

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. Electroencefalógrafo	13
6.3. Bases de datos	13
6.3.1. Clasificación de bases de datos	14
6.3.2. Tipos de campos	14
6.3.3. Tipos de base de datos	15
6.3.4. Algunas bases de datos de señales biomédicas	15
6.4. Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA	16

7. Resultados	17
7.1. Base de datos	17
7.2. Formulario para almacenamiento de archivos	17
7.3. Resultado final	19
8. Conclusiones	21
9. Recomendaciones	23
10. Bibliografía	25
11. Anexos	27
12. Glosario	29

Lista de figuras

1.	Ondas de la señal EEG.	12
2.	Electroencefalógrafo.	13
3.	Base de datos.	18
4.	Formulario.	18
5.	Base de datos final	19

Lista de cuadros

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

CAPÍTULO 1

Introducción

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 utilizaorn 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] .

Poseen amplitudes que van desde los $10 \mu\text{V}$ en registros sobre el córtex, a $100 \mu\text{V}$ 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 [13].

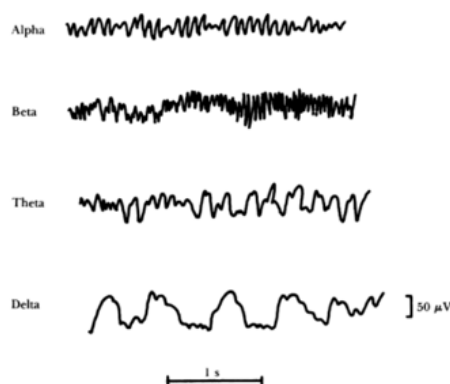


Figura 1: Ondas de la señal EEG.

[13]

Las ondas α 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 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 [13].

6.2.1. 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 2: 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 [14].

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.

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 [14].

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. 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 mescuenta con aproximadamente 45000 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 uqe se encuentran en PhysioNet [15].

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 muerde 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 [16].

PsycTherapy es una base de datos de la American Psychological Association que contiene aproximadamente 300 videos 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 [17].

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 [18].

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. Base de datos

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 3, 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.

7.2. Formulario para almacenamiento de archivos

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 4, se puede observar que la página cuenta con un botón de selección de archivo y una entrada de texto, en el que se puede indicar el *id* del paciente al que se le desea agregar la señal. Es importante mencionar que el *id* debe ser escrito exactamente

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 3: Base de datos.

Archivo:

Seleccionar archivo

Z029.txt

Paciente:

Z029

Guardar

Figura 4: Formulario.

igual al escrito en la base de datos de la figura 3, ya que la figura puede almacenarse para un *id* nuevo con los otros campos vacíos.

Para este ejemplo, se utilizó la base de datos creada por [19], esta incluye 5 set de datos: A,B,C,D y E; cada set contiene 100 señales EEG de un solo canal de 24s de grabación de 5 pacientes sanos y 5 pacientes epilépticos, todas las señales están muestreadas a una frecuencia de 173.6Hz. El set A y B corresponden a señales de pacientes sanos con ojos abiertos y cerrados respectivamente. Los sets C y D contienen señales de pacientes epilépticos candidatos a cirugía, en lapsos sin crisis epilépticas, el set E corresponde a señales de pacientes epilépticos que experimentan una crisis. Es importante mencionar que se utilizó el set A para los primeros 50 pacientes. El nombre de los archivos para cada paciente es su respectivo *id*, por lo que éste debe coincidir al momento de ingresar al formulario. Además, en el código *php* se especificó que los archivos admitidos fueran .txt, ya que estos son los utilizados para el ejemplo, por lo que cualquier otro tipo de archivo no debe ser permitido almacenarlo en dentro de la base de datos.

7.3. Resultado final

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 5, 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 5: Base de datos final

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

- [11] T. Lee y J. Chan, “Factores que afectan el estado cognitivo de personas que sufren epilepsia”, *Revista de neurologia*, vol. 34, n.º 9, págs. 861-865, 2002.
- [12] (Dic. de 2018). Electroencefalografía (EEG), dirección: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>.
- [13] J. Poblet, *Introducción a la bioingeniería*, ép. Mundo Electronico Series. Marcombo, 1988, ISBN: 9788426706805. dirección: <https://books.google.com.mx/books?id=aqcaSGADoo4C>.
- [14] D. P. Valdés. (oct. de 2007). ¿Qué son las bases de datos?, dirección: <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>.
- [15] PhysioNet. (1999). PhysioNet- the research resource for complex physiologic signals., dirección: <http://www.physionet.org/>.
- [16] (Ago. de 2016). PhysioBank, dirección: <https://archive.physionet.org/physiobank/>.
- [17] A. P. Association. (2012). PsycTherapy, dirección: <http://www.apa.org/pubs/databases/psyctherapy/index.aspx>.
- [18] P. A. De Armas JL, “Development of a database system for electrophysiological signals”, PubMed, 1-2, 1995.
- [19] 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