
Diseño e Implementación de una Base de Datos de Señales Biomédicas de Pacientes con Epilepsia

María Fernanda Pineda Esmieu



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño e Implementación de una Base de Datos de Señales
Biomédicas de Pacientes con Epilepsia**

Trabajo de graduación presentado por María Fernanda Pineda Esmieu
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

Vo.Bo.:

(f) _____
Ing. Héctor Hurtarte

Tribunal Examinador:

(f) _____
Ing. Héctor Hurtarte

(f) _____

(f) _____

Fecha de aprobación: Guatemala, de de 2020.

La Ingeniería Biomédica es el resultado de la aplicación de los principios de ingeniería en la medicina y biología, un campo que siempre me ha llamado la atención. Es interesante el poder combinar diferentes áreas de estudio, en especial si se puede colaborar con la investigación al funcionamiento del cuerpo humano. Con este trabajo se combinan los conocimientos de sistemas de bases de datos con conceptos médicos de epilepsia y señales biomédicas, además de los conocimientos adquiridos durante los 5 años de Ingeniería Mecatrónica.

Agradezco a la Universidad del Valle de Guatemala por haberme aceptado a ser parte de ella y haberme formado profesionalmente; así mismo a mis catedráticos, por haber puesto su dedicación en compartir sus conocimientos y siempre apoyarme, además de brindarme amistad. Agradezco también a mi asesor personal, el Ing. Héctor Antonio Hurtarte, por haber aceptado a acompañarme y orientarme en temas desconocidos; por su tiempo, compromiso, conocimiento, dedicación y apoyo. Además, agradezco al Dr. Luis Alberto Rivera por su constante acompañamiento, dedicación y paciencia, por brindar su tiempo y consejos para resolución de dudas. Finalmente, agradezco al Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, por haber brindado la información utilizada dentro del desarrollo del proyecto.

| | |
|---|-------------|
| Prefacio | III |
| Lista de figuras | VI |
| Lista de cuadros | VII |
| Resumen | VIII |
| Abstract | IX |
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Antecedentes | 3 |
| 3. Justificación | 4 |
| 4. Objetivos | 6 |
| 4.1. Objetivo general | 6 |
| 4.2. Objetivos específicos | 6 |
| 5. Alcance | 7 |
| 6. Marco teórico | 8 |
| 6.1. Epilepsia | 8 |
| 6.1.1. Causas | 8 |
| 6.1.2. Diagnóstico | 9 |
| 6.1.3. Tratamientos | 9 |
| 6.2. Electroencefalograma | 10 |
| 6.2.1. Características de la actividad cerebral | 10 |
| 6.2.2. Metodología para realizar el EEG | 11 |
| 6.2.3. Tipos de EEG | 13 |
| 6.2.4. Electroencefalógrafo | 14 |
| 6.2.5. EEG en epilepsia | 14 |
| 6.3. Bases de Datos | 15 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 6.3.1. | Clasificación de bases de datos | 15 |
| 6.3.2. | Tipos de campos | 16 |
| 6.3.3. | Tipos de base de datos | 16 |
| 6.3.4. | Sistemas de Gestión de Bases de Datos | 17 |
| 6.3.5. | Bases de datos Relacionales | 17 |
| 6.3.6. | Normalización de bases de datos | 19 |
| 6.3.7. | Lenguaje SQL | 19 |
| 6.3.8. | Diagrama Entidad-Relación | 20 |
| 6.3.9. | Algunas bases de datos de señales biomédicas | 22 |
| 6.4. | Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA | 22 |
| 6.4.1. | Misión y Visión | 23 |
| 6.4.2. | Servicios | 23 |
| 7. | Prototipo Preliminar | 24 |
| 7.1. | Estructura de la Base de Datos | 24 |
| 7.2. | Almacenamiento de Archivos | 25 |
| 7.3. | Resultado final del Prototipo | 26 |
| 8. | Creación de Base de Datos y Conexión con Matlab | 28 |
| 8.1. | Estructura de la Base de Datos | 28 |
| 8.2. | Conexión con Matlab | 29 |
| 9. | Diseño e Implementación del <i>Toolbox</i> | 33 |
| 9.1. | Señales Obtenidas con HUMANA | 33 |
| 9.1.1. | Forma en que se realiza el examen | 33 |
| 9.1.2. | Arquitectura del <i>toolbox</i> | 34 |
| 9.2. | Estructura de la Base de Datos | 35 |
| 9.3. | Conexión con Matlab | 35 |
| 9.3.1. | Integración de la base de datos y procesamiento | 39 |
| 10. | Conclusiones | 41 |
| 11. | Recomendaciones | 42 |
| 12. | Bibliografía | 43 |
| 13. | Anexos | 46 |
| 13.1. | Pruebas Realizadas con Primeros Prototipos | 46 |
| 13.2. | Pruebas Realizadas con el <i>Toolbox</i> | 47 |
| 14. | Glosario | 49 |

Lista de figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Ondas de la señal EEG [15]. | 10 |
| 2. | Distribución de electrodos [14]. | 12 |
| 3. | Electroencefalógrafo [9]. | 14 |
| 4. | Ejemplo de diagrama entidad-relación [23]. | 20 |
| 5. | Diagrama entidad-relación del prototipo. | 24 |
| 6. | Base de datos del prototipo. | 25 |
| 7. | Formulario en html. | 26 |
| 8. | Base de datos final del prototipo | 27 |
| 9. | Diagrama entidad-relación de la base de datos | 29 |
| 10. | Acceso hacia la base de datos para pruebas. | 30 |
| 11. | Pantalla principal de la interfaz. | 30 |
| 12. | Pantalla de registro de nuevos pacientes | 31 |
| 13. | Pantalla de consulta de pacientes y pruebas | 32 |
| 14. | Ejemplo de electrodos conectados [31]. | 34 |
| 15. | Arquitectura general del <i>toolbox</i> | 34 |
| 16. | Diagrama entidad-relación de la base de datos final. | 36 |
| 17. | Acceso hacia la base de datos final. | 37 |
| 18. | Interfaz principal del <i>toolbox</i> | 38 |
| 19. | Interfaz de añadir paciente del <i>toolbox</i> | 39 |
| 20. | Interfaz de consulta del <i>toolbox</i> | 40 |
| 21. | Interfaz de visualización y procesamiento <i>toolbox</i> | 40 |
| 22. | Pacientes almacenados en primer base de datos | 46 |
| 23. | Información de pruebas almacenados en primer base de datos | 46 |
| 24. | Archivos binarios almacenados en primer base de datos | 47 |
| 25. | Datos por dato almacenado en primer base de datos | 47 |
| 26. | Pacientes almacenados en base de datos final | 47 |
| 27. | Información de pruebas almacenados en base de datos final | 47 |
| 28. | Consulta dentro del <i>toolbox</i> | 48 |

Lista de cuadros

1. Nomenclatura de los electrodos [14]. 12

El presente proyecto tuvo como objetivo la creación e implementación de una base de datos de señales biomédicas obtenidas del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, de pacientes con epilepsia. De cada paciente se obtuvieron variables cualitativas y cuantitativas que permitieron la clasificación y organización de datos, así como también las señales biomédicas de cada uno de los pacientes, utilizando el *software* de código abierto *phpMyAdmin* para la creación de la base de datos dentro del entorno de *MySQL*. La base de datos desarrollada consta de diferentes tablas en las que se puede almacenar información importante del paciente que un investigador necesita para clasificar y utilizar las señales almacenadas, información de las pruebas que un investigador necesita para realizar el análisis correspondiente para cada una de ellas, así como los datos de las pruebas almacenadas como archivos binarios y dato por dato de cada prueba distribuidos por columnas y filas.

Adicionalmente, se desarrolló el enlace entre la base de datos y el sistema de Matlab, para que se pudiera escribir y obtener datos. Dicho enlace se implementó para la realización de una herramienta de sistema o *toolbox* que se trabajó en conjunto con María Jesús Angulo Tijerino, quien implementó un sistema de detección de patrones relevantes en señales biomédicas, mediante técnicas y algoritmos basados en el reconocimiento de patrones y métodos de aprendizaje de máquina o *Machine Learning*. El *toolbox* consta de diferentes interfaces de interacción con la base de datos, como agregar un nuevo paciente a la base de datos, consultar información de los pacientes y sus respectivas pruebas, así como agregar un nuevo archivo, y visualizar las pruebas, seleccionando sus respectivos canales y ventanas de tiempo.

This is an abstract of the creation and implementation of a database of biomedical signals obtained from the Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, of patients with epilepsy. Qualitative and quantitative variables were obtained from each patient that allowed the classification and organization of data, as well as the biomedical signals of each of the patients, using the software *phpMyAdmin* for the creation of the database within the *MySQL* environment. The database developed consists of different tables in which important information about the patient that an investigator needs to classify and use the stored signals can be stored, information about the tests that an investigator needs to perform the corresponding analysis for each of them, as well as the data of the tests stored as binary files, and data by data of each test distributed by columns and rows.

In addition, the link between the database and the Matlab system was developed, so that data could be written and obtained. This link was implemented for the realization of a toolbox that was worked together with María Jesús Angulo Tijerino, who implemented a system for detecting relevant patterns in biomedical signals, using techniques and algorithms based on pattern recognition and machine learning methods. The toolbox consists of different interfaces for interaction with the database, such as adding a new patient to the database, consulting information about patients and their respective tests, as well as adding a new file, and viewing the tests , selecting their respective channels and time windows.

Las bases de datos son un conjunto de información perteneciente a un mismo contexto, ordenada de modo sistemático para su posterior recuperación y análisis. Estas surgen de la necesidad de poder almacenar información y poder acudir a ella posteriormente. Por otro lado, las señales electrofisiológicas son la representación gráfica del registro de la actividad eléctrica de ciertos órganos o partes del cuerpo humano en función del tiempo. Específicamente, un electroencefalograma (EEG) es una prueba que permite estudiar la actividad eléctrica cerebral y permite el diagnóstico de enfermedades como la epilepsia. Debido a la constante investigación sobre el funcionamiento del cuerpo humano, han surgido las bases de datos de señales fisiológicas, que apoyan como una herramienta facilitando la extracción de datos previamente almacenados.

El objetivo de este trabajo es la elaboración de una base de datos de señales EEG de pacientes con epilepsia del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, así como su interacción con el sistema Matlab para el desarrollo de una herramienta de *software* o *toolbox*. El *toolbox* se basa en una interfaz en la que el usuario puede interactuar con la base de datos, realizando consultas y/o ingresando nuevos pacientes. Además, se le integrará un sistema de detección de patrones relevantes en señales biomédicas, mediante técnicas y algoritmos basados en el reconocimiento de patrones y métodos de aprendizaje de máquina desarrollado por la estudiante María Jesús Angulo.

El desarrollo de la herramienta tiene como finalidad presentar la importancia de la implementación de las bases de datos en las investigaciones, ya que apoyan en la validación de algoritmos de procesamiento y en la obtención de características para detección de anomalías en el funcionamiento del cuerpo humano. Además, la base de datos de señales biomédicas es un aporte a las instituciones como método de almacenamiento de datos, ya que entre sus ventajas está evitar la redundancia de datos y garantiza su integridad.

En los primeros 5 capítulos de este documento se presenta la motivación e importancia de la realización de este trabajo, así como una breve explicación de los objetivos alcanzados. En el sexto capítulo se presentan planteamientos teóricos que sustentan la metodología desarrollada y resultados obtenidos del trabajo. En los siguientes capítulos se describe la

metodología del desarrollo de la base de datos y del *toolbox* y los resultados obtenidos luego de su implementación. Finalmente, las conclusiones del trabajo y recomendaciones para trabajos futuros.

Las bases de datos, no sólo de señales EEG sino que de señales biomédicas en general, han permitido avances en la investigación, ya que permiten analizarlas sin tener que acudir físicamente a los centros hospitalarios para hacer dichas tareas. Se puede encontrar un trabajo similar en [1], en el que se construyó una base de datos de señales electrofisiológicas, en el que se elaboró un algoritmo en Matlab de tres interfaces, una de captura de señales, otra de consulta y una de procesamiento digital para permitir la reproductibilidad de la adquisición de datos para fines de investigación biomédica. También, [2] presenta el diseño y desarrollo de un sistema para la gestión de un banco de datos de señales biomédicas, basado en Internet por medio del cual es posible acceder en forma libre a señales e imágenes biomédicas. Además, en [3], se presenta un *toolbox* para la base de datos *PhysioNet Sleep EDF*, que contiene funciones de selección para el análisis de las etapas del sueño, conversión de hipnogramas y computación de métricas de rendimiento.

En la actualidad, se puede tener libre acceso a bases de datos biomédicas con el fin de colaborar en investigaciones que estén relacionados con señales de este tipo; un ejemplo puede ser [4], que es una base de datos que contiene 197 registros polisomnográficos del sueño de toda la noche, que incluyen EEG, electroocullografías (EOG), electromiografías (EMG) de barbilla y otros eventos. En la Universidad del Valle de Guatemala se trabajó el proyecto [5], en el que se utilizaron señales EEG obtenidas mediante un Electro-Cap y una Cyton Board de OpenBCI, además de la base de datos *Sleep-EDF Database* para adquirir polisomnografías de múltiples personas junto a sus hipnogramas respectivos. El objetivo del trabajo anterior fue diseñar un sistema para reproducir tonos estéreo que generen pulsos binaurales en el cerebro usando lecturas de un EEG para realizar pruebas de monitoreo e inducción del sueño.

El funcionamiento del cuerpo humano se asocia frecuentemente con señales de origen eléctrico, químico o acústico. Estas señales son portadoras de información que describen la actividad cerebral, cardíaca y muscular. Cada tipo de señales puede ser interpretada de manera diferente, ya que poseen características y patrones que permiten dar un diagnóstico clínico. Las señales biomédicas han tomado un papel importante en la investigación continua sobre el cuerpo humano, ya que se sigue explorando su funcionamiento y diferentes enfermedades que éste puede padecer [6].

La epilepsia es una de las enfermedades conocidas más antiguas, rodeada de desconocimiento, temores y estigmatización social que persiste en la actualidad e influye en la calidad de vida no solo de las personas que la padecen sino también sus familiares. En todo el mundo, unos 50 millones de personas padecen epilepsia, lo que lo convierte en, no solo uno de los trastornos neurológicos más comunes, sino un padecimiento común como presión alta o diabetes [7]. El tratamiento más común es utilizar fármacos antiepilépticos que logran controlar las crisis en aproximadamente 70 % de los que padecen esta enfermedad, los medicamentos restauran el equilibrio químico de las neuronas y atenúan las descargas eléctricas anormales. Si bien los fármacos mejoran la calidad de vida, los pacientes todavía deben lidiar con los estigmas sociales por el desconocimiento de la enfermedad [8].

Por otro lado, las bases de datos son un recurso útil en cuanto al manejo y clasificación de datos, éstas permiten almacenarlos en un único lugar de manera ordenada. Sus ventajas abarcan desde el acceso rápido a la información almacenada hasta el manejo de redundancia de los datos y la seguridad. Las bases de datos de señales biomédicas son una clave útil cuando se trata de investigación y seguir explorando el cuerpo humano, ya que estas señales pueden ser manipuladas a conveniencia y obtener la información necesaria sobre las señales para realizar su debido procesamiento. Estas bases de datos han sido una pieza clave para probar y validar algoritmos realizados para el manejo y procesamiento de las señales para obtener características relevantes que permitan evolucionar la ciencia biomédica [1].

Este trabajo logra resaltar la importancia del uso de las bases de datos de señales biomédicas, ya que dichos datos pueden ser utilizados dentro de diferentes investigaciones, no

sólo para validación de algoritmos y procesamiento digital. Además, la creación del *toolbox* facilita la interacción de cualquier usuario con los datos almacenados, ya que permite la lectura de dichos datos y almacenar nuevas señales dentro de la base de datos.

4.1. Objetivo general

Desarrollar una base de datos de señales biomédicas de pacientes con epilepsia, y una herramienta de software para acceder y procesar las señales almacenadas.

4.2. Objetivos específicos

- Familiarizarse con el proceso de obtención de señales biomédicas de pacientes con epilepsia en el Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA.
- Recolectar y organizar las señales biomédicas según sus características relevantes.
- Diseñar e implementar una base de datos para el almacenamiento de la información obtenida.
- Diseñar e implementar una herramienta de software para acceder, procesar y analizar la información de la base de datos.

Este proyecto consiste en el desarrollo de una base de datos de señales biomédicas de pacientes con epilepsia del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, de lo que se espera que sirva como una herramienta de obtención de datos para investigaciones referentes al funcionamiento del cuerpo humano. Dichas investigaciones incluyen el análisis y obtención de características de las señales, ya que sus algoritmos de procesamiento pueden ser implementados en diferentes equipos médicos y obtener de manera rápida dicho análisis. Los datos almacenados son tanto información de los pacientes como información de las pruebas EEG, ya que ambas son relevantes al momento de cualquier análisis, ya sea por parte de doctores o investigadores.

Adicionalmente, con el *toolbox* se espera que se pueda facilitar la interacción del usuario con la base de datos, ya que los campos se presentan de manera gráfica y más amigable, incluyendo opciones de búsqueda y escritura hacia la base de datos. A pesar de que el *toolbox* consta de ejemplos de procesamiento y obtención de ciertas características, se pueden descargar los EEG de los pacientes para ser utilizados en pruebas de diferentes algoritmos, esto con el objetivo de contribuir en diferentes enfoques y validar diferentes algoritmos para procesamiento.

6.1. Epilepsia

Se domina *crisis epiléptica* a la aparición transitoria de signos y/o síntomas provocados por una actividad neuronal anómala excesiva o simultánea en el cerebro. La epilepsia es un trastorno cerebral que se caracteriza por una predisposición continuada a la aparición de crisis epilépticas y por las consecuencias neurobiológicas, cognitivas, psicológicas y sociales de esta enfermedad. Se requiere la presencia de al menos una crisis epiléptica. Para [9] la epilepsia es un trastorno neurológico provocado por el aumento de la actividad eléctrica de las neuronas en alguna zona del cerebro. La persona afectada puede sufrir una serie de convulsiones o movimientos corporales incontrolados de forma repetitiva, a esto se le llama *ataque epiléptico* [10] .

La epilepsia se divide en tres amplias categorías: ataques parciales, ataques generalizados y ataques epilépticos no clasificados. Los ataques generalizados afectan a ambos hemisferios, durante los cuales la conciencia llega a dañarse y, entonces, se producen varias manifestaciones motoras. Los ataques parciales se refieren a aquellos que afectan únicamente a regiones del cerebro, sobre todo las estructuras temporal y límbica, como la amígdala o el hipocampo. Los ataques parciales complejos implican el deterioro de la conciencia, que proviene del lóbulo temporal en aproximadamente un 60 % de los casos, y del lóbulo frontal, en un 30 % [11].

6.1.1. Causas

Las personas que tienen epilepsia sin indicios acostumbran a tener su primer ataque entre los 2 y los 14 años de edad, aunque puede ocurrir en cualquier momento de la vida. La epilepsia es un trastorno con muchas posibles causas, entre estas están [12]:

- **Predisposición hereditaria.** Es más probable que una persona tenga convulsiones si

sus padres han padecido crisis convulsivas. Actualmente, se está tratando de localizar el gen responsable.

- **Estado de maduración del cerebro.** Incluso entre las distintas edades pediátricas, hay una enorme diferencia en la frecuencia de convulsiones infantiles. En la etapa prenatal, el umbral es muy alto y las crisis poco frecuentes; en el recién nacido el umbral es bajo y las crisis frecuentes y en niños de entre los 2 y 5 años el umbral va aumentando. De esto se podría deducir que la maduración cerebral por sí sola modifica la frecuencia de las crisis.
- **Existencia de lesión cerebral.** Las lesiones pueden deberse a tumores cerebrales, alcoholismo o consumo de drogas, Alzheimer, meningitis, encefalitis, sida, ciertas alergias, etc., porque todo ello altera el normal funcionamiento del cerebro.
- **Reparaciones incorrectas.** En algunos casos, el cerebro intenta reparar los daños causados, pero puede generar conexiones neuronales anormales que podrían conducir a la epilepsia.

6.1.2. Diagnóstico

Uno de los métodos para el diagnóstico de la epilepsia es por medio de un electroencefalograma, que se hace con una máquina que proporciona, dibujando las líneas ondulantes, las señales eléctricas que llegan desde las células del cerebro. Con esto, el médico descubre si hay circunstancias cerebrales especiales que expliquen por qué se producen los ataques epilépticos. Sin embargo, el electroencefalograma no siempre muestra que haya indicios de epilepsia, porque a veces los cambios eléctricos se producen en zonas muy profundas del cerebro; en otras ocasiones, al momento de realizar un electroencefalograma no se está produciendo ningún cambio [9].

Otro método es consultar el historial médico y personal del paciente, en el que el especialista obtiene toda la información posible del afectado (características de los ataques epilépticos, qué le pasa antes de que comience el ataque, etc.). También mediante una tomografía computerizada, en el que se toma una serie de fotografías de los diferentes niveles del cerebro, con las que se puede ver si existe en él algún bulto, cicatriz, marca o cualquier otra condición que pueda estar causando los ataques [12].

6.1.3. Tratamientos

Un diagnóstico cuidadoso y exacto del tipo de epilepsia que padece el enfermo es fundamental para encontrar un tratamiento efectivo. Hay muchas formas diferentes de tratar la epilepsia. Los tratamientos actuales pueden controlar los ataques, al menos durante cierto tiempo, en aproximadamente un 80 % de los pacientes con epilepsia. La duración del tratamiento variará en función de cada paciente y del tipo de epilepsia que padezca. Las posibilidades de tratamiento de la epilepsia son la medicación, la cirugía y una dieta alimenticia específica. La mayoría de veces, lo que se aplica es una combinación de dos o de las tres modalidades [12].

6.2. Electroencefalograma

El electroencefalograma es definido como el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo. Dicho registro posee formas muy complejas que varían mucho con la localización de los electrodos y entre individuos. Esta actividad se manifiesta como líneas onduladas en un registro electroencefalográfico [13].

Un EEG es uno de los estudios principales para diagnosticar epilepsia, también puede cumplir una función en el diagnóstico de otros trastornos cerebrales. El EEG es capaz de determinar cambios en la actividad cerebral que pueden ser útiles para diagnosticar los trastornos mencionados o tumores cerebrales, encefalopatías, inflamación cerebral y trastornos del sueño. También se puede utilizar para confirmar la muerte cerebral en una persona que se encuentra en coma persistente [13].

6.2.1. Características de la actividad cerebral

La actividad cortical recogida en el EEG, se compone de un número variado de ondas que aparecen aisladas o en grupos (ritmo). Estas ondas se diferencian unas y otras por los siguientes parámetros [14]:

Forma, Amplitud y Duración

La forma de una onda aislada puede ser: regular, irregular, aguda, compleja, bifásica, trifásica, etc. La duración de una onda se expresa en milisegundos (ms) [14].

Poseen amplitudes que van desde los $10 \mu V$ en registros sobre el córtex, a $100 \mu V$ en la superficie del cuero cabelludo. Las frecuencias de estas ondas se mueven entre 0.5 y 100 Hz y dependen mucho del grado de actividad del córtex cerebral. La mayoría de las veces estas ondas no poseen ninguna forma determinada, en algunos ritmos normales suelen clasificarse en ritmos α , β , θ y δ , como se observa en la figura 1; en otras poseen características muy específicas de patologías cerebrales como la epilepsia [15].

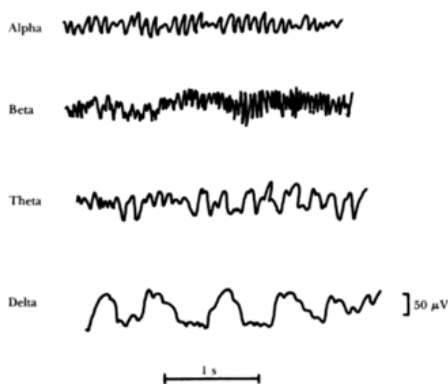


Figura 1: Ondas de la señal EEG [15].

Frecuencia

Las ondas α poseen frecuencias entre 8 y 13 Hz con amplitud comprendida entre 20 y 200 μV ; se registran en sujetos normales despiertos, sin ninguna actividad y con los ojos cerrados. Las ondas β poseen frecuencias entre 14 y 30 Hz, pero pueden llegar hasta los 50 Hz; se dividen en dos tipos: las β_1 se comportan como las α , pero con frecuencia doble y las β_2 que aparecen cuando el sujeto está bajo tensión. Las ondas θ poseen frecuencias entre 4 y 7 Hz y se presentan en la infancia, aunque también pueden presentarlas los adultos en períodos de estrés emocional y frustración. Las ondas δ poseen frecuencias inferiores a 3.5 Hz y se presentan durante el sueño profundo, en la infancia y en enfermedades orgánicas cerebrales graves [15].

Distribución topográfica

Indica el lugar cerebral en el que aparece un fenómeno eléctrico. También hace referencia a la ubicación fisiológica de las distintas frecuencias dependiendo del área cerebral correspondiente. Así, en áreas anteriores, se encuentra el ritmo β y a medida que se desciende a áreas posteriores, va apareciendo el ritmo α . Se utiliza el nombre de los lóbulos cerebrales correspondientes para expresar dicha distribución [14].

Reactividad

subsubsection Es la capacidad de modificación de un ritmo, ante estímulos como apertura y cierre de ojos, estimulación eléctrica, proceso mental, alertamiento, etc. [14]

6.2.2. Metodología para realizar el EEG

Consiste en recoger mediante electrodos, de superficie o de aguja, la actividad eléctrica de la corteza cerebral. La señal que se obtiene es tan pequeña que se hace necesario utilizar varios sistemas de amplificación [14].

La colocación de electrodos sobre el cuero cabelludo está sujeta a un sistema internacional o **sistema 10-20**, denominado así porque los electrodos están espaciados entre el 10 % y el 20 % de la distancia total entre puntos reconocibles de cráneo. Estos puntos clave, a partir de los cuales se realizan las medidas, son:

- Nasión: indentación entre frente y nariz.
- Inión: protuberancia occipital.
- Punto preauricular: delante del trago de cada pabellón de la oreja.

Actualmente se utilizan unos gorros que llevan incorporados 19 electrodos y se coloca directamente sobre la cabeza del paciente. Los electrodos se unen en un conector y éste, a su vez, conecta con el cabezal del EEG. De aquí se envía la señal al sistema de amplificadores del

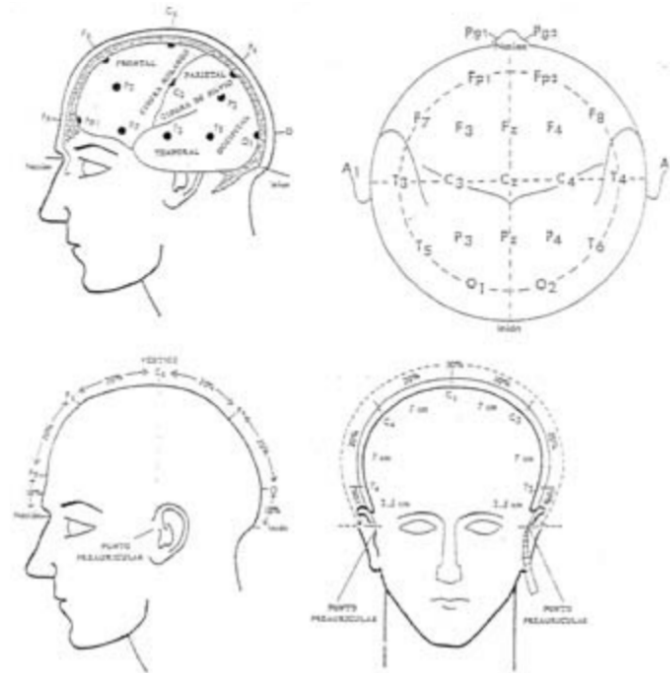


Figura 2: Distribución de electrodos [14].

aparato central del EEG para su transcripción. Existe una nomenclatura para los electrodos, que obedece a la región cerebral sobre la que yacen y una numeración que va de menor a mayor, empezando desde áreas anteriores hacia posteriores y, correspondiendo los números impares al lado izquierdo y los pares al lado derecho, tal y como se muestran en la tabla 1 [14].

| Área cerebral | Hemisferio Izquierdo | Línea Media | Hemisferio Derecho |
|--------------------------------|----------------------|-------------|--------------------|
| Frontopolar | FP1 | | FP2 |
| Frontal | F3 | Fz | F2 |
| Fronto Temporal | F7 C3 | Cz | F8 C4 |
| Temporal Medio y Parietal | T3 P3 | Pz | T4 P4 |
| Temporal Posterior y Occipital | T5 O1 | | T6 O2 |

Cuadro 1: Nomenclatura de los electrodos [14].

Tipos de montajes.

Para definir los tipos de montajes, es importante saber diferenciar entre electrodo, derivación y montaje [14].

Electrodo. Es un elemento situado en el punto de registro y el hilo metálico que lo une al aparato amplificador.

Derivación. Corresponde a dos electrodos que se conectan a cada canal de amplificación.

Montaje. Es un conjunto de derivaciones. Se clasifican en 2 tipos de montajes: bipolares y monopolares o referenciales.

Montaje bipolar. En el canal de amplificación, tanto el electrodo situado en posición 1 como el situado en posición 2, registran actividad cerebral y la diferencia entre los dos puntos es lo que se va al amplificador para su registro. Puede ser de 2 tipos: antero-posteriores (Sagitales) o transversos (Coronales):

Montaje monopolar. Los electrodos exploradores ocupan la posición 1 del amplificador, mientras que la posición 2 está ocupada por un electrodo relativamente inactivo o que sea común para todos los canales.

6.2.3. Tipos de EEG

En las unidades de Neurofisiología se realizan los siguientes tipos de EEG [14]:

EEG basal.

EEG en vigilia del paciente, no es necesario ningún tipo de preparación, ni alteración de tomas en la medicación habitual del paciente. La única observación que se debe hacer es a limpieza del cuero cabelludo y la recomendación de no usar gel fijador o lacas.

EEG en privación de sueño.

Las condiciones técnicas son las mismas que para el EEG basal, pero se necesita una preparación previa. Consiste en mantener despierto al paciente durante 24 horas antes de la realización de la prueba. Ya en consulta, se recomienda al paciente la máxima relajación, propiciando el sueño y facilitando, de esta manera, la aparición de trazados fisiológicos de distintas fases de sueño, así como de anomalías que pueden no detectarse en los EEG basales.

Video EEG o EEG de sueño.

Consiste en un EEG convencional, en el que el paciente es acomodado en una cama, y grabado todo el registro de video. Su finalidad, es tener constancia visual y eléctrica, de crisis o de pseudocrisis, en pacientes de difícil diagnóstico y/o manejo de su patología.

EEG de muerte cerebral.

Es la técnica imprescindible para detectar actividad cortical cerebral o, ausencia de la misma.



Figura 3: Electroencefalógrafo [9].

6.2.4. Electroencefalógrafo

El electroencefalógrafo registra los impulsos eléctricos, generando una gráfica cuya interpretación, por parte del neurólogo, ofrece información precisa sobre el funcionamiento del encéfalo. Dado que los impulsos eléctricos emitidos por el cerebro son de muy baja intensidad, se amplifican mediante el electroencefalógrafo para representarlos en forma de líneas, lo que permite interpretar la actividad eléctrica de las distintas áreas cerebrales a lo largo del tiempo.

6.2.5. EEG en epilepsia

La identificación de alteraciones en la actividad eléctrica cerebral puede ayudar a establecer o a apoyar el diagnóstico de epilepsia y a delimitar el síndrome epiléptico de que se trate. Salvo en raros casos de síndrome de Landau o epilepsia-afasia y el estado de mal epiléptico durante el sueño lento, el diagnóstico de epilepsia exige la existencia de crisis epilépticas. El EEG es útil para [16]:

- Confirmar la sospecha clínica de un síndrome epiléptico preciso, y documentar el caso.
- Establecer el diagnóstico de epilepsia en casos dudosos, mediante el registro de crisis electroclínica.
- Apoyar el diagnóstico en casos dudosos, por la presencia de alteraciones de tipo epiléptogeno.
- Delimitar el síndrome epiléptico.

Un EEG normal no excluye el diagnóstico de epilepsia

Una persona epiléptica puede tener un registro intercrítico de la actividad eléctrica cerebral normal por existir poca actividad anómala intercrítica o por tratarse de un foco

profundo, especialmente en la fosa temporal, no detectable por los electrodos colocados superficialmente en el cuero cabelludo. En muchas epilepsias, especialmente en lactantes, todos los EEG intercríticos repetidos son normales [16].

6.3. Bases de Datos

Se llama base de datos, o banco de datos, a un conjunto de información perteneciente a un mismo contexto, ordenada de modo sistemático para su posterior recuperación, análisis y/o transmisión. Se define una base de datos como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa o negocio en particular [17].

También, una base de datos puede definirse como una colección o depósito de datos integrados, almacenados en soporte secundario (no volátil) y con redundancia controlada. Los datos deben mantenerse independientes de ellos y su definición (estructura de la base de datos) única y almacenada junto con los datos, se ha de apoyar en un modelo de datos. Los procedimientos de actualización y recuperación, comunes y bien determinados, facilitarán la seguridad del conjunto de los datos [18].

Entre las principales características de los sistemas de base de datos se puede mencionar:

- Independencia lógica y física de los datos.
- Redundancia mínima.
- Acceso concurrente por parte de múltiples usuarios.
- Integridad de los datos.
- Consultas complejas optimizadas.
- Seguridad de acceso y auditoría.
- Respaldo y recuperación.
- Acceso a través de lenguajes de programación estándar.

6.3.1. Clasificación de bases de datos

Según su variabilidad. Conforme a los procesos de recuperación y preservación de los datos, se puede hablar de:

- Bases de datos estáticas. Típicas de la inteligencia empresarial y otras áreas de análisis histórico, con bases de datos de sólo lectura, de las cuales se puede extraer información, pero no modificar la ya existente.
- Bases de datos dinámicas. Aparte de las operaciones básicas de consulta, estas bases de datos manejan procesos de actualización, reorganización, añadidura y borrado de información.

Según su contenido. De acuerdo con la naturaleza de la información obtenida, pueden ser:

- Bibliográficas. Contienen diverso material de lectura (libros, revistas, etc.) ordenado a partir de información clave como son los datos del autor, del editor, del año de aparición, del área temática o del título del libro, entre otras muchas posibilidades.
- De texto completo. Se manejan con textos históricos o documentales, cuya preservación debe ser a todo nivel y se consideran fuentes primarias.
- Directorios. Listados enormes de datos personalizados o de direcciones de correo electrónico, números telefónicos, etc. Las empresas de servicios manejan enormes directorios clientelares, por ejemplo.
- Especializados. Bases de datos de información hiperespecializada o técnica, pensadas a partir de las necesidades puntuales de un público determinado que consume dicha información.

6.3.2. Tipos de campos

Cada sistema de base de datos posee tipos de campos que pueden ser similares o diferentes. Entre los más comunes se puede nombrar:

- Numérico: entre los diferentes tipos de campos numéricos podemos encontrar enteros “sin decimales” y reales “decimales”.
- Booleanos: poseen dos estados: Verdadero “Sí” y Falso “No”.
- Fechas: almacenan fechas facilitando posteriormente su explotación. Almacenar fechas de esta forma posibilita ordenar los registros por fechas o calcular los días entre una fecha y otra.
- Alfanuméricos: contienen cifras y letras. Presentan una longitud limitada (255 caracteres).

6.3.3. Tipos de base de datos

Entre los diferentes tipos de base de datos, podemos encontrar los siguientes:

- MySQL. Es una base de datos con licencia GPL basada en un servidor. Se caracteriza por su rapidez. No es recomendable usar para grandes volúmenes de datos.
- PostgreSQL y Oracle. Son sistemas de base de datos poderosos. Administra muy bien grandes cantidades de datos, y suelen ser utilizadas en intranets y sistemas de gran calibre.

- Access. Es una base de datos desarrollada por Microsoft. Esta base de datos debe ser creada bajo el programa Access, el cual crea un archivo .mdb con la estructura ya explicada.
- Microsoft SQL Server. Es una base de datos más potente que Access desarrollada por Microsoft. Se utiliza para manejar grandes volúmenes de informaciones.

6.3.4. Sistemas de Gestión de Bases de Datos

Los Sistemas de Gestión de Base de Datos SGBD (en inglés *DataBase Management System*) son un tipo de software muy específico, dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Se compone de un lenguaje de definición de datos, de un lenguaje de manipulación de datos y de un lenguaje de consulta [17].

En definitiva, un SGBD está formado por una colección de datos interrelacionados entre sí que constituyen la base de datos y un conjunto de programas mediante los cuales se puede acceder y manipular dichos datos. El objetivo primordial de un SGBD es proveer de una herramienta adecuada para extraer y almacenar la información contenida en la base de datos [18].

Tipos de sistemas de información para la gestión de datos

- **Sistemas tradicionales de ficheros y orientados a procesos.** En estos sistemas un dato puede estar almacenado en varios ficheros, hacerle varios tratamientos y obtener diferentes resultados [18]. Entre sus características se encuentran:
 - Cuentan con numerosas aplicaciones, cada una destinada a la realización de determinadas operaciones.
 - Los datos almacenados en archivos dentro de diferentes tipos de unidades de almacenamientos.
 - Cada programa gestiona y almacena sus propios datos.
- **Sistemas orientados a datos.** En estos sistemas los datos se encuentran centralizados en una base de datos única para todas las aplicaciones. Los datos son añadidos a la base de datos empleando un Lenguaje de Definición de Datos (LDD) mediante el que se especifica el esquema de la base de datos. Más tarde, los datos alojados en la base de datos pueden manejarse empleando un Lenguaje de Manipulación de Datos (LMD) y conseguir unos resultados [18],

6.3.5. Bases de datos Relacionales

Una base de datos relacional es un tipo de base de datos que almacena y proporciona acceso a puntos de datos relacionados entre sí. Las bases de datos relacionales se basan en el modelo relacional, una forma intuitiva y directa de representar datos en tablas. En una base de datos relacional, cada fila de la tabla es un registro con un ID único llamado *clave* [19].

Las bases de datos relacionales se basan en una teoría matemática denominada *modelo relacional de datos*. El modelo relacional significa que las estructuras lógicas de datos estén separadas de las estructuras físicas de almacenamiento, es decir, que los administradores de bases de datos pueden administrar el almacenamiento físico de datos sin afectar el acceso a esos datos como una estructura lógica [19].

El modelo relacional es el mejor para mantener la consistencia de los datos en todas las aplicaciones y consistencia de los datos en todas las aplicaciones y copias de la base de datos (denominadas *instancias*). Las bases de datos relacionales se destacan en este tipo de consistencia de datos, lo que garantiza que múltiples instancias de una base de datos tengan los mismos datos todo el tiempo [19].

Se han de tener en cuenta los siguientes conceptos:

- **Relación:** equivale a una tabla.
- **Tupla:** cada una de las filas de una relación o tabla. No pueden existir dos filas o tuplas iguales.
- **Atributo:** nombre que identifica cada dominio de una relación. También se llama *nombre de campo*. Al considerar una relación como si fuese una tabla, los atributos son los nombres que se dan a las columnas de la tabla.
- **Clave:** se emplea para identificar de forma unívoca cada fila de la tabla. Puede estar formada por una columna o una combinación de columnas. Existen diversos tipos:
 - **Clave primaria (*PRIMARY KEY*).** Es la clave primera o principal que se utiliza para obtener la relación. Esta clave no puede tener atributos con valores nulos.
 - **Clave secundaria.** Es otro atributo que establece una forma de ordenar diferente a la dada por la clave principal.
 - **Clave foránea.** Está compuesta por los atributos pertenecientes a una relación (R1) y que a su vez coinciden con la clave primaria de otra relación (R2). Mediante esta clave, la tabla R1 puede interrelacionarse con la tabla R2. Las claves foráneas pueden tener valores duplicados en la tabla secundarias, mientras que para las claves primarias no es posible.
- **Dominio:** conjunto de valores de donde se toman los valores de atributos específicos de relaciones específicas, es decir, un dominio no es más que un tipo de datos. Pueden utilizarse las palabras tipo y dominio de manera indistinta.

Regla de Integridad Referencial

La regla de integridad referencial está relacionada con el concepto de clave foránea, lo que determina que todos los valores nulos o valores que existen en la clave primaria que referencia. La necesidad de esta regla es debido a que las claves foráneas tienen por objetivo establecer una conexión con la clave primaria que referencian [20].

Cardinalidad de las relaciones

El diseño de relaciones entre las tablas de una base de datos puede ser la siguiente [17]:

- **Relaciones de uno a uno:** una instancia de la entidad A se relaciona con una y solamente una de la entidad B.
- **Relaciones de uno a muchos:** cada instancia de la entidad A se relaciona con varias instancias de la entidad B.
- **Relaciones de muchos a muchos:** cualquier instancia de la entidad A se relaciona con cualquier instancia de la entidad B.

6.3.6. Normalización de bases de datos

Cuando se trabaja con bases de datos relacionales, rara vez se hace con una única tabla. Normalmente se manejan arquitecturas en las cuales los datos se clasifican en tablas separadas en función de su significado. La necesidad de hacer consultas cruzadas para obtener datos guardados en tablas diferentes en las que da origen al concepto que sustenta el modelo relacional de bases de datos[21].

En principio, la información de una base de datos relacional podría guardarse sin problemas en una sola tabla, con la ventaja de que no sería necesario interconectar diversas tablas ni utilizar la compleja sintaxis derivada de las consultas a varias tablas diferentes. Sin embargo, es aquí precisamente donde reside la fuerza del modelo relacional, pues el reparto de información en varias tablas contribuye a reducir las entradas doble, un proceso que se conoce como “normalización” [21].

La normalización es la transformación de las vistas de usuario complejas y del almacén de datos a un juego de estructuras de datos más pequeñas y estables. Además de ser más simples y estables, las estructuras de datos son más fáciles de mantener que otras estructuras de datos. [22].

6.3.7. Lenguaje SQL

El lenguaje relacional se encuentra constituido por:

- Un Lenguaje de Definición de Datos DDL (*Data Definition Language*).
- Un Lenguaje de Manipulación de Datos DML (*Data Manipulation Language*).
- Un Lenguaje para el Control y Seguridad de los Datos DCL (*Data Control Language*).

Estos tres lenguajes definen un conjunto de operaciones básicas conocidas como álgebra relacional, las cuales permiten al usuario especificar las peticiones fundamentales de recuperación, cuyo resultado es una nueva relación constituida por una o más relaciones que pueden ser manipuladas más adelante utilizando operaciones del mismo álgebra [18].

Las primeras implementaciones comerciales del modelo relacional datan de los años 80, y desde entonces han sido implementadas en muchos SGBD. Los SGBD relacionales más populares actualmente son *DB2* e *Informix Dynamic Server* (de IBM), *Oracle*, *MySQL*, *SQL Server* y *Access* [18].

El lenguaje *SQL* o lenguaje de consulta estructurado *Structured Query Language* es actualmente el estándar de los SGBD relacionales comerciales. Se trata de un lenguaje de bases de datos normalizado que permite crear y manipular bases de datos, además de la creación de consultas con las que obtener información proveniente o alojada en una base de datos. El lenguaje se compone de cláusulas, operadores, comandos y funciones de agregado que se combinan con instrucciones y sentencias para la creación, actualización y manipulación de los datos de la base de datos [18].

El lenguaje *SQL* es el más universal en los sistemas de base de datos. Este lenguaje permite realizar consultas a nuestras bases de datos para mostrar, insertar, actualizar y borrar datos [17].

6.3.8. Diagrama Entidad-Relación

Un diagrama entidad-relación, también conocido como modelo entidad relación o *ERD* por sus siglas en inglés, es un tipo de diagrama de flujo que ilustra cómo las “entidades”, como personas, objetos o conceptos, se relacionan entre sí dentro de un sistema, como se muestra en la figura 4. Los diagramas *ER* se usan a menudo para diseñar o depurar bases de datos relacionales en los campos de ingeniería de *software*, sistemas de información empresarial, educación, investigación, etc.; y emplean un conjunto definido de símbolos, tales como rectángulos, diamantes, óvalos y líneas de conexión para representar la interconexión de entidades, relaciones y sus atributos [23].

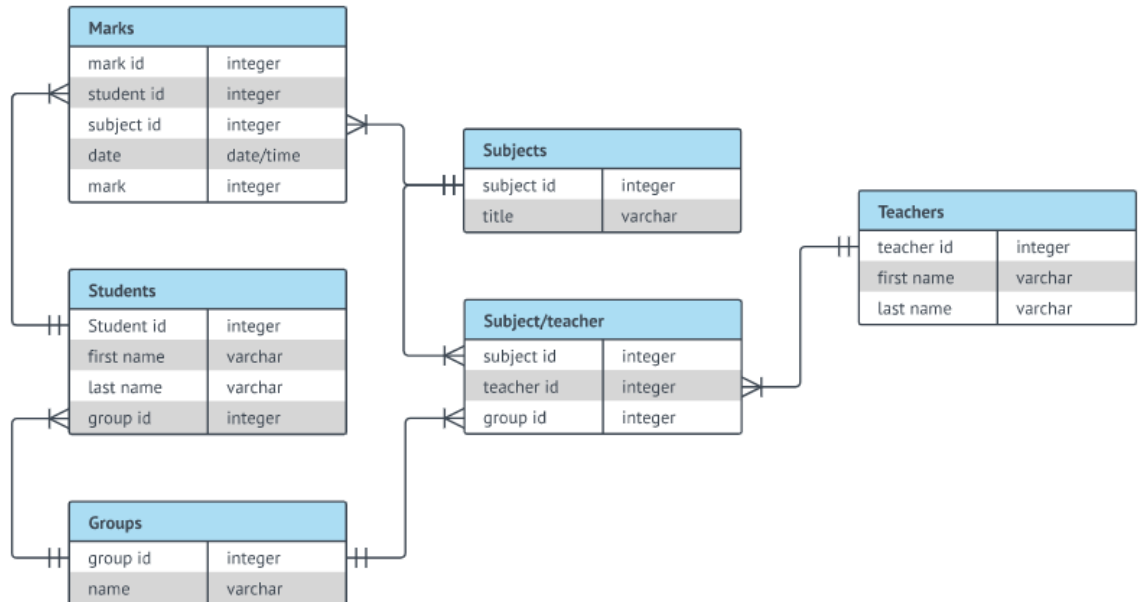


Figura 4: Ejemplo de diagrama entidad-relación [23].

Uso de los diagramas entidad-relación

- Diseño de bases de datos. Los ERD se utilizan para modelar y diseñar bases de datos

relacionales, en términos de reglas de negocio y lógicas (en un modelo de datos lógicos) y en términos de la tecnología específica que se implementará (en un modelo de datos físicos). En ingeniería de software, un EDR a menudo es un primer paso para determinar los requisitos de un proyecto de sistemas de información.

- Solución de problemas de bases de datos. Los EDR se utilizan para analizar las bases de datos existentes con el fin de hallar y resolver problemas de lógica o implementación.
- Sistemas de información empresarial. Los diagramas se utilizan para diseñar o analizar las bases de datos relacionales empleadas en procesos de negocio. Cualquier proceso de negocio que utilice datos de campo relacionados con entidades, acciones e interacción puede beneficiarse de una base de datos relacional.
- Reingeniería de procesos de negocio (BPR). Los EDR ayudan a analizar las bases de datos empleadas en la reingeniería de procesos de negocio y en el modelado de la configuración de una nueva base de datos.

Modelos de datos físicos, lógicos y conceptuales

- **Modelo de datos conceptuales.** La visualización de nivel más alto que contiene la menor cantidad de detalle. Su valor muestra el alcance global del modelo y representa la arquitectura del sistema.
- **Modelo de datos lógicos.** Contienen más detalle que un modelo conceptual. Ahora se definen las entidades transaccionales y operativas más detalladas. El método lógico es independiente de la tecnología en la que se implementará.
- **Modelo de datos físicos.** Estos modelos pueden desarrollarse a partir de cada modelo lógico. El modelo físico debe mostrar los suficientes detalles tecnológicos para producir e implementar la base de datos en cuestión.

Limitaciones de los modelos y diagramas ER

- Exclusivo para datos relacionales. Comprende que el propósito es solo mostrar las relaciones. Los diagramas ER muestran únicamente la estructura relacional.
- Inadecuado para datos no estructurados. A menos que los datos se delineen claramente en campos, filas o columnas diferentes, es probable que los diagramas ER tengan un uso limitado. Lo mismo sucede con los datos semiestructurados, porque solo algunos datos serán útiles.
- Complicaciones al realizar una integración con una base de datos existente. Usar modelos ER para realizar una integración con bases de datos existentes puede ser un desafío debido a las diferentes arquitecturas.

6.3.9. Algunas bases de datos de señales biomédicas

PhysioNet es una alianza de socios de industrias de EE.UU. establecidos en el año 1999 que busca proporcionar un acceso web gratuito a grandes colecciones de señales fisiológicas y al software de código abierto correspondiente. Cada mes cuentan con aproximadamente 45,000 investigadores, médicos, desarrolladores, educadores y estudiantes de todo el mundo que se apoyan y contribuyen en el crecimiento del banco de señales fisiológicas disponibles al público en PhysioBank y PhysioToolkit. Cuentan con ayuda financiera otorgada por el Instituto Nacional de Salud *NIBIB* y *NIGMS*. Además cerca de 800 artículos académicos se publican todos los años con el apoyo de los datos de software que se encuentran en PhysioNet [24].

Physiobank es un archivo grande y creciente de registros digitales bien caracterizados de señales fisiológicas y datos relacionados para uso de la comunidad de investigación biomédica. PhysioBank actualmente incluye bases de datos de señales cardiopulmonares, neuronales y biomédicas de parámetros múltiples de sujetos sanos y pacientes con una variedad de afecciones con importantes implicaciones para la salud pública, que incluyen muerte cardíaca súbita, insuficiencia cardíaca congestiva, epilepsia, trastornos de la marcha, apnea del sueño y envejecimiento. Ahora contiene más de 75 bases de datos que pueden descargarse libremente [25].

PsycTherapy es una base de datos de la American Psychological Association que contiene aproximadamente 300 vídeos de demostraciones de terapias psicológicas que muestran trabajos clínicos con individuos, parejas y familiares. Contiene sesiones de terapias improvisadas y espontáneas grabadas en los últimos 10 años. Ofrece la posibilidad de etiquetar o comentar segmentos en cada demostración de las terapias de los clientes, guardar o compartir listas de reproducción personales [26].

En la base de datos PubMed de EE.UU. se publicó una investigación desarrollada en el centro de neurociencias de la Habana, Cuba, llamado “Development of a database system for electrophysiological signals” que consiste en un sistema de base de datos para almacenar señales electrofisiológicas grabadas con diferentes potenciales evocados. El sistema tiene varias funciones como el almacenamiento de los parámetros de grabación, la recuperación y copia de seguridad de la información y la transferencia de una base de datos a otra. Todo este conjunto permite facilitar el análisis de los potenciales evocados ya sea para fines clínicos o de investigación o como herramienta de gestión de información clínica [27].

6.4. Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA

HUMANA es una organización formada por profesionales en neurociencias, padres de familia y personas altruistas que trabajan en beneficio de los pacientes que padecen epilepsia, problemas neurológicos, columna y espina bífida. Es un centro de atención integral especializado en padecimientos neurológicos y neuroquirúrgicos; en el 2006, HUMANA realizó la primera cirugía de epilepsia con resultados exitosos. Bajo la experiencia de la primera cirugía y con la finalidad de que cada paciente sea atendido de manera integral, para lograr un control efectivo y hasta la cura de su epilepsia, se creó el Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA [28].

6.4.1. Misión y Visión

Misión. “Brindar servicios médicos y de salud eficientes y humanitarios con calidez y máxima calidad a pacientes con enfermedades del sistema nervioso especialmente a los pacientes con epilepsia, contando con el mejor desarrollo tecnológico y las mejores Praxis Médicas, en un ambiente amable, de acceso a todos los niveles sociales y económicos del país” [28].

Visión. “Ser el centro de referencia en neurociencias para Centro América, especialmente en el diagnóstico y tratamiento de la epilepsia de difícil control, donde los médicos cuenten con los mejores recursos para el diagnóstica y tratamiento de enfermedades del sistema nervioso” [28].

6.4.2. Servicios

Humana brinda atención neurológica y neuro-quirúrgica de especialidad en epilepsia, neurocirugía funcional, columna, espina bífida y procedimientos de mínima invasión (radio-cirugía). Su compromiso fue crear el primer centro de atención integral para pacientes con epilepsia y problemas neurológicos, su misión es continuar y ampliar su labor con exigencia para continuar con los éxitos obtenidos y llegar a la población que más lo necesita. Entre sus servicios se encuentra [28]:

- Consulta externa con médico especialista y sub-especialista.
- Laboratorio vídeo-monitoreo, que es electroencefalograma de 64 canales con mapeo cerebral y reconstrucción 3D.
- Resonancia Magnética con protocolo especial para epilepsia.
- Cirugía cerebral de epilepsia con electrodos subdurales y electrocorticografía transoperatoria.
- Clínica de tumores.
- Estimulación Vagal.
- Cirugía sin bisturí o radiocirugía.
- Procedimientos quirúrgicos de mínima invasión y cirugía guiada por halo de Estereotaxia.
- Vídeo endoscopia cerebral.
- Cirugía de columna y Espina Bífida.
- Atención psicológica y psiquiátrica con apoyo de trabajo social.
- Búsqueda de tolerancia para los pacientes con epilepsia en los centros escolares.

7.1. Estructura de la Base de Datos

La base de datos preliminar se creó con la estructura que se tiene pensada para la base de datos real para los datos esperados de *HUMANA*, considerando las variables de sexo, edad y condición médica (si el paciente padece, o no, epilepsia). En la figura 5 se puede observar el ERD del primer prototipo desarrollado, en el que se le asignaron diferentes campos a la información del paciente previamente mencionada. Adicionalmente, ese ERD muestra el tipo de datos admitidos para cada campo, ya que es el esquema de la base de datos desarrollada.

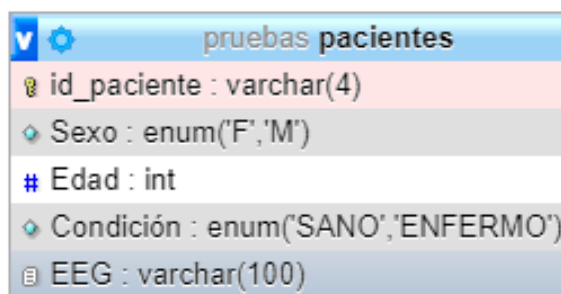


Figura 5: Diagrama entidad-relación del prototipo.

Además, se puede observar que uno de los campos corresponde al nombre *EEG*, ya que se almacena el electroencefalograma correspondiente a los pacientes almacenados. Para este prototipo se definió ese campo como *varchar* de longitud 100 para que puedan ser almacenados archivos de texto (.txt) que contienen información de las pruebas.

La base de datos creada se puede observar en la figura 6, en la que se crearon los campos para las variables anteriormente mencionadas. Se puede observar que el campo *EEG* presenta

| id_paciente | Sexo | Edad | Condición | EEG |
|-------------|------|------|-----------|------|
| 1014 | M | 28 | SANO | NULL |
| Z001 | F | 30 | SANO | NULL |
| Z002 | M | 35 | SANO | NULL |
| Z003 | F | 20 | SANO | NULL |
| Z004 | F | 32 | SANO | NULL |
| Z005 | M | 35 | SANO | NULL |
| Z006 | F | 33 | SANO | NULL |
| Z007 | M | 28 | SANO | NULL |
| Z008 | M | 33 | SANO | NULL |
| Z009 | F | 26 | SANO | NULL |
| Z010 | M | 29 | SANO | NULL |
| Z011 | F | 25 | SANO | NULL |
| Z012 | F | 25 | SANO | NULL |
| Z013 | M | 25 | SANO | NULL |
| Z015 | M | 28 | SANO | NULL |
| Z016 | M | 34 | SANO | NULL |
| Z017 | M | 32 | SANO | NULL |
| Z018 | F | 31 | SANO | NULL |
| Z019 | F | 30 | SANO | NULL |
| Z020 | F | 33 | SANO | NULL |

Figura 6: Base de datos del prototipo.

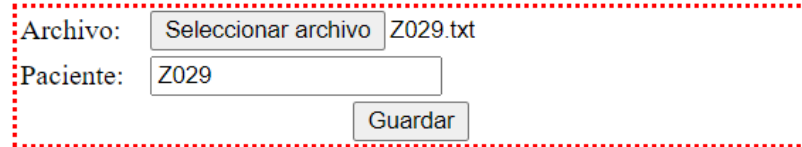
valor de *NULL*, ya que las señales aún no han sido almacenadas dentro de las bases de datos. Es importante mencionar que los datos fueron inventados, ya que no se tienen datos de los pacientes de los que se realizan las evaluaciones en las bases de datos gratuitas.

Se utilizó el *software phpMyAdmin* para la creación de la base de datos en *MySQL*. *MySQL* es un sistema de gestión de base de datos que se basa en código abierto, lo que hace que sea accesible y que la mayoría de programadoras la hayan utilizado; adicionalmente, trabaja con bases de datos relacionales, lo que permite que las tablas se puedan interconectar para almacenar la información y sea organizada correctamente. *phpMyAdmin* se seleccionó porque también es un *software* de código abierto y permite gestionar las bases de datos *MySQL* a través de una interfaz gráfica.

7.2. Almacenamiento de Archivos

Se creó un formulario utilizando código *HTML* en una página web con el servidor *Apache* previamente instalado, ya que de este se puede seleccionar el archivo que se desee cargar a la base de datos. Adicionalmente, se creó un archivo con código *php* para la conexión del servidor con la base de datos, adicionalmente éste código se encarga de almacenar los archivos dentro de una carpeta en el servidor. Ambos códigos se relacionan dentro del formulario creado, en el que la imagen seleccionada es guardada automáticamente dentro de la base de datos. En la figura 7, se puede observar que la página cuenta con un botón de selección de

archivo y una entrada de texto, en el que se puede indicar el *id* del paciente al que se le desea agregar la señal. Es importante mencionar que el *id* debe ser escrito exactamente igual al escrito en la base de datos de la figura 6, ya que la figura puede almacenarse para un *id* nuevo con los otros campos vacíos.



Archivo: Z029.txt

Paciente:

Figura 7: Formulario en html.

Para este ejemplo, se utilizó la base de datos creada por [29], esta incluye 5 set de datos: A,B,C,D y E; cada set contiene 100 señales EEG de un solo canal de 24s de grabación de 5 pacientes sanos y 5 pacientes epilépticos, todas las señales están muestreadas a una frecuencia de 173.6Hz. El set A y B corresponden a señales de pacientes sanos con ojos abiertos y cerrados respectivamente. Los sets C y D contienen señales de pacientes epilépticos candidatos a cirugía, en lapsos sin crisis epilépticas, el set E corresponde a señales de pacientes epilépticos que experimentan una crisis. Es importante mencionar que se utilizó el set A para los primeros 50 pacientes. El nombre de los archivos para cada paciente es su respectivo *id*, por lo que éste debe coincidir al momento de ingresar al formulario. Además, en el código *php* se especificó que los archivos admitidos fueran .txt, ya que estos son los utilizados para el ejemplo, por lo que cualquier otro tipo de archivo no debe ser permitido almacenarlo en dentro de la base de datos.

7.3. Resultado final del Prototipo

Como resultado final, una base de datos completa en *phpMyAdmin* con sus respectivos campos, es decir, información de 50 pacientes con sus respectivas señales. Esto se puede observar en la figura 8, en el que el campo *EEG* ya tiene el archivo .txt para su respectivo paciente.

| id_paciente | Sexo | Edad | Condición | EEG |
|-------------|------|------|-----------|----------|
| Z001 | F | 30 | SANO | Z001.txt |
| Z002 | M | 35 | SANO | Z002.txt |
| Z003 | F | 20 | SANO | Z003.txt |
| Z004 | F | 32 | SANO | Z004.txt |
| Z005 | M | 35 | SANO | Z005.txt |
| Z006 | F | 33 | SANO | Z006.txt |
| Z007 | M | 28 | SANO | Z007.txt |
| Z008 | M | 33 | SANO | Z008.txt |
| Z009 | F | 26 | SANO | Z009.txt |
| Z010 | M | 29 | SANO | Z010.txt |
| Z011 | F | 25 | SANO | Z011.txt |
| Z012 | F | 25 | SANO | Z012.txt |
| Z013 | M | 25 | SANO | Z013.txt |
| Z014 | M | 28 | SANO | Z014.txt |
| Z015 | M | 28 | SANO | Z015.txt |
| Z016 | M | 34 | SANO | Z016.txt |
| Z017 | M | 32 | SANO | Z017.txt |
| Z018 | F | 31 | SANO | Z018.txt |
| Z019 | F | 30 | SANO | Z019.txt |
| Z020 | F | 33 | SANO | Z020.txt |
| Z021 | M | 29 | SANO | Z021.txt |
| Z022 | M | 32 | SANO | Z022.txt |
| Z023 | F | 34 | SANO | Z023.txt |
| Z024 | F | 25 | SANO | Z024.txt |
| Z025 | M | 27 | SANO | Z025.txt |
| Z026 | F | 29 | SANO | Z026.txt |
| Z027 | M | 26 | SANO | Z027.txt |
| Z028 | M | 30 | SANO | Z028.txt |
| Z029 | M | 28 | SANO | Z029.txt |

Figura 8: Base de datos final del prototipo

Creación de Base de Datos y Conexión con Matlab

8.1. Estructura de la Base de Datos

De forma similar al prototipo preliminar del capítulo 7, se utilizó *phpMyAdmin* para la creación de la base de datos en *MySQL*, tomando como servidor la computadora de trabajo. Dicha base de datos tiene como estructura 4 tablas como se puede observar en la figura 9 que representa el ERD de la base de datos desarrollada con sus respectivas relaciones entre tablas, además muestra el tipo de datos que cada campo admite. Es importante mencionar que entre tablas, existen relaciones de uno a uno y de uno a muchos, según la cardinalidad de las relaciones de tablas anteriormente mencionadas; esto para mantener la consistencia entre los datos de pacientes con sus respectivas pruebas realizadas.

La tabla principal *pacientes* contiene información de las variables cualitativas y cuantitativas del paciente, además del *id* de cada paciente, que corresponde a la clave primaria de dicha tabla. La tabla *pruebas* corresponde a la información de cada una de las pruebas realizadas, como lo puede ser hora y fecha, además de un campo que guarde el archivo binario de la prueba realizada; es importante mencionar que cada prueba tiene un *id* como clave primaria y una clave foránea que corresponde al *id* del paciente al que corresponde la prueba. Como se mencionó anteriormente, en la base de datos se almacena el archivo binario de la prueba, esto es gracias a las variables tipo *blob*, que sirven para almacenar datos de gran tamaño.

La tabla *pruebas_datos* consta de 2 columnas, una que corresponde al *id* de la prueba y otra columna que contiene dato por dato del EEG del paciente, es decir, la cantidad de filas corresponde al largo del vector de datos del EEG. Finalmente, la tabla *procesamiento* almacena la información resultante del procesamiento y obtención de características de cada una de las pruebas realizadas.

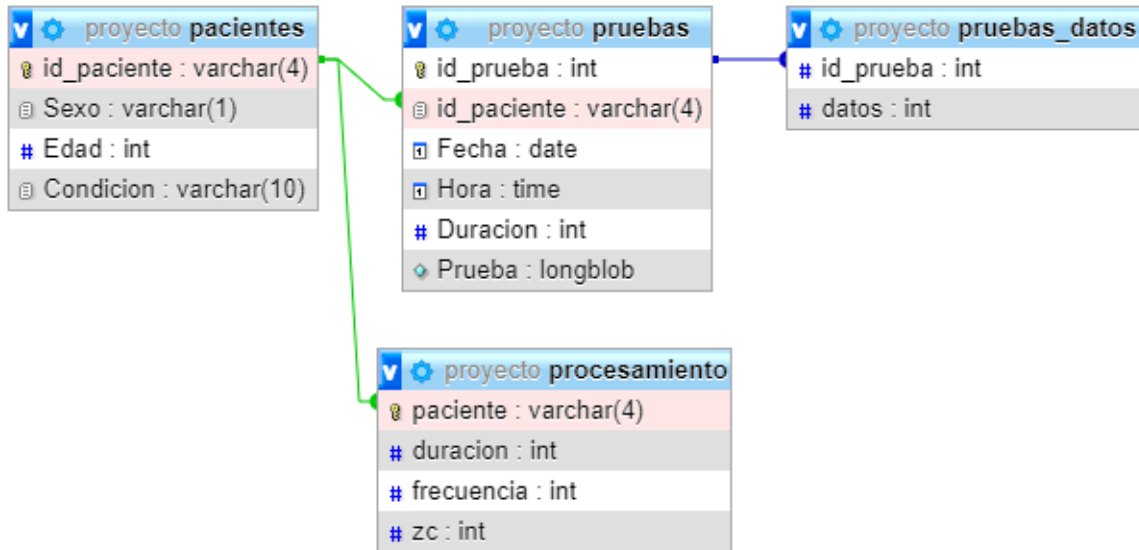


Figura 9: Diagrama entidad-relación de la base de datos

Los EEG utilizados para este prototipo corresponden a los de la base de datos [29], que de igual forma se utilizaron en la base de datos del prototipo anterior. Dato que los archivos de [29] son archivos de texto, se utilizaron otras bases de datos de [24] de EEG y electrocardiogramas (ECG) que se encuentran en formato *edf* o *European Data Format*, siendo un formato de archivos utilizado en términos médicos, ya que estos vienen con información tanto del paciente como de la prueba. Adicionalmente, los datos de los pacientes previamente guardados son inventados, ya que no se cuenta con el historial médico completo de los pacientes que se realizaron las pruebas, siendo diferente con las pruebas, ya que cada *edf* cuenta con información como fechas y duraciones de los exámenes médicos realizados.

8.2. Conexión con Matlab

Para realizar la conexión con Matlab fue necesaria la instalación de un *driver ODBC* o *Open Database Connectivity*, que es un estándar de acceso a las bases de datos que utilizan los sistemas Microsoft. Dentro de la configuración se ingresó el usuario y contraseña de la base de datos de *MySQL* y el nombre de la misma, como se puede observar en la figura 10. La forma de interactuar con la base de datos fue mediante el uso de interfaces gráficas, en la que cada pantalla realiza una acción diferente. En la figura 11 se puede observar la pantalla principal de la aplicación, en la que el usuario selecciona qué es lo que desea hacer; se tiene la opción de agregar un nuevo paciente a la base de datos, realizar una consulta de los datos del paciente y las pruebas realizadas y una última opción que es referente al procesamiento de los EEG almacenados.

En la figura 12 se puede observar la pantalla de añadir un nuevo paciente a la base de datos. Los campos requeridos para el registro corresponden al código de paciente, el sexo, su edad y su condición. La forma de añadir la información es mediante cuadros de texto, en el que el código de paciente admite tanto letras como números, y la edad sólo admite

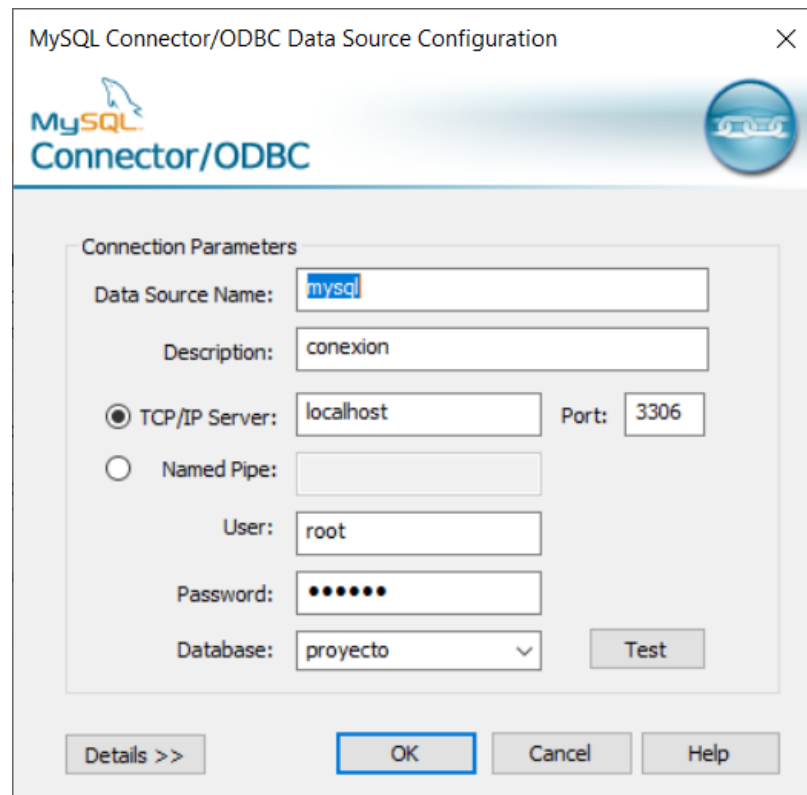


Figura 10: Acceso hacia la base de datos para pruebas.

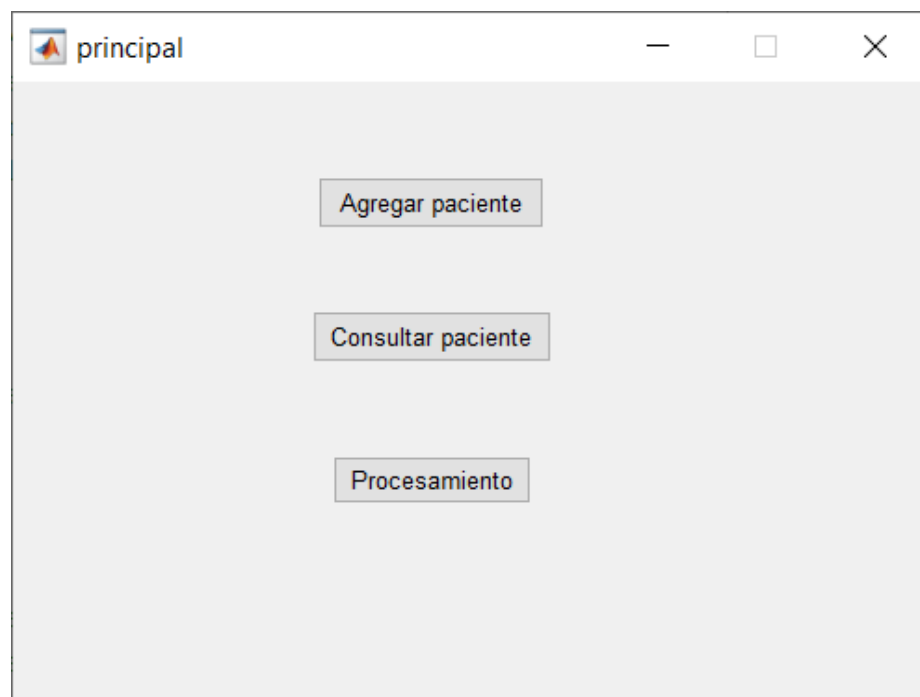


Figura 11: Pantalla principal de la interfaz.

números; los campos de sexo y condición corresponden a dos listas en las que el usuario puede seleccionar la condición para cada paciente. Adicionalmente, se cuentan con botones de guardar a la base de datos, añadir un nuevo paciente y regresar a la pantalla principal. Es importante mencionar que se realizaron las validaciones pertinentes, ya que se muestra un mensaje de error si el usuario olvidó ingresar alguno de los campos mencionados; además de un mensaje de error si el código de paciente ya existe, esto tomando en consideración que las bases de datos tienen la característica de evitar la redundancia de datos. Por último, se muestra un mensaje si el paciente ya fue guardado exitosamente.

Figura 12: Pantalla de registro de nuevos pacientes

Finalmente, en la figura 13 se muestra la pantalla de consulta de información y pruebas correspondientes a cada paciente. En esta pantalla sólo es posible ingresar el código de paciente, ya que es de un único paciente del que se desea obtener la información. Se tienen campos de visualización para las características anteriormente ingresadas y una tabla en la que se puede visualizar si existe ya una prueba almacenada para el paciente de la consulta; la información de las pruebas corresponden a los campos de la tabla *pruebas* de la base de datos, que son su código, fecha, hora y duración. Adicionalmente, se encuentra la opción de añadir un nuevo archivo a la base de datos, que se almacenan en las diferentes tablas de la base de datos con el código de paciente que se especificó. Además, se cuentan con los botones de leer información, realizar una nueva consulta, regresar a la página principal y actualizar información si se añadió un nuevo archivo para el paciente. De igual manera, se realizaron las validaciones correspondientes, por ejemplo, si el código del paciente del que se

desea realizar la búsqueda no existe, si no se seleccionó un archivo y un mensaje de archivo guardado exitosamente.

The screenshot shows a software window titled "Ejemplo" with standard window controls (minimize, maximize, close). The interface is divided into several sections:

- Paciente:** A text input field.
- Sexo:** A text input field.
- Edad:** A text input field.
- Condición:** A text input field.
- Buttons:** A vertical stack of four buttons: "Leer", "Nueva consulta", "Regresar", and "Actualizar".
- Table:** A table with 5 columns: "id_prueba", "Fecha", "Hora", and "Duración(s)". It contains 4 rows of data, with the first row having the value "1" in the "id_prueba" column.
- Form:** A sub-form titled "Agregar nuevo archivo" containing:
 - Fields for "Fecha", "Hora", and "Duración".
 - Buttons "Agregar prueba" and "Guardar".

Figura 13: Pantalla de consulta de pacientes y pruebas

9.1. Señales Obtenidas con HUMANA

El Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, proporcionó pruebas de pacientes con epilepsia que tienen ingresados. Las señales se obtuvieron en formato *edf*, de igual forma que los archivos de [24], y las grabaciones fueron de duración aproximada a una hora. Adicionalmente, dieron comentarios que las pruebas corresponden a pacientes que padecen de epilepsia, que tuvieron alguna crisis durante la prueba o que padecieron de epilepsia y se encuentran en vigilancia.

9.1.1. Forma en que se realiza el examen

El examen se hace de la siguiente manera [30]:

- El paciente se acuesta boca arriba sobre una cama o en una silla reclinable.
- Se colocan los electrodos en todo el cuero cabelludo, los cuales se sostienen con una pasta adhesiva, como se puede observar en la figura 14. Los electrodos van conectados al electroencefalógrafo.
- El paciente debe permanecer inmóvil y con los ojos cerrados durante el examen, debido a que el movimiento puede cambiar los resultados.
- Durante la prueba, se le puede solicitar al paciente que realice ciertas actividades, como respirar profundo y rápido, incluso dormir.

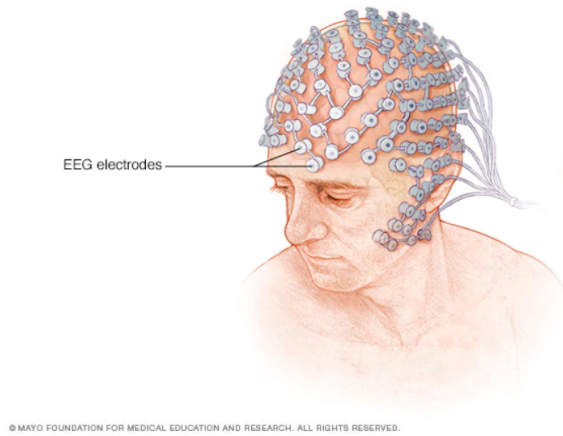


Figura 14: Ejemplo de electrodos conectados [31].

9.1.2. Arquitectura del *toolbox*

Con el fin de cumplir con los objetivos establecidos para el proyecto, se definió la arquitectura general del *toolbox* como se muestra en la figura 15, en el que se consideró la creación de la base de datos. Se puede observar que se tiene contemplada la búsqueda y la escritura de datos entre Matlab y la base de datos.

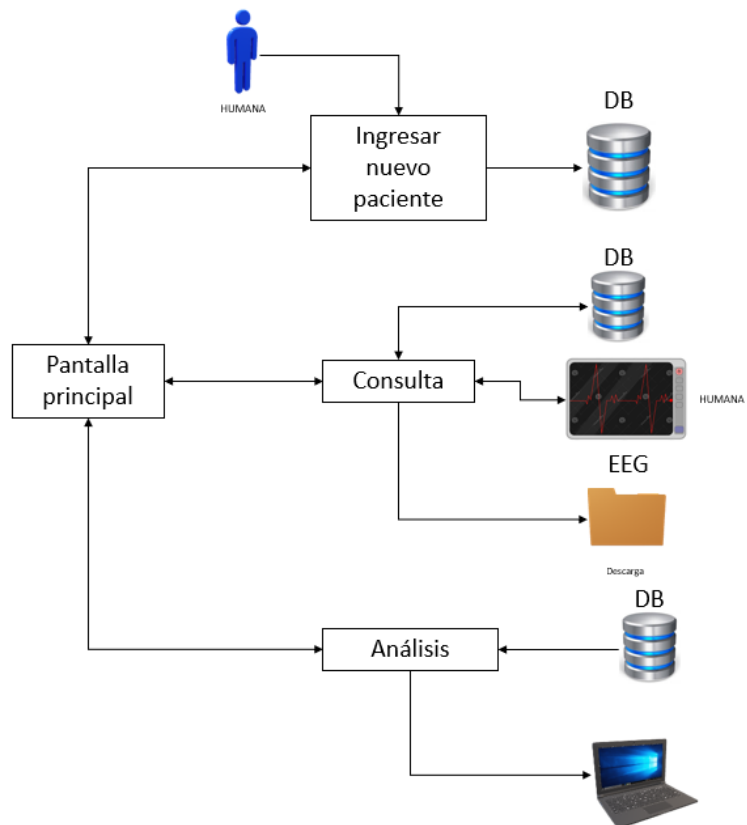


Figura 15: Arquitectura general del *toolbox*

9.2. Estructura de la Base de Datos

De igual forma que los prototipos anteriores, se utilizó *phpMyAdmin* para la creación de la base de datos en *MySQL*, tomando como servidor la computadora de trabajo. En la figura 16 se puede observar la estructura de la base de datos desarrollada, que consta de 3 tablas relacionadas al igual que el prototipo desarrollado en el capítulo 8.

Luego de haber tenido una reunión con uno de los doctores que trabajan con HUMANA, el Dr. Abel Sanabria, se definió qué información se necesita conocer de los pacientes. La información que los doctores necesitan saber para analizar los EEG incluyen la edad, sexo, antecedentes personales patológicos, diagnóstico de prescripción, si padece de epilepsia y el tipo de crisis que se presentó. Por tal motivo, en la tabla principal *pacientes* se incluyeron los campos de dicha información para cada paciente, adicionalmente a su código o *id* como clave primaria. A diferencia que los prototipos anteriores, en esta base de datos se almacenó la fecha de nacimiento de cada paciente y no la edad, ya que la edad puede ser calculada con la fecha de nacimiento y la fecha en la que se realicen las consultas desde la base de datos. La tabla de *pruebas* cuenta con la misma información que el prototipo anterior, pero se agregaron los campos de frecuencia y número de canales que son necesarios para realizar el análisis dentro de Matlab.

Se puede observar que la tabla *pruebas_datos* cuenta con un campo de *id* de prueba y 35 campos correspondiente a los canales, ya que en esta tabla se almacenó dato por dato correspondiente a cada canal dentro de los EEG. Es importante mencionar que no todas las pruebas llevan incluidas la misma cantidad de canales, es por eso que los últimos 15 campos pueden tener valor *NULL*. Adicionalmente, se definió el tipo de dato para cada canal y su precisión, con el fin de homogeneizar cada columna en cuando a la cantidad de números admitidos en cada celda.

9.3. Conexión con Matlab

Para la conexión con Matlab también se utilizó el *driver ODBC* pero utilizando la información de la nueva base de datos, así como se observa en la figura 17, en el que el nombre de la base de datos corresponde a “humana”. Para este prototipo se utilizó el *App Designer* de Matlab, que es un entorno de desarrollo interactivo para diseñar una aplicación y programar su comportamiento. El *toolbox* final fue elaborado en su totalidad desde *App Designer*, con el fin de poder instalarse en cualquier computadora que cuente con Matlab e interactuar con la base de datos.

La estructura del *toolbox* es similar a la del prototipo anterior utilizando interfaces en Matlab. Se diseñaron 5 diferentes interfaces de interacción: página principal, añadir nuevo paciente, consultar pacientes y pruebas, visualización de pruebas y análisis. En la figura 18 se puede observar el diseño de la interfaz principal, corresponde a la pantalla de inicio de interacción con el usuario. En dicha interfaz se encuentra el nombre del proyecto y el logo de la Universidad del Valle de Guatemala; además de 3 botones que redirigen a las otras ventanas. Es importante mencionar las otras ventanas pueden regresar a la pantalla principal para seguir haciendo uso de la herramienta.

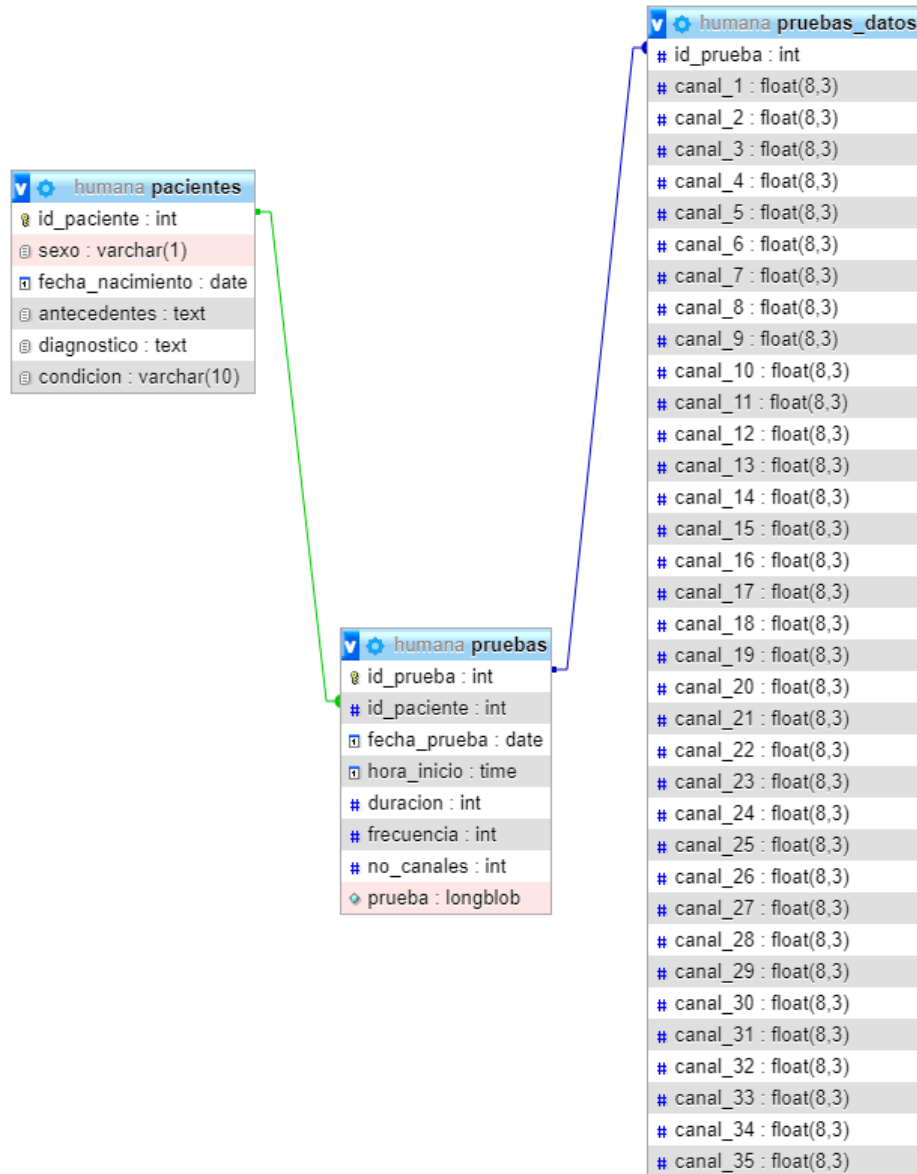


Figura 16: Diagrama entidad-relación de la base de datos final.

La ventana de ingresar un nuevo paciente se puede observar en la figura 19, en el que se pide ingresar el número de paciente, su sexo y fecha de nacimiento, así como la información de antecedentes y diagnóstico del paciente. Se validaron los campos de tal manera que los formatos coinciden con los aceptados dentro de la base de datos. Una de las ventajas del *App Designer* es la variedad de objetos que se pueden utilizar, ya que para el campo de fecha de nacimiento se utilizó un campo específico para seleccionar fecha en forma de calendario. Se incluyeron nuevamente botones de guardar información, nuevo ingreso y regresar a la pantalla principal, al igual que las validaciones que deben ingresarse todos los campos requeridos. Además, se incluyeron mensajes de código de paciente ya existente dentro de la base de datos y paciente guardado exitosamente.

La ventana de consultas se puede considerar como la más completa, ya que tiene las

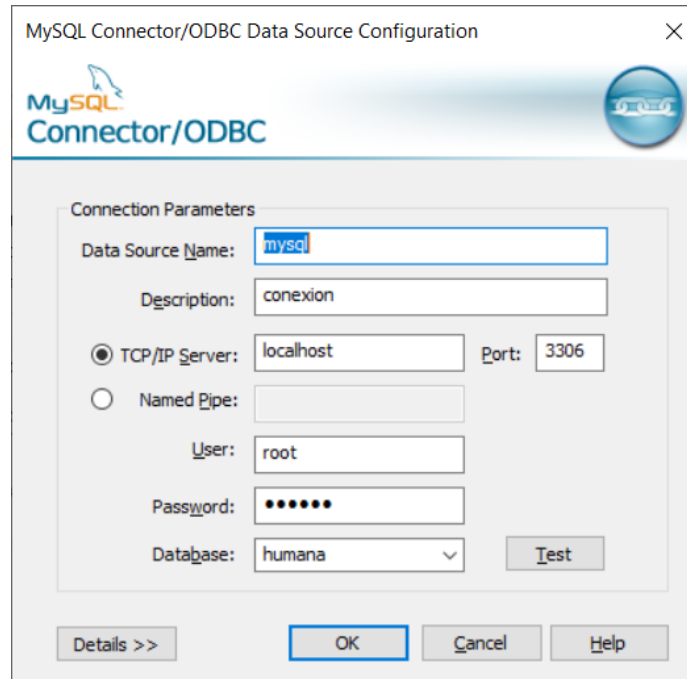


Figura 17: Acceso hacia la base de datos final.

opciones de realizar búsqueda, visualizar información, agregar un nuevo archivo y descargar las pruebas existentes en la base de datos; esta ventana está enlazada con las 3 tablas de la base de datos, ya que todos sus campos corresponden a las columnas existentes dentro de la base de datos. En la figura 20 se puede observar el diseño de la ventana, que consta de campos de texto y tablas para visualización de información. El usuario debe ingresar el *id* del paciente que desea consultar y se muestra el resultado con su información; en la tabla se muestra información de las pruebas de este paciente, si existen.

En la tabla de visualización se muestran enumeradas las pruebas existentes para el paciente consultado, el código de la prueba, fecha del examen, hora de inicio, duración, frecuencia de muestreo y la cantidad de canales de la prueba. Si el usuario desea almacenar un nuevo archivo, se utiliza el botón de seleccionar en el que se abre una ventana de navegación dentro de la computadora en la que el usuario puede revisar carpetas hasta encontrar el *edf* correspondiente al paciente; éste cuenta con la validación que sólo ese tipo de archivos pueden almacenarse dentro de la base de datos.

Luego de seleccionada la prueba, se hace uso de la función *edfRead* [32] que se encarga de leer archivos de ese tipo y devuelve dos variables con información de la prueba. Una de las variables corresponde a una estructura, esta cuenta con información de la prueba como fecha, hora, duración, número de canales, nombre de canales, frecuencia de muestreo, valor máximo y mínimo de los vectores, etc.; la otra variable corresponde a una matriz de $n \times m$, donde n corresponde al número de canales y m al número de muestras del archivo. La información de la prueba es visualizada en los campos respectivos, por lo que el usuario no debe preocuparse de ingresar esos datos. Adicionalmente, se utiliza la función de *serialize* [33], que se encarga de “serializar” o codificar un vector de cualquier tipo a una secuencia de bytes de enteros sin signos de 8 bits; esto con el motivo de almacenar los datos de las



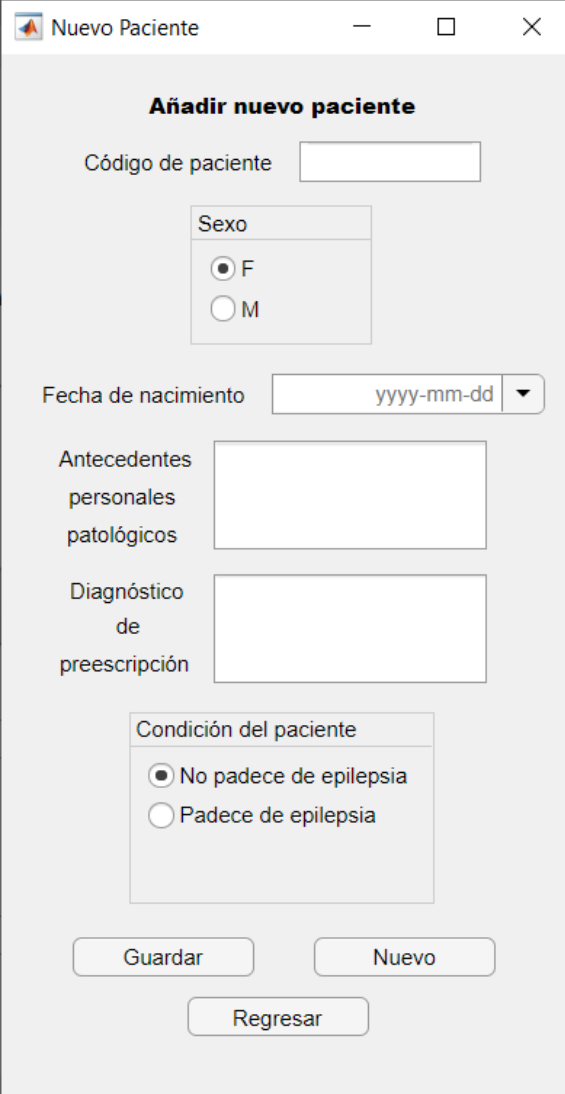
Figura 18: Interfaz principal del *toolbox*

pruebas en archivo binario dentro de la base de datos.

El botón de guardar se encarga de almacenar la nueva prueba y su información dentro de la base de datos, por lo que se hicieron validaciones de los tipos de datos almacenados. Es importante mencionar que, dentro de la base de datos, fue necesario cambiar el tamaño de datos máximo para almacenar en una transacción, ya que el vector de datos de los archivos puede ser de mayor tamaño dependiendo de la duración de las pruebas. Para visualizar la información del nuevo archivo se utiliza el botón de actualizar, en el que se carga nuevamente la información del paciente y las pruebas. También, fue almacenado dato por dato perteneciente a la matriz de datos de los archivos dentro de la tabla *pruebas_datos* de la base de datos. Adicionalmente está la opción de descargar las pruebas almacenadas, en el que se utiliza la función *deserialize* [33] para decodificar la información almacenada; se puede observar que está la opción de descargar todos los archivos, un rango o un archivo específico, esto con el motivo de contribuir en el desarrollo de algoritmos que deseen utilizar la información almacenada.

9.3.1. Integración de la base de datos y procesamiento

La ventana de procesamiento fue diseñada y desarrollada con María Jesús Angulo, ya que ella desarrolló algoritmos para detectar características y reconocer patrones de crisis dentro de las señales almacenadas. En la figura 21 se puede observar que se tiene una ventana de visualización y otra de análisis, en donde en la ventana de visualización se selecciona la prueba que se desea analizar y se realiza la búsqueda dentro de la base de datos, devolviendo información de la prueba y sus respectivos datos. Además, dentro de la ventana, se puede seleccionar qué canal es el que se desea visualizar y un rango de tiempo, ya que las pruebas cuentan con un gran número de muestras. Adicionalmente, se cuenta con la ventana de procesamiento, en el que se puede seleccionar el tipo de análisis a realizar.



Nuevo Paciente

Añadir nuevo paciente

Código de paciente

Sexo

☒ F

☐ M

Fecha de nacimiento

Antecedentes personales patológicos

Diagnóstico de prescripción

Condición del paciente

☒ No padece de epilepsia

☐ Padece de epilepsia

Figura 19: Interfaz de añadir paciente del *toolbox*

Consultas

Consulta de pacientes y pruebas

Paciente

Sexo

Fecha de Nacimiento

Antecedentes personales patológicos

Diagnóstico de prescripción

Condición

Leer

Nueva consulta

Regresar

Actualizar

| No. | Prueba | Fecha | Hora | Duración (s) | Frecuencia (Hz) | No. Canales |
|-----|--------|-------|------|--------------|-----------------|-------------|
| | | | | | | |

Agregar nuevo archivo

Fecha del examen

Hora de inicio

Duración (s)

Frecuencia (Hz)

No. Canales

Seleccionar

Guardar

Descargar pruebas

☐ Todos los archivos

Seleccionar rango

Seleccionar número

Descargar

Figura 20: Interfaz de consulta del *toolbox*

UI Figure

Seleccionar

Canal 1

200

150

100

50

0

-50

-100

Y

Title

0

500

1000

1500

2000

2500

X

Tiempo Min 0

Tiempo Max 10

Visualizar

Características

Clasificador

UI Figure

GENERAR VECTOR DE CARACTERÍSTICAS

☒ VAR
 ☐ CURTOSIS

☒ ZC
 ☒ MAV

NÚMERO DE CANALES 3

MUESTRAS POR VENTANA 2500

CANALES A ANALIZAR 2,6,4

* 0 SI SE DESEAN TODOS LOS CANALES

GENERAR

CARACTERÍSTICAS WAVELET

[7 NIVELES DE DESCOMPOSICIÓN]

WAVELET MADRE db3

SELECCIONAR CANAL 1

CALCULAR PARA

☒ TODAS LAS BANDAS
 ☐ BANDA ESPECÍFICA

GAMMA

MUESTRAS POR VENTANA

☐ PSD
 ☐ MEDIA
 ☐ MAX
 ☐ CURTOSIS
 ☐ MIN

GENERAR

Figura 21: Interfaz de visualización y procesamiento *toolbox*

40

- Se recolectaron los archivos de señales biomédicas y se determinaron las características relevantes para almacenar dentro de la base de datos.
- Se diseñó una base de datos relacional capaz de almacenar información relevante de los pacientes y los archivos de los electroencefalogramas.
- Luego de utilizar un formulario en una página web y una interfaz en Matlab, se determinó que Matlab es más amigable para el manejo de búsqueda y escritura con la base de datos.
- Se diseñó e implementó una herramienta de software para Matlab capaz de acceder, almacenar y analizar información de la base de datos.

- Para un trabajo futuro, si se desea almacenar gran cantidad de datos, determinar un método más efectivo almacenar dato por dato dentro de la base de datos, ya el tiempo en el que se hace el envío de datos desde Matlab hacia la base de base de datos es proporcional a la cantidad de datos.
- Incluir mensajes dentro del *toolbox* si se supera el tamaño máximo de archivos o el tamaño máximo de transacción hacia la base de datos, ya que el máximo que permite MySQL es de 1 GB.
- Dentro del *toolbox* incluir opciones del tipo de archivo en el que se pueden descargar los archivos, ya que en este trabajo se descargan como archivos de texto .txt.
- Otra recomendación importante es incluir dentro del *toolbox* qué tipo de señal biomédica es la que se va a almacenar, ya que en este proyecto sólo se almacenaron EEG.

- [1] Y. V. P. Gutiérrez, “Base de datos de señales electrofisiológicas.”, Escuela de Ingeniería de Antioquia, inf. téc., 2013.
- [2] C. B. Alejandro Hadad y B. Drozdowicz. (). BaSeBio: base de datos de señales biomédicas accesible desde Internet, dirección: https://www.academia.edu/26963088/BaSeBio_base_de_datos_de_se%C3%5C%B1ales_biom%C3%5C%A9dicas_accesible_desde_Internet.
- [3] S. A. Imtiaz y E. Rodriguez-Villegas, “An Open-source Toolbox For Standardized Use Of PhysioNet Sleep EDF Expanded Database”, *IEEE*, vol. 978-1-4244-9270-1/15/\$31.00, 2015.
- [4] B. Kemp, A. H. Zwinderman, B. Tuk, H. A. C. Kamphuisen y J. J. L. Obery, “Analysis of a sleep-dependent neuronal feedback loop: the slow-wave microcontinuity of the EEG”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 47, n.º 9, págs. 1185-1194, 2000.
- [5] J. P. Muñoz, “Diseño de un sistema inteligente de monitoreo de ondas EEG y generador de pulsos binaurales para combatir desórdenes de sueño en los atletas.”, Universidad del Valle de Guatemala, inf. téc., 2019.
- [6] A. B. Valiente, “Detección de crisis epilépticas en el dominio temporal a partir del EEG mediante SVMs”, Universidad Carlos III de Madrid, inf. téc., 2014.
- [7] (Jun. de 2019). Epilepsia, dirección: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/epilepsy>.
- [8] (2009). ¿Qué es la epilepsia? Origen y causas, dirección: <https://vivirconeepilepsia.es/que-es-la-epilepsia>.
- [9] (Feb. de 2020). Epilepsia, dirección: <https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/neurologicas/epilepsia.html>.
- [10] R. S. Fisher, C. Acevedo, A. Arzimanoglou, A. Bogacz, J. Helen Cross, C. E. Elger y S. Wiebe, “Definición clínica práctica de la epilepsia”, *Epilepsia*, vol. 55, n.º 4, págs. 475-482, 2014.

- [11] T. Lee y J. Chan, “Factores que afectan el estado cognitivo de personas que sufren epilepsia”, *Revista de neurologia*, vol. 34, n.º 9, págs. 861-865, 2002.
- [12] *Epilepsia: tratamientos, síntomas, causas e información*, feb. de 2020. dirección: <https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/neurologicas/epilepsia.html>.
- [13] (Dic. de 2018). Electroencefalografía (EEG), dirección: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>.
- [14] T. T. García. (2011). Manual básico para enfermeros en electroencefalografía, dirección: <http://www.sspa.juntadeandalucia.es/servicioandaluzdesalud/huvvsites/default/files/revistas/ED-094-07.pdf>.
- [15] J. Poblet, *Introducción a la bioingeniería*, ép. Mundo Electronico Series. Marcombo, 1988, ISBN: 9788426706805. dirección: <https://books.google.com.mx/books?id=aqcaSGADoo4C>.
- [16] *El-electroencefalograma-en-el-estudio-y-control-de-la-epilepsia-*. dirección: <https://fapap.es/articulo/262/el-electroencefalograma-en-el-estudio-y-control-de-la-epilepsia->.
- [17] D. P. Valdés. (oct. de 2007). ¿Qué son las bases de datos?, dirección: <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>.
- [18] J. Rodriguez, *Lenguajes de definición y modificación de datos SQL. IFCT0310*. IC Editorial, 2015, ISBN: 9788416433322. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=BBLmCQAAQBAJ>.
- [19] *¿Qué es una base de datos relacional?* Dirección: <https://www.oracle.com/ar/database/what-is-a-relational-database/>.
- [20] *Integridad de las Bases de Datos*. dirección: https://www.ecured.cu/Integridad_de_las_Bases_de_Datos.
- [21] *Bases de datos relacionales*. dirección: <https://www.ionos.es/digitalguide/hosting/cuestiones-tecnicas/bases-de-datos-relacionales/>.
- [22] M. P. Castañeda, *Introducción*. dirección: https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/872/mod_resource/content/1/contenido/index.html.
- [23] *Qué es un diagrama entidad-relación*. dirección: https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-entidad-relacion#section_7.
- [24] PhysioNet. (1999). PhysioNet- the research resource for complex physiologic signals., dirección: <http://www.physionet.org/>.
- [25] (Ago. de 2016). PhysioBank, dirección: <https://archive.physionet.org/physiobank/>.
- [26] A. P. Association. (2012). PsycTherapy, dirección: <http://www.apa.org/pubs/databases/psyctherapy/index.aspx>.
- [27] P. A. De Armas JL, “Development of a database system for electrophysiological signals”, PubMed, 1-2, 1995.
- [28] *HUMANA?* Dirección: <https://humanagt.org/>.

- [29] R. Andrzejak, K. Lehnertz, F. Mormann, C. Rieke, P. David y C. Elger, “Indications of nonlinear deterministic and finite-dimensional structures in time series of brain electrical activity: Dependence on recording region and brain state”, *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, vol. 64, pág. 061 907, ene. de 2002. DOI: 10.1103/PhysRevE.64.061907.
- [30] *Electroencefalograma: MedlinePlus enciclopedia médica*. dirección: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003931.htm>.
- [31] *Electroencefalografía (EEG)*, dic. de 2018. dirección: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875#dialogId39981635>.
- [32] B. Shoelson. (2020). edfRead, dirección: <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31900-edfread>.
- [33] Tim. (2020). Serialize/Deserialize, dirección: <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/29457-serialize-deserialize>.

13.1. Pruebas Realizadas con Primeros Prototipos































| ← T → | | | | | | id_paciente | Sexo | Edad | Condicion | |
|--------------------------|---|--------|---|--------|---|-------------|------|------|-----------|------|
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z001 | F | 30 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z002 | M | 35 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z003 | F | 20 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z004 | F | 32 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z005 | M | 35 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z006 | F | 33 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z007 | M | 28 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z008 | M | 33 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z009 | F | 26 | SANO |
| <input type="checkbox"/> |  | Editar |  | Copiar |  | Borrar | Z010 | M | 29 | SANO |

Figura 22: Pacientes almacenados en primer base de datos

| <div>←T→</div> | | id_prueba | id_paciente | Fecha | Hora | Duracion | Frecuencia | No_Canales | Prueba |
|--------------------------|---|-----------|-------------|------------|----------|---------------|------------|------------|--------|
| | | | | | | Duracion en s | | | |
| <input type="checkbox"/> | <div><div><div>✎</div><div>Editar</div></div><div><div><div>📄</div><div>Copiar</div></div><div><div><div>🗑</div><div>Borrar</div></div></div></div></div> | 1 | Z001 | 2020-08-01 | 09:43:00 | 300 | 0 | 0 | NULL |
| <input type="checkbox"/> | <div><div><div>✎</div><div>Editar</div></div><div><div><div>📄</div><div>Copiar</div></div><div><div><div>🗑</div><div>Borrar</div></div></div></div></div> | 2 | Z001 | 2020-08-18 | 10:30:00 | 10 | 0 | 0 | NULL |
| <input type="checkbox"/> | <div><div><div>✎</div><div>Editar</div></div><div><div><div>📄</div><div>Copiar</div></div><div><div><div>🗑</div><div>Borrar</div></div></div></div></div> | 4 | Z001 | 2020-08-26 | 09:45:00 | 200 | 0 | 0 | NULL |
| <input type="checkbox"/> | <div><div><div>✎</div><div>Editar</div></div><div><div><div>📄</div><div>Copiar</div></div><div><div><div>🗑</div><div>Borrar</div></div></div></div></div> | 5 | Z001 | 2020-08-26 | 09:50:00 | 310 | 0 | 0 | NULL |
| <input type="checkbox"/> | <div><div><div>✎</div><div>Editar</div></div><div><div><div>📄</div><div>Copiar</div></div><div><div><div>🗑</div><div>Borrar</div></div></div></div></div> | 6 | Z001 | 2020-08-26 | 09:55:30 | 210 | 0 | 0 | NULL |
| <input type="checkbox"/> | <div><div><div>✎</div><div>Editar</div></div><div><div><div>📄</div><div>Copiar</div></div><div><div><div>🗑</div><div>Borrar</div></div></div></div></div> | 7 | Z001 | 2020-08-26 | 10:00:00 | 100 | 0 | 0 | NULL |
| <input type="checkbox"/> | <div><div><div>✎</div><div>Editar</div></div><div><div><div>📄</div><div>Copiar</div></div><div><div><div>🗑</div><div>Borrar</div></div></div></div></div> | 21 | Z001 | 2020-09-04 | 18:25:00 | 300 | 0 | 0 | NULL |

Figura 23: Información de pruebas almacenados en primer base de datos

| | | | id_prueba | id_paciente | Fecha | Hora | Duracion Duracion en s | Frecuencia | No_Canales | Prueba |
|--------------------------|--|--|-----------|-------------|-------|------------|---------------------------|------------|------------|-----------------|
| <input type="checkbox"/> | | | | 19 | Z005 | 2020-09-02 | 14:35:00 | 100 | 0 | 0 [BLOB - 18 B] |
| <input type="checkbox"/> | | | | 20 | Z005 | 2020-09-02 | 14:35:00 | 100 | 0 | 0 [BLOB - 90 B] |

Figura 24: Archivos binarios almacenados en primer base de datos

| id_prueba | datos |
|-----------|-------|
| 1 | 12 |
| 1 | 22 |
| 1 | 35 |
| 1 | 45 |
| 1 | 69 |
| 1 | 74 |
| 1 | 79 |
| 1 | 78 |
| 1 | 66 |
| 1 | 43 |
| 1 | 33 |
| 1 | 36 |
| 1 | 34 |

Figura 25: Datos por dato almacenado en primer base de datos

13.2. Pruebas Realizadas con el *Toolbox*

| id_paciente | sexo | fecha_nacimiento | antecedentes | diagnostico | condicion |
|-------------|------|------------------|---|------------------------------|-----------|
| 1 | F | 1998-08-13 | Epilepsia presente en su núcleo familiar. | No padece ninguna enfermedad | SANO |

Figura 26: Pacientes almacenados en base de datos final

| id_prueba | id_paciente | fecha_prueba | hora_inicio | duracion | frecuencia | no_canales | prueba |
|-----------|-------------|--------------|-------------|----------|------------|------------|--------|
| 1 | 1 | 1974-07-25 | 09:00:46 | 959 | 256 | 23 | BLOB |
| 2 | 1 | 1974-07-25 | 13:00:45 | 3600 | 256 | 23 | BLOB |

Figura 27: Información de pruebas almacenados en base de datos final

Apache Es un software especializado en ofrecer servicios de servidor web. Es versátil, ligero y muy útil, además de ser completamente gratuito y de código abierto.. 25

archivo binario Es un archivo que contiene una información codificada en lenguaje binario. 28, 38

base de datos Es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso.. 15

clave foránea Es una limitación referencial entre dos tablas, identifica una columna o grupo de columnas en una tabla que se refiere a una columna o grupo de columnas en otra tabla.. 18, 28

clave primaria Es un campo que identifica de manera única a una fila en una tabla.. 18, 28, 35

electroencefalograma Estudio que se utiliza para detectar problemas relacionados con la actividad eléctrica del cerebro.. 10, 24

epliepsia Trastorno en el que se interrumpe la actividad de las células nerviosas en el cerebro, lo que provoca convulsiones.. 8, 33

ERD El diagrama entidad-relación es un esquema que representa la estructura global lógica de la base de datos.. 20, 24, 28

HTML Es el lenguaje con el que se define el contenido de las páginas web.. 25

MySQL Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto. 16, 25, 28, 35, 42

phpMyAdmin Es una herramienta escrita en PHP con la intención de manejar la administración de MySQL a través de páginas web, utilizando un navegador web.. 25, 28, 35