

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,

2021







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



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

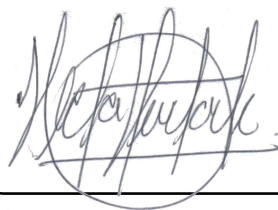
Trabajo de graduación presentado por María Fernanda Pineda Esmieu  
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2021



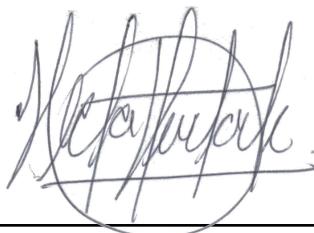
Vo.Bo.:



(f)

Ing. Héctor Hurtarte

Tribunal Examinador:



(f)

Ing. Héctor Hurtarte



(f)

Msc. Carlos Esquit



(f)

Dr. Juan Carlos Lara

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de enero de 2021.



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 Me-catrónica. Además, mi trabajo contribuye como apoyo a investigadores para validación de algoritmos a procesamiento de señales electrofisiológicas.

Agradezco principalmente a Dios, quien me ha guiado y me ha dado fortaleza para cumplir mis metas. También, a mi mamá por su amor y su apoyo, porque nunca ha dudado de mis capacidades y siempre luchar por darme a mí y a mis hermanos todas las herramientas para que alcancemos nuestros sueños; además de mis hermanos, por ser mi motivación a ser una mejor persona. En especial, agradezco a mi abuelo por haber sido mi modelo de superación y que desde el cielo me brinda luz y fuerzas para seguir adelante. También, quiero agradecer a uno de mis tíos, que siempre me apoyó.

Adicionalmente, 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 cuando tuve dudas a lo largo del proyecto. Finalmente, agradezco al Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, por haber brindado la información utilizada dentro del desarrollo del proyecto.



<b>Prefacio</b>	v
<b>Lista de figuras</b>	x
<b>Lista de cuadros</b>	xi
<b>Resumen</b>	xiii
<b>Abstract</b>	xv
<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Antecedentes</b>	3
<b>3. Justificación</b>	5
<b>4. Objetivos</b>	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
<b>5. Alcance</b>	9
<b>6. Marco teórico</b>	11
6.1. Epilepsia	11
6.1.1. Causas	11
6.1.2. Diagnóstico	12
6.1.3. Tratamientos	12
6.2. Electroencefalograma	13
6.2.1. Características de la actividad cerebral	13
6.2.2. Metodología para realizar el EEG	14
6.2.3. Tipos de EEG	16
6.2.4. Electroencefalógrafo	17
6.2.5. EEG en epilepsia	17
6.3. Bases de datos	18

6.3.1. Clasificación de bases de datos . . . . .	18
6.3.2. Tipos de campos . . . . .	19
6.3.3. Bases de datos relacionales . . . . .	19
6.3.4. Sistemas de gestión de bases de datos . . . . .	21
6.3.5. Motores de base de datos . . . . .	21
6.3.6. Normalización de bases de datos . . . . .	22
6.3.7. Lenguaje SQL . . . . .	22
6.3.8. Diagrama entidad-relación . . . . .	23
6.3.9. Algunas bases de datos de señales biomédicas . . . . .	24
6.4. Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA . . . . .	25
6.4.1. Misión y visión . . . . .	25
6.4.2. Servicios . . . . .	26
<b>7. Prototipo preliminar</b> . . . . .	<b>27</b>
7.1. Estructura de la base de datos . . . . .	27
7.2. Almacenamiento de archivos . . . . .	29
7.3. Resultado final del prototipo . . . . .	29
<b>8. Segundo prototipo y conexión con Matlab</b> . . . . .	<b>31</b>
8.1. Estructura de la base de datos . . . . .	31
8.2. Conexión con Matlab . . . . .	32
<b>9. Diseño e implementación del <i>Toolbox</i></b> . . . . .	<b>37</b>
9.1. Señales obtenidas con HUMANA . . . . .	37
9.1.1. Procedimiento para la obtención de señales . . . . .	37
9.2. Arquitectura del <i>toolbox</i> . . . . .	38
9.3. Estructura de la base de datos . . . . .	39
9.4. Conexión con Matlab . . . . .	40
9.4.1. Integración de la base de datos y algoritmos de procesamiento . . . . .	44
<b>10. Conclusiones</b> . . . . .	<b>49</b>
<b>11. Recomendaciones</b> . . . . .	<b>51</b>
<b>12. Bibliografía</b> . . . . .	<b>53</b>
<b>13. Anexos</b> . . . . .	<b>57</b>
13.1. Pruebas realizadas con primeros prototipos . . . . .	57
13.2. Pruebas realizadas con el <i>Toolbox</i> . . . . .	58
<b>14. Glosario</b> . . . . .	<b>61</b>

---

## Lista de figuras

---

1. Ondas de la señal EEG [15]. . . . .	13
2. Distribución de electrodos [14]. . . . .	15
3. Electroencefalógrafo [9]. . . . .	17
4. Ejemplo de diagrama entidad-relación [23]. . . . .	23
5. Diagrama entidad-relación del prototipo. . . . .	27
6. Base de datos del prototipo. . . . .	28
7. Formulario en HTML. . . . .	29
8. Base de datos final del prototipo. . . . .	30
9. Diagrama entidad-relación de la base de datos. . . . .	31
10. Acceso hacia la base de datos para pruebas. . . . .	33
11. Pantalla principal de la interfaz. . . . .	33
12. Pantalla de registro de nuevos pacientes. . . . .	34
13. Pantalla de consulta de pacientes y pruebas. . . . .	35
14. Ejemplo de electrodos conectados [31]. . . . .	38
15. Arquitectura general del <i>toolbox</i> . . . . .	38
16. Diagrama entidad-relación de la base de datos final. . . . .	39
17. Acceso hacia la base de datos final. . . . .	40
18. Ventana principal del <i>toolbox</i> . . . . .	41
19. Ventana de añadir paciente del <i>toolbox</i> . . . . .	42
20. Ventana de consulta del <i>toolbox</i> . . . . .	43
21. Ventana de selección y visualización. . . . .	45
22. Ventana de búsqueda y selección de la prueba. . . . .	46
23. Ventana de extracción de características de la señal EEG. . . . .	46
24. Ventana de implementación de red neuronal artificial. . . . .	47
25. Ventana de implementación de máquina de vectores de soporte. . . . .	47
26. Pacientes almacenados en primer base de datos . . . . .	57
27. Información de pruebas almacenados en primer base de datos . . . . .	57
28. Archivos binarios almacenados en primer base de datos . . . . .	58
29. Datos por dato almacenado en primer base de datos . . . . .	58
30. Pacientes almacenados en base de datos final . . . . .	58

31. Información de pruebas almacenados en base de datos final . . . . .	58
32. Consulta dentro del <i>toolbox</i> . . . . .	59
33. Búsqueda y selección de prueba desde la base de datos . . . . .	60

---

Lista de cuadros

---

1. Nomenclatura de los electrodos [14]. . . . . 15



El presente proyecto tuvo como objetivo la creación e implementación de una base de datos de señales biomédicas de pacientes con epilepsia del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA. 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. Es importante mencionar que, para resguardar la privacidad de los pacientes, no se obtuvieron nombres u otra información que pudiera revelar su identificación.

Se utilizó el *software* de código abierto *phpMyAdmin* para la creación de la base de datos relacional 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 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.

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 *software* 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 automático o *Machine Learning*. El *toolbox* consta de diferentes interfaces para utilizar la base de datos. Es posible agregar un nuevo paciente, 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.



The goal of this work was the development of a relational database of biomedical signals from patients with epilepsy from the Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA. In addition to the signals, qualitative and quantitative information was obtained from each patient, which allowed proper classification and organization of the data. In order to protect the patients' privacy, no names or personal information was collected.

The *phpMyAdmin* software was used for the creation of the database within the *MySQL* environment. The pieces of information stored in the database can be useful for researchers in analysis and classification tasks. Furthermore, the results of tests performed on the signals can be stored back as binary files and other formats.

A link between the database and Matlab was also developed. This made it easy to write to and read from the database through the Matlab environment. This was needed for a toolbox that was created in collaboration with María Jesús Angulo Tijerino. The toolbox includes several interfaces for interacting with the database, and for processing signals and applying machine learning algorithms to those signals. It is possible to add new patients to the database, retrieve information from the patients, add analysis results, visualize those results, and more.



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 automático 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, las bases de datos de señales biomédicas son un aporte a las instituciones de investigación como método de almacenamiento, ya que entre las ventajas de las bases de datos relacionales está evitar la redundancia en el almacenamiento de datos y garantizar 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 solo 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, electrooculografías (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 y las pruebas realizadas 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 visualización y escritura hacia la base de datos. El *toolbox* también ofrece varias herramientas para el procesamiento y análisis de las señales biomédicas disponibles en la base de datos. Como ayuda para el usuario, el *toolbox* incluye algunos ejemplos de procesamiento y extracción de características relevantes.



## 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, 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 computarizada, 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 las veces, lo que se aplica es una combinación de dos o de las tres modalidades [12].

## 6.2. Electroencefalograma

El **electroencefalograma** o EEG 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  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  y  $\delta$ , como se observa en la Figura 1; en otras poseen características muy específicas de patologías cerebrales como la epilepsia [15].

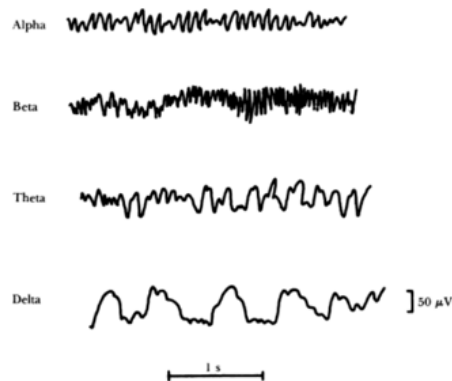


Figura 1: Ondas de la señal EEG [15].

## Frecuencia

Las ondas  $\alpha$  poseen frecuencias entre 8 y 13 Hz con amplitud comprendida entre 20 y 200  $\mu\text{V}$ ; se registran en sujetos normales despiertos, sin ninguna actividad y con los ojos cerrados. Las ondas  $\beta$  poseen frecuencias entre 14 y 30 Hz, pero pueden llegar hasta los 50 Hz; se dividen en dos tipos: las  $\beta_1$  se comportan como las  $\alpha$ , pero con frecuencia doble y las  $\beta_2$  que aparecen cuando el sujeto está bajo tensión. Las ondas  $\theta$  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  $\delta$  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  $\beta$  y a medida que se desciende a áreas posteriores, va apareciendo el ritmo  $\alpha$ . Se utiliza el nombre de los lóbulos cerebrales correspondientes para expresar dicha distribución [14].

## Reactividad

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, como se observa en la Figura 2. Los electrodos se unen en un conector y éste, a su vez, conecta con el cabezal del EEG. De aquí se envía

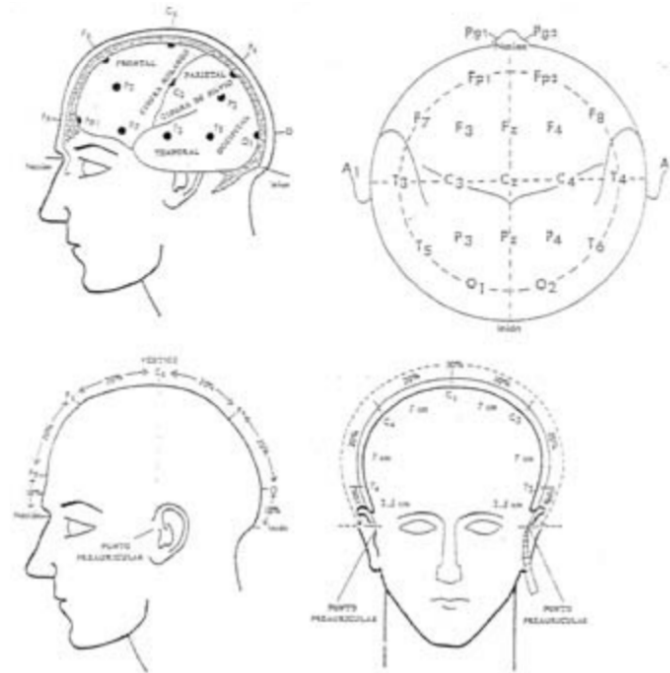


Figura 2: Distribución de electrodos [14].

la señal al sistema de amplificadores del 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 el Cuadro 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: anteroposteriores (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 esta.



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 electroclínicas.
- Apoyar el diagnóstico en casos dudosos, por la presencia de alteraciones de tipo epiléptico.
- 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 hiper especializada 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. 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 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.

### 6.3.4. 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. Motores 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.

### 6.3.6. 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 dobles, 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].

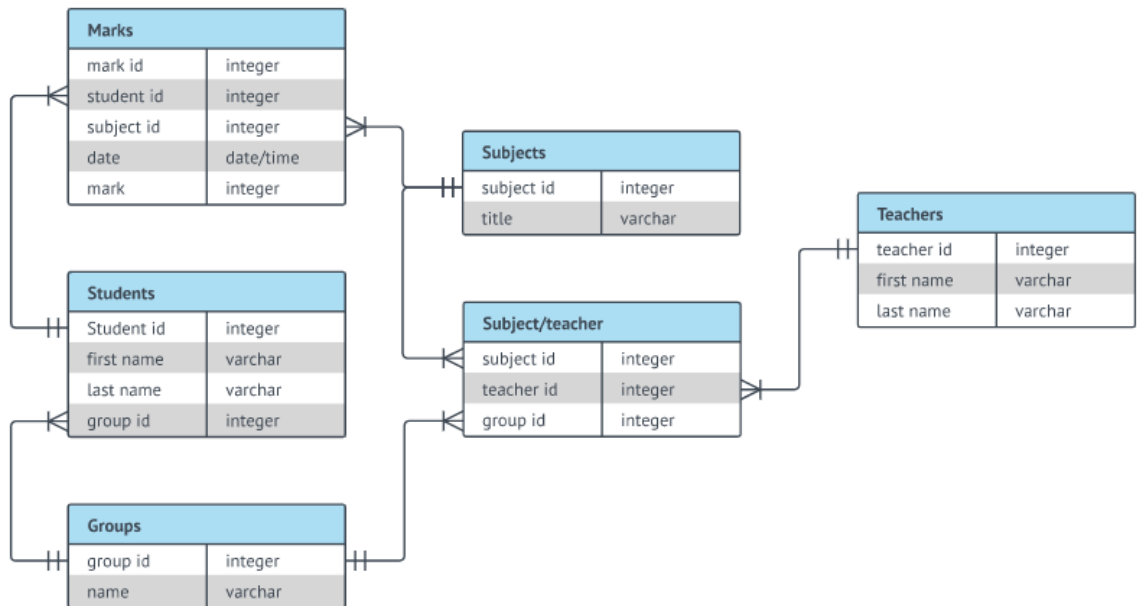


Figura 4: Ejemplo de diagrama entidad-relación [23].

### 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 delinee 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 subespecialista.
- 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.

## Prototipo preliminar

En el siguiente capítulo se detalla el prototipo preliminar realizado de la base de datos. Dicha base de datos cuenta con una única tabla en la que se realizaron pruebas de almacenamiento de información de pacientes y archivos desde un formulario en [HTML](#).

## 7.1. Estructura de la base de datos

La base de datos preliminar se creó de tal forma que se pudiera almacenar información relevante como los datos esperados de los pacientes de HUMANA, considerando las variables de sexo, edad y condición médica (si el paciente padece, o no, epilepsia). Es importante mencionar que no se almacenaron nombres u otra información que permitiera la identificación de los pacientes, con el fin de resguardar su privacidad.

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.

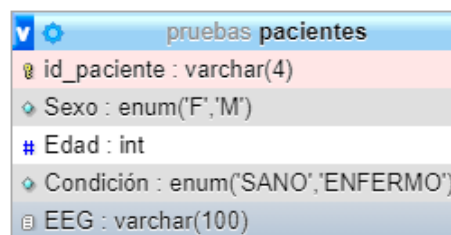


Figura 5: Diagrama entidad-relación del prototipo.

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 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.

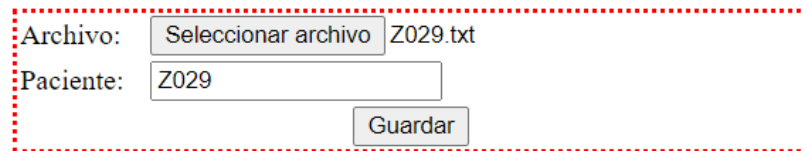
id_paciente	Sexo	Edad	Condición	EEG
1014	M	28	SANO	NULL
Z001	F	30	SANO	NULL
Z002	M	35	SANO	NULL
Z003	F	20	SANO	NULL
Z004	F	32	SANO	NULL
Z005	M	35	SANO	NULL
Z006	F	33	SANO	NULL
Z007	M	28	SANO	NULL
Z008	M	33	SANO	NULL
Z009	F	26	SANO	NULL
Z010	M	29	SANO	NULL
Z011	F	25	SANO	NULL
Z012	F	25	SANO	NULL
Z013	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.

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 desea 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 este 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 guarda 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 código de identificación (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 24 s de grabación de 5 pacientes sanos y 5 pacientes epilépticos, todas las señales están muestreadas a una frecuencia de 173.6 Hz. 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.

---

Segundo prototipo 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. Los casos de uso para la base de datos desarrollada incluyen que un paciente puede tener múltiples pruebas y una prueba múltiples datos de hasta  $n$  canales.

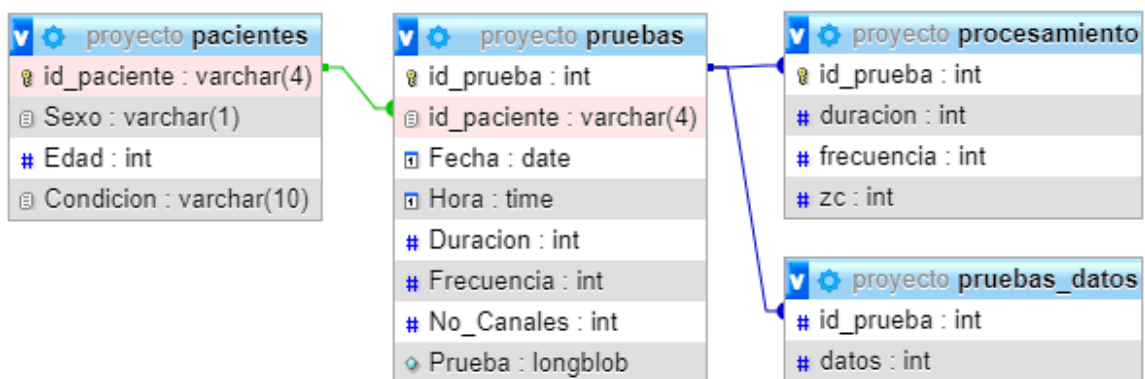


Figura 9: Diagrama entidad-relación de la base de datos.

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. Dicho almacenamiento se pudo realizar gracias a las variables tipo BLOB (objetos binarios grandes, por sus siglas en inglés), que sirven para almacenar datos de gran tamaño.

La tabla *pruebas\_datos* consta de dos 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.

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. Dado que los archivos de [29] son archivos de texto, también 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 para los pacientes que se realizaron las pruebas. La información de las pruebas puede obtenerse de la lectura de cada archivo EDF correspondiente.

## 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. Además, 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 solo admite 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 cuenta con botones de guardar a la base de datos, añadir un nuevo paciente y regresar a la pantalla principal. Es

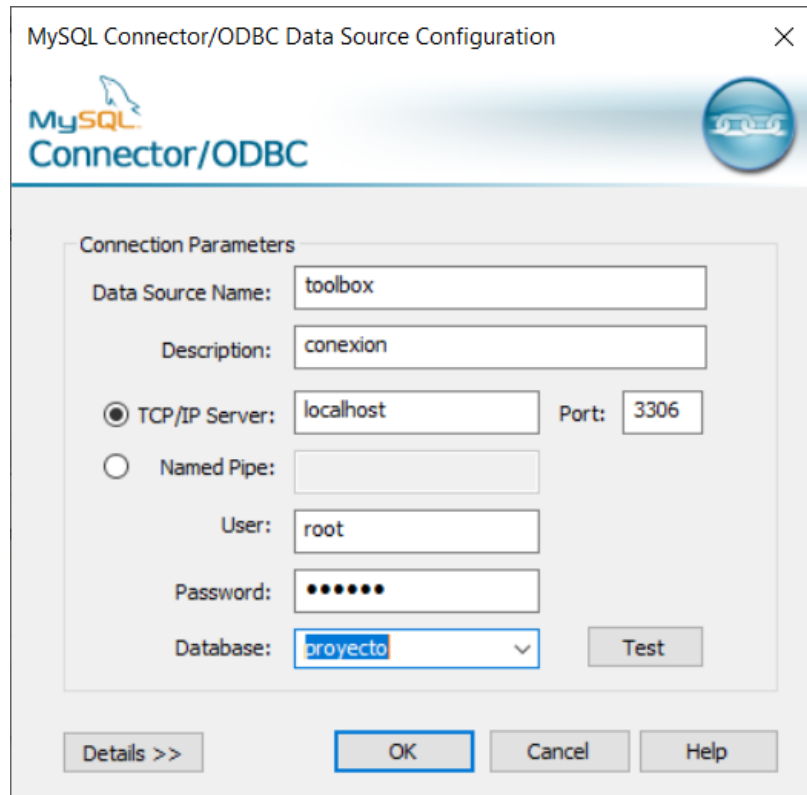


Figura 10: Acceso hacia la base de datos para pruebas.

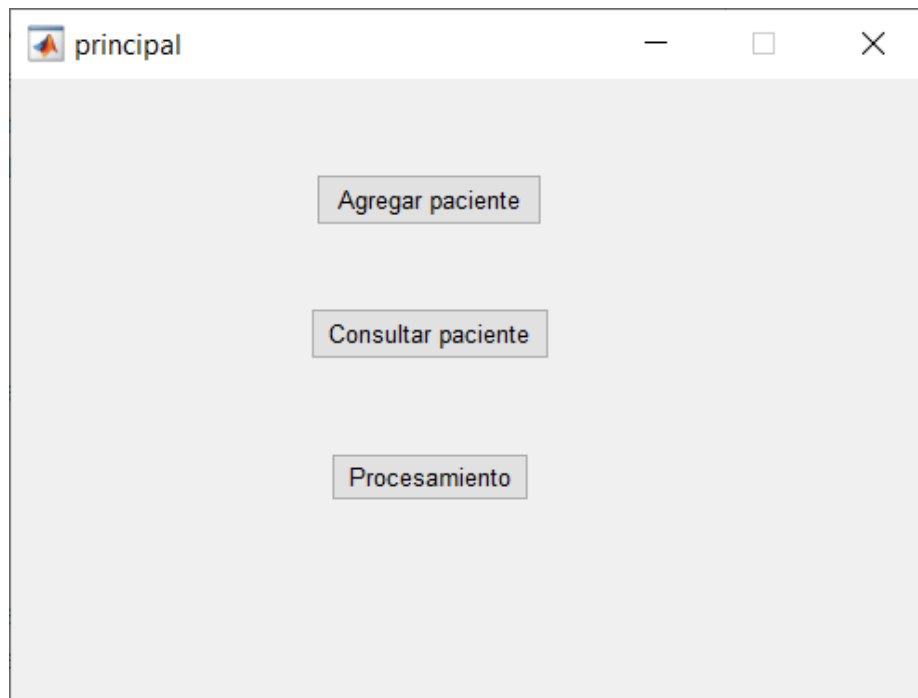
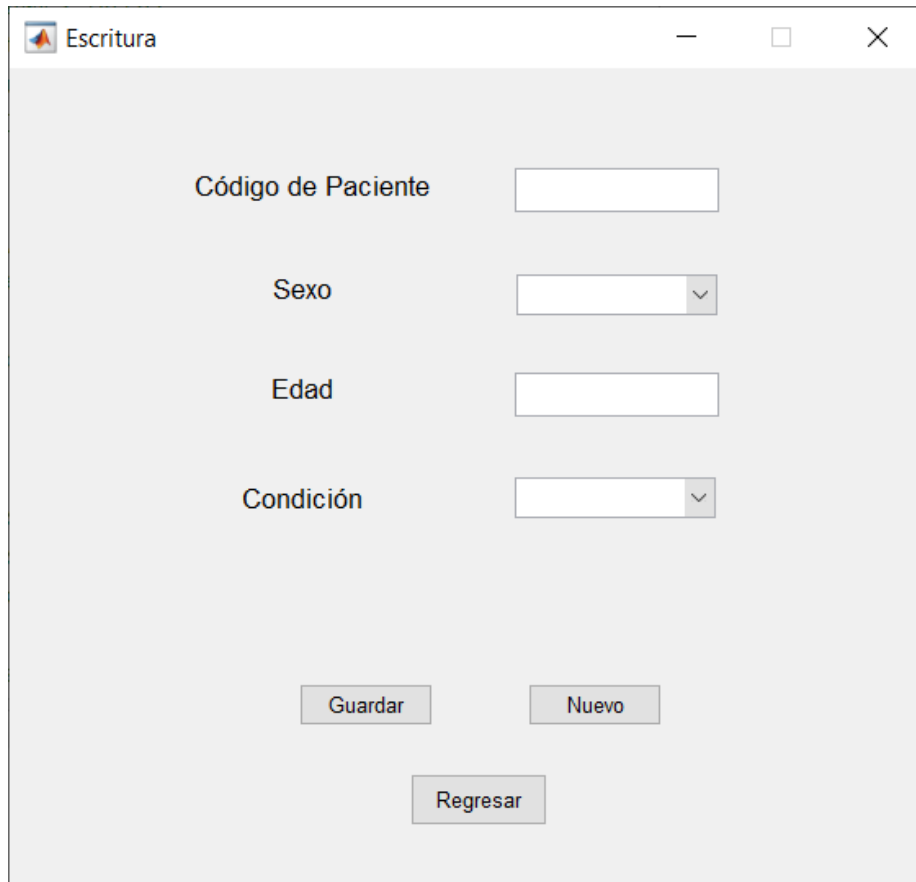


Figura 11: Pantalla principal de la interfaz.

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, se muestra 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.



The image shows a software window titled "Escritura" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains a registration form with the following fields and controls:

- Código de Paciente:** A text input field.
- Sexo:** A dropdown menu.
- Edad:** A text input field.
- Condición:** A dropdown menu.
- Buttons:** Three buttons are located at the bottom: "Guardar" (left), "Nuevo" (right), and "Regresar" (centered below the other two).

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 solo 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 corresponde 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 almacena en las diferentes tablas de la base de datos con el código de paciente que se especificó. Además, se cuenta 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.

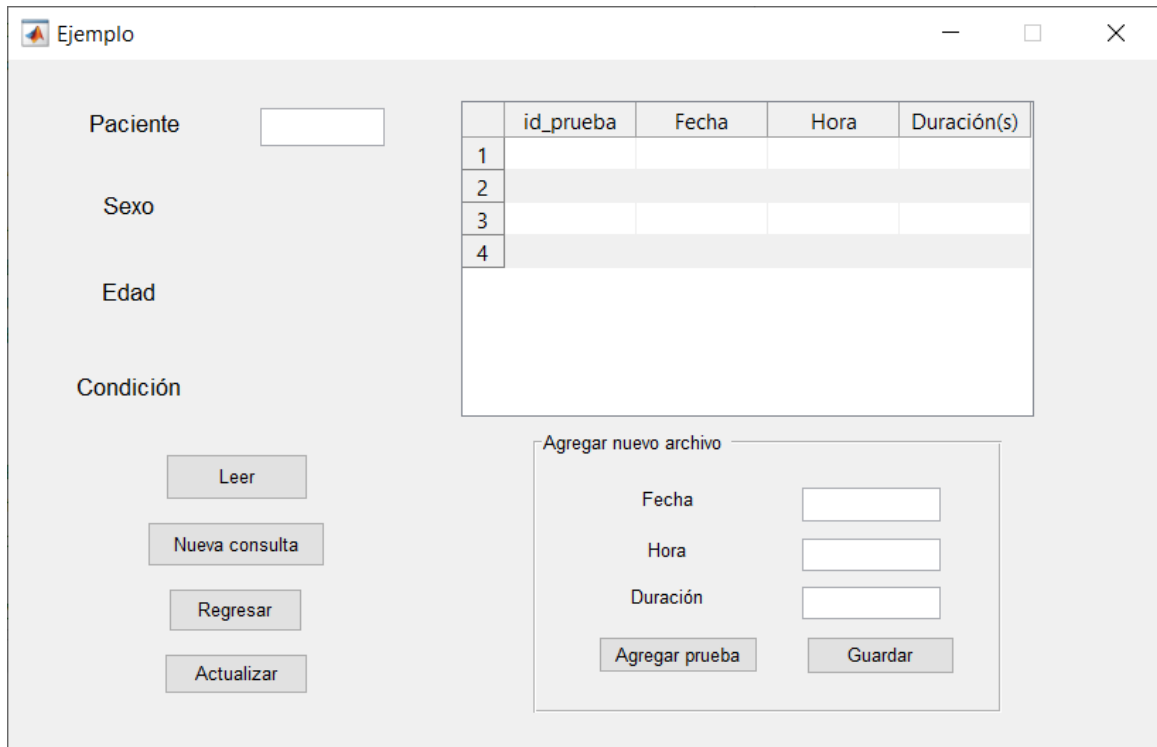


Figura 13: Pantalla de consulta de pacientes y pruebas.

En la sección de Anexos [13.1](#) se pueden observar ejemplos de las pruebas realizadas con este prototipo. Estas figuras incluyen datos almacenados en la tabla de *pacientes*, *pruebas* y *pruebas\_datos*. Se puede observar que se logró almacenar las pruebas en archivos binarios y su respectiva información, además de su respectivo paciente.



## 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, HUMANA indicó 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. Procedimiento para la obtención de señales

El **electroencefalograma** se realiza 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 dormirse.

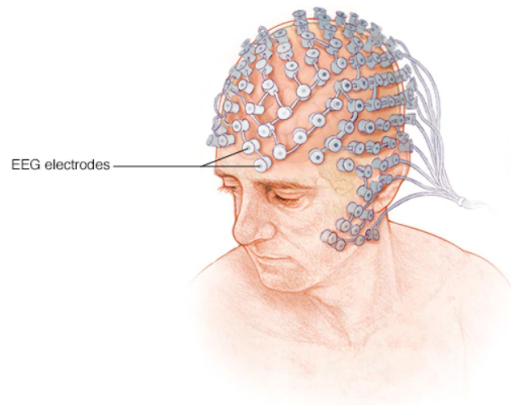


Figura 14: Ejemplo de electrodos conectados [31].

## 9.2. 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 visualización y la escritura de datos entre Matlab y la base de datos.

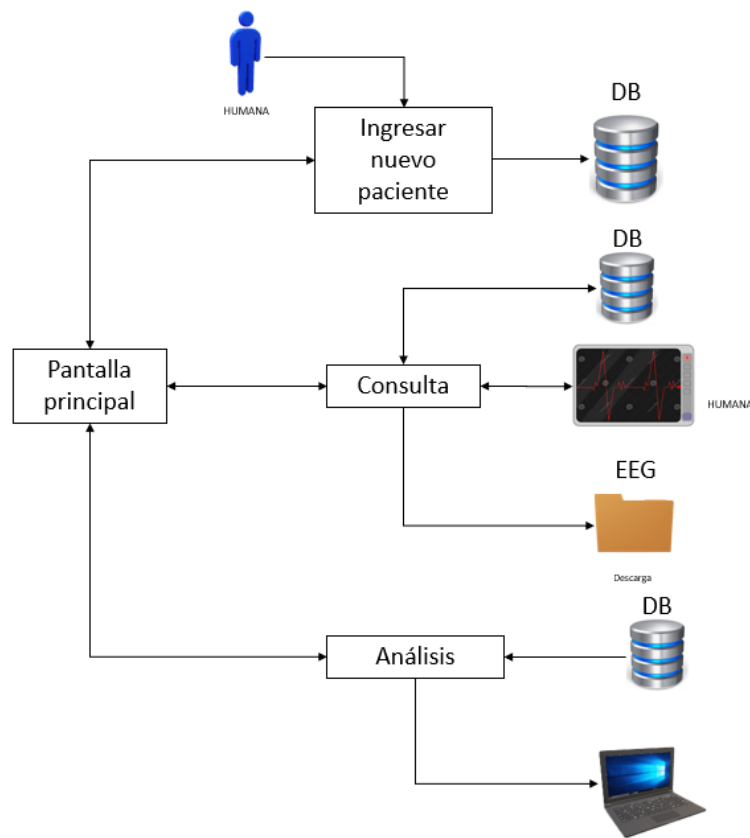


Figura 15: Arquitectura general del *toolbox*.

### 9.3. 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.

La tabla *pruebas\_datos* cuenta con un campo de ID de prueba y 35 campos correspondiente a los canales, aunque en la Figura 16 solo se pueden observar los primeros 15, 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 nulo sin afectar el resto de las columnas en las que se vayan a almacenar los datos. 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.

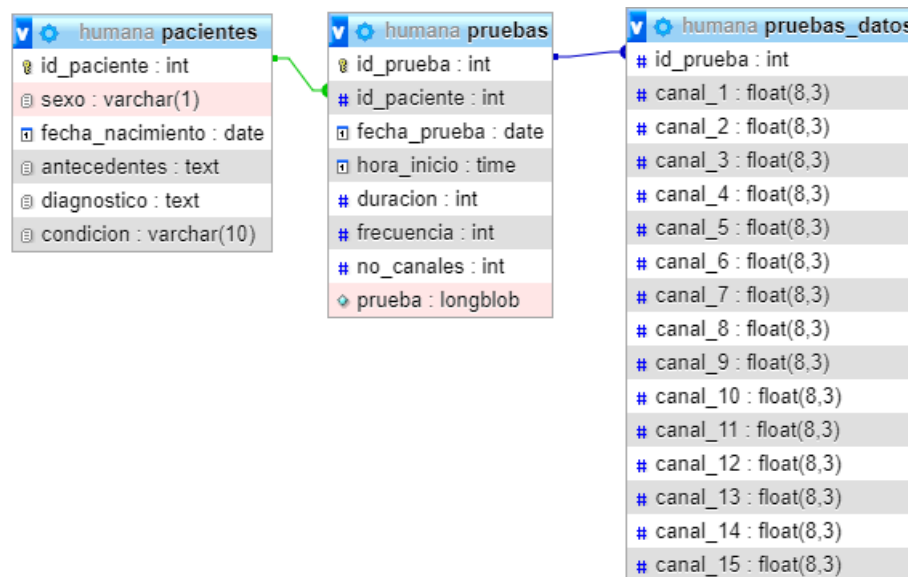


Figura 16: Diagrama entidad-relación de la base de datos final.

## 9.4. 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 la 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 tu totalidad desde *App Designer*, con el fin de poder instalarse en cualquier computadora que cuente con Matlab e interactuar con la base de datos.

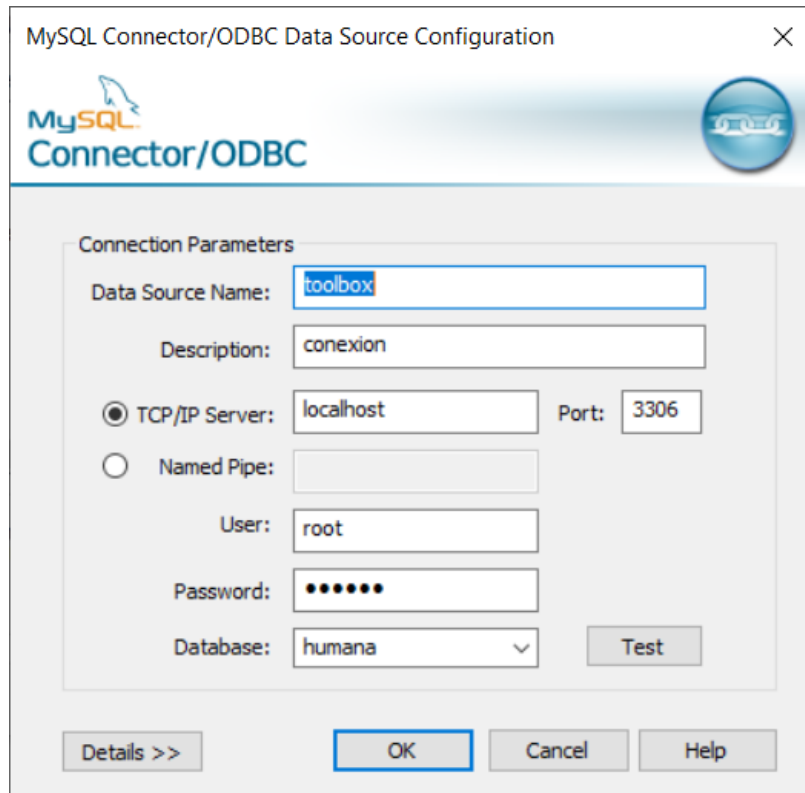


Figura 17: Acceso hacia la base de datos final.

La estructura del *toolbox* se describió en la Figura 15 y es similar a la del prototipo anterior, utilizando diferentes 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 ventana principal, que corresponde a la pantalla de inicio de interacción con el usuario. En dicha ventana se encuentra el nombre del proyecto y el logo de la Universidad del Valle de Guatemala; un botón para conectar hacia la base de datos, uno para desconectar y 3 botones que redirigen a las otras ventanas. Es importante mencionar que las otras ventanas pueden regresar a la pantalla principal para seguir haciendo uso de la herramienta.

En la ventana principal solo están habilitados los botones de conectar y analizar prueba, ya que no se puede realizar una búsqueda o escritura sin que el usuario esté conectado a la base de datos. El botón de analizar prueba se encuentra habilitado ya que el usuario puede



Figura 18: Ventana principal del *toolbox*.

seleccionar archivos locales para su respectivo procesamiento, no es obligatorio que el usuario utilice las pruebas almacenadas dentro de la base de datos. Al presionar el botón “conectar” se hace lectura a un archivo de configuración .csv, dicho documento cuenta con información del nombre de la conexión del driver ODBC y el usuario y contraseña para acceder a la base de datos. Si la conexión presenta algún error, se muestran mensajes para el usuario para que verifique los nombres de las tablas de la base de datos y de la conexión; en caso contrario, se muestra un mensaje de conexión exitosa y se puede acceder a las otras ventanas del *toolbox*. Adicionalmente, el botón de desconectar se utiliza si el usuario desea desconectarse de la base de datos, deshabilitando los botones de agregar nuevo paciente y consultar.

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”.

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

Guardar Nuevo

Regresar

Figura 19: Ventana de añadir paciente del *toolbox*.

La ventana de consultas se puede considerar como la más completa, ya que tiene las opciones de realizar búsqueda, visualizar información, agregar un nuevo archivo y descargar las pruebas existentes en la base de datos. Dicha 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. Es importante mencionar que, mientras no se haya realizado la búsqueda de un paciente en específico, los campos dentro de agregar nuevo archivo y descargar pruebas se encuentran deshabilitados, esto para evitar errores dentro de las búsquedas en la base de datos. Adicionalmente, el botón de actualizar tiene la misma validación, ya que solo puede actualizarse la búsqueda del paciente previamente seleccionado.

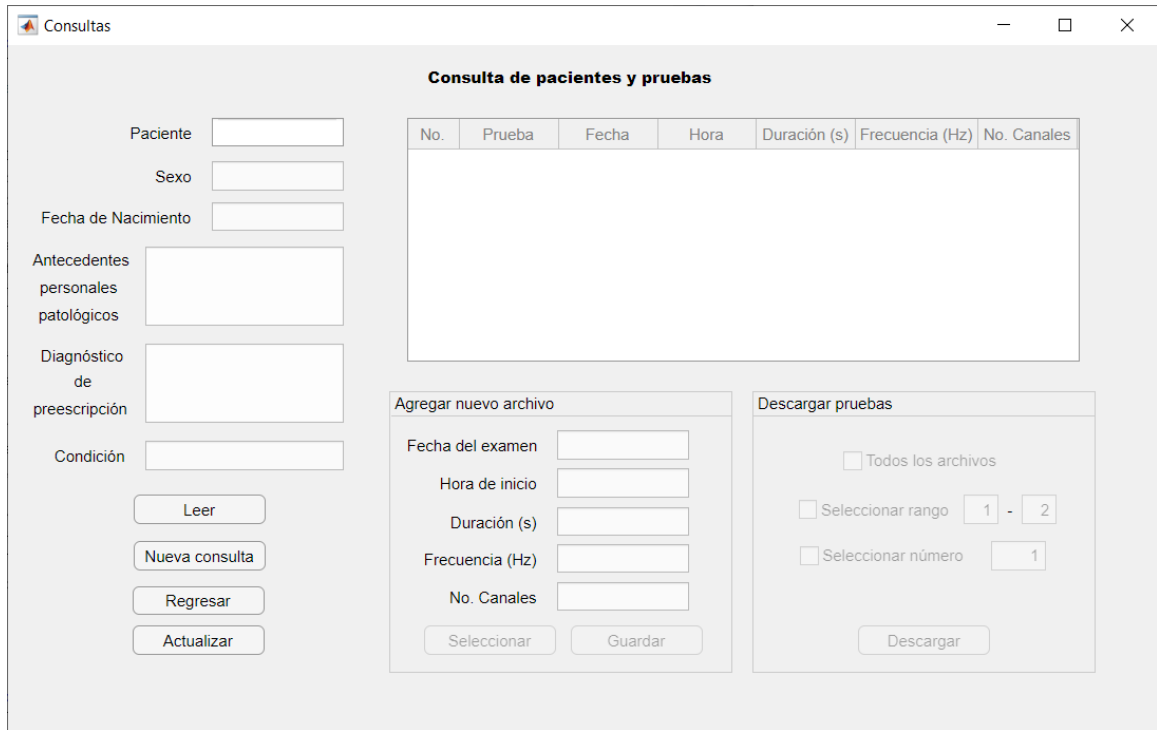


Figura 20: Ventana de consulta del *toolbox*.

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 solo 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, la cual 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 se realiza con el motivo de almacenar los datos de las pruebas en el campo 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 en los tipos de datos almacenados. 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. Es importante mencionar que esta función presenta problemas al momento de decodificar la información de la base de datos cuando esta tiene gran tamaño, ya que se excede el tamaño del vector que se utiliza dentro de la función para almacenar la información, por lo que las pruebas se realizaron con archivos de poca duración (aproximadamente 1 hora). 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.

Es importante mencionar que, dentro de la base de datos, fue necesario cambiar el parámetro *max\_allowed\_packet* para el almacenamiento de archivos grandes. Dicho parámetro se refiere al tamaño de datos máximo para almacenar en una transacción que, por defecto, se permiten 4 MB por transacción. Además, se observó que, al momento de enviar dato por dato hacia la tabla de *pruebas\_datos*, el tiempo se extiende, es decir, cuando las pruebas son de larga duración se tardan mayor tiempo en almacenarse todos los datos.

Adicionalmente en la sección de Anexos [13.2] se pueden observar ejemplos de las pruebas realizadas con el *toolbox* y la base de datos. Estas figuras incluyen datos almacenados en la tabla de *pacientes*, *pruebas* y *pruebas\_datos*, además de un ejemplo de visualización en la pantalla de consultas del *toolbox*.

#### 9.4.1. Integración de la base de datos y algoritmos de procesamiento

Las ventanas de procesamiento fueron diseñadas y desarrolladas con María Jesús Angulo, ya que ella desarrolló algoritmos para detectar características y reconocer patrones de crisis dentro de las señales almacenadas. Luego de acceder en el botón de analizar prueba, que se observa en la Figura [18], se muestra una ventana de visualización de las señales almacenadas como en la Figura [21]. Como se mencionó anteriormente, dentro de esta ventana se puede seleccionar la opción de cargar un nuevo archivo EEG local, por lo que se navega dentro de las carpetas de la computadora hasta encontrar el archivo deseado. Si se desea seleccionar un EEG almacenado de la base de datos, se abre la ventana de la Figura [22], en la que se puede realizar la búsqueda de la prueba de un paciente en específico o directamente escribir el código de dicha prueba, finalmente se regresa a la pantalla de visualización. Para habilitar la opción de selección desde la base de datos, se debe realizar la conexión desde la pantalla principal. Dentro de las opciones de visualización se puede seleccionar el canal y el período de tiempo.

De dicha ventana de visualización, se puede redireccionar a la ventana de extracción de características de la Figura [23] para realizar el respectivo análisis de la señal. En dicha ventana se permite generar un vector de características según opciones escogidas por el usuario. Luego de obtener el vector de características se puede seleccionar el tipo de clasificador a utilizar. En la Figura [24] se implementa el clasificador de red neuronal artificial y en [25] se implementa máquina de vectores de soporte. En ambas ventanas se pueden visualizar resultados, generar archivos tipo “mat” para almacenar resultados y cargar nuevos vectores de características. Es importante mencionar que todos estos algoritmos fueron desarrollados por María Angulo. En la sección de Anexos [13.2] se puede observar un ejemplo de la visualización de una prueba

seleccionada desde la base de datos.

Finalmente, se desarrolló un archivo ejecutable .exe utilizando la opción de compartir de *App Designer* en Matlab. Dentro del paquete de archivos se incluyó las interfaces desarrolladas por ambas partes, además de las funciones que se utilizaron para la lectura de los EEG con su respectiva codificación y decodificación. Dado que el archivo ejecutable se puede abrir desde cualquier computadora, dentro de la opción de descarga se seleccionó la opción de incluir compilador de Matlab. El compilador de Matlab permite ejecutar los programas dentro de computadoras que no cuentan con Matlab instalado.

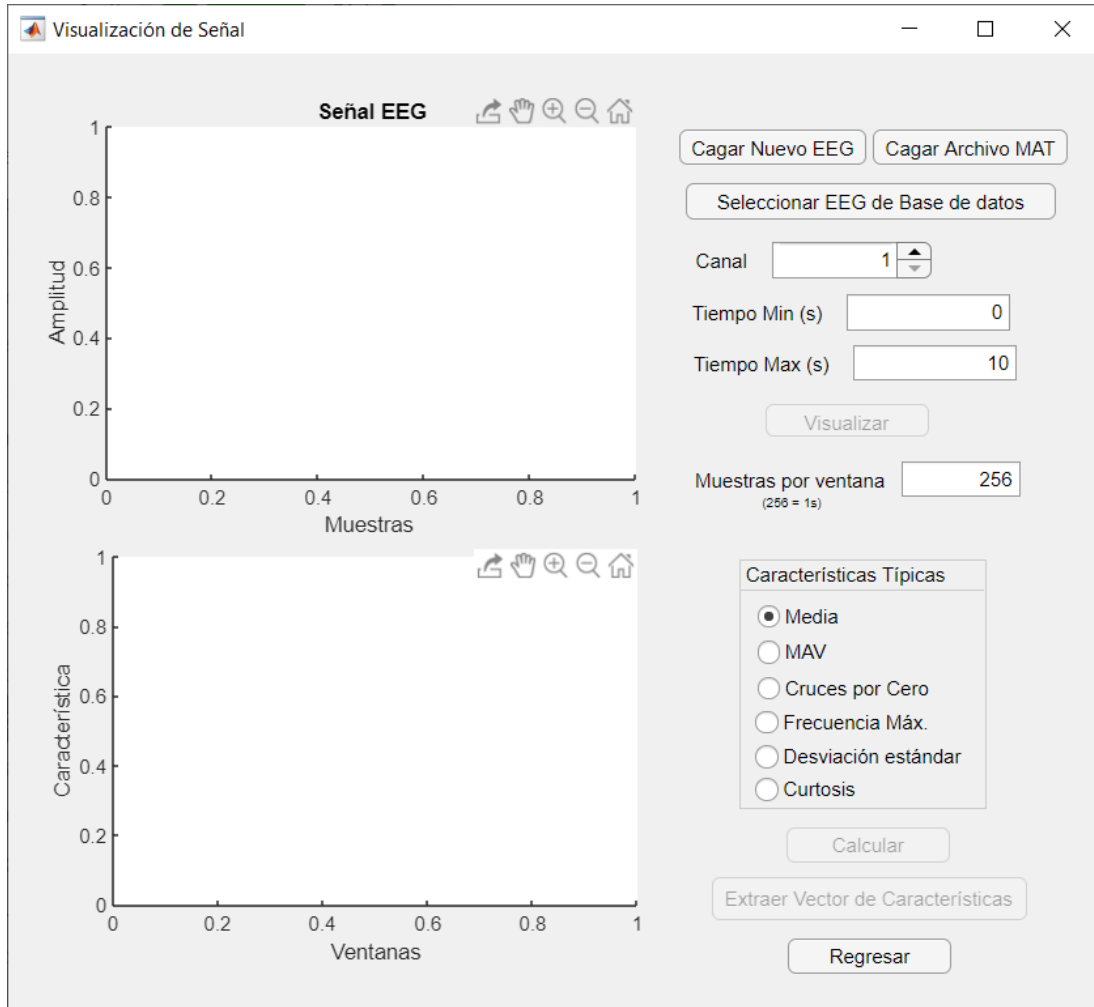


Figura 21: Ventana de selección y visualización.

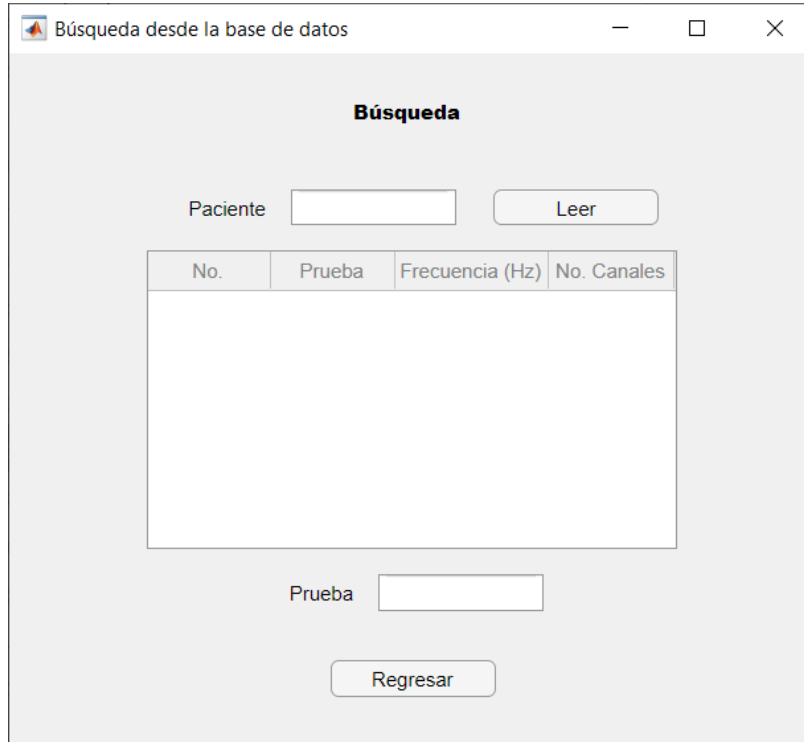


Figura 22: Ventana de búsqueda y selección de la prueba.

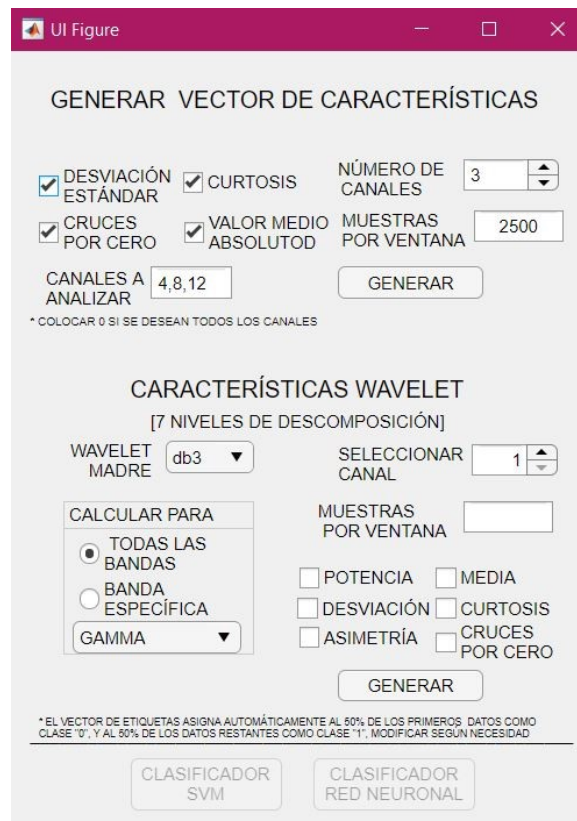


Figura 23: Ventana de extracción de características de la señal EEG.

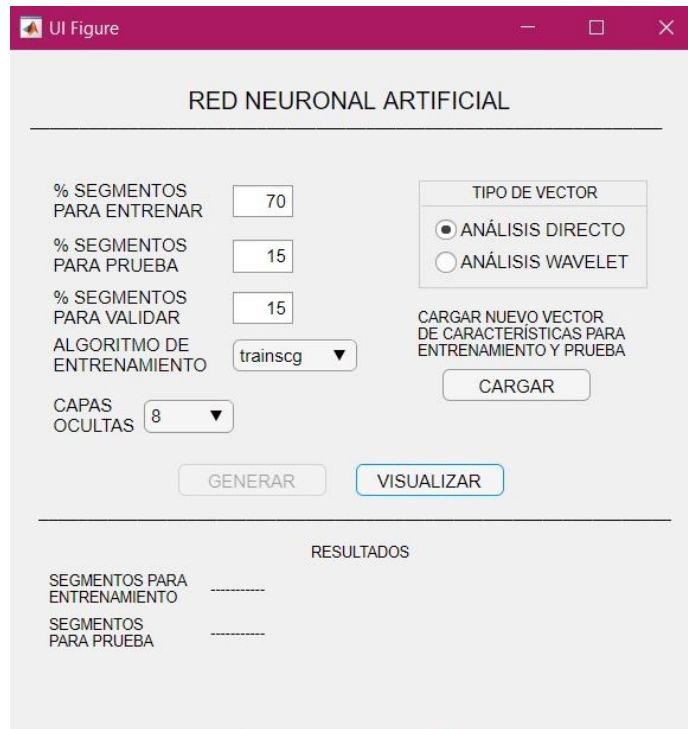


Figura 24: Ventana de implementación de **red neuronal artificial**



Figura 25: Ventana de implementación de **máquina de vectores de soporte**



- Se diseñó una base de datos relacional capaz de almacenar información relevante de pacientes con epilepsia y archivos de electroencefalogramas. En la base de datos no se almacena información personal que permitiera identificar a los pacientes.
- Se recolectaron archivos de señales biomédicas y se determinaron características relevantes para ser almacenadas dentro de la base de datos.
- El tipo de base de datos desarrollada permitió relacionar a un paciente con múltiples pruebas y a una prueba con múltiples datos y canales de actividad electroencefalográfica.
- Se diseñó e implementó una herramienta de *software* para Matlab, la cual es capaz de enviar información a la base de datos, recuperar la información desde la base de datos, y procesar y analizar dicha información.
- Se logró almacenar los registros de los EEG en archivos binarios utilizando funciones para codificar los vectores de datos en bytes de enteros sin signo de 8 bits.
- En lugar de utilizar un formulario en una página web y una interfaz en Matlab por separado, se logró que la interacción con la base de datos y el procesamiento y análisis de la información se pudiera hacer completamente desde Matlab. Esto facilita el uso de la herramienta desarrollada.
- Se desarrolló un archivo ejecutable para instalar el *toolbox* y utilizarlo desde cualquier computadora, siendo una aplicación que cuenta con el acceso a la base de datos y al procesamiento de las señales EEG.



- Para un trabajo futuro, se recomienda que el almacenamiento dato por dato se trabaje en segundo plano dentro del *toolbox*, ya que el tiempo de envío de datos tiende a incrementar si se almacena gran cantidad de datos.
- Al momento de relacionar tablas dentro de la base de datos, se debe de considerar que los campos tengan el mismo cotejamiento, ya que esto compara los caracteres de los datos almacenados.
- Incluir notificaciones o advertencias al usuario dentro del *toolbox* en caso de superarse 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.
- Al presentar la opción de descargar pruebas, incluir un cuadro de selección del tipo de archivo, ya que en este trabajo se descargan como archivos de texto plano .txt.
- Incluir dentro de la base de datos una columna que identifique el tipo de señal biomédica, para tener la opción de almacenar señales EMG o ECG.
- Incluir dentro del *toolbox* opciones de indicar qué tipo de señal biomédica es la que se va a almacenar, con el fin de almacenar EMG o ECG en un futuro.
- Al momento de interactuar con señales de mayor duración o archivos de mayor tamaño, emplear un ordenador con procesador y memoria óptima para la lectura en Matlab, ya que el tiempo de procesamiento puede aumentar.
- Buscar una alternativa de la función *deserialize* [33], ya que presenta errores cuando la data binaria almacenada dentro de la base de datos es de gran tamaño y el vector decodificado supera el tamaño máximo.



- 
- [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%91ales\\_biom%C3%A9dicas\\_accesible\\_desde\\_Internet](https://www.academia.edu/26963088/BaSeBio_base_de_datos_de_se%C3%91ales_biom%C3%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://vivirconepilepsia.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](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](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](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](https://doi.org/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

				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 26: Pacientes almacenados en primer base de datos

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

Figura 27: 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"/>	Editar Copiar Borrar	19	Z005	2020-09-02	14:35:00	100	0	0	[BLOB - 18 B]
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	20	Z005	2020-09-02	14:35:00	100	0	0	[BLOB - 90 B]

Figura 28: 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 29: 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 30: 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 31: Información de pruebas almacenados en base de datos final

Consultas

**Consulta de pacientes y pruebas**

Paciente:

Sexo:

Fecha de Nacimiento:

Antecedentes personales patológicos:

Diagnóstico de prescripción:

Condición:

No.	Prueba	Fecha	Hora	Duración (s)	Frecuencia (Hz)	No. Canales
1	1	1974-07-25	09:00:46	959	256	23
2	2	1974-07-25	13:00:45	3600	256	23
3	5	1974-07-25	09:00:46	959	256	23

**Agregar nuevo archivo**

Fecha del examen:

Hora de inicio:

Duración (s):

Frecuencia (Hz):

No. Canales:

**Descargar pruebas**

Todos los archivos

Seleccionar rango:  -

Seleccionar número:

Figura 32: Consulta dentro del *toolbox*

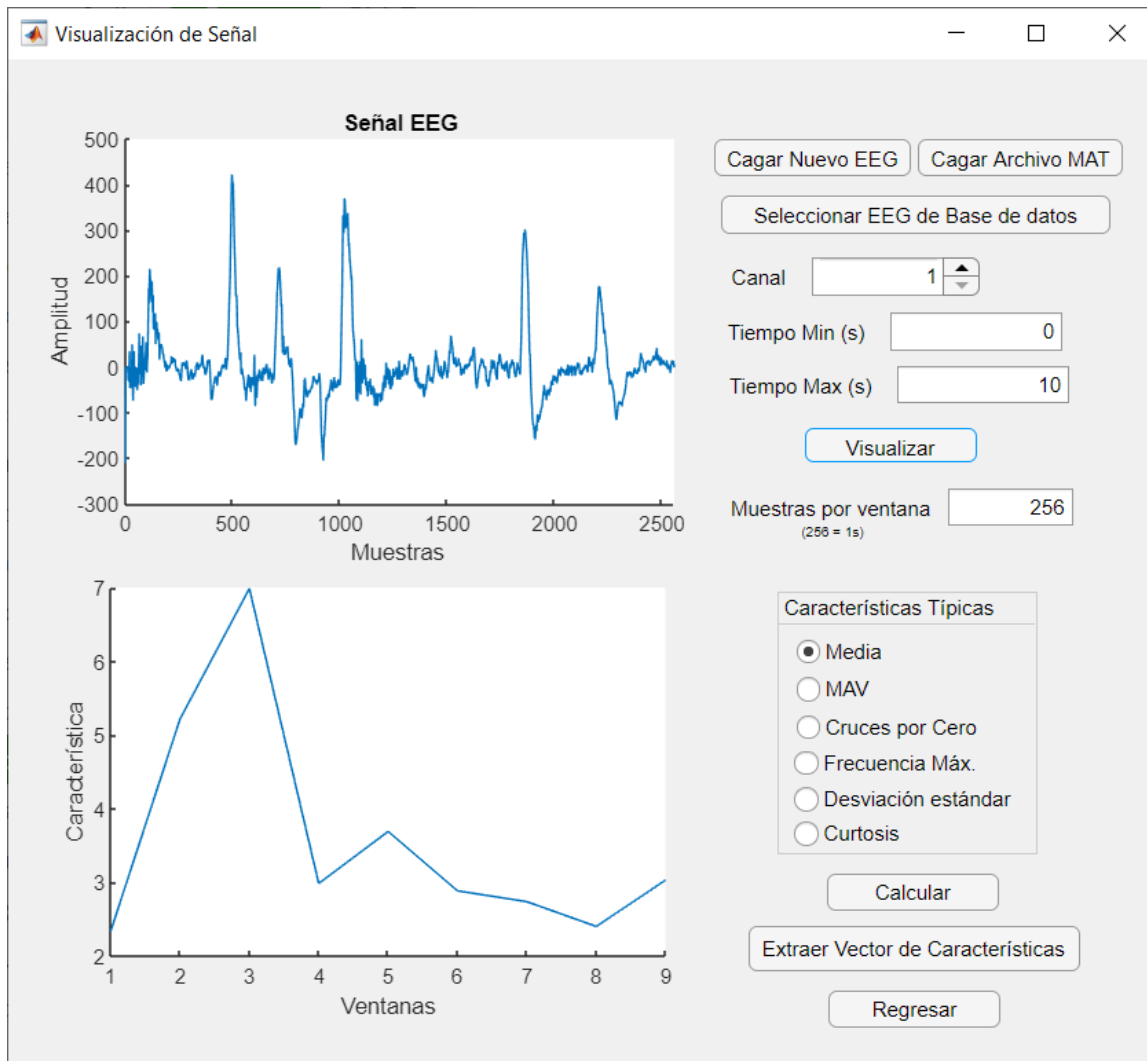


Figura 33: Búsqueda y selección de prueba desde la base de datos

**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. [29](#)

**archivo binario:** Es un archivo que contiene una información codificada en lenguaje binario. [32](#)

**base de datos:** Es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. [18](#)

**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. [20](#), [32](#)

**clave primaria:** Es un campo que identifica de manera única a una fila en una tabla. [20](#), [32](#), [39](#)

**electroencefalograma:** Estudio que se utiliza para detectar problemas relacionados con la actividad eléctrica del cerebro. [13](#), [28](#), [37](#)

**epilepsia:** Trastorno en el que se interrumpe la actividad de las células nerviosas en el cerebro, lo que provoca convulsiones. [11](#), [37](#)

**ERD:** El diagrama entidad-relación es un esquema que representa la estructura global lógica de la base de datos. [23](#), [27](#), [31](#)

**HTML:** Es el lenguaje con el que se define el contenido de las páginas web. [27](#), [29](#)

**MySQL:** Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto. [21](#), [28](#), [31](#), [39](#), [51](#)

**máquina de vectores de soporte:** (*Support Vector Machine, SVM*) es un algoritmo de aprendizaje supervisado que se puede emplear para clasificación binaria o regresión. [44](#), [47](#)

**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. [28](#), [31](#), [39](#)

**red neuronal artificial:** (*Artificial Neural Network, ANN*) es un modelo de computación cuya estructura de capas se asemeja a la estructura interconectada de las neuronas en el cerebro, con capas de nodos conectados. [44](#), [47](#)