

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 Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

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 Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

Vo.Bo.:

(f) _____
Ing. Héctor Hurtarte

Tribunal Examinador:

(f) _____
Ing. Héctor Hurtarte

(f) _____
MSc. Carlos Esquit

(f) _____
Ing. Luis Pedro Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, de diciembre de 2020.

Prefacio	v
Lista de figuras	ix
Lista de cuadros	xi
Resumen	xiii
Abstract	xv
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	9
6. Marco teórico	11
6.1. Epilepsia	11
6.2. Electroencefalograma	12
6.2.1. Características de la actividad cerebral	12
6.2.2. Procedimiento	13
6.2.3. Tipos de EEG	14
6.2.4. Electroencefalógrafo	15
6.3. Bases de datos	16
6.3.1. Clasificación de bases de datos	16
6.3.2. Tipos de campos	17
6.3.3. Tipos de base de datos	17
6.3.4. Sistemas de Gestión de Bases de Datos	18

6.3.5.	Bases de datos Relacionales	18
6.3.6.	Normalización de bases de datos	20
6.3.7.	Lenguaje SQL	20
6.3.8.	Diagrama Entidad-Relación	21
6.3.9.	Algunas bases de datos de señales biomédicas	22
6.4.	Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA	23
7.	Prototipos preliminares	25
7.1.	Creación de base de datos utilizando formulario en página web	25
7.2.	Creación de base de datos y conexión con MATLAB	27
8.	Conclusiones	29
9.	Recomendaciones	31
10.	Bibliografía	33
11.	Anexos	35
12.	Glosario	37

Lista de figuras

1.	Ondas de la señal EEG.	12
2.	Distribución de electrodos.	14
3.	Electroencefalógrafo.	15
4.	Ejemplo de diagrama entidad-relación.	21
5.	Base de datos.	26
6.	Formulario.	26
7.	Base de datos final	27
8.	Diagrama entidad-relación de la base de datos	28

Lista de cuadros

1. Nomenclatura de los electrodos. [13] 14

El presente proyecto tiene como objetivo la creación e implementación de una base de datos de señales biomédicas obtenidas del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, de pacientes con epilepsia. De cada paciente se obtendrán variables cualitativas y cuantitativas que permitirán la clasificación y organización de datos, así como también las señales biomédicas de cada uno de los pacientes, utilizando el *software* de código abierto *phpMyAdmin* para la creación de la base de datos dentro de *MySQL*.

Adicionalmente, se desarrollará el enlace entre la base de datos y el sistema de *MATLAB*, para que se pueda escribir y obtener datos. Esto se implementará para la realización de un sistema de aplicación o *toolbox* que se trabajará en conjunto con María Jesús Angulo Tijerino, quien procesará las señales guardadas dentro de la base de datos en *MATLAB* para la obtención de características, que posteriormente se guardarán nuevamente en la base de datos.

Abstract

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 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, ya que apoyan como una herramienta en la que se puede obtener información de dichas señales sin la necesidad de estar realizando pruebas a las personas de interés, esto con el fin de facilitar la obtención de datos utilizados en las investigaciones.

Este documento tiene como objetivo presentar la elaboración de una base de datos de señales electroencefalográficas de pacientes con epilepsia del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, así como su interacción con el sistema de *MATLAB* para el desarrollo de una herramienta de *software* o *toolbox*, con el fin de realizar la lectura y escritura de datos y características. 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 implementará un sistema de detección de patrones relevantes en señales biomédicas, mediante técnicas y algoritmos basados en el reconocimiento de patrones y métodos de aprendizaje de máquina desarrollado por la estudiante María Jesús Angulo.

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

Las bases de datos, no sólo de señales electroencefalográficas (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 contruyó 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 utilizaon señales EEG obtenidas mediante un Electro-Cap y una Cyton Board de OpenBCI y utilizó la base de datos Sleep-EDF Database para adquirir polisomnografías de múltiples personas junto a sus hipnogramas respectivos, con el objetivo de diseñar un sistema que reproduzca tonos estéreo que generen pulsos binaurales en el cerebro usando lecturas de un electroencefalograma (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].

4.1. Objetivo general

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

4.2. Objetivos específicos

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

CAPÍTULO 5

Alcance

Podemos usar Latex para escribir de forma ordenada una fórmula matemática.

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].

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].

6.2. Electroencefalograma

El electroencefalograma es definido como el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo. Dicho registro posee formas muy complejas que varían mucho con la localización de los electrodos y entre individuos. Esta actividad se manifiesta como líneas onduladas en un registro electroencefalográfico [12].

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 [12] .

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 [13]:

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) [13].

Poseen amplitudes que van desde los $10 \mu V$ en registros sobre el córtex, a $100 \mu V$ en la superficie del cuero cabelludo. Las frecuencias de estas ondas se mueven entre 0.5 y 100 Hz y dependen mucho del grado de actividad del córtex cerebral. La mayoría de las veces estas ondas no poseen ninguna forma determinada, en algunos ritmos normales suelen clasificarse en ritmos α , β , θ y δ , como se observa en la figura 1; en otras poseen características muy específicas de patologías cerebrales como la epilepsia [14].

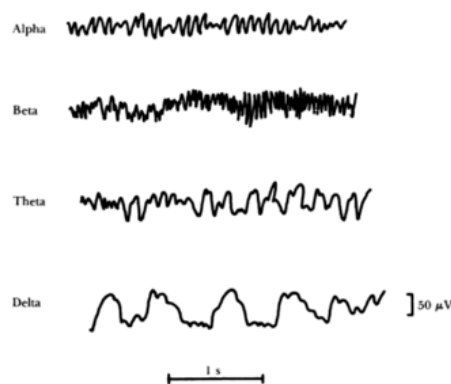


Figura 1: Ondas de la señal EEG.

[14]

Frecuencia

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

Distribución topográfica

Indica el lugar cerebral en el que aparece un fenómeno eléctrico. También hace referencia a la ubicación fisiológica de las distintas frecuencias dependiendo del área cerebral correspondiente. Así, en áreas anteriores, se encuentra el ritmo β y a medida que se desciende a áreas posteriores, va apareciendo el ritmo α . Se utiliza el nombre de los lóbulos cerebrales correspondientes para expresar dicha distribución [13].

Reactividad

Es la capacidad de modificación de un ritmo, ante estímulos como apertura y cierre de ojos, estimulación eléctrica, proceso mental, alertamiento, etc. [13]

6.2.2. Procedimiento

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 [13].

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

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

Actualmente se utilizan unos gorros que llevan incorporados 19 electrodos y se coloca directamente sobre la cabeza del paciente. Los electrodos se unen en un conector y éste, a su vez, conecta con el cabezal del EEG. De aquí se envía la señal al sistema de amplificadores del aparato central del EEG para su transcripción. Existe una nomenclatura para los electrodos, que obedece a la región cerebral sobre la que yacen y una numeración que va de menor a mayor, empezando desde áreas anteriores hacia posteriores y, correspondiendo los números impares al lado izquierdo y los pares al lado derecho, tal y como se muestran en la tabla 1 [13].

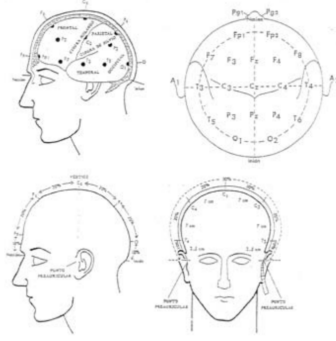


Figura 2: Distribución de electrodos.
[13]

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. [13]

Tipos de montajes. Para definir los tipos de montajes, es importante saber diferenciar entre electrodo, derivación y montaje [13].

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

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

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

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

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

6.2.3. Tipos de EEG

En las unidades de Neurofisiología se realizan los siguientes tipos de EEG [13]:

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

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

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

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

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.



Figura 3: Electroencefalógrafo.

[9]

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 [15].

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 [16].

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

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

6.3.1. Clasificación de bases de datos

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

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

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

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

6.3.2. Tipos de campos

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

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

6.3.3. Tipos de base de datos

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

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

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

6.3.4. Sistemas de Gestión de Bases de Datos

Los Sistemas de Gestión de Base de Datos SGBD (en inglés *DataBase Management System*) son un tipo de software muy específico, dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Se compone de un lenguaje de definición de datos, de un lenguaje de manipulación de datos y de un lenguaje de consulta [15].

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 [16].

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 [16]. 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 [16],

6.3.5. Bases de datos Relacionales

Una base de datos relacional es un tipo de base de datos que almacena y proporciona acceso a puntos de datos relacionados entre sí. Las bases de datos relacionales se basan en el modelo relacional, una forma intuitiva y directa de representar datos en tablas. En una base de datos relacional, cada fila de la tabla es un registro con un ID único llamado *clave* [17].

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 [17].

El modelo relacional es el mejor para mantener la consistencia de los datos en todas las aplicaciones y consistencia de los datos en todas las aplicaciones y copias de la base de datos (denominadas *instancias*). Las bases de datos relacionales se destacan en este tipo de consistencia de datos, lo que garantiza que múltiples instancias de una base de datos tengan los mismos datos todo el tiempo [17].

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 [18].

Cardinalidad de las relaciones

El diseño de relaciones entre las tablas de una base de datos puede ser la siguiente [15]:

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

6.3.6. Normalización de bases de datos

Cuando se trabaja con bases de datos relacionales, rara vez se hace con una única tabla. Normalmente se manejan arquitecturas en las cuales los datos se clasifican en tablas separadas en función de su significado. La necesidad de hacer consultas cruzadas para obtener datos guardados en tablas diferentes en las que da origen al concepto que sustenta el modelo relacional de bases de datos[19].

En principio, la información de una base de datos relacional podría guardarse sin problemas en una sola tabla, con la ventaja de que no sería necesario interconectar diversas tablas ni utilizar la compleja sintaxis derivada de las consultas a varias tablas diferentes. Sin embargo, es aquí precisamente donde reside la fuerza del modelo relacional, pues el reparto de información en varias tablas contribuye a reducir las entradas doble, un proceso que se conoce como “normalización” [19].

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. [20].

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 [16].

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* [16].

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 [16].

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 [15].

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 [21].

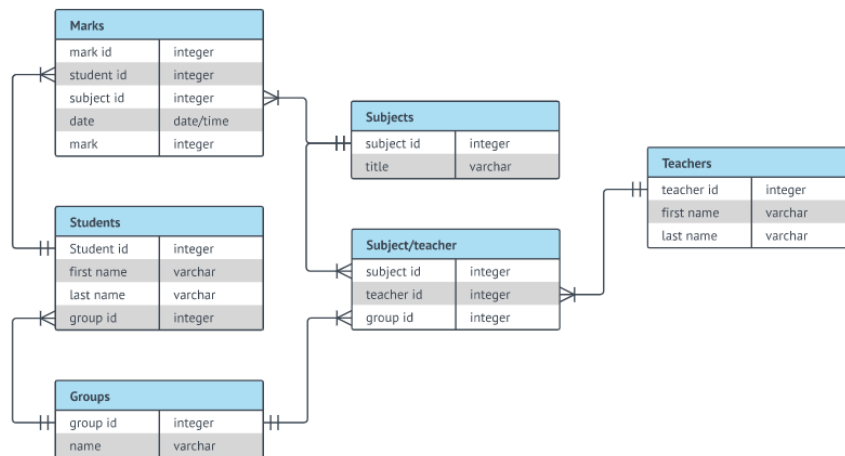


Figura 4: Ejemplo de diagrama entidad-relación.
[21]

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 [22].

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 [23].

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 [24].

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 [25].

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 esta experiencia y con la finalidad de que cada paciente sea atendido de manera integral, para lograr un control efectivo y hasta la cura

7.1. Creación de base de datos utilizando formulario en página web

La base de datos de ejemplo se creó con la estructura que se tiene pensada para la base de datos real para los datos de *HUMANA*, considerando las variables de sexo, edad y condición médica (si el paciente está sano o tiene presenta la epilepsia). Se utilizó el *software phpMyAdmin* para la creación de la base de datos en *MySQL*, tomando como servidor la computadora de trabajo. La base de datos creada se puede observar en la figura 5, 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.

Se creó un formulario utilizando código *html* en una página web con el servidor *Apache24* previamente instalado, ya que de este se puede seleccionar el archivo que se desee cargar a la base de datos. Adicionalmente, se creó un archivo con código *php* para la conexión del servidor con la base de datos, adicionalmente éste código se encarga de almacenar los archivos dentro de una carpeta en el servidor. Ambos códigos se relacionan dentro del formulario creado, en el que la imagen seleccionada es guardada automáticamente dentro de la base de datos. En la figura 6, se puede observar que la página cuenta con un botón de selección de archivo y una entrada de texto, en el que se puede indicar el *id* del paciente al que se le desee agregar la señal. Es importante mencionar que el *id* debe ser escrito exactamente igual al escrito en la base de datos de la figura 5, ya que la figura puede almacenarse para un *id* nuevo con los otros campos vacíos.

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 5: Base de datos.

Archivo:
Z029.txt

Paciente:

Figura 6: Formulario.

Para este ejemplo, se utilizó la base de datos creada por [26], esta incluye 5 set de datos: A,B,C,D y E; cada set contiene 100 señales EEG de un solo canal de 24s de grabación de 5 pacientes sanos y 5 pacientes epilépticos, todas las señales están muestreadas a una frecuencia de 173.6Hz. El set A y B corresponden a señales de pacientes sanos con ojos abiertos y cerrados respectivamente. Los sets C y D contienen señales de pacientes epilépticos candidatos a cirugía, en lapsos sin crisis epilépticas, el set E corresponde a señales de pacientes epilépticos que experimentan una crisis. Es importante mencionar que se utilizó el set A para los primeros 50 pacientes. El nombre de los archivos para cada paciente es su respectivo *id*, por lo que éste debe coincidir al momento de ingresar al formulario. Además, en el código *php* se especificó que los archivos admitidos fueran .txt, ya que estos son los utilizados para el ejemplo, por lo que cualquier otro tipo de archivo no debe ser permitido almacenarlo en dentro de la base de datos.

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 7, 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 7: Base de datos final

7.2. Creación de base de datos y conexión con MATLAB

De forma similar a la base de datos creada anteriormente, e utilizó el *software 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 8 que representa el EDR de la base de datos desarrollada con sus respectivas relaciones entre tablas.

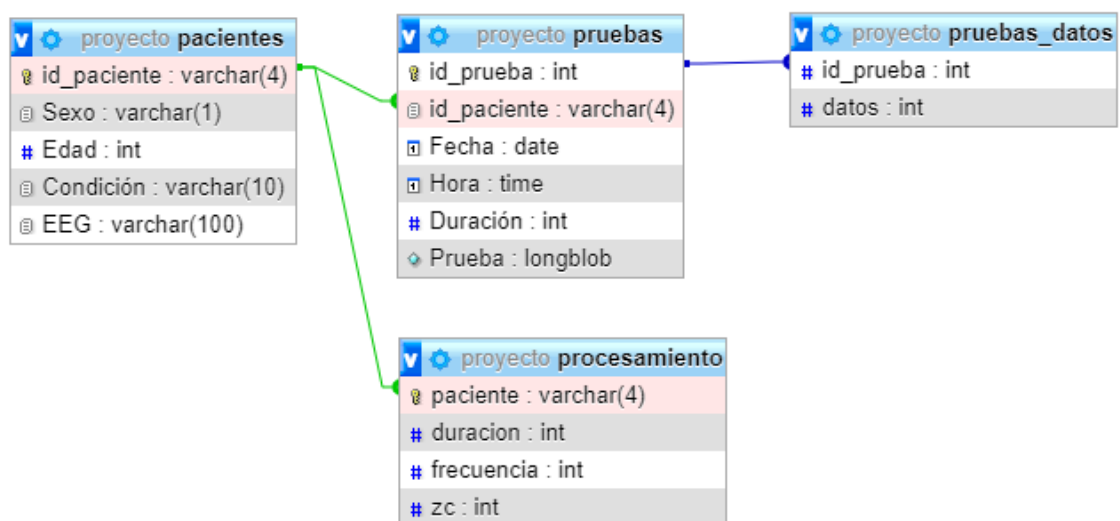


Figura 8: Diagrama entidad-relación de la base de datos

CAPÍTULO 8

Conclusiones

CAPÍTULO 9

Recomendaciones

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

- [11] T. Lee y J. Chan, “Factores que afectan el estado cognitivo de personas que sufren epilepsia”, *Revista de neurologia*, vol. 34, n.º 9, págs. 861-865, 2002.
- [12] (Dic. de 2018). Electroencefalografía (EEG), dirección: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>.
- [13] 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>.
- [14] J. Poblet, *Introducción a la bioingeniería*, ép. Mundo Electronico Series. Marcombo, 1988, ISBN: 9788426706805. dirección: <https://books.google.com.mx/books?id=aqcaSGADoo4C>.
- [15] D. P. Valdés. (oct. de 2007). ¿Qué son las bases de datos?, dirección: <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>.
- [16] 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>.
- [17] *¿Qué es una base de datos relacional?* Dirección: <https://www.oracle.com/ar/database/what-is-a-relational-database/>.
- [18] *Integridad de las Bases de Datos*. dirección: https://www.ecured.cu/Integridad_de_las_Bases_de_Datos.
- [19] *Bases de datos relacionales*. dirección: <https://www.ionos.es/digitalguide/hosting/cuestiones-tecnicas/bases-de-datos-relacionales/>.
- [20] M. P. Castañeda, *Introducción*. dirección: https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/872/mod_resource/content/1/contenido/index.html.
- [21] *Qué es un diagrama entidad-relación*. dirección: https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-entidad-relacion#section_7.
- [22] PhysioNet. (1999). PhysioNet- the research resource for complex physiologic signals., dirección: <http://www.physionet.org/>.
- [23] (Ago. de 2016). PhysioBank, dirección: <https://archive.physionet.org/physiobank/>.
- [24] A. P. Association. (2012). PsycTherapy, dirección: <http://www.apa.org/pubs/databases/psyctherapy/index.aspx>.
- [25] P. A. De Armas JL, “Development of a database system for electrophysiological signals”, PubMed, 1-2, 1995.
- [26] 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. 061907, ene. de 2002. DOI: 10.1103/PhysRevE.64.061907.

CAPÍTULO 11

Anexos

CAPÍTULO 12

Glosario

fórmula Una expresión matemática. 9

latex Es un lenguaje de marcado adecuado especialmente para la creación de documentos científicos. 9