
Herramienta de Software con una Base de Datos Integrada para el Estudio de la Epilepsia - Fase II

Jorge Diego Manrique Sáenz



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Herramienta de Software con una Base de Datos Integrada
para el Estudio de la Epilepsia - Fase II**

Trabajo de graduación presentado por Jorge Diego Manrique Sáenz
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

Vo.Bo.:

(f) _____
Ing. Estuardo Mancio

Tribunal Examinador:

(f) _____
Ing. Estuardo Mancio

(f) _____
MSc. Carlos Esquit

(f) _____
Ing. Luis Pedro Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de mayo de 2022.

Lista de figuras	V
Lista de cuadros	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Justificación	5
4. Objetivos	6
5. Alcance	7
6. Marco teórico	8
6.1. Epilepsia	8
6.1.1. Tipos de Epilepsia	8
6.1.2. Tipos de convulsiones	9
6.2. Electroencefalograma	9
6.3. Bases de datos	9
6.3.1. Organización	10
6.3.2. Conceptos básicos	11
6.4. Aprendizaje automático	11
6.4.1. Aplicación en la medicina y epilepsia	11
7. Primer prototipo	12
8. Segundo prototipo	17
9. Tercer prototipo	21

10.Modos de implementación	27
11.Conclusiones	28
12.Recomendaciones	29
13.Bibliografía	30

Lista de figuras

1.	Estructura de la base de datos desarrollada en la fase I [1].	4
2.	Aplicación desarrollada en Matlab para carga de las señales EEG [1].	4
3.	Señal EEG normal vs señal EEG durante una convulsión. [9].	10
4.	Diagrama BD en MySQL.	12
5.	Arquitectura preliminar. Servidor local vs servidor en la nube.	14
6.	Entidades y atributos agregados al modelo existente.	14
7.	Primer prototipo - Pantalla para agregar un nuevo usuario desde el módulo de administración de usuarios.	15
8.	Nueva pantalla para el inicio de sesión.	16
9.	Pantalla principal de administración de usuarios.	17
10.	Pantalla "Crear usuario" segundo prototipo.	18
11.	Diagrama Entidad-Relación incluyendo nueva entidad "usuarios".	19
12.	Pantalla de inicio de sesión con link de "Recuperar contraseña".	21
13.	Pantalla principal con accesos a módulo desarrollado por David Vela.	22
14.	Pantalla de creación de usuarios.	23
15.	Pantalla de configuración.	23
16.	Creación de usuarios con roles predefinidos o personalizados.	24
17.	Pantalla modificada de agregar pacientes.	24
18.	Pantalla modificada de consultas.	25
19.	Nueva pantalla para editar usuarios.	25
20.	Modelo relacional tercer prototipo.	26

Lista de cuadros

1. Programa EEG - Base de datos utilizada. 13
2. Tipos de usuarios definidos y sus permisos en primer prototipo. 15

Con el fin de mejorar la herramienta para el estudio de la epilepsia desarrollada en la fase I por María Fernanda Pineda, tesis “Diseño e Implementación de una Base de Datos de Señales Biomédicas de Pacientes con Epilepsia”[1] y expandir las funcionalidades en conjunto con el desarrollo para la tesis “Automatización del Proceso de Anotación de Señales EEG de Pacientes con Epilepsia por Medio de Técnicas de Aprendizaje Automático”[1] realizado por David Vela. Se realizaron modificaciones a la herramienta para que el Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional HUMANA cuente con un programa que les resuelva ciertas dificultades que se les presentan y además a reducir tiempos en los procesos internos como lo es la evaluación de las señales electroencefalográficas de los pacientes.

Para esto se evaluaron los programas y procesos que utilizan actualmente en HUMANA para la captura de los encefalogramas ya que para poder presentar una herramienta funcional y útil también es necesario eliminar tareas repetidas que al final cuestan tiempo importante y pueden causar errores involuntarios.

Con las modificaciones a la herramienta de la fase I se buscó incluir funcionalidades que permitan aportar valor a futuros proyectos que sigan esta línea de investigación. Se buscó principalmente expandir el modelo relacional de la base de datos para poder almacenar características y clasificadores para el análisis automático de señales EEG así como también poder almacenar información confidencial de forma segura. Para poder almacenar la información de forma segura se implementó un módulo de gestión de usuarios y sus permisos correspondientes.

Por último, después de haber realizado las modificaciones y mejoras correspondientes se propusieron modos para el uso de la herramienta de forma remota. Esto debido a que la presente situación mundial obliga a buscar alternativas para poder trabajar de forma remota por razones de seguridad.

In order to improve the tool for the study of epilepsy developed in phase I by María Fernanda Pineda, thesis "Design and Implementation of a Database of Biomedical Signals of Patients with Epilepsy"[1] and expand the functionalities in conjunction with the development for the thesis "Automation of the EEG Annotation Process of Patients with Epilepsy using Machine Learning Techniques"[1] carried out by David Vela. Modifications were made to the tool so that HUMANA Center for Epilepsy and Functional Neurosurgery has a program that solves certain difficulties that arise and also reduces times in internal processes such as the evaluation of electroencephalographic signals of the patients.

For this, the programs and processes currently used in HUMANA for capturing encephalograms were evaluated, since in order to present a functional and useful tool it is also necessary to eliminate repeated tasks that cost significant time and can cause involuntary errors.

With the modifications to the phase I tool, it was sought to include functionalities that allow adding value to future projects that follow this line of research. The main aim was to expand the relational model of the database to be able to store characteristics and classifiers for the automatic analysis of EEG signals as well as to be able to store confidential information in a secure way. In order to store the information safely, a user management module and its corresponding permissions were implemented.

Finally, after having made the corresponding modifications and improvements, alternatives were proposed for using the tool remotely. This is due to the fact that the current world situation forces us to look for alternatives to be able to work remotely for security reasons.

CAPÍTULO 1

Introducción

La información siempre ha sido de gran importancia para la sociedad y por lo tanto siempre ha sido importante buscar formas de trasladarla y preservarla de forma eficiente. Las bases de datos han tomado un papel muy importante ya que permiten almacenar la información de forma estructurada. Almacenar la información de forma estructurada permite realizar búsquedas de forma eficiente entre otras cosas.

Almacenar señales EEG y datos de pacientes en una base de datos permite llevar un mejor control del estado de salud del paciente ya que es posible consultar el historial rápidamente. Además al tener estas señales almacenadas es posible explotarlas y obtener *insights* que pueden ayudar a curar enfermedades.

Las bases de datos tambien toman un papel importante en el desarrollo de programas, aplicaciones, páginas web y juegos. Permiten llevar control de preferencias del usuario, permisos dentro de la aplicación y avances en los juegos entre otras cosas. Sin las bases de datos no seria posible llevar control eficientemente de varias cosas.

Algunas bases de datos ahora incorporan librerías de *machine learning* y capacidades para incluir modelos desarrollados en Python o R. Esto busca poder explotar la información de una forma más eficiente ya que no es necesario mover la información de la base de datos a otro programa para analizarla. Además de Python y R hay otras alternativas para el desarrollo de modelos predictivos utilizando *machine learning*. Entre las alternativas se encuentra Matlab. Matlab es una herramienta que permite realizar una variedad de cálculos y simulaciones utilizando distintos *toolbox*.

Matlab, además de que permite utilizar *machine learning* tambien permite el desarrollo de aplicaciones por medio del *App Designer*. El *App Designer* brinda un *framework* intuitivo con características como el *drag and drop* en combinación con *scripting* que permiten optimizar el tiempo de desarrollo de las aplicaciones. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó MySQL como base de datos y Matlab. En la base de datos se expandió el modelo relacional existente. Y en Matlab se modificó la aplicación previamente desarrollada para aumentar su funcionalidad y alcance.

La epilepsia es una de las condiciones neurológicas más comunes, sin embargo, aún no logramos comprenderla ni se cuenta con un tratamiento específico. La epilepsia es una condición que causa convulsiones recurrentes sin provocar. Una convulsión epiléptica es causada por señales neurológicas anormales. La epilepsia es una de las condiciones neurológica más comunes, aproximadamente 50 casos nuevos por cada 100,000 habitantes anualmente. Aproximadamente el 1 % de la población mundial sufre de epilepsia y un tercio de los pacientes sufre de epilepsia refractaria. La epilepsia refractaria se refiere a que las convulsiones no pueden ser controladas por los medicamentos antiepilépticos mas recomendados o utilizados. El 75 % de los pacientes con epilepsia lo empiezan a padecer en la niñez [2].

Las convulsiones epilépticas son clasificadas dentro de 3 categorías: Generalizada, focal o parcial y espasmo epiléptico. Las convulsiones generalizadas empiezan en las redes neuronales bilaterales. Las convulsiones focales o parciales se originan en las redes neuronales de un hemisferio del cerebro. Una convulsión puede iniciar como focal o parcial y luego convertirse en generalizada. Las convulsiones pueden originarse en la corteza o en estructuras subcorticales. Utilizado historia detallada, información clave obtenida por EEG y otra información relevante generalmente un médico puede clasificar las convulsiones/tipo de epilepsia y generar un diagnostico y un plan para el tratamiento [2].

Una base de datos relacional es un tipo de base de datos que almacena y provee acceso a datos que están relacionados a otros. Estas bases de datos se basan en un modelo, intuitivo, y fácil para almacenar la información en tablas. En estas tablas cada fila es un registro con un número de identificación único llamado “llave”. Cada columna de la tabla representa un atributo con información específica del registro [3].

El aprendizaje automático o *machine learning* es utilizado ampliamente en las áreas de la salud y la biología. Investigadores y científicos lo utilizan en distintas áreas ya que permite el análisis de mucha información y permite visualizar alternativas para diferentes aplicaciones. El aprendizaje automático se puede utilizar para la clasificación y detección de epilepsia. También se ha utilizado para análisis de señales EEG ya que de esta forma se puede descubrir información importante de la señal [4].

El Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional HUMANA, es una organización formada por profesionales en Neurociencias que trabajan en beneficio de los pacientes que padecen problemas Neurológicos de difícil control, Epilepsia, Parkinson, Tumores Cerebrales, Columna Vertebral, Movimientos Anormales entre otros. Humana es el Centro de Referencia en Neurociencias para Guatemala y Centro América donde los médicos cuentan con los mejores recursos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cerebrales [5].

Las tesis desarrolladas por María Fernanda Pineda [1] y María Jesús Aangulo [6] consistieron en el desarrollo de una herramienta para análisis de señales electroencefalográficas y diseño de una base de datos para almacenar las señales grabadas por HUMANA. Esta base de datos almacena información sobre los pacientes como edad, datos de la señal como frecuencia y número de canales, pero no nombres de los pacientes ya que busca conservar la confidencialidad de los pacientes.

La base de datos considera hasta 35 canales de los cuales 20 son obligatorios y almacena la información en 3 tablas, una para datos del paciente, otra para datos descriptivos de la prueba y la última con las grabaciones de los diferentes canales de la señal. La aplicación para grabar las señales fue desarrollada en Matlab por lo que es necesario tener instalado este programa para poder ejecutarlo o generar un ejecutable previamente.

El proceso para importar las señales a la base de datos es el siguiente: Primero exportar la señal en el programa utilizado en HUMANA para la captura de la señal encefalográfica. Segundo. Llenar el formulario con los datos del paciente en el programa desarrollado en Matlab por Maria Fernanda Pineda. Y por último importar el archivo .edf.

Actualmente el flujo no es automático y posee pasos duplicados ya que los datos del paciente se ingresan 2 veces. Primero en el programa utilizado para capturar las señales EEG. Y segundo en la herramienta desarrollada en Matlab. Esto incrementa el tiempo utilizado y da lugar a errores no voluntarios a la hora de ingresar los datos.

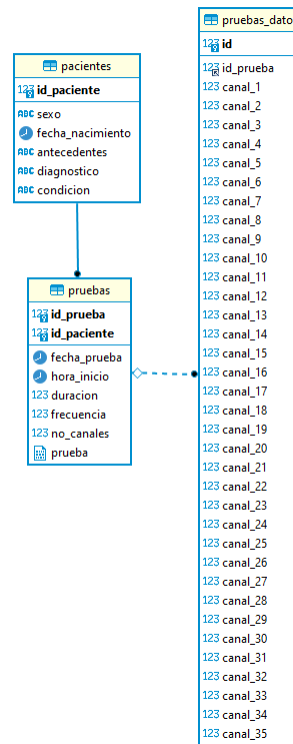


Figura 1: Estructura de la base de datos desarrollada en la fase I [1].



Figura 2: Aplicación desarrollada en Matlab para carga de las señales EEG [1].

Actualmente HUMANA realiza el análisis de las señales EEG manualmente. Como es un proceso manual y en situaciones hay señales muy largas los tiempos de análisis pueden variar significativamente. Ya que es un proceso manual es necesario tomar en cuenta que se pueden cometer errores y obviar información importante de la señal. Por lo tanto, automatizar el proceso es de suma importancia y la calidad del análisis esta directamente relacionado con la calidad de la información.

La herramienta actual desarrollada por Maria Fernanda Pineda [6] permite el almacenamiento de las señales en una base de datos, pero no considera el almacenamiento ni visualización de los datos resultantes de la anotación de las señales EEG ni tampoco existen usuarios con diferentes permisos para mantener la confidencialidad de cierta información. Esto es importante ya que los resultados deben almacenarse en algún lugar. También es de suma importancia poder visualizar las anotaciones realizadas a las señales y *los resultados de los análisis efectuados* Además no podemos obviar la responsabilidad de mantener la confidencialidad de los datos de los pacientes.

Se busca dejar un programa funcional que permita administrar usuarios y sus permisos y que sea de mucha utilidad para automatizar las tareas lo más posible en el día a día de HUMANA. También es necesario realizar modificaciones a las tablas definidas y a la aplicación para integrar el uso de diferentes usuarios. Por ejemplo, existe una tabla en la base de datos que no cuenta con una llave primaria y la forma de autenticar credenciales para la conexión a la base de datos es por medio de un archivo .csv lo cual no es practico ni lo correcto.

Objetivo General

Mejorar la herramienta de *software* desarrollada en la fase anterior del proyecto de estudio de la epilepsia, y adaptarla para su uso en el Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional (HUMANA).

Objetivos Específicos

- Expandir la funcionalidad de la herramienta de *software* desarrollada en la fase anterior.
- Optimizar el modelo y funcionalidad de la base de datos con que cuenta la herramienta.
- Desarrollar una versión de la herramienta compatible con las estaciones de trabajo de HUMANA.
- Integrar en la aplicación un módulo de control de usuarios y sus permisos.
- Proponer un modo para la operación remota de la herramienta.

Este proyecto consistió en mejorar la herramienta para el estudio de la epilepsia desarrollada en la fase I por María Fernanda Pineda, tesis “Diseño e Implementación de una Base de Datos de Señales Biomédicas de Pacientes con Epilepsia”[1] y expandir las funcionalidades en conjunto con el desarrollo para la tesis “Automatización del Proceso de Anotación de Señales EEG de Pacientes con Epilepsia por Medio de Técnicas de Aprendizaje Automático”[1] realizado por David Vela. Se expandió el modelo relacional de la base de datos para poder almacenar las características, clasificadores, anotaciones, información confidencial de los pacientes y control de acceso para diferentes usuarios a la herramienta.

El control de acceso permite definir roles con permisos personalizados. Estos roles evitan que por error o por otras razones se alteren datos sensibles y/o importantes. Además permite controlar quienes tiene acceso a información confidencial. Se espera que las nuevas tablas y controles de acceso ayuden a HUMANA a realizar sus tareas de una forma más eficiente, segura y ordenada.

6.1. Epilepsia

La epilepsia es una condición que causa convulsiones recurrentes sin provocar. Una convulsión epiléptica es causada por señales neurológicas anormales. La epilepsia es una de las condiciones neurológica más comunes, aproximadamente 50 casos nuevos por cada 100,000 habitantes anualmente. Aproximadamente el 1 % de la población mundial sufre de epilepsia y un tercio de los pacientes sufre de epilepsia refractaria. El 75 % de los pacientes con epilepsia lo empiezan a padecer en la niñez [2].

La epilepsia afecta tanto a hombres como a mujeres de todas las razas, orígenes étnicos y edades [7].

Los síntomas de las convulsiones pueden variar ampliamente. Algunas personas con epilepsia simplemente miran de manera fija por unos segundos durante una convulsión, mientras que otras mueven repetidamente los brazos o las piernas. Tener una sola convulsión no significa que padezcas epilepsia. Por lo general, se requieren al menos dos convulsiones no provocadas para determinar un diagnóstico de epilepsia [7].

6.1.1. Tipos de Epilepsia

Las epilepsias se clasificaban según su sitio de inicio, si la causa era conocida o no lo era. El sistema de clasificación actual toma en cuenta las causas estructurales y genéticas e incluye el tipo de convulsión, el diagnóstico del síndrome y el grado de deterioro funcional. La forma de clasificar seguirá evolucionando a medida que se conozca mas de la epilepsia y de la genética [2].

6.1.2. Tipos de convulsiones

Las convulsiones epilépticas son clasificadas dentro de 3 categorías: Generalizada, focal o parcial y espasmo epiléptico. Las convulsiones generalizadas empiezan en las redes neuronales bilaterales. Las convulsiones focales o parciales se originan en las redes neuronales de un hemisferio del cerebro. Una convulsión puede iniciar como focal o parcial y luego convertirse en generalizada. Las convulsiones pueden originarse en la corteza o en estructuras subcorticales [2].

6.2. Electroencefalograma

El electroencefalograma (EEG) es una grabación de la actividad cerebral. Para obtener estas grabaciones se utilizan pequeños sensores pegados a la cabeza en diferentes posiciones los cuales captan las señales eléctricas generadas por las células en el cerebro cuando estas se comunican entre sí [8].

Estas señales son grabadas por una maquina para luego ser examinadas por un medico para determinar si existe alguna anormalidad en ellas. La grabación y evaluación de estas señales se lleva acabo por especialista altamente entrenados llamados neurofisiólogos clínicos [8].

Una EEG puede ser utilizada para diagnosticar y monitorear varias condiciones que afectan el cerebro. Puede ayudar a identificar la causa de ciertos síntomas como por ejemplo convulsiones o problemas para recordar, pero también puede ayudar a saber más sobre alguna condición ya diagnosticada [8].

El uso principal para los electroencefalogramas consiste en la detección e investigación de la epilepsia. Los EEG ayudan al medico a identificar el tipo de epilepsia y el motivo por el cual las convulsiones son causadas como también el mejor método de tratamiento [8].

Además, los EEG también pueden ser utilizados para investigar otros problemas o condiciones como por ejemplo: demencia, golpes en la cabeza, tumores cerebrales, inflamación cerebral y desordenes de sueño [8].

6.3. Bases de datos

Una base de datos relacional es un tipo de base de datos que almacena y provee acceso a datos que están relacionados a otros. Estas bases de datos se basan en un modelo, intuitivo, y fácil para almacenar la información en tablas. En estas tablas cada fila es un registro con un número de identificación único llamado “llave”. Cada columna de la tabla representa un atributo con información específica del registro [3].

El objetivo de una base de datos es recolectar y mantener información de tal forma que esté disponible para referencia de operaciones o análisis para la toma de decisiones. Las bases de datos deben cumplir con un numero de requerimientos técnicos. Por ejemplo: La data debe ser accesible para varios usuarios, la información debe ser recolectada desde

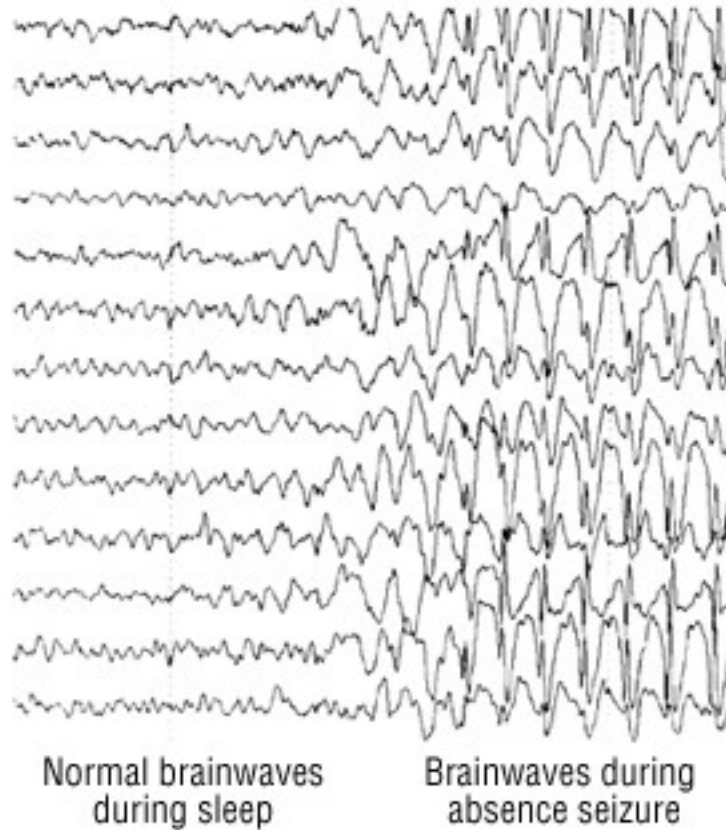


Figura 3: Señal EEG normal vs señal EEG durante una convulsión. [9].

que se genera, esta información puede tenerse almacenada por mucho tiempo sin necesidad de utilizarse inmediatamente, la lectura y escritura de información debe de poder realizarse constantemente y la información debe almacenarse de tal forma que este relacionada y pueda buscarse fácilmente [10].

6.3.1. Organización

El modelo de entidad-relación para bases de datos fue diseñado y desarrollado por Peter Chen del MIT en 1976. Es una forma intuitiva y conceptual de representar el modelo de datos en una base de datos. Normalmente se representa con un diagrama de entidad-relación. El diagrama de entidad-relación permite visualizar las tablas, sus atributos, llaves primarias y foráneas, así como las relaciones que existen entre tablas. En una base de datos relacional es necesario vincular las tablas con información utilizando llaves foráneas para consultar fácilmente información en las diferentes tablas. Las bases de datos relacionales son ampliamente utilizadas debido a su simplicidad para modelar, representar y consultar la información [11].

6.3.2. Conceptos básicos

Schemas: es una colección de objetos dentro de una base de datos. El *schema* tiene un dueño y puede contener varios objetos dentro de la base de datos como, por ejemplo: Tablas, *triggers*, secuencias, vistas, *procedures*, etc [12].

Tablas: Unidad básica de almacenamiento en una base de datos. Consiste en columnas que pueden ser de diferente tipo de dato y de diferentes tamaños y de filas o registros con la información que se desea almacenar [13].

Tipos de datos: Los tipos de datos determinan los valores y tipo de información que se desea almacenar en la columna indicada en la tabla. Pueden ser por ejemplo: INT (numero entero), Float (número real), String (campo alfanumérico), etc [14].

Llaves primarias: la llave primaria consiste en la columna o combinación de columnas que identifican cada registro de la tabla para que este registro pueda ser consultado o modificado fácilmente por separado o en conjunto con otros registros [15].

Llaves foráneas: las llaves foráneas permiten relacionar las tablas de la base de datos entre sí. La llave foránea se define en la tabla “hija” y define las columnas que se relacionan con las columnas en la tabla “padre” [16].

6.4. Aprendizaje automático

El aprendizaje automático o *machine learning* es utilizado ampliamente en las áreas de la salud y la biología. Investigadores y científicos lo utilizan en distintas áreas ya que permite el análisis de mucha información. Dependiendo del tipo de modelo utilizado y la aplicación es posible responder distintas dudas que puedan surgir. Un modelo de clasificación permite determinar en base a datos históricos, por ejemplo, si algo va a suceder o no. Un modelo de series de tiempo permite predecir valores de una variable que depende del tiempo tomando en cuenta la estacionalidad, tendencia, ciclos, etc. Un modelo de *clustering* permite agrupar hechos, objetos, personas en base a sus características. Las aplicaciones son muy variadas así como los modelos disponibles [4].

6.4.1. Aplicación en la medicina y epilepsia

Machine learning se puede utilizar para la clasificación y detección de epilepsia. También se ha utilizado para análisis de señales EEG ya que de esta forma se puede descubrir información importante de la señal [1].

En primer lugar fue necesario reconstruir los *scripts* para la creación de la base de datos y sus tablas ya que no se cuenta con un *backup* de la base de datos desarrollada en la fase I. Los *scripts* se reconstruyeron en base a lo que se podía apreciar de los diagramas presentes en la tesis y en Github. A continuación se muestra el diagrama de la base de datos creada en MySQL (*Scripts* subidos a Github):

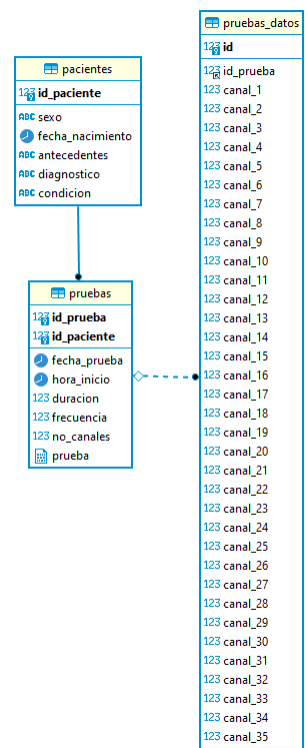


Figura 4: Diagrama BD en MySQL.

Programas	Bases de datos
Cadwell	
Micromed	SQL Server Enterprise

Cuadro 1: Programa EEG - Base de datos utilizada.

Luego de haber instalado y haber levantado el desarrollo de la fase I se tuvo la primer reunión con los doctores de HUMANA. En esta reunión, mi principal enfoque era llegar a conocer sobre las herramientas que ellos utilizan, principalmente *software*.

Únicamente mencionaron 2 programas:

- Cadwell
- Micromed

Para poder planificar con mayor detalle los pasos a seguir era necesario determinar si es posible extraer la información de las señales directamente de los programas utilizados en HUMANA. Por lo tanto fue necesario determinar si utilizaban una base de datos o no y cual utilizan. En el cuadro se muestran los programas y que base de datos utilizan.

Con la información disponible en internet sobre los programas se definió una arquitectura preliminar. Se determinó que por lo menos con Micromed era posible automatizar los procesos tomando 2 enfoques distintos: Utilizar la base de datos en un servidor en las oficinas de HUMANA o alquilar un servidor virtual en la nube. HUMANA tendría que haber seleccionado la opción que les pareciera más apropiada. A continuación se muestra los diagramas de la arquitectura propuesta.

Para el movimiento de la información entre las bases de datos se puede utilizar el servicio de integración de SQL server o, en el caso de implementar la alternativa en la nube, utilizar Azure de Microsoft. Para conectarse a las bases de datos se puede utilizar el conector ODBC *Open Database Connector*. Ambas base de datos (SQL Server y MySQL) que se utilizarían por el momento son compatibles con este conector.

La propuesta anterior no fue posible implementarla ya que en otra reunión con los doctores de HUMANA nos indicaron que en las computadores donde tiene instalados los programas de captura de señales EEG no es posible instalar ningún programa y tampoco están conectadas a internet. Debido a esto se continuará importando las señales EEG a la aplicación de Matlab de forma manual utilizando los archivos .edf.

Habiendo descartado la primer propuesta se enfocó el esfuerzo en expandir el modelo relacional existente y en el diseño e implementación de un modulo de administración de usuarios. Se inició creando entidades nuevas en la base de datos para poder almacenar los resultados del entrenamiento de los modelos y para almacenar los resultados de las anotaciones de las señales. De igual forma se agregaron atributos a la tabla de pacientes para almacenar en la misma entidad los datos confidenciales de los pacientes.

Para el primer prototipo, para el modulo de administración de usuarios, se definieron 3 tipos de usuarios adicionales al super usuario (root) para el uso de la aplicación de Matlab.

Estaciones en HUMANA

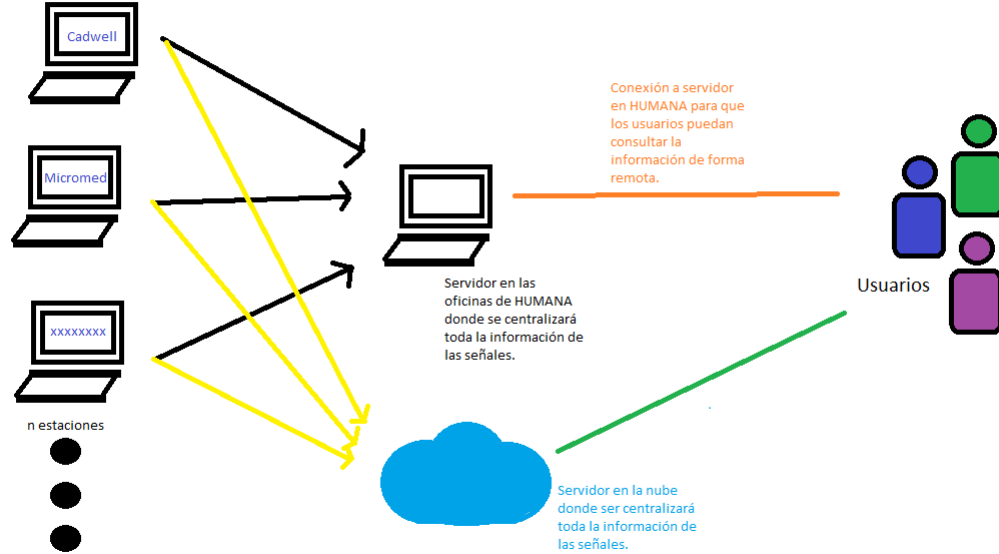


Figura 5: Arquitectura preliminar. Servidor local vs servidor en la nube.

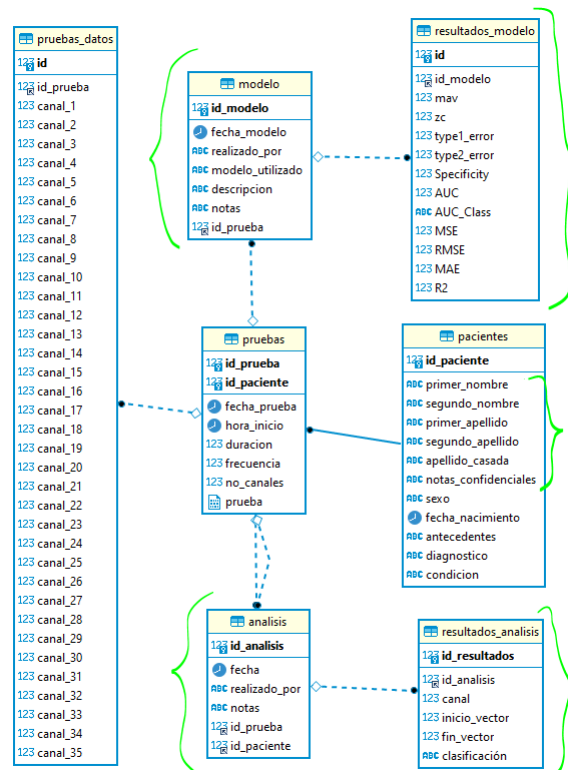


Figura 6: Entidades y atributos agregados al modelo existente.

Los permisos están distribuidos de la siguiente forma:

Tipos de usuario	Permisos
Administrador	Tiene acceso a todas las entidades y todos sus atributos, incluyendo los atributos confidenciales. No puede crear nuevas entidades. Es el usuario responsable de crear nuevos usuarios.
Secundario1	Tiene acceso a todas la entidades, pero no a los atributos confidenciales. Puede insertar nuevos datos, actualizar y consultar pacientes y señales.
Secundario2	Únicamente tiene permiso para consultar información. No tiene acceso a los campos confidenciales.

Cuadro 2: Tipos de usuarios definidos y sus permisos en primer prototipo.

Ya que se busca implementar administración de usuarios que permita tener usuarios con distintos roles y permisos para la protección de información sensible, se procedió a crear el primer prototipo del módulo de administración de usuarios. Este primer prototipo es únicamente un conjunto de diseños de pantallas donde se puede repasar el flujo y los campos y botones que se necesitan tener. Este prototipo permite visualizar de una forma más sencilla el flujo a seguir y detectar posibles puntos de mejora para poder llegar a una aplicación mas completa y útil.

The image shows a web browser window with a form titled "Nuevo usuario". The form contains three input fields: "Usuario" with the text "asfdffa", "Contraseña" with masked characters "*****", and "Tipo de usuario" with a dropdown menu showing "Secundario tipo 1". Below the fields is a button labeled "Crear".

Figura 7: Primer prototipo - Pantalla para agregar un nuevo usuario desde el módulo de administración de usuarios.

Luego de haber identificado puntos de mejora en el prototipo se procedió a programar los nuevos módulos en Matlab. Se incluyó una nueva pantalla para el inicio de sesión ya que la aplicación original no considera el uso de varios usuarios y la forma de ingresar las credenciales no era óptima ni segura.

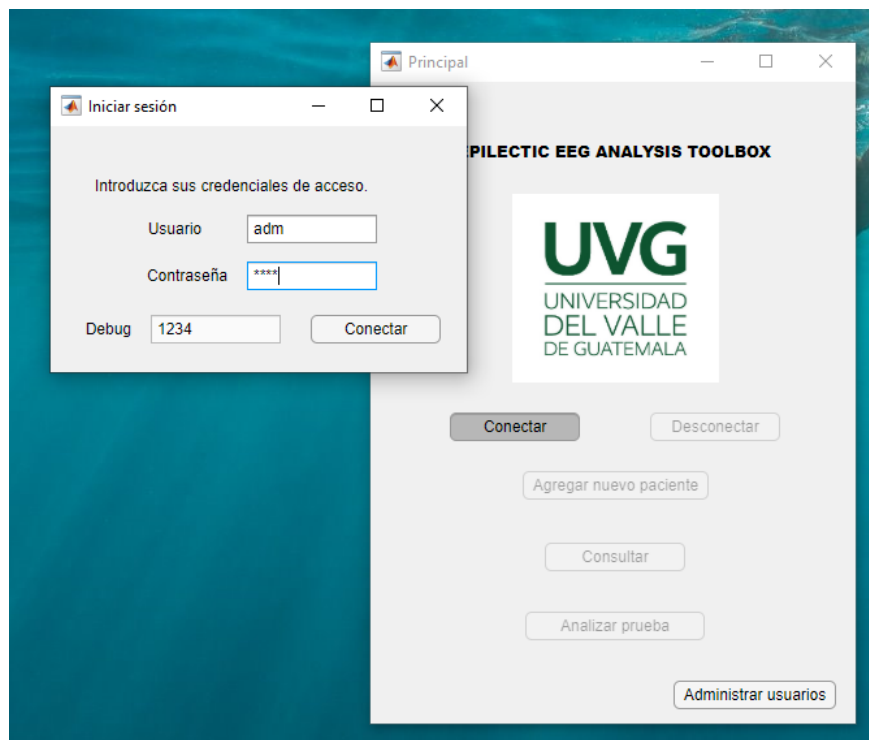


Figura 8: Nueva pantalla para el inicio de sesión.

Segundo prototipo

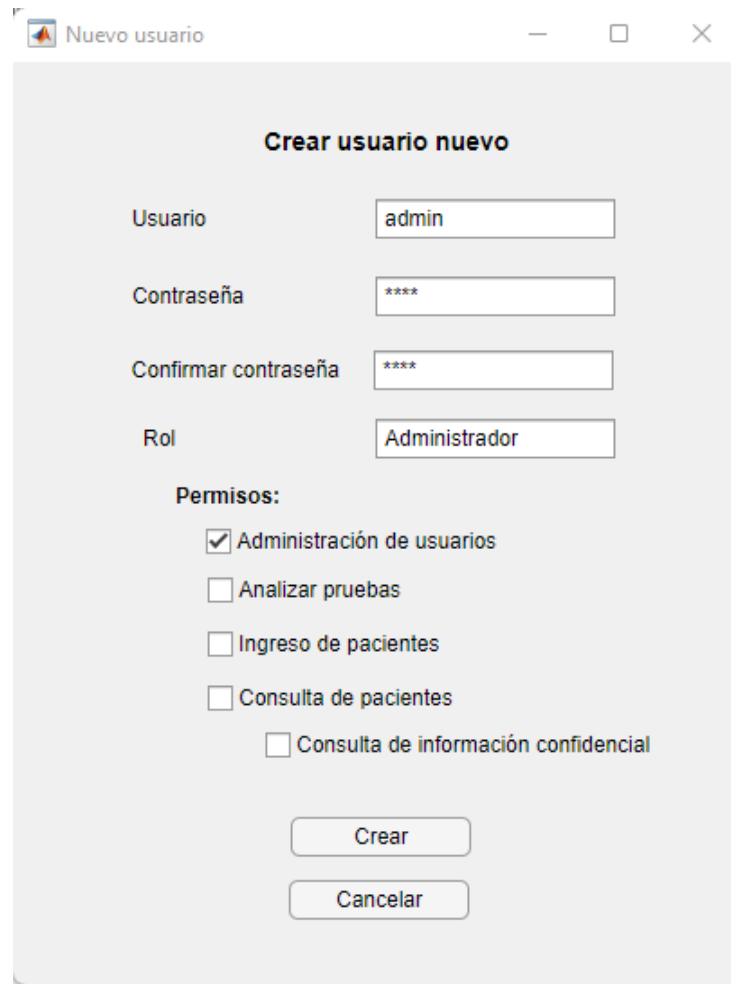
Teniendo el esquema de permisos definido se procedió a programar las pantallas. A la hora de evaluar lo que se iba a programar se notó que el modulo de administración de usuarios debería de incluir otras opciones. Como por ejemplo, opción para visualizar todos los usuarios creados, opción a eliminar, bloquear y desbloquear usuarios. Para esto se agregó una pantalla principal en el módulo de administración de usuarios.



Figura 9: Pantalla principal de administración de usuarios.

En la pantalla principal de administración de usuarios se busca también agregar posteriormente una opción para modificar usuarios por si se desea agregar o quitar permisos o cambiar el rol del usuario. El rol en este prototipo se utiliza para darle un nombre descriptivo al usuario en relación a las tareas que este puede realizar.

La pantalla para crear usuarios también sufrió cambios. Se agregaron campos y se agregó enmascaramiento al campo de la contraseña.



Nuevo usuario

Crear usuario nuevo

Usuario

Contraseña

Confirmar contraseña

Rol

Permisos:

☒ Administración de usuarios

☐ Analizar pruebas

☐ Ingreso de pacientes

☐ Consulta de pacientes

☐ Consulta de información confidencial

Figura 10: Pantalla "Crear usuario" segundo prototipo.

Cambios realizados a la pantalla de crear usuario:

- Se agregó campo de confirmar contraseña.
- Enmascaramiento en los campos de contraseña y confirmar contraseña.
- Se eliminó el campo "Tipo de usuario" y se sustituyó por "Rol".
- Los permisos ya no están definidos por el tipo de usuario por lo que se muestran en la forma de un permiso por *checkbox*.

En otra reunión con los doctores de HUMANA les pareció mejor la posibilidad de definir usuarios con roles personalizables. En el caso del permiso "Consulta de información confidencial" es requerido tener el permiso de "Consulta de pacientes" en conjunto, por esta razón el permiso se muestra con una tabulación adicional. A nivel de programación también está restringido este aspecto.

En esta pantalla existen validaciones que evitan creación errónea de usuarios. Existe validación para que todos los campos de texto tengan información. Se valida que las contraseñas coincidan. Y por último se valida que por lo menos un permiso haya sido seleccionado. Al momento de presionar el botón “Crear” se muestran los diálogos de error si es que existiera alguno. En el caso de no existir errores se muestra un dialogo indicando que el usuario fue creado correctamente y la pantalla de crear usuario se cierra.

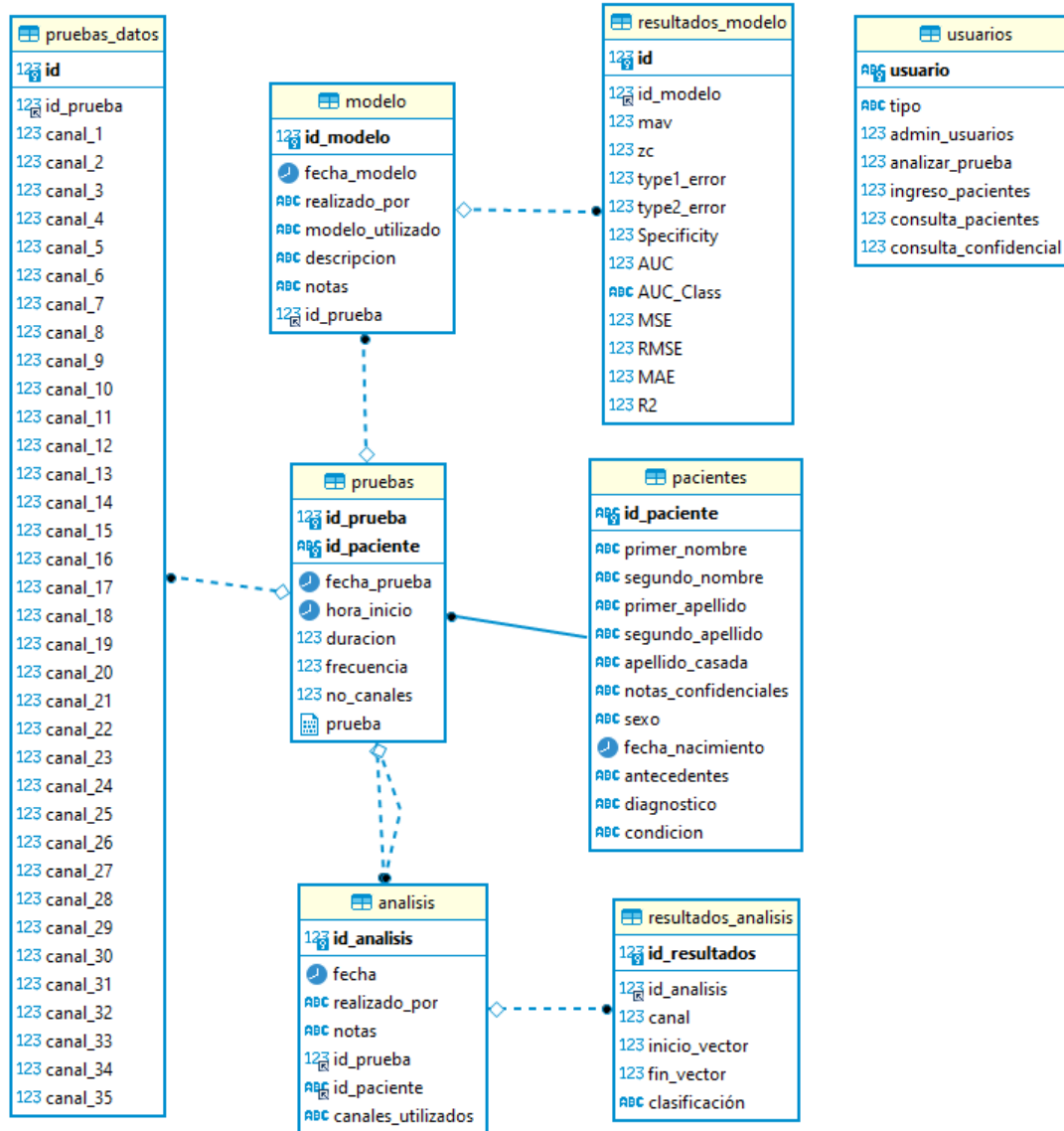


Figura 11: Diagrama Entidad-Relación incluyendo nueva entidad "usuarios".

Adicionalmente en este prototipo se agregó una entidad nueva al modelo relacional existente. Esta nueva entidad llamada "usuarios" permite llevar el control de las actividades que el usuario puede realizar dentro de la aplicación. Vale la pena mencionar que el control de permisos del usuario está restringido a nivel de base de datos y a nivel de la aplicación. Los usuarios se crean a nivel de base de datos.

En conjunto con la nueva entidad “usuarios” y la entidad ya existente “mysql.user” se lleva control de las actividades permitidas por los usuarios dentro de la aplicación y en la base de datos. En la entidad “mysql.user” se almacenan las contraseñas encriptadas de los usuarios.

En esta prototipo se detectaron los siguientes puntos de mejora:

- Falta opción para modificación de permisos y rol de los usuario.
- Pantalla de cambio de contraseña para los usuarios.
- Pantalla para cambio de contraseña obligatorio en el primer inicio de sesión.
- Es necesario definir las acciones al cambiar de pantalla.

Para que los usuarios tengan sentido es fundamental que el único que conozca la contraseña sea el dueño del usuario. Actualmente ya que el administrador crea los usuarios él conoce y asigna la contraseña.

En este ultimo prototipo se abordaron distintos puntos de mejora así como también la integración de la tesis “Automatización del Proceso de Anotación de Señales EEG de Pacientes con Epilepsia por Medio de Técnicas de Aprendizaje Automático”[17].

En primer lugar, para evitar sobrecargar de trabajo al administrador de la App se decidió incluir la funcionalidad de “Recuperar contraseña” en la pantalla de inicio de sesión. “Recuperar contraseña” permite a cualquier usuario resetear su contraseña si en caso la olvida. El link en la pantalla de inicio de sesión envía un correo con una nueva contraseña al correo del usuario. El correo del usuario es definido a la hora de crear el usuario y puede ser modificado en cualquier momento por el usuario o el administrador de la App.

Para almacenar el correo de los usuarios se agregó una nueva columna a la entidad “usuarios” en la base de datos. Para poder enviar el correo con la contraseña se definió un usuario a nivel de base de datos llamado “resetpass” que tiene permisos para consultar los correos de los usuarios y reiniciar contraseñas. La nueva contraseña es generada aleatoriamente y en este caso se definió que fuera un número de 4 dígitos aunque el usuario no tiene esa restricción a la hora de cambiar su contraseña.

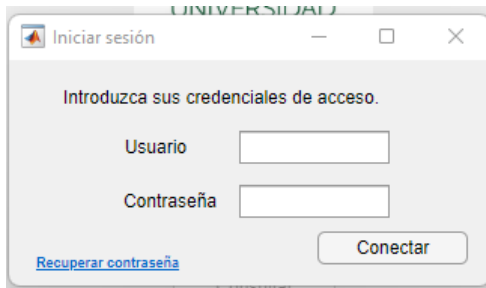


Figura 12: Pantalla de inicio de sesión con link de “Recuperar contraseña”.

Para poder enviar el correo es necesario contar con un correo configurado en la App. Con el fin de realizar pruebas y mostrar la funcionalidad se creó y configuró un correo que luego

puede ser cambiado por el de HUMANA. Para almacenar la información de configuración para “Recuperar contraseña” se creó una nueva entidad en la base de datos llamada “config”. Esta entidad almacena las credenciales del correo, el asunto del correo, el cuerpo del correo y el servidor de correo utilizado. La configuración para “Recuperar contraseña” únicamente se puede modificar directamente en la base de datos, la App no cuenta con interfaz gráfica para esto. La entidad config solo debe de contar con un registro. Si se desea cambiar la configuración por default se debe modificar el registro existente o limpiar la tabla e insertar un nuevo registro. Es importante resaltar que para que se pueda enviar un correo de esta forma, también es necesario configurar el correo del lado del servidor de correo.

Ya que uno de los puntos principales de este prototipo fue integrar la tesis trabajada por David Vela [17] a la App fue necesario realizar modificaciones en varias pantallas. En primer lugar fue necesario incluir botones en la pantalla principal de la App para poder acceder a ese módulo. Se agregó el botón “Herramienta de análisis” que al ser presionado permite visualizar otros dos botones “Clasificadores” y “Anotaciones automáticas”. A nivel de base de datos se agregaron columnas en la entidad “usuarios” que permiten definir si el usuario tiene acceso a las funcionalidades del módulo.



Figura 13: Pantalla principal con accesos a módulo desarrollado por David Vela.

También se modificaron las pantallas de crear y editar usuarios. En estas pantallas se agregaron los checkboxes de tal forma que representen el orden de acceso. Si se quiere tener acceso, ya sea a “Clasificadores” o a “Anotaciones automáticas” es necesario contar con acceso a “Herramientas de análisis” por tal razón esta opción se encuentra bloqueada y se selecciona únicamente si alguna de las otras 2 opciones independientes se encuentra seleccionada.

En el prototipo 2 se encontró la necesidad de contar con una pantalla para cambiar la contraseña. En este prototipo se creó la pantalla y se incluyó al flujo de inicio de sesión de un usuario nuevo. En el primer inicio de sesión del usuario se le solicita cambiar su contraseña. Si el usuario decide saltarse el cambio de contraseña se le seguirá pidiendo el cambio hasta que lo realice. Para poder llevar este control se agregó una nueva columna a la entidad de “usuarios” en la base de datos.

Figura 14: Pantalla de creación de usuarios.

Figura 15: Pantalla de configuración.

Con esta nueva funcionalidad los usuarios pueden cambiar su contraseña en cualquier momento en la pantalla de configuración. Para acceder a ella basta con presionar el botón del engranaje en la esquina inferior izquierda en la pantalla principal. En esta nueva pantalla los usuarios también pueden cambiar su correo electrónico en cualquier momento. Este correo es el utilizado para recuperar contraseña.

En este prototipo la forma de definir los roles también sufrió cambios. Se agregaron 2 roles predeterminados (Super User y Analista) y la opción de crear usuarios con roles personalizados. En este caso solo cambió la pantalla de creación de usuarios. Se agregó un dropdown menu con las opciones de: Super User, Analista y Personalizado. Al seleccionar un rol predeterminado se seleccionan los accesos correspondientes automáticamente y se bloquean. En el caso de seleccionar Personalizado se habilita un input para poder asignarle un nombre al rol y todas la opciones de los accesos se muestra habilitados para que el administrador asigne permisos a conveniencia.

Ya que se agregó la posibilidad de guardar información confidencial de los pacientes fue

Figura 16: Creación de usuarios con roles predefinidos o personalizados.

necesario modificar las pantallas de agregar paciente y la de consulta. En la pantalla de agregar paciente se agregaron los inputs de nombre, apellido y notas confidenciales. En la pantalla de consultas se agregaron los mismos campos y un botón de estado que permite mostrar u ocultar esa información si el usuario cuenta con los permisos correspondientes.

Figura 17: Pantalla modificada de agregar pacientes.

El segundo prototipo no permitía editar los usuarios. El o los usuarios administradores no

Figura 18: Pantalla modificada de consultas.

podían cambiar la contraseña de un usuario, ni cambiar su correo, ni su rol, ni sus permisos. Esta limitación presentaba un gran inconveniente ya que si en dado caso se le quería quitar accesos o dar accesos a un usuario habría que eliminar el usuario y crear otro, algo muy ineficiente. Por tal razón en este tercer prototipo se agregó la opción de editar usuarios. Para editar un usuario basta con entrar al módulo de administración de usuarios, presionar sobre cualquier campo del usuario en la tabla y se abrirá la ventana para editarlo. Esta nueva pantalla permite editar los campos del usuario independientemente.

Figura 19: Nueva pantalla para editar usuarios.

En el segundo prototipo era posible abrir la misma pantalla muchas veces, esto podía crear confusión y desorganización. En este prototipo se eliminó esa posibilidad no dejando que se abra la misma pantalla más de una vez. El diagrama Entidad-Relación final en este prototipo se muestra a continuación.

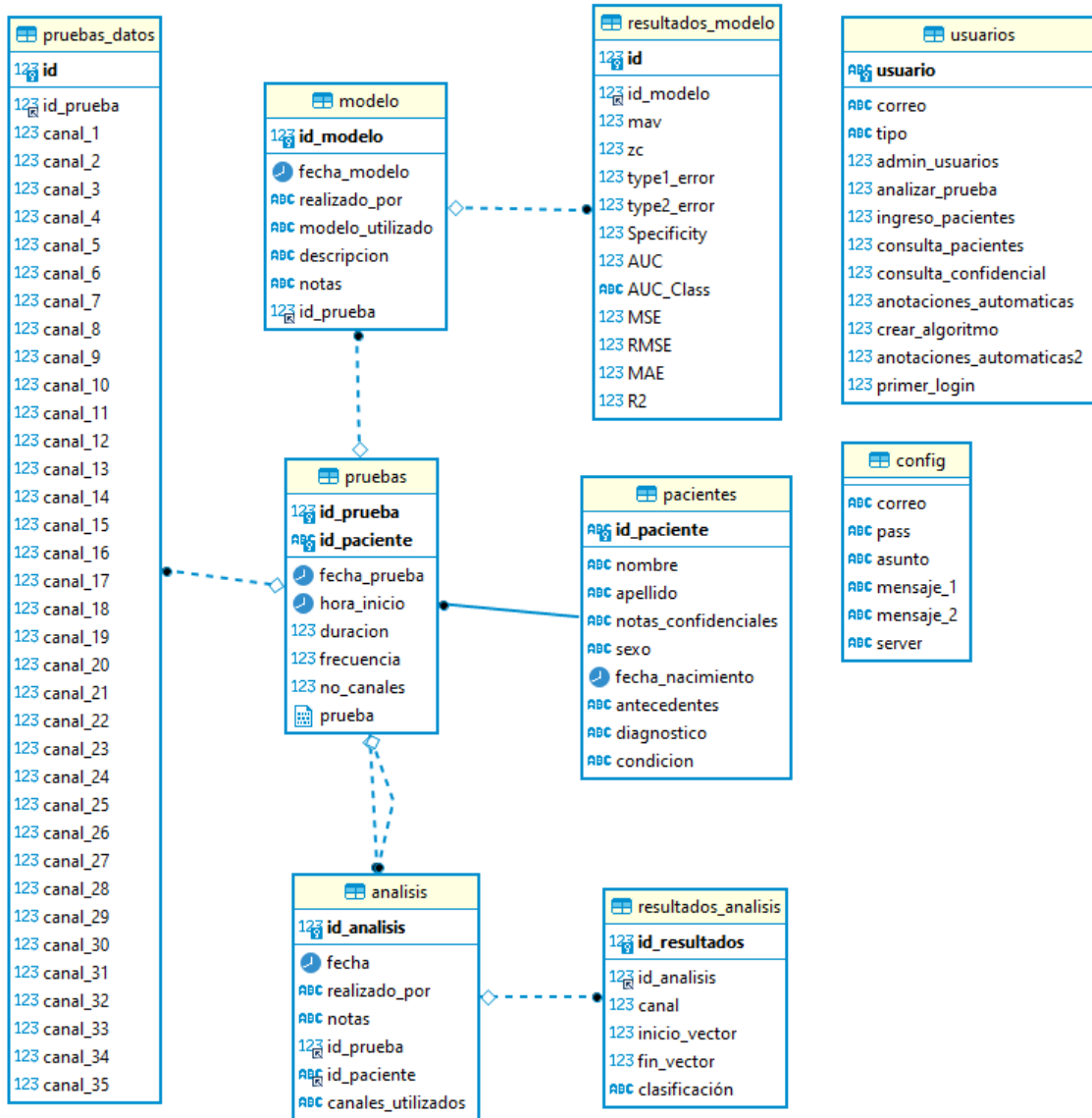


Figura 20: Modelo relacional tercer prototipo.

Modos de implementación

Debido a las recientes circunstancias globales, principalmente en relación a la pandemia, se ha convertido obligatorio ofrecer formas de trabajar desde casa para mantener las medidas sanitarias y combatir el virus. A continuación se proponen algunas formas en las que se puede implementar la herramienta para que se pueda utilizar de forma remota. Es importante mencionar que las opciones listadas a continuación no son las únicas.

1. Instalación de la base de datos y la aplicación en la misma computadora: En este caso sería necesario utilizar un programa de escritorio remoto para utilizar la herramienta. Se puede configurar el escritorio remoto de Windows o utilizar TeamViewer o Anydesk.
2. Instalación de la base de datos en una computadora y la aplicación en las computadoras personales: En este caso sería necesario utilizar un vpn para conectar las computadoras con la herramienta a la computadora con la base de datos.
3. Crear la base de datos en la nube e instalar la herramienta en las computadoras personales: Se puede crear la base de datos en algún proveedor en la nube como Azure, Google, AWS o Huawei e instalar un gateway junto con la herramienta en las maquinas personales de los usuarios.

Se recomiendan las opciones 2 y 3 ya que permiten que varias personas utilicen la herramienta simultáneamente.

- Se expandió el modelo relacional existente de la fase I para poder almacenar características, clasificadores, anotaciones de las señales EEG, datos confidenciales, configuración para funcionalidad “Recuperar contraseña” y accesos de los usuarios.
- Se implementó un inicio de sesión gráfico el cual permite ingresar a la aplicación con distintos usuarios.
- Se implementó un modulo de administración de usuarios el cual permite crear, editar, eliminar, bloquear y desbloquear usuarios.
- Se definió una lista de permisos esenciales que permite al administrador de usuarios definir usuarios personalizados e identificarlos de forma personalizada.
- Se eliminó la necesidad de ingresar credenciales de la base de datos en un archivo .csv para el inicio de sesión por motivos prácticos y de seguridad.
- Se crearon *scripts* que permiten fácilmente la creación de la base de datos, el modelo relacional y los usuarios esenciales.
- Se agregaron validaciones y programación defensiva para evitar errores en caso de ingresar datos no válidos o por falta de ingreso de datos obligatorios en el módulo de administración de usuarios.

- Eliminar el guardado del archivo edf en la base de datos en humana.pruebas.prueba ya que esto toma mucho tiempo y esta limitado por el tamaño del archivo edf ya que MySQL únicamente permite almacenar archivos de hasta 1 Gb de tamaño por packet. Además en la aplicación hay varios lugares donde se lee esa tabla por lo que causa que el flujo de navegación en la aplicación sea lento.
- Evaluar si puede llegar a ser útil definir tiempo de caducidad para las contraseñas de los usuarios y forzar a que se actualice. Esto involucraría la creación de un flujo nuevo en la App para forzar el cambio de contraseña.
- Crear instalador automatizado que permita instalar la herramienta fácilmente (Instalación de la base de datos, creación del modelo en la base de datos, instalación del driver ODBC de mysql y configuración de la conexión a la base de datos en Windows).
- Utilizar una base de datos en la nube para evitar que la información se pierda por alguna falla en las computadoras de HUMANA. Esto también permitiría tener la App instalada en varias computadoras y que todas tengan y compartan la misma información.

- [1] M. F. P. E., “Diseño e Implementación de una Base de Datos de Señales Biomédicas de Pacientes con Epilepsia,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
- [2] C. E. Stafstrom, “Seizures and epilepsy: an overview for neuroscientists,” *PubMed*, vol. 5, n.º 6, a022426, 2015.
- [3] Oracle, “What is a relational database?,” 2020, Consultado el: 13/05/2021. dirección: <https://www.oracle.com/database/what-is-a-relational-database/>.
- [4] M. K. Siddiqui, “A review of epileptic seizure detection using machine learning classifiers,” *PubMed*, vol. 7, n.º 1, pág. 5, 2020.
- [5] H. Gt, “Especialistas en enfermedades neurológicas de difícil control,” *humanagt.org*, 2021.
- [6] M. J. A. T., “Análisis y Reconocimiento de Patrones de Señales Biomédicas de Pacientes con Epilepsia,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2020.
- [7] M. F. for Medical Education y R. (MFMER), “Epilepsia,” *mayoclinic.org*, 2018.
- [8] N. Uk, “Electroencephalogram (EEG),” *nhs.uk*, 2018.
- [9] H. H. Publishing, “Electroencephalogram (EEG),” 2019, Consultado el: 28/06/2021. dirección: www.health.harvard.edu/diseases-and-conditions/electroencephalogram-eeg.
- [10] Wiederhold, “Databases,” *Computer*, vol. 17, n.º 10, págs. 211-223, 1984. DOI: 10.1109/MC.1984.1658971.
- [11] B. R. Sinha, P. P. Dey, M. N. Amin y G. W. Romney, “Database modeling with Object Relationship Schema,” en *2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 2013, págs. 1-7. DOI: 10.1109/ITHET.2013.6671029.
- [12] Oracle, “Introduction to Schema Objects,” 2021, Consultado el: 13/05/2021. dirección: https://docs.oracle.com/cd/B19306_01/server.102/b14220/schema.htm.

- [13] —, “Managing Tables,” 2021, Consultado el: 13/05/2021. dirección: https://docs.oracle.com/cd/B19306_01/server.102/b14231/tables.htm.
- [14] —, “Selecting a Datatype,” 2021, Consultado el: 13/05/2021. dirección: https://docs.oracle.com/cd/A58617_01/server.804/a58241/ch5.htm.
- [15] —, “Primary Keys,” 2021, Consultado el: 13/05/2021. dirección: <https://docs.oracle.com/en/database/other-databases/nosql-database/12.2.4.5/java-driver-table/primary-keys.html#GUID-6A063474-4A3A-4981-B1D8-71D0D95BE8DF>.
- [16] —, “FOREIGN KEY Constraints,” 2021, Consultado el: 13/05/2021. dirección: https://docs.oracle.com/cd/E17952_01/mysql-5.6-en/create-table-foreign-keys.html.
- [17] D. A. V. Aguilera, “Automatización del Proceso de Anotación de Señales EEG de Pacientes con Epilepsia por Medio de Técnicas de Aprendizaje Automático,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.