Fuerza muscular.
- IV. Práctica de Electroencefalografía superficial en estado de reposo con ojos cerrados y ojos abiertos.
- V. Práctica de Artefactos en Electroencefalografía superficial.
- VI. Práctica de Electroencefalografía superficial cuantificada en estado de reposo con ojos cerrados y electromiografía interdigital del movimiento lateral de un dedo.
- VII. Anexos para los protocolos de EEG.

El compendio de prácticas se encuentra en la plataforma digital GitHub *Electrophysiology practicals for undergraduate students*, con dominio: <https://github.com/emckiernan/electrophys>.

Para los lectores del informe podrán consultar las pruebas del trabajo en el siguiente dominio: https://drive.google.com/drive/folders/1egOwBLb7ZNuypj2hU_0SX_1N5mTaRWR?usp=sharing

2. Antecedentes.

Electrofisiología

La electrofisiología es una rama dentro de la fisiología que se centra en las propiedades eléctricas de las células excitables del cuerpo, su finalidad se encuentra estudiando los cambios de la actividad eléctrica generada por el movimiento de iones a través de las membranas celulares. Dichas señales eléctricas, que conocemos como potenciales de acción, transmiten información a los diferentes tejidos del cuerpo para realizar una acción como respuesta a estímulos para algún proceso fisiológico para dentro del cuerpo humano [Hall & Guyton, 2016; Thakor, 2017].

Dentro de la electrofisiología encontramos diferentes técnicas que permiten registrar la actividad de células o grupos de células dentro de los tejidos, con propiedades eléctricas distintas entre sí, por lo que las técnicas se adaptan a cada tipo de célula para el estudio sus propiedades con la intención de obtener información idónea correspondiente en cada tejido por su morfofuncionalidad. Algunas de las técnicas más reconocidas son: electromiografía (EMG), electrocardiografía (ECG), electroencefalografía (EEG), electrooculografía (EOG), método de patch clamp, entre otras [Thakor, 2017; Nicolau-Llober et al., 1995].

Las técnicas electrofisiológicas aún se utilizan con alta frecuencia en los laboratorios clínicos y de investigación para estudiar los tejidos excitables e incluso diagnosticar enfermedades, por ejemplo: ECG en caso de infarto o arritmias, EEG en caso de epilepsia, EMG en casos de atrofia muscular, pérdida de fuerza o fatigas atípicas. Las técnicas descritas siguen siendo en muchos casos un primer y rápido

método de diagnóstico en emergencias por ser equipos de gran recurrencia dentro de clínicas y hospitales [Nicolau-Llober et al., 1995].

En este proyecto nos enfocamos en dos de las técnicas más usadas en la investigación y la clínica: electromiografía y electroencefalografía.

Electromiografía: La electromiografía (EMG) es la técnica que se utiliza para la medición superficial de la actividad eléctrica de las fibras musculares del tejido de músculos esqueléticos del cuerpo. Esta técnica capta la señal eléctrica de las células musculares, en forma de fibras, con ayuda de electrodos al realizar movimientos de contracción y relajación muscular, Figura 1. La señal obtenida por la técnica de EMG es la suma de la actividad eléctrica en todo el movimiento al ocurrir una contracción del conjunto de las fibras musculares [Moore, 2013; Martini et al., 2009].

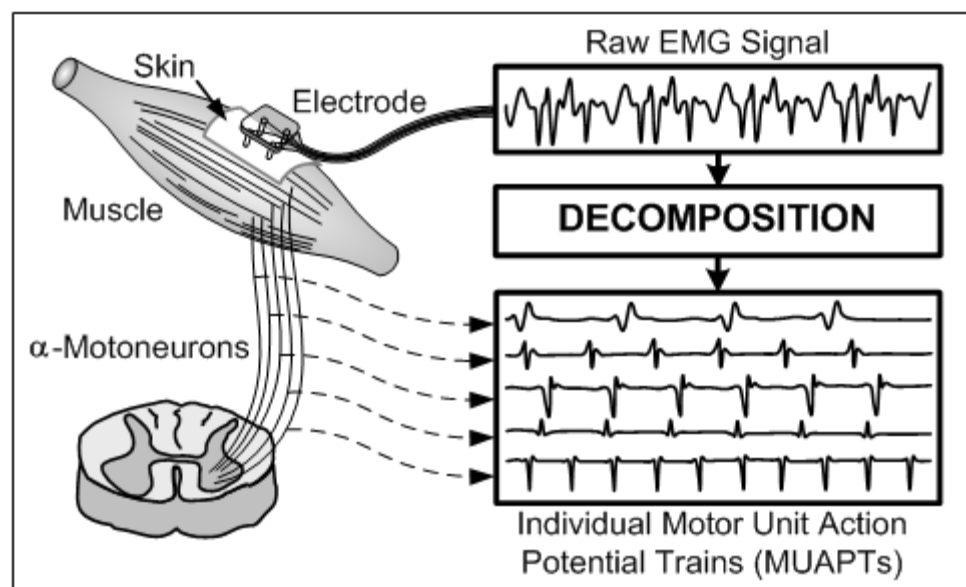


Figura 1: Representación del potencial de acción por la contracción de un músculo en un EMG de superficie. Imagen obtenida de: CECLINEF. (2023); <https://www.ceclinef.org/electromiografia-de-superficie/>

La unidad funcional de las miofibrillas, el sarcómero, se compone de los filamentos delgados (con la proteína actina), y los filamentos gruesos (con la proteína miosina), que

son la parte central para que ocurra el movimiento muscular [Moore, 2013; Martini et al., 2009]. El proceso para generar la señal eléctrica que va a ser captada por el EMG empieza cuando la Motor-neurona, en su terminal sináptica, libera acetilcolina en la hendidura sináptica entre el axón y la membrana de la fibra muscular donde se encuentra receptores proteicos para dicho neurotransmisor, esto generará la propagación del potencial de acción por la membrana que va a desencadenar la liberación de Ca^{+} . El calcio se acopla con la Troponina-Tropomiosina en los filamentos, lo cual genera el descubrimiento de la miosina que, junto con el contacto de la actina y la fosforilación de ATP, puedan conectarse y realizar deslizamiento entre las fibras y producir la contracción muscular [Moore, 2013; Martini et al., 2009; Silverthorn, 2008].

Hoy en día el uso de la EMG nos ayuda en el área de salud para el diagnóstico de algunas enfermedades como la atrofia muscular, parálisis musculares, alteración de la fuerza o sensibilidad causada por un algún trauma, y enfermedades musculares como miopatías o distrofias musculares, además, es un gran apoyo para la rehabilitación y terapia física [Soredad, 2014; Nicolau-Llober et al., 1995]

Electroencefalografía: La electroencefalografía superficial (EEG) es una técnica electrofisiológica que permite el registro de la actividad bioeléctrica de la corteza cerebral en tiempo real. El registro de esta actividad se obtiene a través de electrodos metálicos de superficie que captan diferencias de potencial eléctrico neuronal, los cuales se colocan de acuerdo con el sistema internacional 10-20%; el cual se refiere al posicionamiento de los electrodos para el mapeo de la corteza cerebral; para configurar el sistema de electrodos de acuerdo a la necesidad de cada estudio de acuerdo a la

región anatómica deseada de la cabeza [Morillo, 2005; Ramos et al., 2009; Talamillo, 2001].

La actividad bioeléctrica registrada en el EEG es resultado de la suma de los potenciales postsinápticos excitatorios e inhibitorios de las neuronas piramidales de la corteza cerebral, [Morillo, 2005; Ramos et al., 2009; Mantri et al., 2013; Amzica & Lopes, 2011]. La actividad mostrada en el interfaz del EEG es la suma de la actividad eléctrica de la zona de la cabeza donde se colocan los electrodos, dicha actividad en el tiempo se verá reflejada como ondas que cambian de acuerdo a los parámetros de frecuencia presentando cambios en amplitud, Figura 2 [Morillo, 2005; Ramos et al., 2009; Mantri et al., 2013].

El EEG es útil para diagnosticar varias condiciones neurológicas como la epilepsia, trastornos convulsivos, parkinson, daños cerebrales por lesiones en la cabeza, trastornos del sueño, etc. [Ramos et al., 2009; Nicolau-Llober et al., 1995].

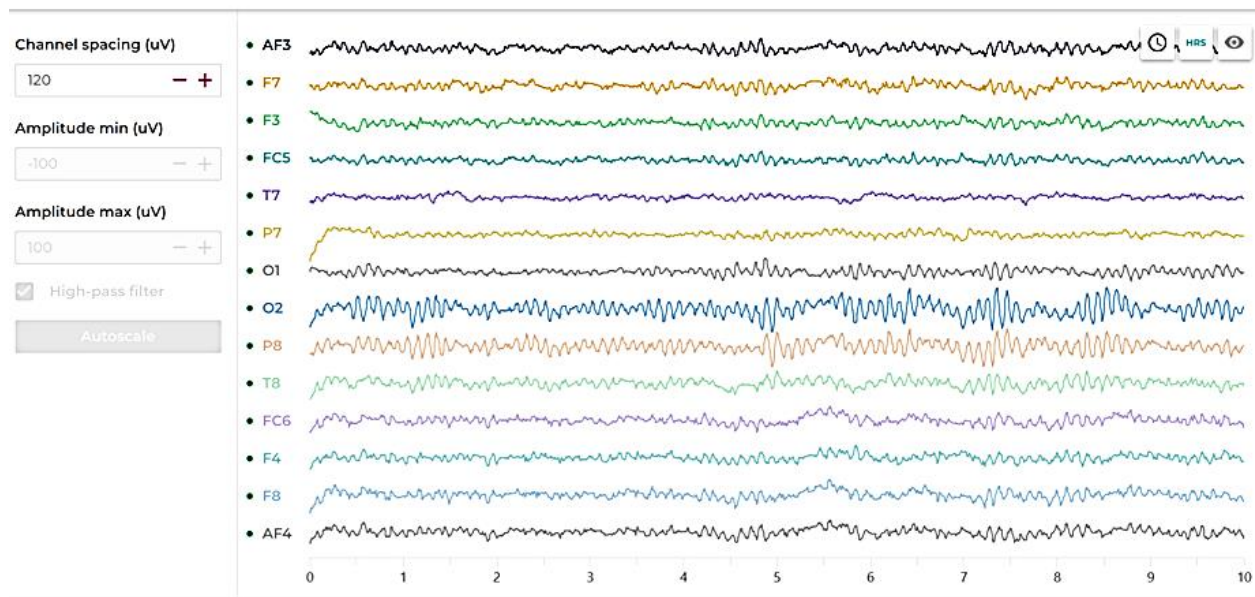


Figura 2: Visualización de un EEG de superficie: Interfaz del Software Emotiv PRO. Visualización de las ondas alfa en canales O1 y O2. Proporcionado por Dra. Gabriela G.

Electrofisiología como un área multidisciplinaria

La electrofisiología se considera como un campo multidisciplinario ya que involucra explícitamente temas de la fisiología, la biología, la medicina, las matemáticas, la física, bioquímica, el desarrollo e innovación ingenieril, ciencias computacionales y biofísica.

La electrofisiología tiene como base principal la biología de la célula, ya que es donde se estudia en conjunto de la fisiología la complejidad morfofuncional de cada tipo celular para comprender la excitabilidad, transmisión y la propagación de las señales eléctricas en cada tipo de tejido, esto por el comportamiento de los canales iónicos altamente especializados. La física y biofísica nos dan el enfoque de las leyes que describen el movimiento de los iones, los aspectos eléctricos que generan las corrientes que circulan y los gradientes que, en conjunto con temas bioquímicos, se complementan para entender dichos comportamientos [Colombo & Fuchs, 2016; Fttore et al., 2011; Gerstein et al., 2016]

El desarrollo tecnológico y computacional hoy en día representa un pilar de gran importancia para todas las áreas del conocimiento, por lo que la electrofisiología no es excepción, ya que el mejoramiento de las técnicas se ven beneficiadas al contar con refinamientos de los equipos para la toma de la señal. Las nuevas herramientas computacionales, con ayuda de la modelación matemática, hoy en día son fundamentales para describir e interpretar la información para acercarse lo más posible a la realidad biológica de lo que ocurre al obtener la señal electrofisiológica [Gerstein et al., 2016; Fttore et al., 2011].

La naturaleza multidisciplinaria de la electrofisiología tiene como desafío la complejidad de los sistemas biológicos, ya que se necesita que exista una unión de conocimientos para interpretar con precisión datos y modelos biológicos complejos, con el fin de impulsar la innovación al desarrollo de nuevas herramientas de diagnóstico y de investigación. En el contexto educativo y formación profesional es de vital importancia este ámbito multidisciplinario al ayudar a los alumnos a integrar y aplicar conceptos de varias materias dentro de sus planes de estudios, como un curso integrador. [Gerstein et al., 2016; Fttore et al., 2011; Nicolau-Llober et al., 1995].

La importancia de la experimentación en la formación académica

Parte de la naturaleza del ser humano es tener curiosidad por el mundo en que lo rodea, en el cual recibe infinidad de estímulos que despiertan preguntas, se requiere tener respuestas e integrar con las herramientas que va adquiriendo el saber de las causas y efectos para tener conocimiento nuevo [Islas, 2001]. Durante muchos años en el área de la enseñanza de lo que conocemos como ciencias naturales (como son la física, biología, químicas, etc.), se ha apoyado en las bases de la experimentación, la cual es sin duda alguna el mecanismo por excelencia para poder visualizar lo que se estudia por medio de un desarrollo controlado y sistemático para garantizar resultados óptimos. Si bien, la parte teórica es irremplazable, la parte experimental lo es aún más, la necesidad de poder observar, desarrollar, fallar, tener éxito, controlar y poder concretar lo teórico con la realidad es enriquecedor a la hora de aprender [Romero et al., 2011; Briceño et al., 2019; Noriega, 2020].

La pedagogía dentro de la enseñanza científica nos habla en los últimos años en una necesidad de integración multivalente de diferentes formas de abordar los temas,

esto con la finalidad de que el alumno pueda ser capaz de desarrollar su criterio de forma autónoma y pueda razonar los temas complejos utilizando diversos recursos para su aprendizaje.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Viviescas & Sacristán, 2020, concluyen que: “la experimentación se configura como un mecanismo por el cual el estudiante se convierte en el protagonista de su aprendizaje y sujeto consciente de las relaciones que él establece con su entorno”. Dicho resultado da hincapié en que el proceso dentro del desarrollo experimental lleva al estudiante a una autonomía completa al ser el encargado de aplicar sus propios conocimientos para resolver y reflexionar en cada parte del proceso, siendo libre y único el camino en que cada uno construye las nuevas bases que tienen como objetivo cada prueba experimental [Hurtado et al., 2005].

En los últimos años (2019-2022), la emergencia por el COVID-19 nos dejó ver que la educación fue uno de los afectados a nivel global, por lo cual el sistema educativo tuvo que encontrar nuevas formas para apoyarse con el fin de que los alumnos pudieran tener formas diferentes de enseñanza para que no se perdiera de forma remota la calidad de aprendizaje.

De acuerdo con Ortiz et al., en sus estudios en el 2020, los laboratorios a distancia fueron alternativas experimentales de gran relevancia, ya que los alumnos desde sus hogares pudieron complementar los temas vistos en sus clases virtuales, lo cual refuerza la idea de que la experimentación es fundamental para la retroalimentación, complementación, aplicación y reflexión de los temas para que los alumnos tengan interés en continuar en su aprendizaje [Ortiz et al., 2020; Vargas & De la Barrera, 2021].

3. Planteamiento del problema y objetivos.

El proceso de la formación académica dentro de la Licenciatura en Física Biomédica es de carácter multidisciplinario, ya que la aplicación de las leyes físicas al cuerpo humano representa un reto con alta tasa de complejidad. Dentro de la carrera se requiere el reforzamiento de diferentes áreas del conocimiento para poder entender los procesos fisiológicos, y poder dar diferentes enfoques combinando el área físico-matemática y el área Biomédica, con el propósito de dar una explicación más cercana a lo que ocurre dentro del cuerpo.

La carrera cuenta con materias integradoras y la electrofisiología es un área ideal para permitir la experimentación y correlación de diferentes temas, por lo que integrar prácticas de dicha área desde temprano ayudará a una formación reforzada en los alumnos.

La electrofisiología es fundamental dentro de las materias biológicas-médicas de la carrera, ya que implica un puente entre la rigurosidad de la física y los cálculos precisos de las matemáticas, a situaciones complejas biológicas que implican situaciones físico-químicas específicas propias de los seres vivos, donde las variaciones de diferentes factores dan como consecuencia complejos no aislados para la homeostasis del cuerpo.

Uno de los problemas principales que se tiene al incluir temas complejos de la electrofisiología a los estudiantes que, en su mayoría, provienen del área físico-matemática, es su gran carga teórica y el uso de modelos matemáticos que no precisamente se ajustan necesariamente a la realidad. Es necesaria la experimentación para que cada alumno pueda integrar de mejor manera la información obtenida de manera teoría en sus cursos, además, tener certeza que sus modelos matemáticos

puedan empalmar con lo que ocurre en el sistema biológico, obteniendo resultados cualitativos y cuantitativos que puedan ser descritos, discutidos, comparados y explicados de manera precisa.

La experimentación dentro de la ciencia es necesaria dentro de los márgenes pedagógicos, el aprender a aplicar las técnicas electrofisiológicas es fundamental para formar parte de la formación profesional de los cursantes de la carrera, al ser técnicas muy comunes en la vida laboral, por lo cual se tiene la necesidad de considerar que las materias tengan material teórico-experimental para complementar y sentar bases de la importancia de aprender dichas técnicas.

3.1 Objetivos.

Objetivo general: Desarrollar una compilación de prácticas teóricas-experimentales para diferentes tomas de señales electrofisiológicas (electromiografía y electroencefalografía). Se basarán en conocimientos morfofuncionales y biofísicos necesarios para obtener un material didáctico para el desarrollo experimental, esto con el fin de fortalecer la comprensión de los temas estudiados y ser un principal apoyo a la docencia con carácter multidisciplinario.

Objetivos específicos:

- Desarrollar material que sea de libre acceso, con el propósito de que cualquier persona interesada en el área pueda consultarlo, compartirlo y replicarlo.
- Profundizar en temas de adquisición de señales electrofisiológicas para correlacionar de manera cualitativa y, posteriormente cuantitativamente, los datos visualizados con todos los procesos involucrados para obtener dicha señal.

- Relacionar temas de biomecánica, bioelectricidad, químico-físicos, biomédicos, entre otros, para describir de manera más precisa los procesos complejos de los seres vivos.

- Generar una fuente de información y discusión de principio a fin al realizar los protocolos, con lo cual puedan dar retroalimentaciones, cuestionar y dar respuesta a diferentes dudas que puedan aparecer al experimentar y presentar resultados.

- Apoyar al ámbito de la docencia y aprendizaje en Física Biomédicas y áreas afines. Lograr la autonomía del aprendizaje del alumnado al aplicar los temas aprendidos en resultados tangibles.

- Unir temas complejos como la relación entre las señales enviadas por el cerebro y la respuesta muscular a algún estímulo.

4. Metodología

El trabajo presentado consiste en un conjunto de seis prácticas Teórico-experimentales del área de electrofisiología, divididas en dos por técnica grupos: Electromiografía y Electroencefalografía superficial, las cuáles serán parte de un compendio web de datos y prácticas sobre electrofisiología para el apoyo académico bajo el mando de la Dra. Erin C. McKiernan, cuyo dominio en la plataforma GitHub es: <https://github.com/emckiernan/electrophys>. Dicho compendio es un trabajo en conjunto de profesionistas con el fin de apoyar de manera académica a la formación en los temas de adquisición y procesamiento de señales bioeléctricas.

Los protocolos siguen un orden para su elaboración, con la finalidad de que los consultantes del trabajo sigan una secuencia para desarrollar el experimento de manera

que tengan una profundización adecuada al tema, reforzar conocimientos previos y obtener al final un enriquecimiento profundo del tema. El desarrollo por pasos de la práctica ayudará a generar trabajos exponiendo los resultados de manera eficiente y eficaz, además, abrir el diálogo y el cuestionamiento sobre el tema con el fin de generar curiosidad de seguir indagando en él.

Cada grupo de prácticas tiene una secuencia establecida, empezando con prácticas básicas de reconocimiento de la metodología de adquisición de señales, subiendo el nivel a ejercicios más complejos utilizando diferentes metodologías y equipos complementarios, por lo cual el consultante y realizador se le recomendará empezar con las bases para poder continuar con las prácticas más complejas.

Práctica de Electromiografía: Registro de la Fatiga muscular en pruebas físicas.

La práctica enfocada a la fatiga muscular fue establecida como la continuación general de un protocolo de EMG básico, ya que representa una progresión natural a los ejercicios básicos para la toma de señales de electromiografía.

Se elaboró con la idea de establecer diferencias en el cambio de la actividad del musculo por realizar ejercicios de manera continua, ejercicios repetitivos y de resistencia para favorecer el desgaste de la fuerza conforme al tiempo.

La base para realizar esta práctica fueron trabajos realizados por alumnos de las primeras generaciones de la licenciatura en física biomédica, donde propusieron pruebas de resistencia y fuerza con objetos comunes en el día a día, en ellos pudieron notar que existía la fatiga de los músculos conforme avanzaron las actividades. Los reportes sirvieron como una base para estandarizar los tiempos y los ejercicios apropiados para

obtener los datos necesarios para analizar de manera satisfactoria los efectos de la fatiga muscular.

Los problemas principales para la construcción de la práctica fue establecer la posición anatómica del cuerpo para evitar compensaciones de grupos musculares externos a los propuestos en la actividad. Especificar qué tipo de objetos usar para diversificar las posibilidades reales de los que desean realizar el protocolo. La estandarización de los tiempos de las actividades y especificaciones para incluir descansos, o considerar la ausencia de estos, fueron de vital importancia para aumentar significativamente el efecto de cansancio y establecer condiciones iniciales diferentes.

Esta práctica representa el inicio de un conjunto de prácticas para que los alumnos, profesores y público consultante, puedan progresar en el estudio de la EMG de manera progresiva, pasando de la visualización y los datos cualitativos, a obtener datos cuantitativos a la par para análisis más complejos.

Práctica de Electromiografía: Registro de la actividad de músculos Antagonistas y Agonistas.

La práctica de Antagonistas y Agonistas propone entender la complejidad de los grupos musculares al realizar un trabajo, ya que no es un sistema de un solo músculo, se involucran diferentes grupos que ayudan de manera conjunta para dar soporte, fuerza, estabilidad y compensaciones a la actividad. El propósito es visualizar y obtener datos de manera conjunta de dos músculos que trabajan de manera conjunta para realizar un ejercicio.

Para la realización de esta práctica se requiere el uso de un EMG de doble canal o el uso de dos diferentes equipos de EMG para establecer las dos señales. El

conocimiento anatómico es indispensable al igual que la complejidad de usar un equipo más complejo, por lo que esta práctica es parte de las prácticas avanzadas en electromiografía donde se requiere el bloque de prácticas básicas: EMG básico y pruebas de fatiga, además del dominio de temas más complejos en la parte de antecedentes para poder obtener de manera satisfactoria los resultados para un análisis de mayor grado de complejidad.

El establecer ciertos complejos de músculos Antagonistas y Agonistas dentro del protocolo solo es una introducción para que los consultantes puedan proponer otros grupos musculares a su consideración para el análisis de sistemas más complejos al realizar un trabajo con el cuerpo.

Las dificultades que se presentaron para el desarrollo de esta práctica consistieron en poder realizar pruebas de equipo con dos EMG diferentes y poder coordinar la toma de datos de ambas, ya que suele ser más complicado tener un equipo de EMG de doble canal. El escoger ciertas zonas anatómicas para proponer los ejercicios bases fueron estudiados para que fueran de fácil acceso a todos los participantes y que no se pida ejercicios o poses complicadas para llevar a cabo el protocolo.

Práctica de Electromiografía: Registro de Fuerza muscular.

Por último, se elaboró fue la práctica de fuerza muscular, al ser una práctica que involucra un instrumento de fuerza, externo a lo habitual al trabajar en electromiografía, se requiere profundización de temas en física y, además, conocer las propiedades y especificaciones del equipo a utilizar.

La práctica de fuerza consiste en alcanzar ciertos niveles de fuerza con ambas manos usando un dinamómetro, a su vez, se quiere monitorear la actividad muscular al

realizar la tensión para generar la fuerza. En todo momento en que se realizan las actividades notamos un conjunto de todas las prácticas anteriores, desde temas de usar doble equipos para coordinar, hasta el factor fatiga para tomar en cuenta en cada parte de los cronogramas de fuerza, pudiendo obtener información cualitativa sobre los cambios en fuerza y la señal de los músculos del brazo y mano.

Se considera el último protocolo a realizar, parte del grupo de protocolos avanzados en EMG que se elaboraron, al ser la culminación de la técnica y los temas necesarios para entablar una fuerte relación entre la fisiología con la biomecánica y los procesos físicos que ocurren. La construcción se basó en ideas y reportes realizados a lo largo de los años de la carrera de física biomédica que pudieron utilizar los equipos de EMG, además, de propuestas para seguir enriqueciendo la información que se pueda adquirir en la técnica al utilizar técnicas o tecnologías complementarias, por lo que el principal reto fue el poder incorporar ambas técnicas de adquisición para tener un protocolo claro para la obtención de los datos.

Práctica de Electroencefalografía superficial en estado de reposo con ojos cerrados y ojos abiertos.

Las prácticas de la técnica de electroencefalografía para el estudio de la técnica a nivel educativo-experimental nacieron gracias a la colaboración de la Dra. Gabriela González, al ser ella la que nos brindó la idea principal para el desarrollo de un protocolo para la visualización de ondas alfa con un equipo de EEG superficial monopolar.

Para la construcción de la práctica básica de EEG se necesitaba que fuera fácil de reproducir, con condiciones que pudiéramos controlar y monitorear en un laboratorio o, en todo caso, un sitio adecuado para el control de sonidos externos, iluminación e

interferencia con algunos aparatos electrónicos. Se determinó, gracias a estudios y practicas por parte de la experiencia de la Dra. Gabriela, que lo más conveniente era el estudio de las ondas alfas para la práctica básica al ser fácilmente visualízales en la interfaz, ya que se requiere principalmente el tener solamente ojos cerrados. Los protocolos se construyeron con ejercicios que involucran diferentes tiempos, alternando la condición de ojos cerrados y ojos abiertos, siendo fácil su reproducibilidad controlando la mayoría de las variables antes mencionadas.

Algo que se tomó en cuenta desde el inicio fue las características del equipo de EEG, sobre todo el posicionamiento de electrodos, ya que la posición de estos en las diferentes áreas de la cabeza nos permitirá estudiar ciertas ondas con diferentes estados fisiológicos. Por último, se debió tomar en cuenta las condiciones físicas y mentales de cada individuo que realiza las tareas del protocolo, con un cuestionario que nos dará información valiosa a la hora de analizar los datos obtenidos.

Práctica de Artefactos en Electroencefalografía superficial.

La práctica de artefactos en EEG salió como una necesidad de continuidad de la práctica de EEG básica, ya que, al ser equipos más especializados, llegan a ser muy sensibles a interferencias físicas y electrónicas.

Las prácticas en su mayoría en la educación se centran en realizar una tarea, tener un resultado y analizar este último, muchas veces al realizar el procedimiento hay variaciones que nos pueden llegar a modificar el resultado esperado. El enfocarnos en realizar una práctica donde podemos conocer diferentes interferencias que nos dan resultados diferentes a los esperados ayudará al alumno a tomar en cuenta demasiados detalles para reproducir sus prácticas. Al no existir muchas prácticas enfocadas a no

tener un “resultado idóneo”, abrió el debate para la elaboración de esta práctica, siendo una continuidad que aportará demasiado para las tomas de EEG futuras.

Para su realización se escogieron diferentes movimientos y gestos en la cabeza y cara que pudieran ser fácilmente vistos en la interfaz al usar el equipo, por lo que se construyeron la realización de dichos artefactos en intervalos de tiempo para poder visualizar los cambios que existen en los datos y, por consiguiente, sea consciente de la existencia de cambios que no necesariamente sea información valiosa al realizar una práctica.

Práctica de Electroencefalografía superficial cuantificada en estado de reposo con ojos cerrados y electromiografía interdigital del movimiento lateral de un dedo.

La última práctica realizada en el trabajo de apoyo a la docencia fue la práctica en conjunto de EEG y EMG, fue pensada como la culminación del trabajo de ambas áreas trabajadas en electrofisiología. La práctica es altamente especializada, por lo que se necesita un dominio de ambas técnicas (EMG y EEG), ya que los temas a tratar requieren grandes antecedentes, y el conocer la versatilidad y limitaciones de ambas.

La finalidad de esta práctica es conocer los procesos fisiológicos que ocurren en el cerebro antes, durante y posterior al realizar un movimiento. Para esto se requiere la técnica de ojos cerrados del EEG básico y el movimiento del dedo siguiendo patrones indicados por medio de una fuente sonora externa que indicará el movimiento coordinado de un dedo. La toma de datos será de manera simultánea, con la finalidad de poder coordinar el movimiento del dedo con el momento en tener una señal del cerebro por medio de un equipo EEG con ciertas especificaciones, ya que se requiere un

procesamiento ya mayor de los datos para poder obtener información de ondas beta en cada momento del proceso para que se lleve el movimiento del dedo.

Al ser una práctica de alta complejidad, tanto de realización como análisis posterior, se necesitó establecer diferentes ejercicios para tener diferentes señales que puedan ser reproducibles, al igual que en prácticas anteriores, se requiere tomar en cuenta las dificultades de usar dos equipos independientes entre sí, además de las condiciones del lugar y estado de las personas en realizar los ejercicios.

A continuación, se establecerá el orden y la explicación de cada una de las secciones que forman parte del contenido de cada uno de los protocolos:

- I. Título y Datos de los autores.
- II. Resumen: es el primer acercamiento breve a la práctica, tiene propósito de comunicar de manera rápida, concisa y eficiente el contenido del trabajo, teniendo el contenido metodológico y los resultados que se esperan al terminar de realizarlo.
- III. Especificaciones: consiste en ciertas condiciones sugerentes para realizar la práctica. Da información de ciertos prerrequisitos, el área de conocimiento previos y la aplicación a cierto nivel académico; precauciones, indicaciones y algunas sugerencias a tener en cuenta para la realización exitosa del trabajo. Se sugiere en algunos casos la realización de una práctica anterior, del mismo conjunto de prácticas, con el fin de contar con las bases necesarias para su desarrollo.
- IV. Objetivos: finalidad al que se desea llegar con la práctica. Si dividió en tres grupos: Antes, durante y después de terminar todo el proceso experimental,

esto fue con el fin de marcar ciertas expectativas en cada parte de la realización, desde el principio marcar ciertos requisitos para la aplicación de conocimientos hasta obtener al final una integración de los conocimientos y poder expresar si se cumplieron las metas establecidas al principio del trabajo. Esta información sirve para guiar a alumnos y docentes al propósito final que van a lograr con realizar la práctica

- V. Antecedentes: los antecedentes son el apoyo teórico del nuevo tema a exponer, además, de ayudar a los docentes a entender cuáles clases teóricas deben de realizar antes, y saber dónde insertar las prácticas dentro de sus temarios. Es de vital importancia para dar un primer paso de manera concisa al tema en cuál se trabajará, se debe tener en cuenta que es un breviarío del tema, por lo que el realizador tendrá la necesidad de consultar o repasar temas que complementen las ideas a aplicar en el desarrollo del trabajo. Servirá para dar una secuencia adecuada a las prácticas.
- VI. Equipo: son las especificaciones técnicas y el listado del material sugerente y necesario para realizar las actividades descritas. Se da una nota informativa del equipo con el que se elaboró el protocolo, pero se marca la recomendación de si no se cuenta con el mismo equipo, poder usar otro para realizar las mismas pruebas siguiendo las especificaciones propias del equipo distinto, así no habrá limitaciones en poder realizarlas, ya que son prácticas pensadas para ser adaptativas a diferentes circunstancias y tengan la flexibilidad de modificar ciertos parámetros sin alterar el objetivo primordial de estas.

- VII. Procedimiento: se encuentran las instrucciones a realizar: Se inician con apartados de preparación de los equipos, su encendido, la navegación con las interfaces y aplicaciones necesarias para su uso. Después se describen las tareas a realizar, utilizando instrucciones, figuras, cronogramas y líneas de tiempo para que puedan ejecutar las tareas de manera eficaz y eficiente; Se termina con apartados de guardado, desmontaje de equipo y algunos apartados para el almacenamiento de datos y recomendaciones para su análisis posterior.
- VIII. Preguntas de Estudio: Las preguntas de estudio es la sección que forma parte de la idea reflexiva y de debate del proyecto, consideramos de alta necesidad este apartado por la necesidad de que el realizador de la práctica pueda cuestionarse, ejemplificar y poder formar sus propias dudas respecto a los temas, lo cual se ve reflejado en poder acoplar diferentes puntos de vista de un mismo tema o poder variar el procedimiento para obtener resultados diferentes. De igual forma abre el diálogo con su equipo, sus compañeros de clase, su profesor o aplicador para retroalimentarse en conjunto y discutir diferentes escenarios a los propuestos en el cuerpo de las diferentes prácticas.
- IX. Agradecimientos.
- X. Referencias: material de consulta externa de diferentes fuentes de información corroborada para describir y guiar la parte teórica, además, de ser sugerencias para que el realizador o aplicador consulte si requiere profundizar en los temas propuestos.

5. Resultados

Como resultado se desarrolló material en dos importantes ramas de la electrofisiología: electromiografía y electroencefalografía. Por un lado, en el área de electromiografía se construyeron 3 protocolos progresivos, complementarios y avanzados a las pruebas básicas de EMG. Los protocolos de electroencefalografía superficial fueron contruidos bajo la premisa de pruebas en ojos cerrados y ojos abiertos, ya que nos facilita de forma cualitativa a adéntranos en la visualización de series de tiempo por la notoria aparición de ondas alfas en estado de ojos cerrados, siendo tres protocolos para el manejo básico, complementario y avanzado de la técnica

Pruebas pilotos: Se realizaron pruebas de los protocolos descritos anteriormente con alumnos de diferentes materias dentro del plan de estudios de la licenciatura en Física Biomédica en los ciclos escolares 2023-1, 2023-2 y 2024-1 con el fin de recaudar evidencia fotográfica (sin rostros o características para identificación), datos y retroalimentaciones en forma de reportes para enriquecer la elaboración del material presentado.

La finalidad de hacer estas pruebas es cerciorarse de el entendimiento del texto y su aplicación, además, poder visualizar de forma conjunta que el aprendizaje se vuelve complementario a lo largo del desarrollo de la práctica con lo cual nos pueden otorgar un documento elaborado por cada uno de los participantes que sirve como evidencia de lo integrado del trabajo con la parte teórica. En cada práctica se les pidió su consentimiento para tomar fotografías como pruebas de la aplicación de los protocolos. A continuación, se desglosa los resultados obtenidos por cada práctica elaborada.

Práctica de Electromiografía: Registro de la Fatiga muscular en pruebas físicas.

Como resultado se obtuvo la primera práctica del proyecto de titulación para apoyo en la docencia en el área de electrofisiología, el cuál consistió de la práctica de fatiga muscular. Gracias a la retroalimentación de diferentes grupos de alumnos y voluntarios, a los cuales se les pidió aplicar pruebas de fatiga y EMG básico, se pudo estandarizar el cuerpo metodológico que conllevan las prácticas.

Se construyó una práctica con tres diferentes pruebas para visualizar la fatiga muscular: Primera prueba de contracción y relajación del bícep descansando sobre una superficie plana; Segunda prueba con contracción concéntrica sostenida cargando un objeto con ambos brazos de masa establecida de pie; tercera prueba de contracción excéntrica sostenida con un brazo y un objeto de masa establecida estando sentado. Las tres pruebas se muestran en la Figura 3, las cuales muestran la composición para realizar cada ejercicio con el acomodo del equipo de EMG dentro del protocolo.

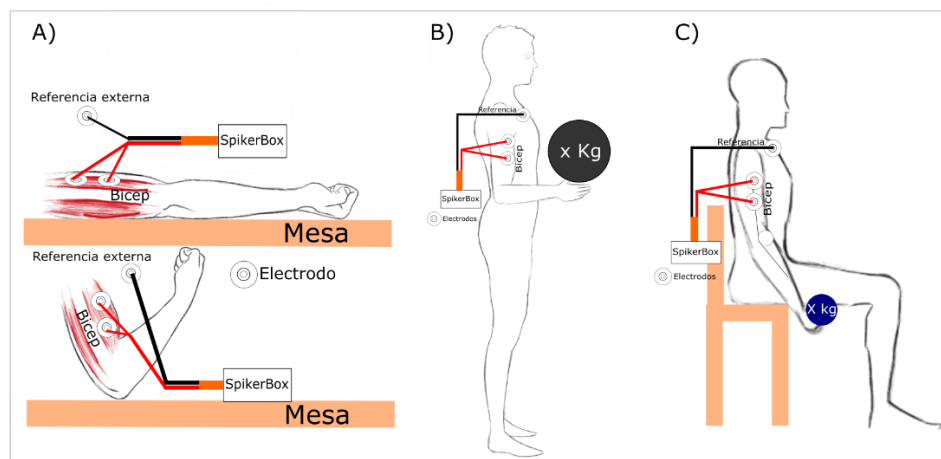


Figura 3: Modelos de la práctica 1 de EMG: Pruebas de Fatiga. A) Prueba contracción-relajación de Bíceps B) Prueba contracción concéntrica, C) Prueba contracción excéntrica. Nota: Elaboración propia.

Práctica de Electromiografía: Registro de la actividad de músculos Antagonistas y Agonistas.

Con el apoyo al grupo de morfofuncional II del semestre 2023-2, compuesto de alrededor 30 alumnos, de la Lic. En Física Biomédica dirigido por la M. en C. Paula Zepeda Gutiérrez, se realizaron pruebas de toma con EMG de doble canal para la visualización de músculos Antagonistas y Agonistas, esto con la finalidad de complementar sus clases sobre músculo esquelético, pudiendo generar reportes para su evaluación de la materia, otorgándonos retroalimentación y material para la finalización del trabajo en esta área.

Como resultado, se pudo mejorar las condiciones para la toma de datos de grupos de músculos no solo de brazo (bícep-trícep), sino de pierna, además de propuestas para la parte de trabajo abierto al proponer diferentes grupos musculares para realizar más pruebas. Se obtuvo material fotográfico y una vasta base de datos de EMG para su análisis, además, se ayudó a la necesidad de estandarizar el marcaje de los datos obtenidos por tipo de ejercicio.

La figura 4 representa el diseño experimental aplicado para la toma de datos de los músculos de la pierna y los resultados obtenidos por la interfaz del equipo de EMG de doble canal, además del modelo usado para instruir la colocación de los electrodos y pruebas fotográficas de un alumno aplicando la prueba.

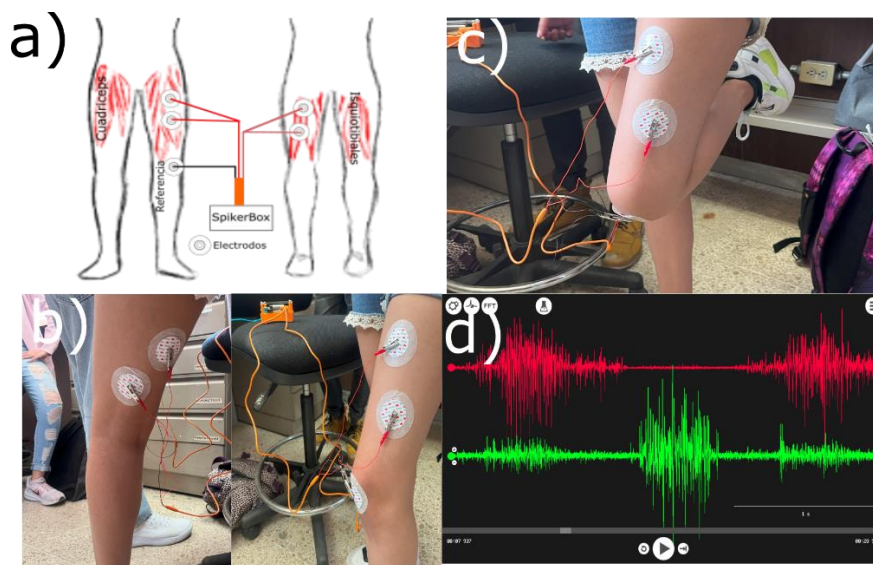


Figura 4: Representación de pruebas de EMG a) Configuración de electrodos, b) Colocación de electrodos por parte de los alumnos, c) Pruebas de Contracción, d) Visualización de la contracción en equipo EMG. Nota: Elaboración propia

Práctica de Electromiografía: Registro de Fuerza muscular.

La práctica resultante para el registro de fuerza contiene la información requerida para el uso en conjunto del dinamómetro con el aparato de EMG, se establece completamente el posicionamiento y tipo de dinamómetro necesario para el ejercicio. Los requisitos para la visualización de los datos de ambos equipos y el cronograma de tareas fueron basados en la información obtenida de diferentes reportes donde implicaban el uso del aparato, por lo que fue una construcción completamente teórica.

La práctica consiste en realizar dos diferentes pruebas para ambas manos: La primera prueba consiste en alcanzar fuerzas específicas con ayuda de la interfaz del dinamómetro con la fuerza aplicada de la mano al apretar el dinamómetro en intervalos de tiempo. La segunda prueba consiste en mantener la mayor fuerza aplicada en un tiempo mayor, por lo que se considerará en los resultados una mayor influencia de la fatiga de los músculos de la mano, la figura 5 muestra el montaje para ambas pruebas.

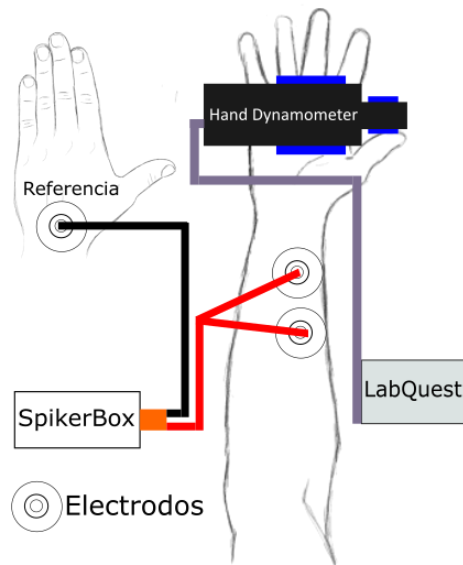


Figura 5: Montaje de los equipos de EMG y Dinamómetro para las pruebas de fuerza muscular. Nota: Elaboración propia

Práctica de Electroencefalografía superficial en estado de reposo con ojos cerrados y ojos abiertos.

Como resultado se obtuvo un protocolo educativo para la técnica de EEG enfocado en el análisis de ondas alfa en estado de reposo con ejercicios de abrir y cerrar los ojos para la visualización cualitativa y obtener datos cuantitativos.

El protocolo consta de una serie de pasos para el montaje del equipo, los procedimientos para su colocación, el uso de la interfaz del equipo, además de establecer antes las condiciones óptimas antes de iniciar la lectura, Figura 6.



Figura 6: Fotografías del equipo de EEG y su colocación en la cabeza del participante para la realización de las actividades.
Nota: Elaboración propia

Se realizaron pruebas con diferentes voluntarios para poder determinar los tiempos óptimos del cronograma del protocolo, obteniendo una gran base de datos para el análisis de las pruebas básicas de EEG, como se muestra en la siguiente figura, Figura 7, el cronograma para las pruebas básicas de EEG y como se visualiza en la interfaz del equipo.

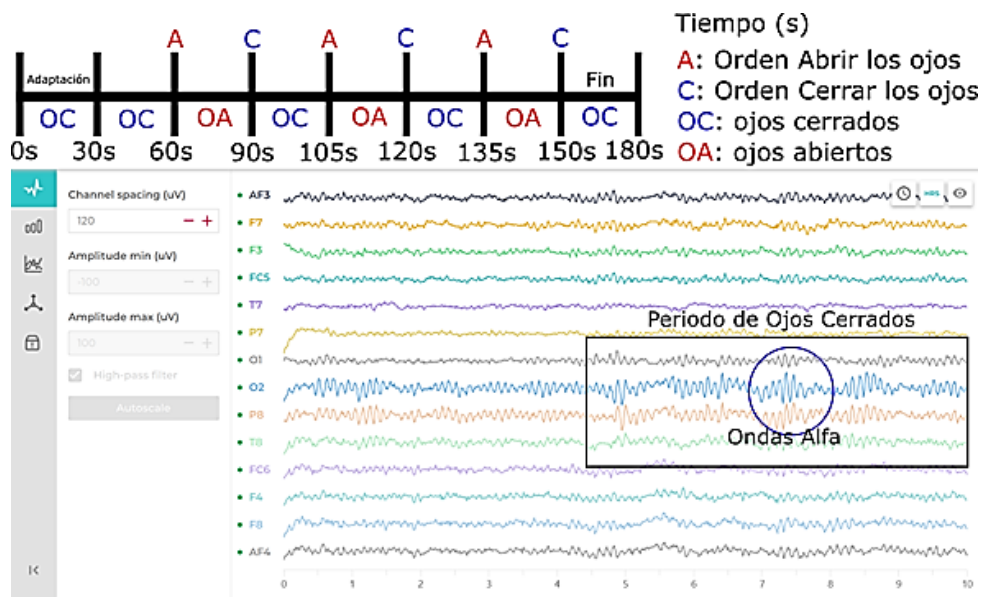


Figura 7: Cronograma de actividades en la práctica de EEG básica y la visualización de ondas alfa en el estado de ojos cerrados. Nota: Registro y Elaboración propia.

Práctica de Artefactos en Electroencefalografía superficial.

Para la práctica de artefactos se realizaron muchas pruebas para visualizar diferentes artefactos, se variaron personas en edad y condiciones para poder detectar los diferentes cambios que podían existir al presentarse un artefacto y su forma.

Se obtuvo una base de registros de artefactos planeados en intervalos de tiempo, los artefactos fueron completamente fisiológicos y se presentan a continuación: parpadeo voluntario e involuntario, movimiento lateral ocular, movimiento de los músculos de los párpados y tensión mandibular, en la siguiente figura se muestra un ejemplo de la visualización de uno de los datos obtenidos en dos diferentes pruebas piloto para garantizar la aparición de artefactos, Figura 8.

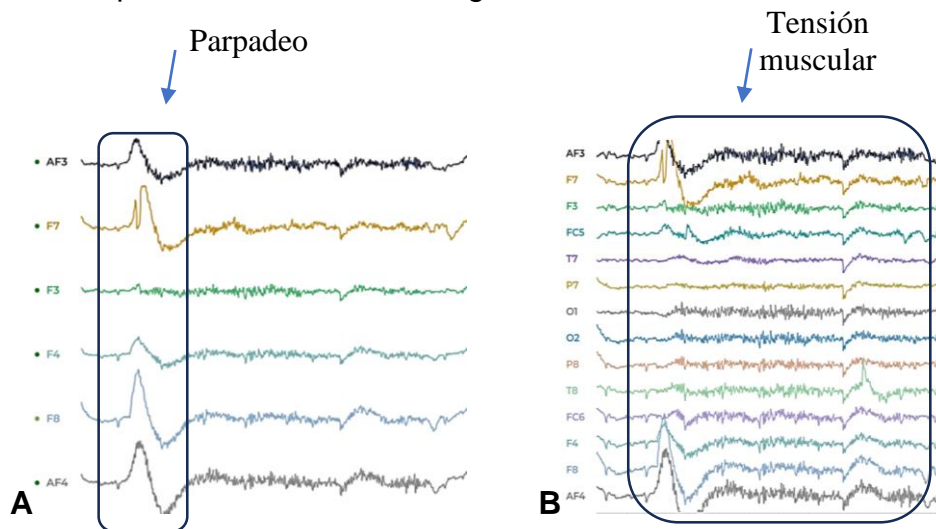


Figura 8: Ejemplos obtenidos de Artefactos en las pruebas para la construcción del protocolo de Artefactos en EEG. A) Parpadeos en el equipo EEG, B) Tensión mandibular en la interfaz del EEG. Nota: Registros propios.

Práctica de Electroencefalografía superficial cuantificada en estado de reposo con ojos cerrados y electromiografía interdigital del movimiento lateral de un dedo.

Por último, se realizó una práctica compleja que involucra la unión de los equipos de EEG y EMG, con la cual podemos integrar la idea de la emisión de una señal de

respuesta para generar un movimiento donde involucra explícitamente al cerebro, dando como resultado en el movimiento del músculo, donde existe actividad cerebral para que se realice. Como resultados obtenemos un doble registro para el análisis cualitativo de ambas señales utilizando modelos matemáticos.

La práctica consta de tres pruebas en el estado de Ojos cerrados, donde una señal sonora externa indicara el movimiento lateral de un dedo de la mano con el equipo de EMG, a su vez el equipo de EEG tomará la señal a lo largo de todo el tiempo en que se realice las tareas. La primera prueba consta de la contracción y relajación del dedo en cada estímulo sonoro, es decir, por cada sonido deberá efectuar el movimiento de contraer o relajar el musculo encargado del movimiento del dedo. La segunda prueba consta de que en cada estímulo sonoro deberá completar un ciclo en conjunto de contracción y relajación; por último, la prueba de máxima contracción sostenida al escuchar un estímulo sonoro y, pasado un intervalo mayor de tiempo, relajar el músculo del dedo. En la Figura 9 se muestra la señal obtenida en el EMG al realizar la contracción del dedo.

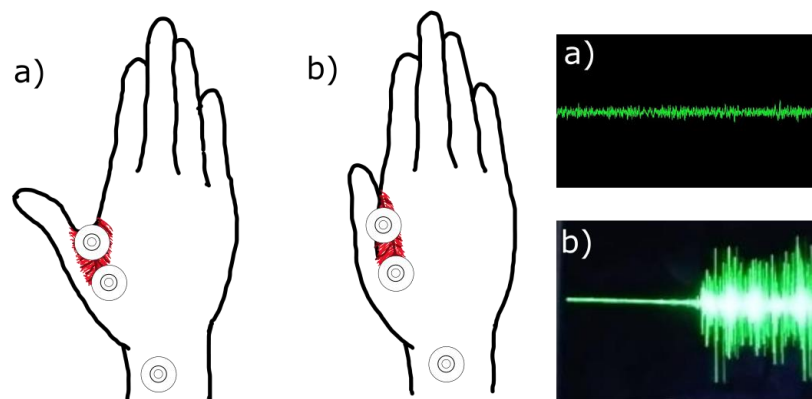


Figura 9: Movimiento y registro del primer músculo interóseo dorsal. a) Estado relajado del pulgar y señal asociada. b) Contracción del Pulgar y señal asociada. Nota: Elaboración propia

Nota: La sincronización de los equipos de EEG y EMG es importante para garantizar la mejor correlación entre los datos obtenidos en ambos equipos Figura 10.

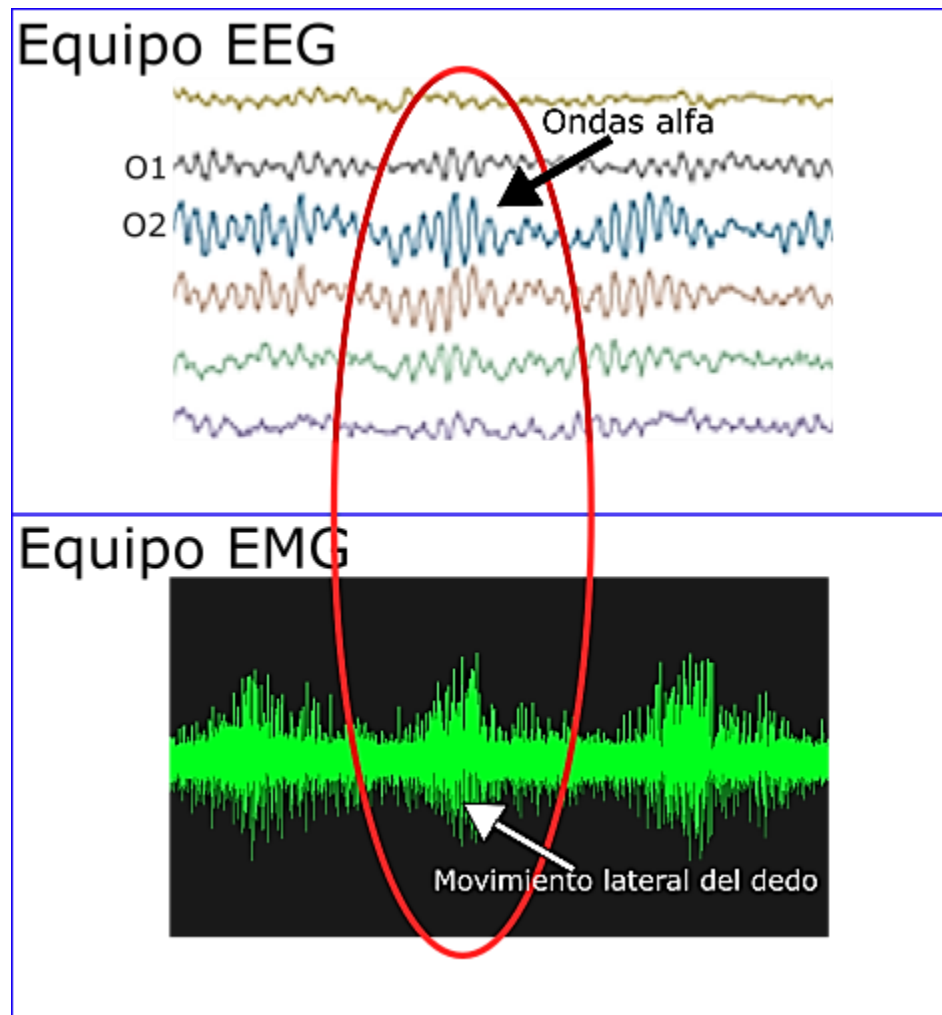


Figura 10: Visualización de las señales adquiridas de ambos equipos, EEG y EMG, obteniendo ondas alfas en los canales occipitales al realizar la tarea de movimiento lateral del pulgar.

Tener una coherente y consistente información del registro de ambos equipos para las tareas descritas en el protocolo, nos garantiza una conexión de lo ocurre en la corteza cerebral a estudiar con el movimiento coordinado de los músculos de la mano en la actividad. Se recomienda lo siguiente a tomar en cuenta para poder lograr tener dicho emparejamiento:

- Buscar una señal pequeña provocada por un estímulo sonoro antes de iniciar las tareas para poder sincronizar en el tiempo en ambos registros. Es importante tener en cuenta utilizar un mismo reloj de operaciones al iniciar cualquier actividad descrita, así podemos ajustar en el análisis la señal de inicio obtenida por el estímulo con un mismo reloj de emparejamiento.
- La siguiente forma sugerida lleva como consigna utilizar uno de los conocimientos adquiridos en la secuencia de prácticas descritas en el trabajo, que es la utilización de un artefacto de movimiento que afecte directamente a ambos dispositivos para poder tener un punto de referencia antes de iniciar las tareas a seguir, este será parte de la señal y será el punto en el tiempo para poder sincronizar en el análisis ambas señales.
- Utilizar métodos de procesamiento digitales de señales para obtener un filtrado, muestreo y cuantificación de la señal utilizando diversos modelos matemáticos para poder extraer con mayor precisión la información de ambas señales y garantizar la precisión de la sincronización de ambos equipos.

Importante: El material final obtenido del trabajo, así como pruebas de la aplicación del material se puede encontrar en el siguiente enlace permanente:
https://drive.google.com/drive/folders/1egOwBLb7ZNuypj2hU_0SX_1N5mTaRWR_?usp=sharing

6. Conclusiones y trabajo futuro

El trabajo descrito a lo largo del documento y con los resultados obtenidos nos permite concluir lo siguiente:

El construir material de apoyo en el área de electrofisiología en los temas de electromiografía y electroencefalografía nos otorga una ampliación positiva para que los interesados en el área asimilen los temas utilizando prácticas experimentales, acercándose al área de investigación y poder presentar resultados satisfactorios que puedan describir usando lo aprendido en sus cursos.

Los documentos realizados cuentan ampliamente con una metodología pensada en la pedagogía del aprendizaje usando la experimentación, el cuestionamiento, la cooperación, el debate, el análisis y la reformulación del mismo trabajo para poder complementar los temas de forma multidisciplinaria. Se desarrolló un material que pueda ser usado por diferentes materias que involucren la electrofisiología, siendo de libre acceso para poder fomentar ideas de colaboración a futuro para enriquecer la enseñanza dentro y fuera de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La importancia de realizar este material de apoyo en la docencia del área de la electrofisiología radica en la idea de complementar la teoría con la experimentación para poder fortalecer los conocimientos adquiridos. Poder tener una formación multidisciplinaria dentro de la Licenciatura en Física Biomédica ayudará en gran medida al futuro de todos sus cursantes que elijan un área de especialización en la parte médica, biológica o ambas por igual.

Entender los procesos fisiológicos del cuerpo y tener la capacidad de ampliar los temas al sentar las bases en electrofisiología (o materias que introduzcan estos temas),

usando no solo la parte teórica, si no la parte experimental, ayudará a acercarse a las metas para entregar resultados, describirlos y analizarlos usando conocimientos que sumen y aporten a la descripción morfofuncional de los mismos.

Como trabajo a futuro se quiere poder aplicar los modelos finales en materias enfocadas o que involucren la electrofisiología, en especial los que requieran los temas de EMG y EEG. Se plantea la idea de desarrollar prácticas enfocadas en el área de la electrocardiografía en colaboración con diferentes expertos en el tema, además, aplicar en conjunto el trabajo experimental con los protocolos para el análisis de datos que son parte de colaborar con los compañeros interesados en apoyo a la docencia o en el proyecto educativo de la Dra. Erin.

En la siguiente tabla se muestra en que semestres y materias puede ser de utilidad el uso de los protocolos dentro de la licenciatura en física biomédica, plan de estudios 2015, siendo parte del propósito del proyecto poder aportar dentro de la formación de los profesionales dentro de la carrera.

Tabla 1: Materias beneficiadas por semestre del material final elaborado en el Plan de Estudios de la Lic. Física Biomédica	
Semestres	Materas
Primero	Introducción a la Física del Cuerpo Humano, Metodología de la Física Experimental (proyectos enfocados en electrofisiología y afines)
Segundo	Bioquímica, Medición y Análisis en la Física Experimental (proyectos enfocados en electrofisiología y afines)

Tercero	Instrumentación y Calibración (proyectos enfocados en electrofisiología y afines), Morfofuncional I
Cuarto	Elaboración y Desarrollo de Proyectos Experimentales (proyectos enfocados en electrofisiología y afines), Morfofuncional II
Quinto	Matemáticas Avanzadas en el análisis de las señales fisiológicas
Sexto	Física del Cuerpo Humano
Séptimo	Instrumentación Biomédica, Práctica Profesional Supervisada
Octavo	Sistemas Híbridos en Biomedicina, Física Biológica, Sistemas Dinámicos de la Fisiología
Optativas	Electrofisiología, Temas Selectos en Física de la Terapia Médica, Temas Selectos en Física del Diagnóstico Médico, Temas Selectos en Instrumentación Biomédica, Temas Selectos en Biofísica, Temas Selectos en Biomatemáticas, entre otros.

7. Bibliografía

[Hall & Guyton, 2016] Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2016). Tratado de fisiología médica: Unidad II: Fisiología de la membrana, el nervio y el músculo, Capítulos 5-8 (13.a ed.). Elsevier.

[Thakor, 2017] Thakor, N. V. (2017). Biopotentials and electrophysiology measurement. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, 64-1.

[Nicolau-Llober et al., 1995] Nicolau-Llobera, M. C., Burcet-Dardé, J., and Rial-Planas, R. V. (1995). Manual de técnicas en Electrofisiología clínica. Palma: Universitat de les Illes Balears, Servei de Publicacions i Intercanvi Científic.

[Colombo & Fuchs, 2016] Colombo, J. A., & Fuchs, J. L. (2016). Electrophysiology: Basics, Modern Approaches and Applications. Springer International Publishing.

[Fttore et al., 2011] Fattore, G., Maniadakis, N., Mantovani, L. G., & Boriani, G. (2011). Health technology assessment: what is it? Current status and perspectives in the field of electrophysiology. *Europace*, 13(suppl_2), ii49-ii53.

[Gerstein et al., 2016] Gerstein, N. S., Young, A., Schulman, P. M., Stecker, E. C., & Jessel, P. M. (2016). Sedation in the electrophysiology laboratory: a multidisciplinary review. *Journal of the American Heart Association*, 5(6), e003629.

[Hodgkin & Huxley, 1952] Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of Physiology*, 117(4), 500–544.

[Ramos et al., 2009] Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. M., & Alonso, M. T. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. In *Anales del sistema sanitario de Navarra* (Vol. 32, pp. 69-82). Gobierno de Navarra. Departamento de Salud.

[Martini et al., 2009] Martini, M., Timmons, T., & Tallitsch, T. (2009). Anatomía humana: Edición internacional: Vol. Capítulo 9, p.p 253-256 (6.a ed.). Pearson Education, S. A. Madrid, España.

[Moore, 2013] Moore, K. L., Agur, A. M., & Dalley, A. F. (2013). Fundamentos de Anatomía con orientación clínica, p.p 71-80 (7a. ed.). Wolters Kluwer, Barcelona, España.

[Berne & Levy, 2009] Berne, R. M., & Levy, M. N. (2009). Cardiovascular Physiology (9th ed.). Elsevier.

[Lozano, 2001] Lozano, J. A. (2001). Arritmias cardíacas y su tratamiento. Offarm, 20(11), 96-105.

[Silverthorn, 2008] Silverthorn, D. U. (2008). Fisiología humana: Un enfoque integrado. Capítulo 12: Músculos, p.p 397-409 (4.a ed.). Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina.

[Amzica & Lopes, 2011] Amzica, F. y H. Lopes da Silva. (2011). Cellular Substrates of Brain Rhythms. En: Schomer, D. y F. Lopes da Silva (eds.). Niedermeyers's Electroencephalography. Basic principles clinical applications, and related fields. 6ª ed. Oxford University Press. New York, United States of America. Pp.20-62.

[Morillo, 2005] Morillo, L. (2005). Análisis visual del electroencefalograma. En: Asociación Colombiana de neurología (ed). Guía Neurológica 7, Capítulo 17. Pp. 143-163.

[Talamillo, 2001] Talamillo, T. (2011). Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. Enfermería Docente, 94:29-33.

[Mantri et al. 2013] Mantri, S., Dukare, V., Yeole, S., et al. (2013). A Survey: Fundamental of EEG. International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, 1(4): 83-88.

[Kandel et al., 2013] Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2013). Principles of neural science. Trends in Neurosciences, 5° edición, 134-135. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(82\)90076-5](https://doi.org/10.1016/0166-2236(82)90076-5)

[Stuart et al., 1997] Stuart, G. J., Spruston, N., and Sakmann, B. (1997). Action potential initiation and backpropagation in neurons of the mammalian CNS. Trends in Neurosciences, 20(3), 125-131.

[Islas, 2001] Islas, M. A. M. (2001). El Obstáculo Epistemológico: Ciencia y Curiosidad Humana. Revista Mexicana de Neurociencia, 2(2), 105-107.

[Viviescas & Sacristán, 2020] Viviescas, A. X. G., & Sacristán, Y. A. M. (2020). La experimentación en las ciencias naturales y su importancia en la formación de los estudiantes de básica primaria. Bio-grafía, 13(24).

[Romero et al., 2011] Romero Chacón, A. E., Aguilar Mosquera, Y., Medina, J. D., & Tarazona Palacio, M. G. (2011). La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico: un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos.

[Noriega, 2020] Noriega, P. R. L. (2020). Manual de experimentación como apoyo didáctico en la enseñanza de las ciencias naturales a nivel de Educación Inicial. Mérito-Revista de Educación, 2(4), 32-41.

[Briceño et al., 2019] Briceño, J., Rivas, Y., & Lobo, H. (2019). La Experimentación y su Integración en el proceso Enseñanza Aprendizaje de la Física en la Educación Media. RELACult-Revista Latino-americana de Estudos em Cultura e Sociedade, 5(2).

[Hurtado et al., 2005] Hurtado, A.; Fonseca, M., Lombana, C., Ocaña, O. (2005). Experimento y simulación. Opciones didácticas integradas para la conceptualización en

Física. Bogotá, D.C., Fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

[Viviescas & Sacristán, 2021] Viviescas, A. X. G., & Sacristán, Y. A. M. (2021). Una propuesta de aula desde los ODS: los bioplástico desde una perspectiva CTSA. *Biografía*, 14(27), 61-76.

[Ortiz et al., 2020] Ortiz, K. N. T., Muñoz, D. C. H., & Mendoza, W. N. M. (2020). Importancia de los laboratorios remotos y virtuales en la educación superior. *Documentos De Trabajo ECBTI*, 1(1).

[Vargas & De la Barrera, 2021] Vargas, L. A. C., & De la Barrera, A. E. R. (2021). Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): experimentación en laboratorio, una metodología de enseñanza de las Ciencias Naturales. *Plumilla Educativa*, 27(1), 105-128.