

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INFORMÁTICA

LICENCIATURA EN INFORMÁTICA



DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA DE CONSULTA POR  
CONTENIDO EN UNA BASE DE DATOS DE ECGs

Tesis

Que como requisito parcial para obtener el grado de  
LICENCIADO EN INFORMÁTICA  
presenta

SILVIA IVETTE VALDEZ ESPINOZA

DIRECTORES DE TESIS:

DR. INÉS FERNANDO VEGA LÓPEZ, M.C. GERARDO BELTRÁN GUTIÉRREZ

Culiacán, Sinaloa a Julio de 2015

Para ser grande, sé entero: nada  
tuyo exagera o excluye.  
Sé todo en cada cosa, pon cuanto eres  
en lo mínimo que hagas.  
Así en cada lago la Luna toda  
brilla, porque alta vive.

FERNANDO PESSOA  
*Odas de Ricardo Reis*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a mi madre, Silvia, y a mi hermano, Jorge. Por su apoyo incondicional y motivación en todo momento, por su interés constante y su fe en mí. Ambas personas excepcionales y ejemplos de fortaleza y voluntad, de quienes me siento plenamente orgullosa.

Un agradecimiento especial a mi asesor, Dr. Inés Fernando Vega López, quien me brindó la oportunidad de participar en este proyecto, concediéndome el privilegio de contar con su orientación y consejo. Ha sido toda una experiencia y un enorme aprendizaje el tener la oportunidad de participar de sus invaluable conocimientos.

También deseo extender un agradecimiento especial al M.C. Daniel Ernesto López Barrón, por su apoyo en el manejo de la información necesaria para la realización de este proyecto y su valiosa colaboración en el desarrollo del mismo. Agradezco también al M.C. Gerardo Beltrán Gutiérrez y al Dr. Diego Alonso Gastélum Chavira por el tiempo dedicado en la lectura de esta tesis, y sus contribuciones al enriquecimiento de la misma.

Finalmente, deseo agradecer a la Universidad Autónoma de Sinaloa y a la Facultad de Informática, especialmente al área de Posgrado, por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de esta tesis. Asimismo, agradezco el apoyo financiero otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) a través del proyecto 106098.

# ÍNDICE

<b>Índice de Figuras</b>	<b>III</b>
<b>Índice de Códigos</b>	<b>IV</b>
<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción del Problema . . . . .	2
1.2 Objetivo General . . . . .	3
1.3 Justificación . . . . .	3
<b>Capítulo 2. Marco Teórico y Referencial</b>	<b>6</b>
2.1 Electrocardiografía . . . . .	6
2.2 Bancos de Datos de ECGs . . . . .	8
2.3 Algoritmos de Análisis . . . . .	9
2.4 Algoritmos de Búsqueda por Contenido en ECGs . . . . .	12
2.4.1 Algoritmo Utilizado . . . . .	13
2.5 Importancia de una Base de Datos y un Sistema Gestor . . . . .	14
<b>Capítulo 3. Materiales y Métodos</b>	<b>17</b>
3.1 Descripción del Modelo de la Base de Datos . . . . .	17
3.1.1 Entidades, Atributos y Relaciones . . . . .	18
3.2 Esquema de la Base de Datos . . . . .	23
3.3 Sobre la Naturaleza de los Datos . . . . .	24
3.3.1 Base de Datos Arritmia . . . . .	26
3.3.2 Base de Datos del Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” . . . . .	26
3.4 Sobre el Sistema Gestor de Bases de Datos . . . . .	27
3.5 Sobre HTML5 y Canvas . . . . .	28
3.5.1 El Lenguaje HTML5 . . . . .	29
3.5.2 El Elemento Canvas . . . . .	30
<b>Capítulo 4. Resultados</b>	<b>33</b>
4.1 Cómo Dibujar en Canvas . . . . .	33
4.1.1 Graficación y Características de la Cuadrícula . . . . .	35
4.1.2 Graficación de una Señal de ECG y sus Anotaciones . . . . .	38
4.1.3 Barra de Desplazamiento . . . . .	42
4.2 Conexión a la Base de Datos . . . . .	45

4.3	Interoperabilidad entre PHP y JavaScript: AJAX . . . . .	47
4.4	Tratamiento de los Datos y sus Implicaciones en el Desempeño . . . .	50
4.4.1	Variables que Afectan el Desempeño . . . . .	51
4.4.2	Graficación Dinámica de los Datos . . . . .	52
4.5	Descarga de una Señal de ECG . . . . .	54
<b>Capítulo 5. Conclusiones y Trabajo Futuro</b>		<b>58</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Posición de los electrodos precordiales. Derivaciones V1 a la V6. . . . .	7
FIGURA 2.2	Dibujo de un ECG con etiquetas de ondas, intervalos y segmentos. . . . .	11
FIGURA 3.1	Modelo Entidad-Relación de la Base de Datos. . . . .	19
FIGURA 3.2	Entidad BD y sus Atributos. . . . .	20
FIGURA 3.3	Entidad Paciente y sus Atributos. . . . .	20
FIGURA 3.4	Entidad Electrocardiografía y sus Atributos. . . . .	21
FIGURA 3.5	Entidad Derivación y sus Atributos. . . . .	22
FIGURA 3.6	Entidad Anotación y sus Atributos. . . . .	23
FIGURA 3.7	Esquema de la Base de Datos. . . . .	24
FIGURA 4.1	Cuadrícula y barra de desplazamiento representadas en Canvas. . . . .	35
FIGURA 4.2	Interpretación de la cuadrícula milimétrica en un registro electrocardiográfico a 25 mm/s. . . . .	36
FIGURA 4.3	Representación gráfica de una señal de ECG con anotaciones. . . . .	41
FIGURA 4.4	Interfaz de consulta por contenido en una base de datos de ECGs. . . . .	44
FIGURA 4.5	Opciones para la descarga de una señal de ECG. . . . .	55

## ÍNDICE DE CÓDIGOS

CÓDIGO 4.1	Etiqueta Canvas en HTML5. . . . .	33
CÓDIGO 4.2	Función para dibujar en Canvas. . . . .	34
CÓDIGO 4.3	Ciclo para la graficación de líneas horizontales. . . . .	37
CÓDIGO 4.4	Ciclo para escribir las abscisas de la cuadrícula. . . . .	38
CÓDIGO 4.5	Función para la graficación de un segmento de ECG. . . . .	39
CÓDIGO 4.6	Ciclo para la graficación de anotaciones. . . . .	40
CÓDIGO 4.7	Función para dibujar el elemento desplazante de la barra. . . . .	43
CÓDIGO 4.8	Definición de UDF para obtener una subsecuencia de datos. . . . .	45
CÓDIGO 4.9	Conexión con la base de datos y consulta PHP. . . . .	47
CÓDIGO 4.10	Registro de funciones mediante la biblioteca Xajax. . . . .	50
CÓDIGO 4.11	Función para consultar los datos de una señal de ECG. . . . .	56
CÓDIGO 4.12	Función para escribir datos en un archivo de texto plano. . . . .	57

## RESUMEN

El procesado y análisis de señales biomédicas obtenidas mediante la realización de exámenes médicos, con el tiempo se han convertido en una de las principales fuentes de datos clínicos significativos sobre el funcionamiento del cuerpo humano. Es un hecho que, dada la importancia del análisis de este tipo de información en particular, el almacenamiento en medios electrónicos de dichos datos y la posibilidad de interacción con los mismos, brindan al campo de la investigación médica amplias posibilidades de acción. Una de ellas es el descubrimiento de información relevante en los grandes volúmenes de datos que se manejan actualmente en esta área.

Entre los diferentes tipos de señales biomédicas, los Electrocardiogramas (ECG) son de gran interés ya que, al ser una representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón, son a su vez el principal procedimiento clínico utilizado para la investigación y el diagnóstico de anomalías cardíacas. El reconocimiento visual de señales de ECGs y, como consecuencia, la gran cantidad de datos significativos que es posible recopilar de ellas, implican sin duda considerables beneficios para las Ciencias Médicas. De ahí que el análisis de este tipo particular de señales resulte crucial para una gran cantidad de aplicaciones tanto científicas como de ingeniería.

Gracias a los grandes avances tecnológicos de las últimas décadas, en la actualidad la adquisición, almacenamiento, manipulación, procesamiento y búsqueda en lo que respecta a señales de ECGs, se realizan con simplicidad y eficiencia notables. Para el área de la investigación clínica, el contar con bases de datos de considerable tamaño y diversidad en señales de ECG, resulta un elemento indispensable en el progreso con respecto al desarrollo de metodologías de análisis de señales.

Sin embargo y tomando en consideración la complejidad de este tipo de datos en las condiciones de su almacenamiento en medios electrónicos, nos encontramos con numerosos casos en los que también es de fundamental importancia que el usuario que



interactúa con los mismos cuenta con la facilidad de percibirlos en una representación similar a la que tendrían en el mundo real; es decir, de manera gráfica.

El propósito del presente trabajo es ofrecer al usuario final una herramienta que permita, de manera simple, la realización de consultas por contenido en bases de datos en las que son almacenadas señales de ECG digitalizadas. Esto mediante la visualización gráfica de los datos que conforman las señales, en una interfaz de usuario.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

Dentro del marco actual de la colaboración entre la Informática y las Ciencias Médicas, un aspecto de vital importancia se refiere al almacenamiento de datos clínicos en medios electrónicos. Estos datos son obtenidos mediante pruebas físicas realizadas por profesionales médicos a sus pacientes, con el fin de caracterizar sus condiciones de salud. El almacenamiento de dichos datos y la interacción con los mismos, brindan al campo de la investigación médica amplias posibilidades de acción. Una de ellas es el descubrimiento de información relevante en los grandes volúmenes de datos que se manejan actualmente en esta área.

Un tipo particular de datos médicos de interés son las señales biomédicas digitalizadas. Dada su complejidad, un tema central es brindar al usuario herramientas que hagan posible la interpretación de las mismas, sin que necesariamente deba éste preocuparse por la manera en que dichas señales se encuentren almacenadas en una base de datos.

En el presente documento, además de la temática antes abordada, se describen tanto el diseño como la implementación de una herramienta para la consulta dinámica por contenido en una base de datos de señales biomédicas digitales, específicamente Electrocardiogramas (ECG). Dicha herramienta se enfoca en la representación gráfica de las señales en una interfaz Web. Con lo anterior se pretende hacer posible su posterior interpretación visual y análisis ya sea por parte de expertos cardiólogos o estudiosos del área.

## 1.1. Descripción del Problema

El procesado y análisis de señales obtenidas mediante la realización de exámenes biomédicos, con el tiempo se han convertido en una de las principales fuentes de datos clínicos significativos sobre el funcionamiento del cuerpo humano. Es tal la complejidad y el tamaño de una señal biomédica digitalizada, que el análisis que un usuario puede realizar sobre ellas directamente en las condiciones de su almacenamiento en una base de datos de gran tamaño, puede llegar a ser complicado. Para fines prácticos, hay casos en los que es necesario que el usuario pueda llegar a visualizar un modelo de la manera en que lucirían dichas señales graficadas en el mundo real.

De acuerdo con Carrión et al. [2], entre los diferentes tipos de señales biomédicas, los ECGs son de gran interés ya que al ser directamente una representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón, son a su vez el principal procedimiento clínico utilizado para la investigación de anomalías cardíacas y su diagnóstico. Una descripción más amplia acerca de los ECGs se puede encontrar en la Sección 2.1.

Una de las formas en que la investigación de estos fenómenos cardíacos puede llevarse a cabo, es mediante la identificación de patrones en datos extraídos de señales de ECG. Existen bancos de datos de ECGs que contienen grandes cantidades de este tipo de señales concretas y, en algunas ocasiones, también datos complementarios a éstas. Algunos de estos datos pueden ser anotaciones indicando eventos característicos en la señal, el tipo de derivación observada o los datos básicos del paciente.

Dicho lo anterior, la posibilidad de realizar consultas por el contenido de estas señales y la posterior representación gráfica de las mismas en una interfaz, podrían brindar sin duda al usuario una oportunidad importante de contacto con la información de ECGs almacenada en las bases de datos. De otra manera, esta interacción se ve limitada por los conocimientos con los que el usuario cuente sobre la manipulación e interpretación del tipo particular de información a la que nos referimos.

## 1.2. Objetivo General

La presente tesis tiene como objetivo general presentar el diseño e implementación de una interfaz gráfica que permita al usuario visualizar señales de ECGs almacenadas en bases de datos, esto mediante consultas por el contenido de la señal.

### Objetivos Específicos

- Realizar la codificación de algoritmos de consulta por contenido y conectar a la base de datos desde un cliente Web.
- Diseñar un portal Web y graficar en él los resultados para interacción con los usuarios.

## 1.3. Justificación

El análisis visual de señales de ECGs y, como consecuencia, la gran cantidad de datos que pueden recopilarse de ellas, implican sin duda considerables beneficios para las Ciencias Médicas. Entre ellos, podemos mencionar como uno de los principales a la simplificación del diagnóstico temprano de cardiopatías, alteraciones metabólicas, entre otros padecimientos.

Mediante el reconocimiento visual de las representaciones gráficas de una señal, un experto puede señalar un padecimiento potencial y, asimismo, realizar el seguimiento correspondiente de su evolución. Incluso, dicho reconocimiento le permite decidir si es necesario utilizar de manera alternativa otra técnica de diagnóstico más compleja o especializada. Es por esto que la información que brinda el análisis de estas señales, se ha convertido en un elemento imprescindible en la valoración de gran parte de las anomalías cardiacas conocidas hasta hoy [4].

Además de lo antes mencionado, nos encontramos con que, a su vez, el ámbito de la

investigación se ha visto ampliamente beneficiado con el procesamiento de señales de ECGs. Esto debido a que el análisis de este tipo particular de datos resulta crucial para una gran cantidad de aplicaciones tanto científicas como de ingeniería.

Numerosos proyectos de investigación se sirven de bancos de datos de ECGs para la realización de sus actividades. Entre estas colecciones de señales, es posible encontrar una amplia variedad de alteraciones de interés para los estudiosos del área, ya que la exploración y detección de patrones en ellas posibilita el descubrimiento de nuevo conocimiento, entre otros temas, sobre la anatomía del cuerpo humano y sus procesos fisiológicos subyacentes [1].

Como señalan Vega e Infante [20], gracias a los grandes avances tecnológicos de las últimas décadas, se ha llegado a un punto en el que la adquisición, almacenamiento, manipulación, procesamiento y búsqueda en lo que respecta a señales biomédicas, se realizan con simplicidad y eficiencia notables. En muchos casos, también es de fundamental importancia que el usuario que interactúa con estos datos, cuente con la facilidad de percibirlos en una representación similar a la que tendrían en el mundo real; es decir, gráficamente. Las señales biomédicas, como los ECGs, tienen la particularidad de ser un tipo de datos bastante complejo. Debido a esto, no cuentan con el soporte que ofrecen los diferentes tipos de Sistemas de Gestión de Bases de Datos para los tipos de datos que se consideran *estructurados*.

La alternativa que se plantea en el presente trabajo, es favorecer el acceso a estos datos de una manera más simple, mediante la visualización gráfica en una interfaz de usuario de los datos que conforman las señales.

El propósito es ofrecer al usuario final una herramienta que permita, de manera asequible, la realización de consultas por contenido a bases de datos de señales de ECG digitalizadas, cuyo gran tamaño y complejidad dificulta el estudio práctico de las mismas. Se pretende brindar una opción que facilite el acercamiento a las bases de datos de ECGs, sin que la manera en que éstas se encuentren estructuradas sea de mayor relevancia para el usuario que las consulta. Además, se busca hacer factible la opción

de obtener directamente los datos la señal particular que se está visualizando, o un rango específico de estos, a través de la descarga de los mismos en un archivo de texto. De esta manera, el acceso a este tipo particular de información y, por consiguiente, las vastas posibilidades que esto conlleva, pueden verse considerablemente favorecidas.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

En este Capítulo se presenta la revisión bibliográfica y teórica que apoya el presente trabajo de tesis. éste se encuentra dividido en cinco secciones: en la primera Sección, se presenta una descripción acerca del procedimiento clínico denominado *electrocardiografía*. En la segunda Sección, se detalla la importancia de los bancos de datos de ECGs en el ámbito de la investigación científica. Posteriormente, en la tercera Sección se explica lo concerniente a los algoritmos de interpretación y análisis de señales, y sus alcances en la investigación médica. En la cuarta Sección, se describe la problemática que involucra a los algoritmos de búsqueda por contenido en bases de datos de ECGs, al no tratarse éstos de un tipo de datos estructurado. Finalmente, en la quinta Sección se especifica la relevancia de una base de datos y un Sistema Gestor en el almacenamiento de ECGs digitales en medios electrónicos, y los beneficios que conlleva su utilización en el desarrollo de algoritmos de procesamiento y análisis de señales.

#### 2.1. Electrocardiografía

Con *electrocardiografía* nos referimos al examen biomédico de utilidad diagnóstica que registra la actividad eléctrica del órgano principal del aparato circulatorio: el corazón.

Este procedimiento es no invasivo, ya que no se utilizan instrumentos que penetren físicamente el cuerpo del paciente. El examen se lleva a cabo colocando electrodos en posiciones específicas del cuerpo, estos captan las variaciones en el campo eléctrico

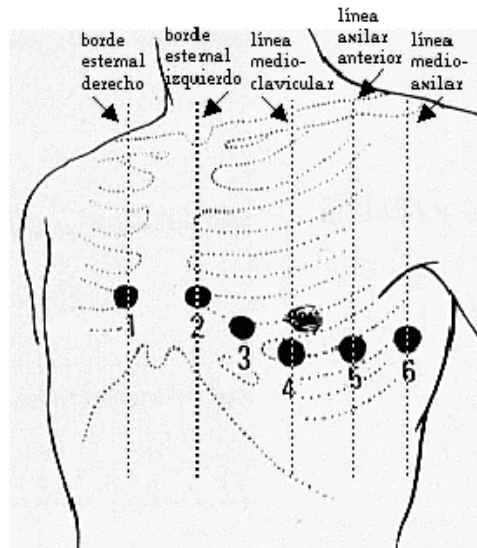


FIGURA 2.1. Posición de los electrodos precordiales. Derivaciones V1 a la V6.  
[7]

corporal cuando se genera un latido y el corazón se dilata o contrae bombeando sangre al cuerpo a través de las arterias. El análisis de los impulsos eléctricos registrados gráficamente en un ECG, proporciona información de vital importancia para el conocimiento de los fenómenos cardíacos que se ven reflejados en el mismo; principalmente la cronología y magnitud de la señal, su morfología, entre otros [4].

De acuerdo con Huszar [14], las diferentes colocaciones de los electrodos en ciertas partes del cuerpo son conocidas como *derivaciones* y determinan la visión que está observándose de determinada área del corazón y su actividad eléctrica. El ECG común suele estar conformado por 12 derivaciones, las cuales proporcionan diferentes proyecciones de la actividad cardíaca. éstas son:

- Tres derivaciones estándar de tipo bipolar (derivaciones I, II y III).
- Tres derivaciones aumentadas de tipo unipolar (derivaciones aVR, aVL y aVF).
- Seis derivaciones precordiales de tipo unipolar (derivaciones V1, V2, V3, V4, V5 y V6).



El ECG se emplea fundamentalmente con fines de diagnóstico inicial de los principales padecimientos cardiacos y en la detección de arritmias. Aunque éste no es la única herramienta para el diagnóstico de cardiopatías, es indiscutible que la interpretación y análisis de los patrones que pueden encontrarse en las señales, aportan información detallada que contribuye en gran medida a fortalecer la precisión del diagnóstico realizado por el profesional médico.

## 2.2. Bancos de Datos de ECGs

Las bases de datos de señales biomédicas constituyen uno de los recursos de mayor importancia para el desarrollo y evaluación de algoritmos de procesado y consulta de éstas [2]. Al posibilitar, entre otras cosas, la interpretación automatizada de señales biomédicas como los ECGs, los bancos de datos de este tipo de señales proveen fundamentos para extraer conocimiento y con esto facilitar el descubrimiento de información significativa para el ámbito médico.

Con *banco de datos de ECGs* nos referimos a un conjunto de señales digitalizadas registradas con ciertos protocolos, bajo condiciones conocidas y obtenidas de pacientes seleccionados según criterios establecidos [1]. Además de las señales, el banco de datos puede contener información complementaria a éstas. Dicha información adicional puede constar de los datos básicos del paciente a quien se realizó la electrocardiografía, anotaciones de eventos específicos que ocurren en la señal o incluso datos de otros exámenes clínicos relacionados con el sujeto observado [2].

De acuerdo con Vega e Infante [20], para el área de la investigación clínica, el contar con bases de datos de ECGs bien documentadas, de tamaño considerable y amplia diversidad de señales y cardiopatías en ellas, resulta un elemento indispensable en el avance con respecto al desarrollo de metodologías de análisis de señales.

Un recurso notable para la investigación en lo que respecta a señales biomédicas es

*PhysioNet* (<http://www.physionet.org/>), un sitio Web que se encarga de suministrar de manera gratuita grandes colecciones de diferentes tipos de señales para su difusión. Además, en el sitio también puede ser encontrado software de código abierto orientado al análisis de éstas. El propósito principal de este sitio es dar soporte al panorama actual de la investigación y estimular el desarrollo de nuevos proyectos de estudio de señales fisiológicas y biomédicas complejas [11, 18].

La importancia de las bases de datos de señales facilitadas por fuentes como *PhysioNet*, reside especialmente en su invaluable contribución al posibilitar el desarrollo y evaluación de algoritmos de procesamiento de señales de manera menos costosa. Con lo anterior, nos referimos al costo en tiempo y recursos necesarios para la tarea de recopilación de datos.

### **2.3. Algoritmos de Análisis**

Las capacidades humanas de percepción e identificación de patrones en señales como las mencionadas anteriormente, suelen ser inevitablemente limitadas cuando tratamos con problemas complejos. Esta situación puede darse fácilmente cuando hablamos de las amplias dimensiones que implican operaciones analíticas complejas con volúmenes considerables de datos. Una máquina diseñada específicamente para el procesamiento de datos, puede realizar este tipo de tareas con mucha mayor facilidad. Carrión et al. [2] señalan que las señales biomédicas son portadoras de una gran cantidad de información que, dependiendo de su complejidad, puede incluso estar oculta en su propia estructura. De ahí la importancia de interpretarlas de manera oportuna. Debido a lo anterior, el procesamiento de señales se ha convertido en una herramienta invaluable para la extracción de información clínicamente relevante. En los últimos años ha surgido progresivamente una gran cantidad de métodos y técnicas de procesamiento digital, para la detección y evaluación de señales de ECG.

Una de las mayores utilidades que acarrea el uso de estos métodos, es la capacidad para interpretar ECGs de manera automatizada. La utilización de algoritmos de análisis de señales se ha generalizado ampliamente gracias al impacto de los beneficios que genera. Algunos de los principales beneficios que se han identificado hasta el momento, son los siguientes [2, 3]:

- Mayor estabilidad en la calidad del proceso de interpretación del ECG.
- Reducción de la subjetividad de las medidas manuales mediante la estandarización de los criterios utilizados para la interpretación.
- Extracción de características para ayudar a la mejor comprensión de la información incluída en la señal.
- Creación de bancos de datos de ECGs como apoyo a proyectos de investigación.
- Difusión del conocimiento de especialistas altamente calificados.
- Liberación parcial de la rutinaria tarea de interpretación visual directa del ECG para los especialistas.
- Uso de los datos obtenidos como herramienta para evaluar a especialistas en formación.

Para la realización del proceso de interpretación de una señal de ECG, hay ciertos componentes y eventos característicos en la misma que suelen ser tomados como referencia. Los fenómenos que usualmente encontramos gráficamente representados en una señal (ondas, intervalos, segmentos, etc.) y algunas de sus principales características, como lo son su morfología y magnitud, son medidos y cuantificados para su estudio. Con este fin, existen algoritmos que se encargan de identificarlos y posteriormente examinarlos. La Figura 2.2 muestra algunos de los eventos que se estudian habitualmente en el ECG. Entre ellos podemos encontrar [3]:

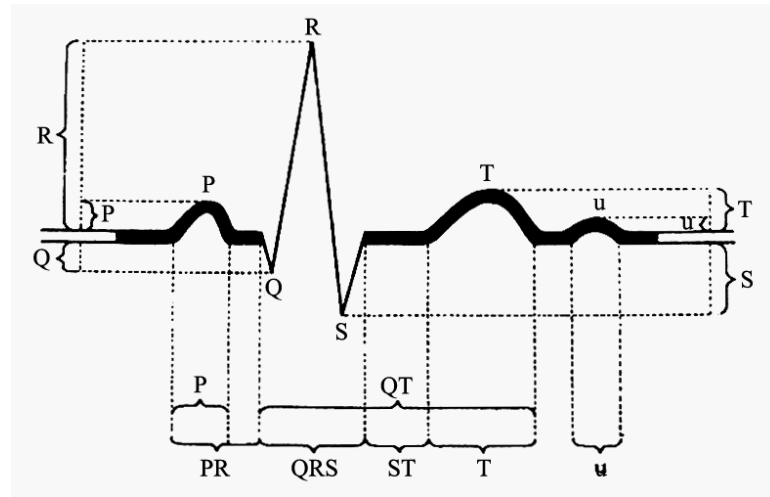


FIGURA 2.2. Dibujo de un ECG con etiquetas de ondas, intervalos y segmentos.  
[9]

- Actividad auricular representada por las ondas P, f, F.
- Intervalo PR.
- Complejos QRS y las ondas que los componen.
- Segmentos ST (desviación respecto a la línea base y pendiente).
- Onda T.
- Intervalo QT.

En la actualidad, existen algoritmos de análisis de ECGs capaces de detectar y evaluar los puntos clave mencionados. Esto mediante el uso de técnicas matemáticas complejas y, eventualmente, de diversos enfoques computacionales, como la Inteligencia Artificial. Lo cual brinda al campo de la investigación médica un sinnúmero de posibles aplicaciones prácticas de tal información.

Uno de los principales retos que se presentan en el desarrollo e implementación de un algoritmo de análisis de señales, y potencialmente también sea ésta su mayor utilidad,

es conseguir que el análisis efectuado por éste logre ser equivalente al que podría realizar un especialista médico. Se pretende la oportuna interpretación de características y descubrimiento de información significativa en éstas como podría llevarlo a cabo un humano en el mundo real.

## 2.4. Algoritmos de Búsqueda por Contenido en ECGs

Al interactuar con una base de datos de ECGs, se dan casos en los que es necesario realizar consultas para extraer datos concretos de la totalidad del contenido de una señal digitalizada. En algunos de estos casos, no es del todo fácil realizar dicha búsqueda para recuperar los datos requeridos. Sea esto debido a la manera en que los datos se encuentren almacenados o a la poca disponibilidad de herramientas para realizar esta tarea, considerando que no tratamos con un tipo de datos estándar bien estructurado.

Como consecuencia de lo mencionado anteriormente, al tratar con datos clínicos, los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) generalmente no proporcionan a los especialistas en el manejo de estos datos el soporte suficiente para manipularlos de manera eficiente. La falta de respaldo por parte de los SGBD para el almacenamiento y análisis de tipos de datos *no estructurados*, como lo son las señales de ECGs, provoca que los expertos opten por diferentes alternativas para llevar a cabo el proceso de análisis [16]. Lo cual no implica necesariamente la realización óptima, con respecto a tiempo y recursos, de dicho proceso.

La *búsqueda por contenido*, también llamada *búsqueda por similitud*, es utilizada principalmente cuando es necesario encontrar un patrón particular en la evolución temporal de cierto conjunto de datos de una señal. Esto se lleva a cabo mediante la comparación del conjunto de datos con un *patrón de consulta* específico, tomando como referencia un *grado de tolerancia de similitud* asignado [16].

Dado que los ECGs son un tipo de datos complejo, la utilización de algoritmos de búsqueda por contenido es una herramienta de gran importancia para su manejo y mayor aprovechamiento. Este tipo de operaciones es un tema central en el desarrollo de métodos para llevar a cabo minería de datos o descubrimiento de patrones de interés e información significativa en grandes acumulaciones de datos clínicos [15]. Gracias a esto, puede lograrse una mejor comprensión de los fenómenos cardiovasculares particularmente estudiados.

#### 2.4.1. Algoritmo Utilizado

En el presente trabajo fue implementado un algoritmo de búsqueda por similitud para la realización de consultas en una base de datos de señales de ECGs digitales, con el objetivo de identificar determinados patrones en el contenido de éstas. Para este fin, se seleccionó e implementó el *algoritmo del vecino más próximo*, ya que se ha comprobado que éste resulta efectivo para la realización de consultas de búsqueda por similitud en series de tiempo. Dicho algoritmo requiere de una función de distancia que es utilizada para calcular la similitud entre dos secuencias de datos. La función utilizada para esta tarea fue la denominada *distancia euclidiana*, que se considera una elección popular para estos fines [16].

El algoritmo se encarga de comparar un patrón de referencia dado de longitud  $n$ , con cada posible subsecuencia de longitud  $n$  contenida en una señal de ECG. La finalidad es encontrar la posición en donde inicia la subsecuencia de longitud  $n$  de una señal de ECG que más se asemeja al patrón de referencia dado. En nuestro caso particular, el conjunto de datos a comparar es representado por un subconjunto de todas las electrocardiografías almacenadas en una base de datos de señales de ECG.

Dicho proceso se repite para cada señal de ECG almacenada en la base de datos. Cada una de las  $n$  posiciones del patrón de referencia es comparada con cada posición de

determinada subsecuencia de la señal de ECG, hasta alcanzar su posición  $n$ . Todas las posiciones del patrón son comparadas con los datos de la señal, comenzando desde la primera posición y mientras se cumpla que la posición actual sea menor a la longitud total de la señal menos  $n$ , que representa a la longitud del patrón de referencia.

El algoritmo arroja como resultado la subsecuencia de la señal de ECG que presente una mayor semejanza con el patrón de referencia dado.

## 2.5. Importancia de una Base de Datos y un Sistema Gestor

Ebadollahi et al. [8] señalan que, a pesar de que las tecnologías de la información médica han sido por excelencia un dominio basado en el manejo de texto, su necesidad de utilizar grandes volúmenes de datos multimedia va progresivamente en aumento. La motivación principal se debe especialmente a los grandes avances tecnológicos en dispositivos de soporte al diagnóstico médico a través de imágenes, el registro de la actividad eléctrica corporal, y demás. La información clínica multimedia puede clasificarse, en general, de la siguiente manera [8, 20]:

- Texto: Reportes de laboratorio, notas clínicas, etc.
- Imágenes/Vídeo: Varias modalidades de imágenes médicas que reflejan la estructura y/o funcionamiento de los distintos órganos del paciente. Algunos ejemplos son: resonancias magnéticas, ultrasonidos, tomografías computarizadas, mastografías digitales, etc.
- Señales biomédicas: Electrocardiogramas, electroencefalogramas, etc.

Dicho lo anterior, es de considerar que el almacenamiento y el resguardo de grandes conjuntos de datos multimedia, como lo son las señales biomédicas, jueguen un papel primordial para los profesionales de la salud. Y, como consecuencia, para la comunidad científica.

Además de los beneficios referidos en la Sección 2.2, la utilización de bases de datos de ECGs y el adecuado manejo de la información contenida en ellas, resultan un elemento potencialmente fundamental para facilitar la toma de decisiones tanto para médicos, pacientes e investigadores [8, 16]. Sin embargo y como se mencionó anteriormente, las señales biomédicas no cuentan con el soporte de los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) comerciales al no ser consideradas como un tipo de datos *estructurado*; lo cual dificulta la tarea de realizar operaciones como exploración y búsqueda por contenido en estos datos.

Con *tipo de datos estructurado* nos referimos a un conjunto de datos en cuyo contenido es posible determinar distintas unidades semánticas, lo cual permite organizarlos para facilitar su posterior manipulación. Es decir, para la estructuración de un tipo de datos o un conjunto de estos, es necesaria la comprensión de su contenido y la capacidad de asociar e identificar conceptos en los diferentes elementos que lo componen [8]. De esta forma, la estructura de los datos propicia la simplicidad y eficiencia al momento de realizar operaciones sobre ellos.

En el contexto de las bases de datos de ECGs, no se cuenta con un modelo predefinido para la comprensión y organización interna del contenido de este tipo particular de señales biomédicas. Debido a que el modelo relacional se basa en el concepto formal de *conjunto*, éste no es precisamente adecuado para organizar datos de ECG [16].

Para almacenar una señal de ECG mediante un SGBD relacional, se cuenta básicamente con dos alternativas. Para la primera, es necesario almacenar cada uno de los valores de voltaje de la señal como un campo de una columna de tipo FLOAT, asociándolo en un registro con un campo en el que se especifique el identificador de la señal y otro que indique el índice de tiempo que corresponde al valor de voltaje almacenado. La otra alternativa, es que el conjunto de los valores que representan el voltaje de la señal sea almacenado en un campo de tipo FLOAT ARRAY en la base de datos, lo cual indica que los valores de voltaje se encuentran organizados como una secuencia de datos en un vector. PostgreSQL es un SGBD en el cual es posible



hacer uso de este tipo de campo.

La condición numérica y secuencial de las señales digitalizadas requiere de operadores para llevar a cabo tareas de consulta en bases de datos. En algunos casos, incluso es necesario realizar operaciones entre señales; como pueden ser suma, resta, multiplicación, entre otras. Tomando en cuenta que la mayoría de los SGBD están basados en el modelo relacional, esto deriva en la falta de alternativas o herramientas brindadas por parte de los SGBD para realizar operaciones de consulta en ellas, tarea que se convierte en un reto que involucra conocimientos específicos y la necesidad de implementar diversas técnicas.

Sin embargo, haciendo uso de Funciones Definidas por el Usuario (UDFs, por sus siglas en inglés), existe la posibilidad de implementar dichas operaciones, extendiendo a su vez la funcionalidad del SGBD [16]. Como se explica más a detalle en la Sección 3.4, con el gestor PostgreSQL es factible hacer uso de UDFs; de esta manera es posible integrar al gestor herramientas desarrolladas en diferentes lenguajes de programación, con el objetivo de implementar nueva funcionalidad y operaciones complejas que a través del estándar SQL no pueden ser realizadas.

## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente Capítulo, se describen tanto el modelo conceptual utilizado para el diseño de la base de datos implementada en este trabajo, como el origen y la estructura de los propios datos incluidos en la misma. Asimismo, se especifican las características y posibilidades del Sistema Gestor de Bases de Datos empleado para almacenar y manipular los datos de ECGs. Por último, se detallan las herramientas y métodos utilizados para la construcción de la interfaz gráfica de consulta Web.

#### 3.1. Descripción del Modelo de la Base de Datos

En la Figura 3.1 se presenta un diagrama del modelo lógico utilizado para la estructura de la base de datos. En el mismo, se muestran las entidades y relaciones que representan, de una manera estructurada, los conceptos necesarios para el almacenamiento de ECGs digitales.

Las relaciones presentes en el modelo propuesto involucran a las entidades *BD*, *Paciente*, *Electrocardiografía*, *Derivación* y *Anotación*.

De esta manera, en una base de datos (*BD*) se registra un *Paciente* al cual le fue realizado un estudio de *Electrocardiografía*; éste se encuentra conformado por una o varias *Derivaciones*, las cuales representan a cada una de las diferentes colocaciones de los electrodos en ciertas partes del cuerpo, esto con el objetivo de determinar la visión que está observándose de determinada área del corazón y su actividad eléctrica. Cada derivación, a su vez, puede presentar *Anotaciones*; es decir, datos complementarios a los valores de la señal como indicaciones de eventos característicos que ocurren en

ella, que pudieran aportar información de interés para su análisis.

### 3.1.1. Entidades, Atributos y Relaciones

En este apartado se describen los conceptos y atributos relevantes que integran el modelo lógico propuesto para la base de datos utilizada en este trabajo.

Para facilitar la interpretación del mismo, se incluyen ilustraciones de diagramas que representan gráficamente los componentes descritos y, además, se especifican brevemente las relaciones entre la entidad observada y las demás entidades que conforman el modelo.

*Entidad BD.* Esta entidad representa a una Base de Datos que contiene una colección de señales digitalizadas, pertenecientes a un grupo selecto de pacientes, siendo éstas seleccionadas y registradas según ciertos criterios establecidos. La entidad es caracterizada por los siguientes atributos, ilustrados en la Figura 3.2:

- *ID*: Identificador único para la Base de Datos.
- *Nombre*: Especifica el nombre de la Base de Datos.

La entidad *BD* se encuentra relacionada con la entidad *Paciente*. Una Base de Datos (BD) puede tener registrados uno o varios pacientes, por lo tanto, su multiplicidad es de uno-a-varios.

*Entidad Paciente.* Esta entidad representa al paciente al que se le realiza el estudio de electrocardiografía. La caracterizan los atributos que se listan a continuación, y que se muestran en la Figura 3.3:

- *ID*: Identificador único para el paciente.
- *Fecha\_Nac*: Especifica el día, mes y año de nacimiento del paciente.

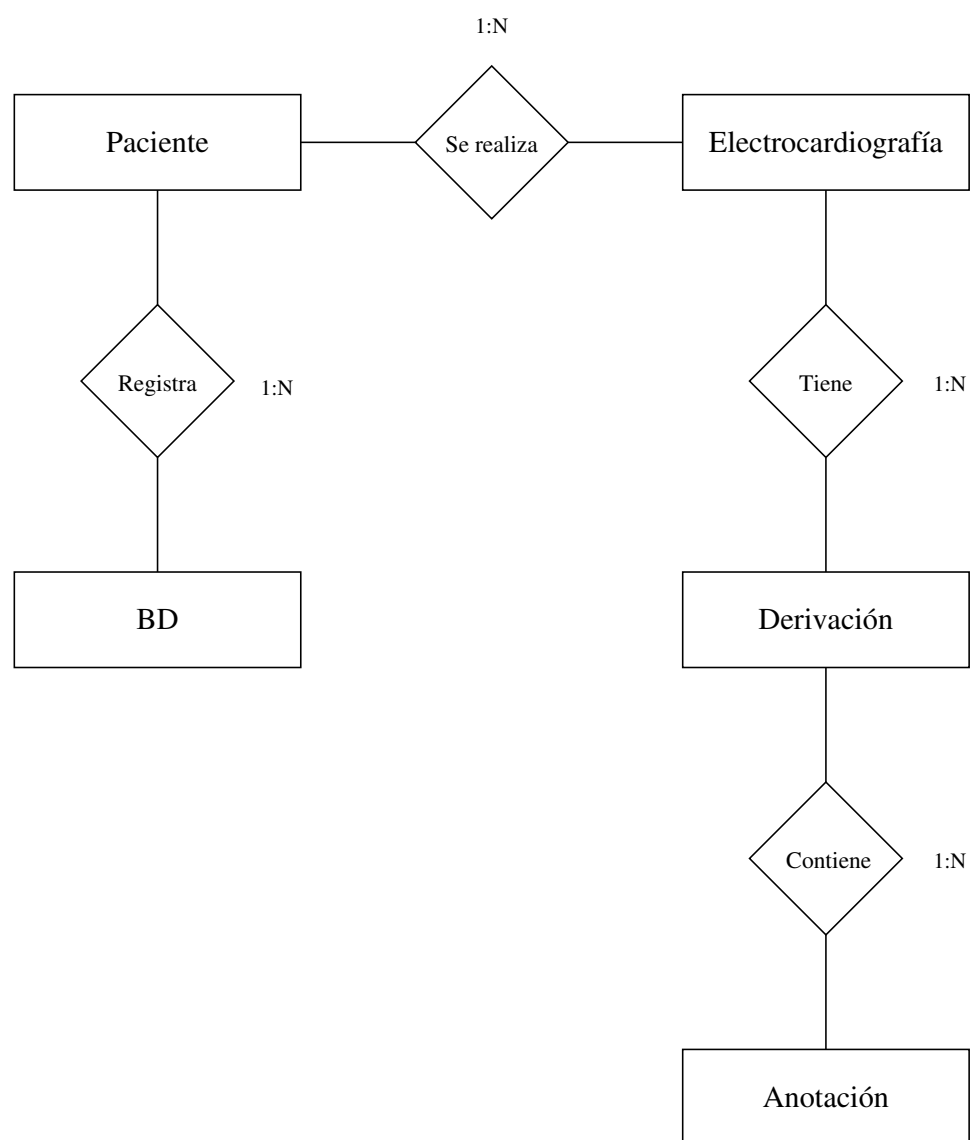


FIGURA 3.1. Modelo Entidad-Relación de la Base de Datos.

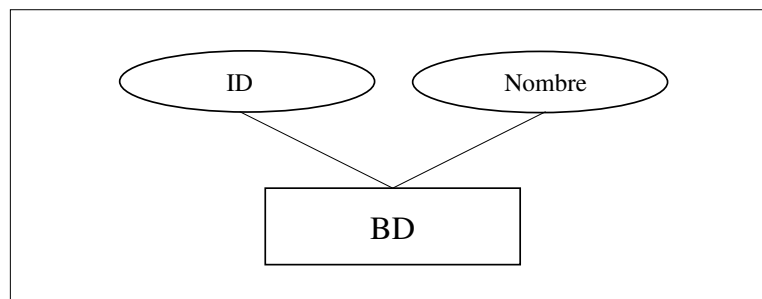


FIGURA 3.2. Entidad BD y sus Atributos.

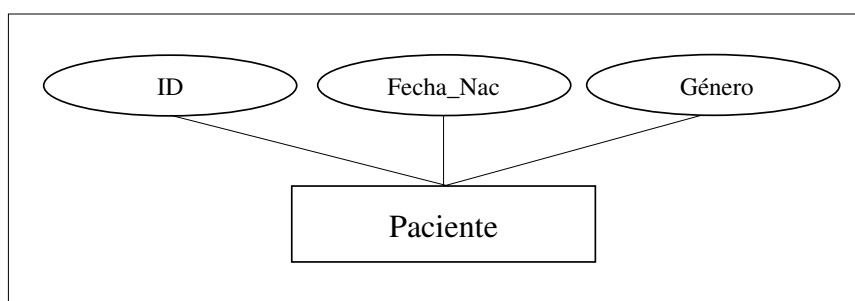


FIGURA 3.3. Entidad Paciente y sus Atributos.

- *Género*: Indica el género del paciente, masculino o femenino.

La entidad *Paciente* se vincula con la entidad *Electrocardiografía*. A un paciente puede realizársele uno o más estudios de electrocardiografía, lo que indica que su multiplicidad es de uno-a-varios.

*Entidad Electrocardiografía*. Esta entidad representa a un estudio de electrocardiografía realizado al paciente. Sus atributos, ilustrados en la Figura 3.4, son los siguientes:

- *ID*: Identificador único para la electrocardiografía.
- *Frecuencia\_Muestreo*: Especifica la frecuencia de muestreo con que fue registrado el ECG.
- *Longitud*: Indica la longitud del ECG con base en la cantidad de valores de

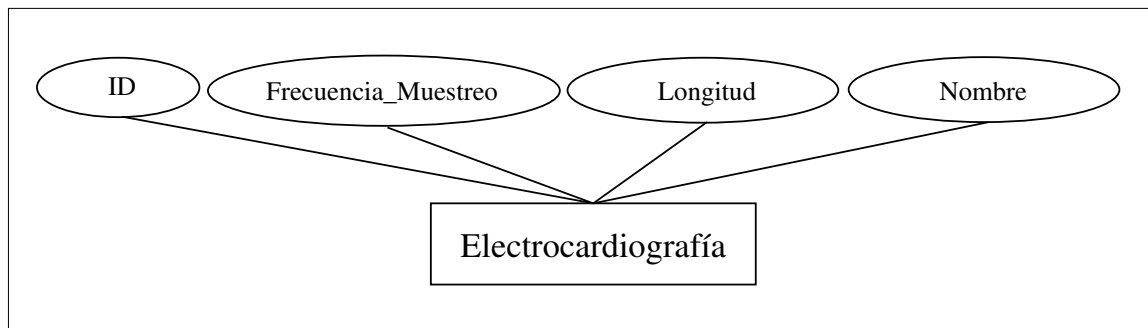


FIGURA 3.4. Entidad Electrocardiografía y sus Atributos.

voltaje registrados.

- *Nombre*: Especifica el nombre de la electrocardiografía, en caso de tenerlo.

La entidad *Electrocardiografía* se relaciona con la entidad *Derivación*. La multiplicidad en este caso es de uno-a-varios, ya que una electrocardiografía puede estar conformada por una o varias derivaciones, dependiendo del dispositivo con el que ésta fue registrada.

*Entidad Derivación*. Esta entidad organiza las señales que conforman al ECG. Un ECG común suele estar compuesto por 12 derivaciones, sin embargo, existen dispositivos que registran una cantidad menor de derivaciones. Debido a esto, en el modelo presentado, cada derivación es almacenada de manera individual. En la Figura 3.5 se muestran los atributos que caracterizan a la entidad, los cuales se listan a continuación:

- *ID*: Identificador único para la derivación.
- *Signal*: Representa al conjunto de los valores de voltaje que conforman la derivación.
- *Posición*: Indica la posición en la que se encuentran los electrodos para registrar la derivación, lo cual indica el tipo de derivación observada.

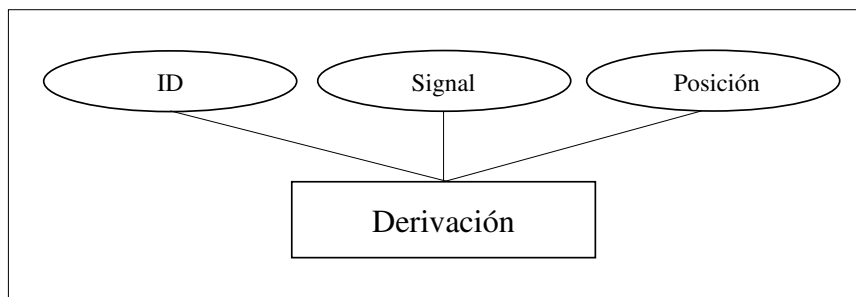


FIGURA 3.5. Entidad Derivación y sus Atributos.

La entidad *Derivación* se encuentra vinculada con la entidad *Anotación*. Una derivación puede presentar una o más anotaciones indicando eventos específicos de la señal observada. De ahí que su multiplicidad sea de uno-a-varios.

*Entidad Anotación.* Esta entidad representa a los eventos de interés que se registran en una derivación. La entidad es caracterizada por los siguientes atributos, que pueden ser vistos en la Figura 3.6:

- *Índice:* Representa al índice de tiempo correspondiente al valor de voltaje en el que se identificó un evento de interés.
- *Nota:* Valor que especifica qué tipo de evento se identificó en el índice de tiempo.

Esta entidad se encuentra relacionada con la entidad *Derivación*. Su multiplicidad es de varios-a-uno, debido a que una derivación en particular registra un conjunto de características relevantes anotadas.

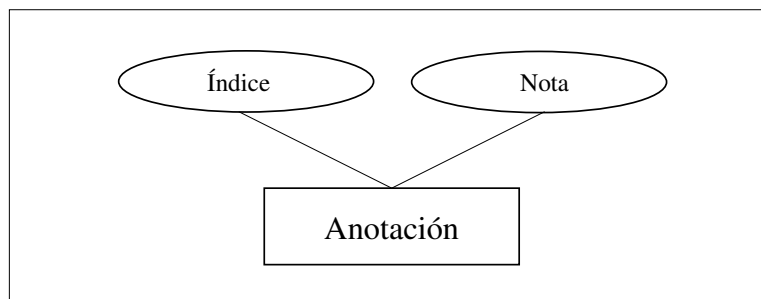


FIGURA 3.6. Entidad Anotación y sus Atributos.

### 3.2. Esquema de la Base de Datos

El modelo conceptual de la base de datos, presentado gráficamente en la Figura 3.1 y detallado en la Sección 3.1, se describe a continuación como el esquema de la base de datos. En él se especifica la estructura de las tablas generadas a partir del modelo Entidad-Relación presentado anteriormente. La notación utilizada con este fin, es la siguiente:

**Nombre\_de\_la\_Relación** (*atributo\_1*, *atributo\_2*, atributo\_3, ... atributo\_n)

Donde el identificador de la relación se encuentra destacado en **negritas**. Todo atributo resaltado en *itálicas* indica que se trata de la clave principal de la relación descrita. Un atributo enfatizado con formato *subrayado e itálicas*, señala que el mismo es una clave foránea. La notación para las claves foráneas se especifica a continuación:

*Nombre\_de\_la\_Relación.atributo*

La cual es representada por dos partes, separadas por el símbolo “.”. La primera parte de la clave indica el origen de la clave foránea. La segunda parte especifica la clave principal de la relación a la que la clave foránea pertenece.



**BD** (*ID<sub>BD</sub>*, Nombre)

**Paciente** (*ID<sub>Paciente</sub>*, *BD.ID<sub>BD</sub>*, Fecha\_Nac, Género)

**Electrocardiografía** (*ID<sub>Electrocardiografía</sub>*, *Paciente.ID<sub>Paciente</sub>*,  
Frecuencia\_Muestreo, Longitud, Nombre)

**Derivación** (*ID<sub>Derivación</sub>*, *Electrocardiografía.ID<sub>Electrocardiografía</sub>*,  
Signal, Posición)

**Anotación** (*Derivación.ID<sub>Derivación</sub>*, Índice, Nota)

FIGURA 3.7. Esquema de la Base de Datos.

Habiéndose establecido lo anterior, en la Figura 3.7 se presenta el esquema de la base de datos utilizada.

### 3.3. Sobre la Naturaleza de los Datos

La base de datos utilizada en el presente trabajo, fue poblada a partir de bancos de datos de ECGs disponibles para su uso por parte de la comunidad científica y proyectos de investigación.

Una de las fuentes de donde los datos fueron obtenidos, es el proyecto PhysioNet; una de las principales fuentes de señales de ECGs a nivel mundial. Como se mencionó anteriormente, éste dispone de una gran cantidad de colecciones de señales biomédicas digitalizadas e información relativa a las mismas, esto en un amplio archivo llamado *PhysioBank* [11, 18]. A la fecha de la realización de este trabajo, PhysioBank contenía más de 50 bases de datos de distintos tipos de señales fisiológicas disponibles, siendo 28 de ellas bases de datos de señales electrocardiográficas. Todas ellas accesibles para

su descarga gratuita desde el sitio Web de PhysioNet [19]. De entre dichas colecciones, la empleada en este trabajo es la base de datos Arritmia del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés); posiblemente la base de datos más ampliamente utilizada en la evaluación de algoritmos para la detección de anomalías en el ritmo cardiaco [17], y sobre la cual se profundizará en el siguiente apartado.

El origen de la segunda colección de ECGs con la que la base de datos fue poblada, es el banco de datos de ECGs perteneciente al Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” (INCICh), el cual es una de las instituciones de salud más reconocidas en México y sede de la Sociedad Mexicana de Cardiología. Las características de este banco de datos se detallan en la Sección 3.3.2.

Para poblar nuestra base de datos con los ECGs obtenidos de los bancos de datos mencionados anteriormente, se hizo uso de un programa desarrollado en el lenguaje de programación ANSI C, con ayuda del Compilador C de GNU (GCC, por sus siglas en inglés) en su versión 4.4.7. Dicho programa se encarga de generar archivos SQL correspondientes a los datos de cada una de las Electrocardiografías digitalizadas contenidas en los bancos de datos de ECGs utilizados en el presente trabajo, donde los valores de tiempo y de voltaje de las señales de ECG son obtenidos directamente de archivos de texto plano en formato ASCII.

Cada uno de los archivos SQL generados contiene una secuencia de instrucciones INSERT con los datos completos concernientes a un estudio de Electrocardiografía, incluyendo los valores de las señales y de sus respectivas anotaciones. Es posible interactuar con la base de datos y ejecutar estos archivos directamente desde *psql*, el cliente de consola que forma parte de PostgreSQL. Para esto fueron elaboradas rutinas en el sistema utilizando el lenguaje Shell Script, interpretadas por la interfaz de comandos de Linux conocida como Bash; en su versión 4.1.2.

### 3.3.1. Base de Datos Arritmia

De acuerdo con Moody y Mark [17], los registros que conforman la base de datos Arritmia fueron obtenidos y seleccionados por el Laboratorio de Arritmia del Hospital Beth Israel de Boston (BIH, por sus siglas en inglés; ahora llamado Centro Médico Diaconisa Beth Israel), entre los años 1975 y 1979, provenientes de una colección de 4,000 registros Holter de larga duración.

La base de datos se encuentra conformada por 23 registros elegidos de manera aleatoria del total, y 25 registros elegidos para incluir una variedad de arritmias raras pero clínicamente importantes, dando un total de 48 registros obtenidos de 47 sujetos observados.

Cada registro está conformado por dos señales extraídas de ECGs ambulatorios, cada señal tiene una duración de poco más de 30 minutos y cuenta con una resolución de 11 bits. Las señales fueron digitalizadas con una frecuencia de muestreo de 360 Hz por señal, relativos a tiempo real, sobre un rango de  $\pm 5$  mV.

La base de datos contiene aproximadamente 109,000 anotaciones de latidos. Estas anotaciones fueron incluidas como una referencia para identificar cada complejo QRS detectable en las señales.

### 3.3.2. Base de Datos del Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”

El INCICH cuenta con un banco de datos de ECGs cuya cantidad de señales se mantiene en constante aumento.

Cada registro de la base de datos está conformado por tres señales, registradas con una frecuencia de muestreo de 120 Hz por señal, relativos a tiempo real. Cada señal tiene una duración de entre 20 y 30 minutos, y cuenta con una resolución de 8 bits. Los ECGs son obtenidos de pacientes que sufren de Insuficiencia Renal Crónica, y estos fueron registrados mientras a cada paciente le era realizado un procedimiento

de hemodiálisis. La hemodiálisis tiene como principal finalidad el suplir parcialmente la función de los riñones en el organismo; mediante este procedimiento, la sangre del paciente es extraída y filtrada con el propósito de disminuir los niveles de toxinas y minerales innecesarios que los riñones en su función natural se encargan de regular. Debido a que la hemodiálisis requiere el acceso al sistema circulatorio, este proceso puede causar distintas alteraciones en la presión arterial y el corazón.

### 3.4. Sobre el Sistema Gestor de Bases de Datos

El SGBD utilizado en el presente trabajo fue PostgreSQL, en su versión 9.3. PostgreSQL es un SGBD relacional de código abierto. éste posee una arquitectura que ha ganado una sólida reputación de fiabilidad, integridad de datos y precisión. Cuenta con la mayoría de las características presentes en grandes SGBD comerciales, como transacciones, subselects, disparadores, vistas, claves foráneas, integridad referencial, y un sofisticado bloqueo. Pero también cuenta con características que algunos de ellos no poseen, como tipos definidos por el usuario, herencia, normas, y control de concurrencia multi-versión [13].

PostgreSQL brinda soporte a una gran parte del estándar SQL, y entre sus características destaca que permite el almacenamiento de objetos de gran tamaño; de esta manera nos es posible almacenar señales digitalizadas de ECGs en la base de datos. Asimismo, su funcionalidad puede ser extendida por el usuario de varias maneras; por ejemplo, agregando nuevos tipos de datos, Funciones Definidas por el Usuario, operadores, funciones de agregación, entre otros componentes [13].

Una *Función Definida por el Usuario* (UDF, por sus siglas en inglés), es una función que un administrador del sistema provee a un SGBD en un contexto en el que está supuesto que las funciones estén incorporadas dentro del SGBD. Mediante las UDFs, es posible integrar al gestor herramientas desarrolladas en diferentes lenguajes

de programación, con la finalidad de implementar nueva funcionalidad y operaciones complejas que con SQL no pueden ser realizadas.

Aprovechando las características mencionadas, con el gestor PostgreSQL es posible realizar consultas sobre datos almacenados de manera estructurada en la base de datos, esto mediante el estándar SQL. Además, es factible hacer uso de UDFs ya sea para integrar algoritmos de análisis de señales de ECGs, o para implementar consultas por contenido sobre las mismas, entre otras aplicaciones igualmente útiles para los propósitos de este trabajo.

Además, algunos lenguajes de programación como PHP incluyen una interface para PostgreSQL. En particular, esta interface de integración Web es ampliamente utilizada. ésta y otras interfaces de lenguajes como Perl, TCL, Python, y muchos otros, están disponibles para su uso como proyectos independientes que se descargan separadamente de PostgreSQL.

### 3.5. Sobre HTML5 y Canvas

El lenguaje de marcado de la World Wide Web por excelencia ha sido siempre HTML. En un principio, este lenguaje fue diseñado para describir semánticamente documentos científicos, pero las adaptaciones que ha sufrido en el transcurso de los años han permitido que en la actualidad éste sea utilizado para describir también una gran cantidad de otros tipos de documentos en la Web [5].

*HTML5* es la quinta revisión importante del lenguaje. Con esta actualización, el estándar pretende abordar cuestiones de actualidad que no fueron contempladas anteriormente. Esto mediante la adición de nuevos elementos y atributos que reflejan el uso típico de los sitios Web modernos, así como también excluyendo marcas en desuso o que son utilizadas de manera inadecuada.

Uno de los nuevos componentes que se incluyen en la versión más reciente del estándar,

es el elemento *Canvas*. Como la traducción de su nombre al español lo indica, se trata de un área de la página Web que cumple la función de *lienzo* de dibujo, éste puede ser utilizado, entre otras cosas, para la representación de gráficos 2D, así como imágenes de mapa de bits. Lo cual amplía notablemente las posibilidades de las páginas dinámicas.

En los siguientes apartados se profundizará con más detalle en la temática recién abordada.

### 3.5.1. El Lenguaje HTML5

El *Lenguaje de Marcado de Hipertexto*, en su versión 5 (*HTML5*, por sus siglas en inglés), no es simplemente una nueva versión del lenguaje básico de la World Wide Web, sino una agrupación de diversas especificaciones referentes al desarrollo Web y a la estructuración sintáctica de su contenido. Entre las especificaciones actualizadas con el nuevo estándar, encontramos: HTML4, XHTML, DOM2 y CSS2.

Además, HTML5 es multiplataforma, es decir, está diseñado para funcionar sin importar que se visualice desde una computadora personal, un teléfono móvil, una tableta o desde un televisor inteligente.

Entre los principales propósitos del diseño de esta versión, destacan dos de significativa importancia. Uno de ellos es la integración de nuevos elementos estructurales que definen una semántica mucho más precisa que la disponible en HTML4. Se definen con mayor claridad las diferentes partes de una página Web, gracias a un conjunto consistente de elementos semánticos que caracterizan los bloques estructurales que la conforman.

El otro propósito es la implementación de nuevas funcionalidades a través de una interfaz estandarizada; características que son esenciales para el modelo de desarrollo Web actual, como ofrecer contenido dinámico o multimedia sin la necesidad de utilizar

complementos adicionales. De esta manera, HTML5 ofrece desde animaciones gráficas, audio y vídeo, hasta la posibilidad de construir aplicaciones Web complejas. Sin embargo, las auténticas posibilidades de estos nuevos elementos HTML se descubren al combinarlos con otras tecnologías existentes en la Web, como el uso de lenguajes de script, la especificación SVG, el lenguaje CSS, entre muchos otros.

HTML5 fue finalmente aprobado como un estándar oficial por el Consorcio World Wide Web (W3C) el día 28 de Octubre de 2014 [6]. De esta manera se convierte en recomendación oficial, es decir, una versión estable de la especificación a modo de propuesta para su uso y aplicación por todas las empresas, instituciones y personas. La quinta revisión del lenguaje no es soportada por las versiones antiguas de navegadores, principalmente Internet Explorer, debido a las nuevas etiquetas incluidas en la especificación. Sin embargo, dicha tecnología se encuentra ya en uso y cada vez un mayor número de sus características son soportadas por sus versiones más recientes.

### 3.5.2. El Elemento Canvas

El elemento *Canvas* es uno de los nuevos componentes integrados al estándar de HTML en la quinta versión de este lenguaje. Permite emplear un área rectangular determinada en una página Web como un lienzo de dibujo, para generar en éste formas 2D e imágenes de mapa de bits [5].

Ahora bien, el elemento Canvas no cuenta con habilidades de dibujo por sí mismo, es sólo un contenedor para gráficos. Se puede acceder al área definida por este elemento haciendo uso de código JavaScript, a través de un conjunto de diversas funciones de dibujo 2D que permiten generar gráficos de manera dinámica. Lo cual permite trazar líneas, figuras como rectángulos y círculos, añadir texto o imágenes; definiendo también colores, estilos o sombras.

Canvas es un mapa de bits representado por una cuadrícula bidimensional de píxeles,

el cual por defecto no cuenta con bordes ni contenido. Cuenta con dos atributos que definen su tamaño: anchura y altura. En éste pueden ser ubicadas sus coordenadas, tomando como referencia la esquina superior izquierda, que representa a la coordenada (0, 0). De esta manera, es posible realizar trazos o dibujar imágenes indicando en una función de dibujo las coordenadas en las que se pretende ubicar el gráfico y la cantidad de píxeles que ocupará.

Algunos de los usos previstos para este componente de HTML5 son la creación de gráficos, animaciones, videojuegos de navegador, composición de imágenes artísticas, así como cualquier otro tipo de representaciones visuales.

En el presente trabajo de tesis se optó por utilizar el elemento Canvas de HTML5 para la representación y graficación de señales digitales de ECG. Éste nos brinda ventajas considerables en comparación con otras alternativas como la generación de imágenes SVG basadas en vectores, el uso exclusivo de JavaScript y CSS, el empleo de complementos externos (*plugins*) como Adobe Flash o la inclusión de bibliotecas para graficar. Algunas de las razones principales para la implementación de Canvas se detallan a continuación.

Tanto el elemento Canvas como los Scripts mediante los cuales es posible dibujar líneas y animaciones en él, se encuentran incrustados en el HTML. Es decir, forman parte del Modelo de Objetos del Documento (*DOM*, por sus siglas en inglés), lo cual les permite interactuar directamente con otros elementos HTML de manera dinámica y en tiempo real. Esto representa una ventaja sobre otras opciones como el uso de *plugins* externos al documento HTML que no pueden interactuar de manera directa con los otros elementos del DOM, como es el caso de Adobe Flash.

El soporte multiplataforma que recibe Canvas permite que los gráficos representados en la página Web puedan ser visualizados tanto en dispositivos móviles (Android, iOS, entre otros), como en computadoras de escritorio modernas que utilizan las versiones más actuales de los navegadores Web. Además de esto, el elemento Canvas es soportado nativamente por los navegadores Web sin necesidad de valerse de *plugins*



externos. Tomando en consideración que ciertos *plugins* no se encuentran disponibles en algunos de los principales sistemas operativos, esto resulta una ventaja notable. El uso del elemento Canvas y las funciones de dibujo 2D a las cuales es posible acceder mediante JavaScript, nos permite mantenernos dentro del estándar HTML5 y, a su vez, observar los beneficios de una aplicación Web dinámica.

## CAPÍTULO 4

# RESULTADOS

En este Capítulo, se presenta una descripción detallada acerca del diseño y la construcción de la interfaz gráfica de consulta en bases de datos de ECGs, así como de cada uno de los principales elementos que la integran. Con el fin de favorecer una mayor comprensión de la implementación realizada, se incluyen fragmentos del código que es ejecutado por el navegador Web al permitir su visualización. Asimismo, se especifican las técnicas y tecnologías utilizadas para la obtención de los datos almacenados en la base de datos, y la naturaleza de las variables que los contienen una vez que estos son recuperados.

### 4.1. Cómo Dibujar en Canvas

Como se mencionó en la Sección 3.5.2, el elemento Canvas nos permite emplear como lienzo de dibujo un área rectangular determinada en una página Web, de tal manera que es posible trazar en dicho lienzo las formas, imágenes o animaciones que sean necesarias para cumplir con el propósito de la página en cuestión. También es posible servirse de más de un Canvas dentro de la misma página Web, utilizando la etiqueta correspondiente a dicho elemento en el lenguaje HTML5:

```
1 <canvas id="lienzo" width="1000" height="525">  
2   Texto para los navegadores no compatibles con Canvas.  
3 </canvas>
```

CÓDIGO 4.1. Etiqueta Canvas en HTML5.

Donde el atributo *id* indica el identificador del elemento dentro de la página Web, mientras que los atributos *width* y *height* especifican las dimensiones de anchura y altura del lienzo en píxeles, respectivamente.

Para dibujar en el área delimitada por el elemento Canvas, es necesario hacer uso de scripts que permiten acceder a un conjunto de funciones y herramientas de dibujo para generar gráficos de manera dinámica. El lenguaje de script empleado con tal finalidad en el presente trabajo, fue JavaScript. De esta manera, es necesario acceder al contexto de renderizado del Canvas, sobre el que podremos invocar distintos métodos que permiten utilizar las funciones de dibujo disponibles. Un ejemplo simplificado del proceso se presenta en el Código 4.2, en una función que se ejecuta cuando la página es cargada por completo.

Para los fines propuestos en este trabajo, fue necesaria la utilización de dos Canvas en nuestra página creada de acuerdo al estándar de HTML5. En el primero de ellos se grafica la cuadrícula que representa al papel de registro que indica las escalas en que se miden el voltaje y el tiempo de un ECG. A su vez, sobre dicha cuadrícula se grafican la señal de ECG seleccionada y obtenida de la base de datos, y las anotaciones correspondientes a esa señal en particular.

En el segundo Canvas, fue implementada de manera gráfica una barra de desplazamiento horizontal que permite tanto la visualización de la señal de ECG completa

```
1  <script>
2  window.onload = function() {
3      //Obtener el elemento Canvas mediante su identificador.
4      var canvas = document.getElementById("lienzo");
5      //Acceder al contexto "2D".
6      var contexto = canvas.getContext("2d");
7      //Dibujar un rectángulo en el contexto del Canvas.
8      contexto.fillRect(50, 0, 100, 150);
9  }
10 </script>
```

CÓDIGO 4.2. Función para dibujar en Canvas.

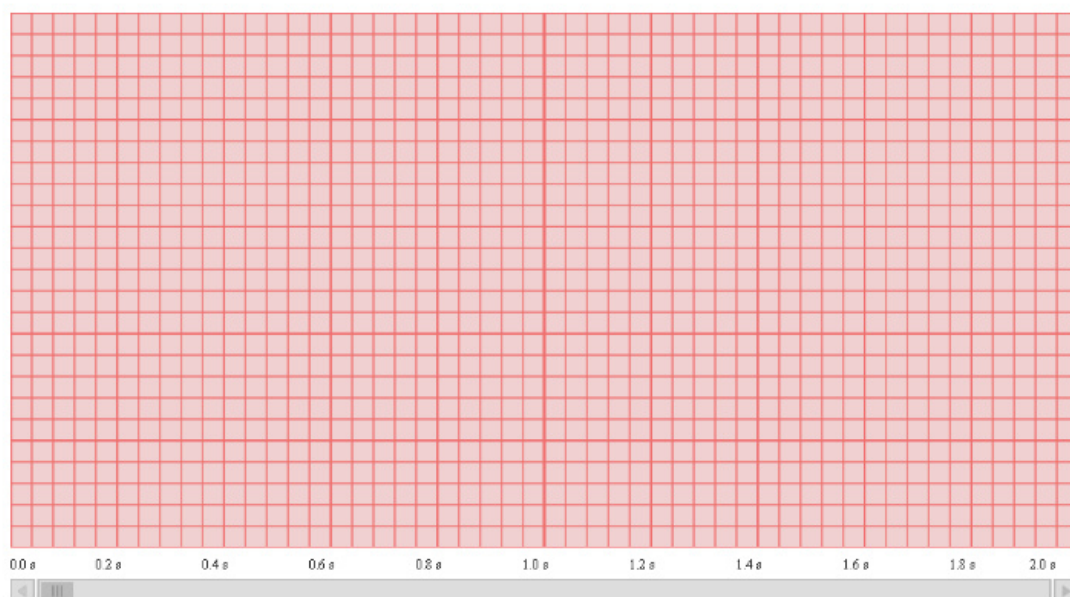


FIGURA 4.1. Cuadrícula y barra de desplazamiento representadas en Canvas.

como de sus respectivas anotaciones, recorriendo de esta manera la señal mediante el desplazamiento de la barra. En la Figura 4.1 se muestra la representación gráfica de ambos Canvas.

En los apartados que siguen a continuación, se detallan tanto la lógica como las técnicas utilizadas para la implementación de lo antes mencionado.

#### 4.1.1. Graficación y Características de la Cuadrícula

En la página Web creada con el lenguaje HTML5, fue utilizado un Canvas con medidas de 1000 px de ancho por 525 px de alto. En éste fue representada gráficamente una cuadrícula que indica las escalas con las que son valorados el voltaje y el tiempo de una señal de ECG; justo como la característica cuadrícula milimetrada en el papel de registro que es usado de manera cotidiana en el mundo real, para graficar las señales de la actividad eléctrica cardiaca directamente desde el electrocardiógrafo.

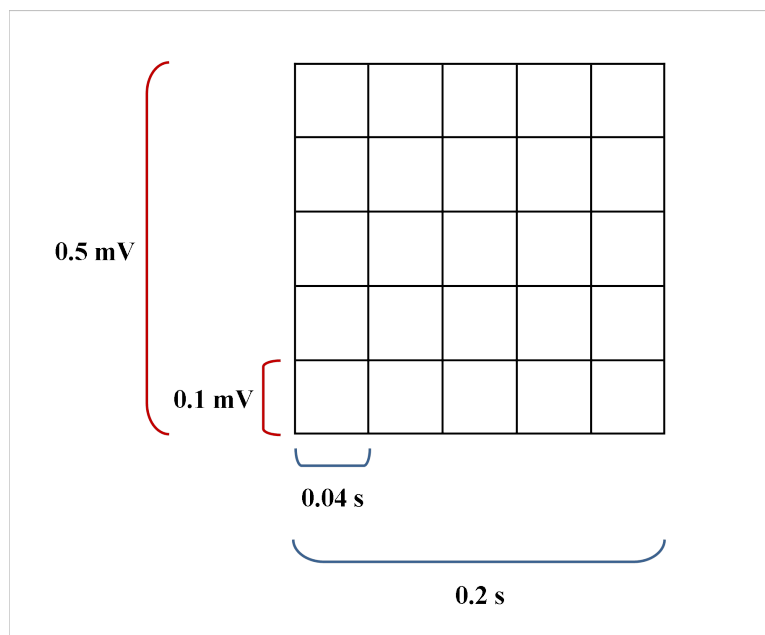


FIGURA 4.2. Interpretación de la cuadrícula milimétrica en un registro electrocardiográfico a 25 mm/s.

El papel de registro de ECG cuenta con ciertas particularidades que resultan de vital importancia para la correcta interpretación de las ondas, segmentos e intervalos que conforman las señales impresas en él. Como se mencionó anteriormente, en este papel se encuentra impresa una cuadrícula milimetrada tanto en sentido horizontal como vertical; cada 5 mm (o 5 cuadros pequeños) las líneas de la cuadrícula aumentan de grosor destacando así cuadros más grandes, con un tamaño de medio centímetro. Las líneas verticales de la cuadrícula miden el voltaje o amplitud de onda de la señal, de esta manera, medio centímetro de amplitud equivale a 0.5 mV de voltaje, o 1 mm equivale a 0.1 mV. Mientras que, las líneas horizontales de la cuadrícula referencian el tiempo. Tomando en cuenta que el papel de registro corre por lo regular a una velocidad constante de 25 mm/s en el electrocardiógrafo, un cuadro grande horizontalmente equivale a 0.2 s transcurridas, o cada cuadro pequeño, a 0.04 s.

Dichas características básicas del papel de registro, ilustradas en la Figura 4.2, fueron representadas gráficamente en la cuadrícula del Canvas, con la finalidad de propor-

```

1  /* Ciclo para las líneas horizontales. Se traza una línea cada
   20 píxeles, comenzando por el límite superior del Canvas
   hasta alcanzar el límite inferior, menos el margen
   reservado para indicar la escala de tiempo. */
2  for (var i=0; i <= alturaCanvas-margenInf; i=i+20) {
3      if(i % cuadroGrande == 0) {
4          //Mayor grosor de línea para definir cuadros grandes.
5          contexto.lineWidth = 2;
6      }
7      else {
8          contexto.lineWidth = 1;
9      }
10     //Se indica que comenzará a dibujarse una línea.
11     contexto.beginPath();
12     //Se sitúa el puntero en la posición inicial.
13     contexto.moveTo(0, i);
14     //Se especifica la posición final del puntero.
15     contexto.lineTo(anchuraCanvas, i);
16     //Se realiza el trazo.
17     contexto.stroke();
18     //Se indica el término de la línea.
19     contexto.closePath();
20 }

```

CÓDIGO 4.3. Ciclo para la graficación de líneas horizontales.

cionar las referencias indicadas para la lectura de un ECG. Esto se llevó a cabo por medio de estructuras FOR (o ciclos) en los que se trazaron las líneas horizontales y verticales que conforman la cuadrícula, los cuales fueron realizados de manera dinámica en funciones JavaScript. El Código 4.3 muestra un ejemplo simplificado del ciclo mediante el cual son dibujadas las líneas horizontales.

Además de las líneas que constituyen a la cuadrícula, para mayor practicidad, en la parte inferior del Canvas en el que ésta se grafica fue reservado un margen en el que se indica, a través de una escala numérica, el segundo de tiempo específico que se está visualizando en un momento determinado del ECG. Esta numeración puede ser apreciada en la parte inferior de la cuadrícula, en la Figura 4.1. En el fragmento de Código 4.4, se muestra de manera simplificada el ciclo por medio del cual son trazadas dichas escalas.

```

1  /* Ciclo para las abscisas de la cuadrícula. Cada 100 píxeles
   de izquierda a derecha, se dibuja en el margen inferior el
   valor de tiempo que corresponde a cada línea vertical
   perteneciente a un cuadro grande.      */
2  var segundos = 0;
3  for(var i=desplazamiento; i <= anchuraCanvas; i=i+100) {
4      //Se dibujan el valor numérico y símbolo del segundo.
5      contexto.fillText(segundos + "s", i-20, alturaCanvas-5);
6      //Se aumenta el valor del segundo de acuerdo a la proporción
       de tiempo que representa un cuadro grande.
7      segundos += 0.2;
8  }

```

CÓDIGO 4.4. Ciclo para escribir las abscisas de la cuadrícula.

Donde la variable *desplazamiento* representa a la distancia desde el origen que se ha recorrido de manera horizontal en el ECG. Esta distancia es referenciada por el comportamiento de la barra de desplazamiento.

#### 4.1.2. Graficación de una Señal de ECG y sus Anotaciones

Sobre la cuadrícula representada en el primero de los Canvas, y que es descrita a detalle en la Sección anterior, se grafica un segmento de señal de ECG cuyos datos son obtenidos mediante consultas PHP a la base de datos utilizada en el presente trabajo. Asimismo, se incluyen sobre éste eventuales líneas verticales de color verde acompañadas de símbolos en la parte superior, los cuales representan a las anotaciones con las que se indican algunos de los eventos característicos en la señal, obtenidas también a través de consultas a la base de datos y almacenadas en un arreglo PHP, al igual que los datos que componen al segmento de la señal.

El conjunto de los datos que conforman a una señal digitalizada de ECG se encuentra compuesto principalmente por dos tipos de valores: uno especifica un índice de tiempo, mientras que el otro representa al voltaje registrado en el momento específico del ECG que indica el índice.

```

1  <script>
2  /* Función para la graficación de un segmento de ECG. Recibe
   como parámetro el arreglo con los datos.  */
3  function graficarDatos(arreglo) {
4      //Definición de constantes y variables.
5      var DPCM = 100;          //Puntos por centimetro.
6      var H_MARGIN = 0;        //Margen horizontal, en cms.
7      var V_MARGIN = 2;        //Margen vertical, en cms.
8      var CM_PER_MV = 1;       //Centimetros por microvoltio.
9      var CM_PER_SEC = 2.5;    //Centimetros por segundo (25 mm).
10     var x_pos = H_MARGIN * DPCM;
11     var delta = DPCM*CM_PER_SEC*segsVis/freq;
12     var maxi = 0.0;
13     var y;
14     //Se indica que comenzará a dibujarse una línea.
15     contexto.beginPath();
16     //Se sitúa el puntero en la posición inicial.
17     contexto.moveTo(x_pos, ((1-(arreglo[ind1]-mini)*CM_PER_MV+
        V_MARGIN)*DPCM));
18     //Ciclo en el que se calculan las siguientes posiciones.
19     for(var i=ind1; i<ind2; i++) {
20         x_pos = x_pos + delta;
21         y = (((1-(arreglo[i]-mini)*CM_PER_MV+V_MARGIN)*DPCM));
22         //Se situa el puntero en la siguiente posición.
23         contexto.lineTo(x_pos, y);
24     }
25     //Se traza la línea que une todas las posiciones.
26     contexto.stroke();
27     //Se indica el término de la línea.
28     contexto.closePath();
29 }
30 </script>

```

CÓDIGO 4.5. Función para la graficación de un segmento de ECG.

Al representar de manera gráfica una señal de esta naturaleza, dependiendo de la frecuencia de muestreo que fue utilizada para digitalizarla, es posible conseguir que su morfología se ajuste a las escalas empleadas en este caso particular para su representación, las cuales son indicadas mediante la cuadrícula.

En el Canvas con medidas de 1000 px de ancho por 525 px de alto, se representan de forma gráfica los datos correspondientes a 2 segundos de tiempo de una señal de



```

1  /* Ciclo para la graficación de anotaciones. Se recorre el
   arreglo que contiene las anotaciones relativas al segmento
   de ECG. */
2  for(var i=0; i<cantAnot; i++) {
3      // Si una anotación se encuentra en el rango del conjunto de
   datos de ECG graficados, se dibuja.
4      if(anotaciones[i][0] >= pos1 && anotaciones[i][0] <= pos2) {
5          //Se dibuja una línea vertical en la posición.
6          contexto.beginPath();
7          contexto.moveTo((anotaciones[i][0]-pos1)*delta, 0);
8          contexto.lineTo((anotaciones[i][0]-pos1)*delta,
   alturaCanvas-margenInf);
9          contexto.stroke();
10         contexto.closePath();
11         //A través de la función obtenerAnotacion, se evalúa y
   obtiene el caracter que distingue al evento.
12         caracter = obtenerAnotacion(anotaciones[i][1]);
13         //Se escribe el símbolo de la anotación.
14         contexto.fillText(caracter, (anotaciones[i][0]-pos1+5)*
   delta, 35) ;
15     }
16 }

```

CÓDIGO 4.6. Ciclo para la graficación de anotaciones.

ECG. Mediante una barra de desplazamiento horizontal implementada en el segundo Canvas, la cual es descrita en la siguiente Sección, es posible recorrer la señal seleccionada para visualizar los segundos ya sea anteriores o posteriores a estos, hasta cubrir de esta forma la totalidad de la señal.

El Código 4.5 corresponde a la función JavaScript con la cual son graficados los datos que componen a un segmento de señal de ECG.

Donde las variables *segsVis* y *freq*, se refieren a la cantidad de segundos visualizados en nuestro Canvas y a la frecuencia de muestreo correspondiente al ECG. Mientras que la variable *mini* representa al valor de la media de los datos que conforman a la señal de ECG, y las variables *ind1* e *ind2* se refieren a los valores que indican respectivamente el comienzo y el fin del segmento a graficar.

Por su parte, el conjunto de datos que conforma a las anotaciones relacionadas a la

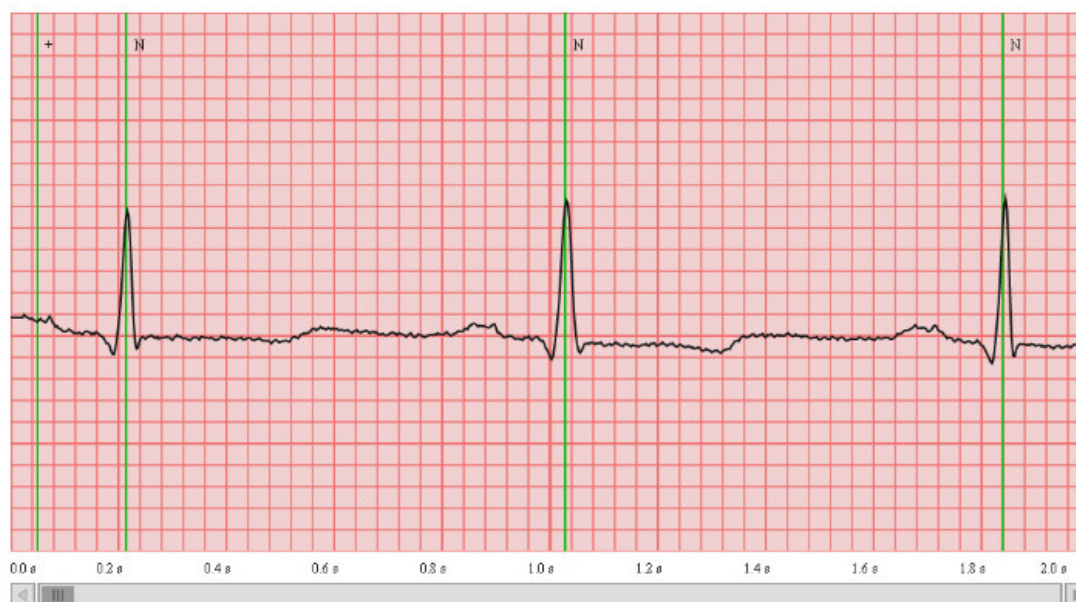


FIGURA 4.3. Representación gráfica de una señal de ECG con anotaciones.

señal de ECG visualizada, se compone también de dos tipos de valores: uno especifica un índice de tiempo, mientras que el otro representa, mediante un símbolo, a la anotación que indica un evento particular detectado en el momento de tiempo señalado por el índice. Dichos momentos de tiempo fueron señalados de manera gráfica mediante líneas de color verde que cruzan verticalmente a la señal, en cuya parte superior derecha se indica, en forma de texto, el símbolo representativo de la anotación.

En el Código 4.6 se muestra, de manera simplificada, el ciclo a través del cual son dibujadas las líneas y el texto que permiten identificar a las anotaciones pertenecientes al segmento de ECG visualizado, en caso de haberlas.

Finalmente, en la Figura 4.3 se ilustra una señal de ECG representada de manera gráfica, incluyendo las marcas de sus respectivas anotaciones.

### 4.1.3. Barra de Desplazamiento

Como se mencionó anteriormente, para los fines propuestos en el presente trabajo fue necesaria la utilización de dos Canvas en nuestra página Web. En este apartado se detalla la implementación de una barra de desplazamiento horizontal en el segundo de ellos.

Este segundo Canvas, con medidas de 1000 px de ancho por 22 px de alto y que se encuentra colocado justo debajo del primero, hace las veces de barra de desplazamiento horizontal tanto en aspecto visual como en funcionalidad. De esta manera, por medio de los eventos que regulan el funcionamiento de una barra de desplazamiento común, puede conseguirse un control sobre la graficación dinámica y visualización de los elementos del Canvas en el que se encuentra representada la señal de ECG con sus respectivas anotaciones.

La barra de desplazamiento fue diseñada e implementada de acuerdo a las necesidades particulares del presente proyecto. Esto con la finalidad de tener un control total sobre el manejo de los datos obtenidos mediante consultas dinámicas a la base de datos y, como consecuencia, sobre el rendimiento y los tiempos de respuesta de la interfaz Web.

Fueron dibujados en el Canvas los elementos esenciales de una barra de desplazamiento horizontal estándar: la pista de la barra o *track*, el control deslizante o *thumb*, botones derecho e izquierdo, flechas, etc. Y, mediante los eventos del mouse que pueden registrarse en el elemento Canvas de HTML5, a dichos componentes les fue asignada la funcionalidad que les corresponde por defecto, ligando a su vez la acción de estos al comportamiento y graficación dinámica del primer Canvas. Con esto, el desplazamiento de la barra hace posible dirigir y coordinar la visualización de los fragmentos de señal obtenidos de la base de datos, así como también se convierte en un indicador que contribuye a generar las consultas a ésta en tiempo real.

A manera de ejemplo, en el Código 4.7 se muestra de forma simplificada la fun-

```

1  <script>
2  /* Función que dibuja el thumb. Recibe como parámetros: la
   nueva posición horizontal del thumb con respecto a la barra
   de desplazamiento (x), su posición vertical (y), y las
   dimensiones de anchura (w) y altura (h).          */
3  function dibujarThumb(x,y,w,h) {
4      //Se indica que comenzará a dibujarse el contorno.
5      contexto.beginPath();
6      //Se dibuja de acuerdo a las dimensiones dadas.
7      contexto.rect(x-15,y,w,h);
8      //Se rellena de color.
9      contexto.fill();
10     //Se realiza el trazo.
11     contexto.stroke();
12     //Se indica el término del rectángulo.
13     contexto.closePath();
14 }
15 </script>

```

CÓDIGO 4.7. Función para dibujar el elemento desplazante de la barra.

ción con la cual es dibujado el rectángulo que representa al thumb de la barra de desplazamiento. Esta función es invocada de manera continua para así simular el desplazamiento del thumb sobre la barra, cuando el usuario interactúa con ella a través de los eventos del mouse sobre el Canvas en la página Web. Al redibujar el thumb cada pocos microsegundos, es posible generar una animación que produce el efecto de su movimiento y, al tiempo, referenciar la posición en que éste fue colocado por el usuario; consiguiendo así un índice que señala al segmento de ECG proporcional a la posición de la barra de desplazamiento en que se sitúa, para posteriormente obtener los datos que conforman al segmento y graficarlos.

Donde la variable  $x$  es tomada, por parte de las funciones que se encargan de la graficación de la señal y sus anotaciones, como la referencia que señala al segmento de ECG que debe ser graficado. Esto de acuerdo a la proporcionalidad entre la posición del thumb en la barra de desplazamiento, y determinado índice de tiempo en el conjunto de los datos que conforman a la señal de ECG.

Finalmente, en la Figura 4.4 se ilustran gráficamente todos los componentes de la

## Visualizador de Señales de ECG

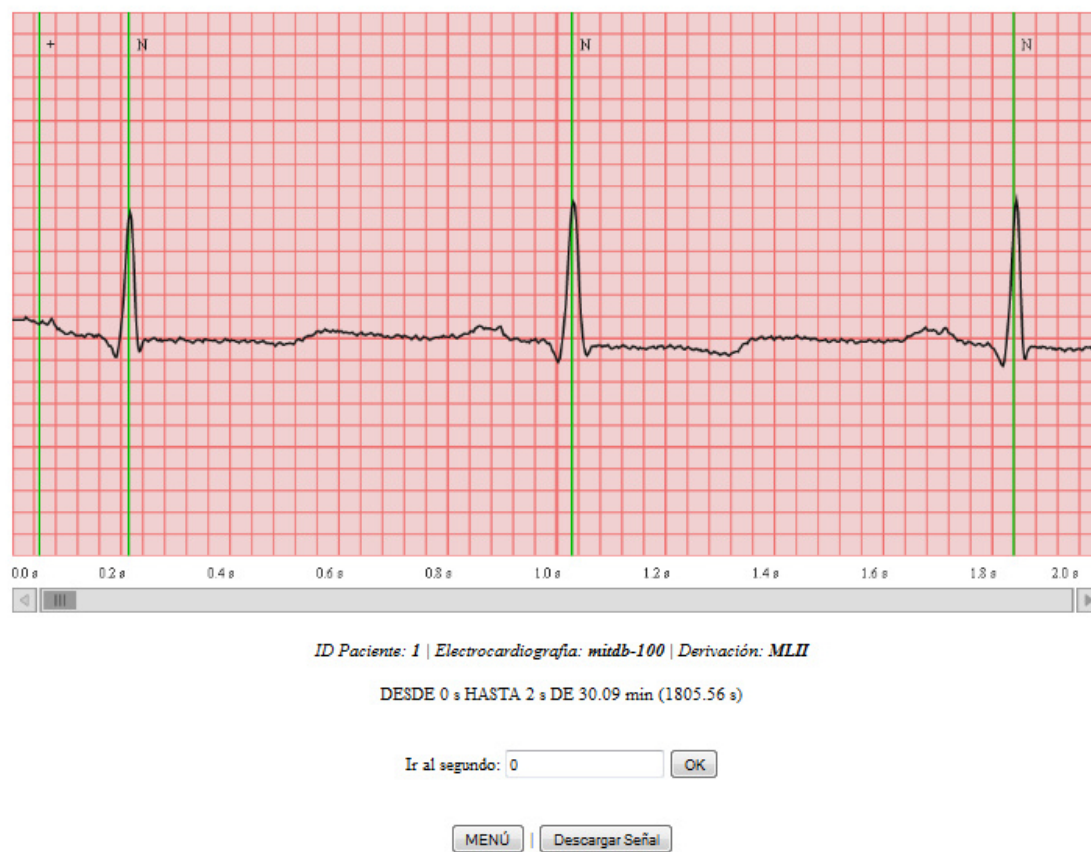


FIGURA 4.4. Interfaz de consulta por contenido en una base de datos de ECGs.

interfaz de consulta por contenido en una base de datos de ECGs.

```

1  /* Definición de la UDF. Crea o reemplaza una función en
    lenguaje C, que recibe como parámetros: el ID de la columna
    donde se almacena el arreglo de los datos, un índice
    inicial y la cantidad de datos a consultar. */
2  CREATE OR REPLACE FUNCTION subsecuencia_arr(float ARRAY,
    integer, integer)
3  RETURNS SETOF record
4  AS '/usr/lib/libsubsecuencia.so', 'subsecuencia_arr'
5  LANGUAGE 'C' IMMUTABLE STRICT;

```

CÓDIGO 4.8. Definición de UDF para obtener una subsecuencia de datos.

## 4.2. Conexión a la Base de Datos

La conexión a la base de datos necesaria para la obtención del conjunto de datos a graficar en la página Web, fue realizada por medio del lenguaje de script PHP, cuyos scripts son procesados del lado del servidor para generar código HTML de manera dinámica como respuesta.

*PHP: Preprocesador de Hipertexto* (*PHP*, por sus siglas recursivas en inglés) es un lenguaje de programación de propósito general y de código abierto que es especialmente utilizado para el desarrollo Web de contenido dinámico, y que puede ser incorporado directamente en documentos HTML [12]. PHP puede emplearse en la mayoría de los servidores Web, así como en todos los sistemas operativos principales y plataformas.

Una de las características más robustas y destacables de PHP es su soporte para un amplio repertorio de motores de bases de datos. Conseguir el acceso de una página Web a una base de datos puede llegar a ser algo muy simple utilizando una de las extensiones específicas de bases de datos con las que cuenta el lenguaje, en nuestro caso, fue utilizada la extensión de soporte para PostgreSQL. Esta interface de integración Web es ampliamente utilizada, dado que PostgreSQL es uno de los sistemas de gestión de bases de datos de código abierto más potentes del mercado.

Una consulta a la base de datos, realizada por medio de la conexión establecida, tiene como resultado un conjunto de datos de una señal de ECG previamente seleccionada. Considerando que una señal digitalizada de ECG es representada como una secuencia

finita de datos, realizar una consulta solicitando un segmento de ésta, implica obtener como resultado una subsecuencia de los datos que conforman a la señal.

Para llevar esto a cabo, fue creada una UDF cuya definición se muestra en el Código 4.8; ésta fue escrita en el lenguaje de programación ANSI C y posteriormente integrada a PostgreSQL como *Función del lenguaje C*. La posibilidad de extender la funcionalidad del gestor mediante la integración de instrucciones en un lenguaje de programación de propósito general, como ANSI C, para resolver un problema específico que no es posible abordar mediante las funciones estándar provistas por el SGBD, brinda una oportunidad de hacer frente a los retos que representan el almacenamiento y consulta de datos no estructurados [16], lo cual resulta una ventaja considerable para los propósitos de este trabajo.

Para caracterizar de forma adecuada a una señal de duración considerable, el conjunto de datos que la conforman puede llegar a estar compuesto de cantidades por encima de cientos de miles de datos que representan ya sea a la señal completa, o a un segmento de ésta. Tales cantidades de datos, debido a su complejidad y tamaño en conjunto, pueden requerir de un espacio significativo en memoria al ser almacenados a partir de la consulta para su posterior uso y graficación.

Tomando en cuenta que los recursos de los que disponen tanto el cliente desde el que se realiza la consulta a la base de datos, como el servidor en el que ésta se encuentra alojada, delimitan la fluidez en lo que respecta a la óptima visualización de una página Web; en el presente trabajo optamos por la realización de una cantidad de consultas dinámicas por medio de PHP, solicitando a la base de datos conjuntos de datos correspondientes a segmentos breves de la totalidad de la señal. De esta forma, es posible obtener un segmento de señal a la vez y graficarlo, dependiendo esto del momento del ECG que se esté visualizando; reduciendo así la cantidad de espacio necesario para el almacenamiento de los datos en memoria y propiciando con esto mayor rapidéz y utilidad en la interacción del usuario con la interfaz.

Con el script representado en el Código 4.9, se muestra un ejemplo de la manera en

```

1  <?php
2  #Parámetros para la consulta.
3  $indice1=0;           #Índice inicial del segmento.
4  $incremento=10000;    #Número de datos a consultar.
5  $id=$_GET["z"];       #ID de la señal, tomado de la URL.
6  #Se conecta PHP a PostgreSQL.
7  $db = pg_connect("dbname=BaseDeDatos user=Usuario password=
    Contraseña")
8      or die("Error al conectarse a la Base de Datos.");
9  #Se realiza una consulta solicitando una subsecuencia de datos
    de la señal de ECG seleccionada, por medio de la UDF
    subsecuencia_arr. Ésta recibe como parámetros: IDatributo,
    ValorInicial, NumDeDatos.
10 $result = pg_query($db, "SELECT (subsecuencia_arr(signal,
    $indice1, $incremento)).f1, (subsecuencia_arr(signal,
    $indice1, $incremento)).f2 FROM derivacion WHERE id=$id");
11 #Se cierra la conexión con la base de datos.
12 pg_close($db);
13 #Se almacenan en un arreglo los datos obtenidos.
14 $i =0;
15 while($row=pg_fetch_assoc($result)) {
16     $a[$i] = $row["f2"];
17     $i++;
18 }
19 ?>

```

CÓDIGO 4.9. Conexión con la base de datos y consulta PHP.

que es realizada la conexión con PostgreSQL mediante PHP. También se muestra la consulta a través de la cual son obtenidos los datos correspondientes a un segmento de señal de ECG, para posteriormente ser almacenados en un arreglo PHP.

### 4.3. Interoperabilidad entre PHP y JavaScript: AJAX

*JavaScript* es un lenguaje de script de alto nivel, débilmente tipado, orientado a objetos y dinámico. La mayoría de las páginas Web actuales hacen uso de código JavaScript, y todos los navegadores modernos en diversas plataformas incluyen intérpretes del lenguaje [10]. Los scripts pueden interactuar con el usuario, tener cier-



to control sobre el navegador Web y alterar el contenido que aparece en el documento visualizado en dicho navegador, ya que su código es procesado del lado del cliente.

Una cuestión de importancia es que, como ya se mencionó, PHP se ejecuta en el servidor generando dinámicamente código HTML que le envía al cliente antes de que la página sea cargada. Esto mientras que el código JavaScript siempre se ejecuta únicamente en la máquina cliente, valiéndose de los eventos del navegador. Considerando las capacidades y características que diferencian a ambos lenguajes, lo anterior supone una dificultad al momento de requerir que algunas variables interactúen entre un lenguaje y otro durante el tiempo de ejecución de una página Web.

Puesto que, para que la graficación dinámica de los datos obtenidos mediante consultas PHP a la base de datos sea posible, estos datos deben ser manipulados mediante JavaScript para tener acceso a las funciones de graficación en Canvas, se vuelve indispensable contar con comunicación directa y en tiempo real entre ambos lenguajes para llevar a cabo tal empresa.

Existen tecnologías que permiten al cliente realizar llamadas al servidor de manera interactiva sin necesidad de cargar una nueva página o recargar automáticamente la página actual, mejorando así la usabilidad y velocidad de las aplicaciones Web. Un ejemplo de ello es la técnica de desarrollo Web conocida como *AJAX* (acrónimo en inglés para *JavaScript Asíncrono y XML*). Este término se refiere al uso de varias tecnologías Web —incluyendo principalmente a las mencionadas en sus siglas— que se ejecutan en el cliente, es decir, en el navegador del usuario, mientras se mantiene una comunicación generalmente asíncrona con el servidor en segundo plano. El hecho de que la comunicación se realice de manera *asíncrona* indica que los datos solicitados al servidor por ese medio se obtienen y se cargan con una prioridad baja y sin interferir con la visualización ni el comportamiento de la página en tiempo real. No obstante, también es posible realizar peticiones al servidor de manera *síncrona*, es decir, en caso de que los datos solicitados sean indispensables para el funcionamiento de la página, ésta permanece bloqueada esperando a que llegue la respuesta del servidor antes de

realizar cualquier otra acción.

La implementación de la tecnología AJAX puede llegar a resultar un tanto compleja debido al conjunto de conocimientos que esto supone acerca de las demás tecnologías implicadas en ella, pero también es posible encontrar herramientas como bibliotecas de clases y frameworks que simplifican de manera notable dicha tarea. Tal es el caso de la biblioteca de código abierto *Xajax* realizada con PHP y enfocada de lleno en este lenguaje, la cual fue utilizada en el presente trabajo. ésta es compatible con los principales navegadores y utiliza una forma de trabajo en la cual se designa qué funciones de código PHP se convierten en funciones AJAX; esto permite ejecutar funciones PHP, que se procesan en el servidor, cuando el usuario realiza acciones en la página. Luego, los resultados de esas funciones PHP se producen en la misma página, sin que ésta tenga que recargarse.

Una de las principales ventajas que ofrece el hecho de utilizar la biblioteca *Xajax*, es que ésta se encuentra puramente centrada en PHP; esto supone beneficios para nuestro proyecto ya que, con la introducción de la misma, el manejo de AJAX en los scripts PHP utilizados resulta más sencillo y práctico que una interacción directa con el objeto XMLHttpRequest. Esta herramienta nos permite simplificar de manera notable el código y propicia una mayor facilidad para su mantenimiento.

En nuestro caso particular, haciendo uso de la biblioteca *Xajax*, fueron registradas como funciones AJAX las funciones que mediante PHP se conectan a la base de datos y realizan consultas solicitando conjuntos de datos correspondientes a segmentos breves de una señal de ECG. Esto para, posteriormente, invocar mediante JavaScript y ejecutar de manera síncrona las funciones PHP referidas, de acuerdo a la interacción del usuario con la interfaz. Y, por último, como resultado de las consultas a la base de datos, obtener y almacenar directamente en variables JavaScript los datos que finalmente son gráficamente representados por medio de funciones y herramientas de dibujo en el Canvas de HTML5.

El Código 4.10, ejemplifica la forma en que es utilizada la biblioteca *Xajax* para re-

```

1  <?php
2  #Se incluye la clase Xajax.
3  require '../xajax/xajax_core/xajax.inc.php';
4
5  #Se instancia el objeto de la clase Xajax.
6  $xajax = new xajax();
7
8  #Se registran las funciones PHP.
9  $xajax->register(XAJAX_FUNCTION, 'consultarDatos');
10 $xajax->register(XAJAX_FUNCTION, 'consultarAnotaciones');
11 $xajax->register(XAJAX_FUNCTION, 'descargarSeñal');
12
13 #Se procesa el registro.
14 $xajax->processRequest();
15 ?>

```

CÓDIGO 4.10. Registro de funciones mediante la biblioteca Xajax.

gistrar funciones PHP como funciones AJAX. Lo cual nos permite, posteriormente, invocar a éstas a través de JavaScript.

#### 4.4. Tratamiento de los Datos y sus Implicaciones en el Desempeño

El desempeño del visualizador de señales de ECG se ve directamente afectado tanto por la cantidad de datos que son constantemente solicitados a la base de datos de ECGs alojada en el servidor, como por la forma en que estos datos son posteriormente almacenados y tratados para su uso.

Entre otros factores, sobre los cuales también se profundizará en este apartado, existen ciertas variables contenedoras de datos cuyos valores determinan, de manera parcial, los tiempos de respuesta de la página Web y la rapidez de la comunicación entre ésta y la base de datos. A través de la modificación de estos valores, es posible ajustar el rendimiento general de la interfaz.

Otra cuestión de importancia es el hecho de que, debido a que uno de los objetivos

de este trabajo se enfoca en brindar al usuario una opción que facilite su interacción con la información almacenada en bases de datos de señales de ECGs, se ha optado por que la funcionalidad del visualizador sea dinámica. La graficación de las señales en la interfaz es actualizada periódicamente en lapsos breves de tiempo, es decir, el segmento de señal visualizado es redibujado continuamente; esto con la finalidad de que el usuario tenga la posibilidad de dirigir la visualización de una señal de tal longitud como un ECG, de manera simple y práctica en tiempo real. Tal dinamismo en la graficación de las señales, a su vez, implica repercusiones en el rendimiento general de la página Web.

#### **4.4.1. Variables que Afectan el Desempeño**

Debido a las grandes cantidades de datos que componen a una señal digitalizada de ECG de duración considerable, y al tamaño virtual que estos datos representan en conjunto, resulta poco viable almacenar en memoria la totalidad de la señal para la posterior graficación de sus segmentos en el Canvas. Una forma más conveniente de administrar los recursos con los que se cuenta, es almacenar de manera progresiva solo un segmento de señal a la vez.

Es posible obtener de la base de datos y almacenar en un vector un conjunto de datos de un tamaño moderado con respecto a la longitud total del ECG, el cual representa a un segmento determinado de la señal, y disponer de estos datos conforme el usuario interactúa con la interfaz. Una vez que en el desarrollo de esta interacción se requiere de un nuevo conjunto de datos de la señal, es obtenido y almacenado un segmento contiguo respecto del anterior, y que reemplaza a éste en el contenido del vector.

El tamaño de dicho vector indica la cantidad de elementos que serán solicitados a la base de datos para ser almacenados en memoria y, posteriormente, ser graficados en el visualizador. El tamaño asignado a esta variable repercute notablemente en el

desempeño del visualizador de señales, ya que una mayor cantidad de datos solicitados cada vez, implica un menor número de llamadas a la base de datos; pero supone también un mayor tiempo necesario para la ejecución de las consultas mediante las cuales éstos datos son obtenidos y, como consecuencia, un mayor tiempo de respuesta de la interfaz Web. Por el contrario, el solicitar una cantidad menor de datos hace necesario un mayor número de consultas a la base de datos, y sin embargo, cada una de éstas debe requerir de un tiempo más breve para ser realizada.

No obstante lo anterior, el tamaño asignado al vector en el que son almacenados los valores de la señal debe ser necesariamente mayor o igual al mínimo número de datos indispensable para la visualización de un segmento completo de señal de ECG en la interfaz. El visualizador fue diseñado para mostrar siempre un segmento con una longitud correspondiente a dos segundos de tiempo de la señal seleccionada, independientemente de la frecuencia de muestreo con que ésta haya sido registrada. Lo cual indica que la mínima cantidad de datos que hacen posible la graficación de un segmento de la señal en el Canvas, es equivalente al valor particular de la frecuencia de muestreo de la señal de ECG durante dos segundos de tiempo.

#### **4.4.2. Graficación Dinámica de los Datos**

La condición dinámica del visualizador de señales se centra principalmente en el hecho de que, tanto los elementos de la barra de desplazamiento, como el contenido del Canvas en el que se grafican la cuadrícula y los datos de la señal de ECG seleccionada por el usuario, son redibujados constantemente en lapsos breves de tiempo. Tal dinamismo en la graficación de los componentes mencionados, y especialmente en lo que respecta a los datos que componen a la señal visualizada, indica de manera implícita la necesidad de realizar constantes consultas a la base de datos, solicitando los conjuntos de datos a graficar.

El hecho de que los elementos primordiales del visualizador de señales sean redibujados continuamente, responde a la necesidad de que éste represente una herramienta funcional y efectiva que haga posible para el usuario, de manera simple, el dirigir y coordinar la visualización de los segmentos de señal obtenidos de la base de datos. Gracias a dicha graficación dinámica de los datos, es posible simular el desplazamiento de la señal de ECG visualizada en el Canvas y también el inherente a la barra de desplazamiento mediante la cual esto se lleva a cabo, al tiempo que el usuario interactúa con los datos a través de los eventos del mouse sobre la barra de desplazamiento implementada en un Canvas de HTML5, en la página Web. De esta forma se consigue, mediante un desplazamiento visual horizontal y dinámico, la posibilidad de recorrer rápidamente la longitud total del ECG.

La barra de desplazamiento es redibujada cada 50 microsegundos, con esto es posible generar una animación que produce el efecto del movimiento de su elemento desplazante conforme suceden eventos detonados por el usuario; tal sea el caso de un click sobre el *track* de la barra. Al tiempo, se referencia la posición, relativa a la barra, en la que el elemento desplazante fue colocado al darse el evento, para de esta manera situarse en el segmento de ECG correspondiente a dicha posición. Finalmente, los datos correspondientes al segmento proporcional de señal indicado, son solicitados a la base de datos y graficados en el Canvas que representa a la cuadrícula.

Dado que las consultas a la base de datos son generadas en tiempo real y de manera dinámica; de la misma forma, los datos obtenidos a través de estas consultas son graficados en tiempo real. Esto tiene la finalidad de reflejar visualmente la interacción del usuario con la información contenida en una base de datos de ECGs. Dicho lo anterior, es de considerar que los tiempos de respuesta de la página Web, y con esto su desempeño general, se ven directamente afectados tanto por el tiempo requerido para realizar consultas a la base de datos, como para la ejecución de las funciones de graficación necesarias para llevar a cabo la actualización visual de los lienzos de dibujo en los cuales se muestran los datos de las señales de ECG consultadas.

## 4.5. Descarga de una Señal de ECG

Además de la visualización gráfica de ECGs digitalizados provenientes de bases de datos de éste tipo particular de señales biomédicas, así como de los datos básicos de las electrocardiografías a las que éstos se encuentran relacionados, consideramos de gran utilidad el brindar al usuario la opción de realizar la descarga de la señal visualizada, a través de nuestra interfaz Web. Esta funcionalidad permite que el usuario pueda obtener, en un archivo de texto plano en formato ASCII (.txt), los datos que componen a la señal visualizada y sus respectivas anotaciones; ya sean estos datos los correspondientes a la totalidad de la señal, o a un segmento específico de ésta.

El archivo de descarga se encuentra conformado por tres columnas de datos, en las que se indican, respectivamente: un índice de tiempo, el valor de voltaje asociado a dicho índice, y la anotación correspondiente a ese momento de tiempo en particular, si la hay (esto en caso de que el usuario elija incluir anotaciones). Si un índice de tiempo no tiene relacionada una anotación, en su lugar se indicará el símbolo “-”. En el caso de que el usuario no desee incluir las anotaciones relativas a la señal de ECG consultada, se omitirá la tercera columna de datos en el archivo de texto. En la Figura 4.5 se muestran las opciones de descarga disponibles en la interfaz Web, las cuales son desplegadas al pulsar el botón *Descargar Señal*.

En la función PHP que fue previamente registrada como una de las funciones AJAX, y que es representada en el Código 4.11, se muestra de manera simplificada el proceso mediante el cual son realizadas las consultas para obtener los datos de una señal de ECG y, posteriormente, almacenar dichos datos en un arreglo. Esta función es invocada la cantidad de veces que sea necesaria para obtener y escribir en un archivo de texto ya sea la totalidad de los datos que conforman la señal, o un segmento específico de ésta, definido por el usuario. En la consulta que se muestra a continuación, se solicita a la base de datos un máximo de 30,000 datos cada vez que la función es invocada, ya que ésta es una cantidad de datos soportada de manera segura por un arreglo PHP.

**Opciones de Descarga | Generar .txt**

☐ Señal Completa ☒ Segmento

Del seg:  al seg:

Incluir anotaciones: ☒ Sí ☐ No

FIGURA 4.5. Opciones para la descarga de una señal de ECG.

Para efectos prácticos, en el siguiente ejemplo no se incluyen anotaciones.

A su vez, dentro de la función `descargarSeñal` es invocada la función `escribirArchivo` una vez que los datos fueron obtenidos y almacenados en un arreglo PHP, para que ésta se encargue de escribir el resultado de la consulta en un archivo de texto. El archivo será construido de manera progresiva conforme sean obtenidos los segmentos de la señal. En el Código 4.12 se muestra de manera breve dicha función.



```

1  <?php
2  /* Función para la consulta y almacenamiento de una señal de
   ECG. Recibe como parámetros:ID de la señal, índice inicial,
   número de datos a consultar y nombre del archivo txt.
   Retorna cierto si se realiza con éxito . */
3  function descargarSeñal($id, $ind1, $incr, $nombreArchivo) {
4      # Se conecta PHP a PostgreSQL.
5      $db = pg_connect("dbname=BaseDeDatos user=Usuario password=
   Contraseña");
6      #Se realiza la consulta. Parámetros de subsecuencia_arr:
   IDatributo, ValorInicial, NumDeDatos.
7      $result = pg_query("SELECT(subsecuencia_arr(signal,$ind1,
   $incr)).f1,(subsecuencia_arr(signal,$ind1,$incr)).f2 FROM
   derivacion WHERE id=$id");
8      #Se cierra la conexión con la base de datos.
9      pg_close($db);
10     #Se guarda la señal en un arreglo bidimensional PHP.
11     $i = 0;
12     while($row=pg_fetch_assoc($result)) {
13         $datos[$i][0] = (int)$row['f1'];    #Índice de tiempo.
14         $datos[$i][1] = (float)$row['f2'];  #Voltaje.
15         $i++;
16     }
17     #Se invoca a la función que escribe el archivo de texto.
18     escribirArchivo($datos, $nombreArchivo);
19     #Se instancia un objeto Xajax para generar la respuesta.
20     $output = new xajaxResponse();
21     #Se asigna el valor cierto y se retorna la salida AJAX.
22     $output->setReturnValue(true);
23     return $output;
24 }
25 ?>

```

CÓDIGO 4.11. Función para consultar los datos de una señal de ECG.

```

1  <? php
2  /* Función para escribir los datos de la señal de ECG en un
   archivo de texto. Recibe como parámetros: el arreglo que
   contiene los datos y el nombre del archivo. Retorna cierto
   si se realiza con éxito . */
3  function escribirArchivo($datos, $nombreArchivo) {
4      #Si el archivo no existe, intenta crearlo. El puntero es
       colocado al final del archivo.
5      if($archivo=fopen($rutaDirectorio . $nombreArchivo, "a")) {
6          #Ciclo en el que son escritos los datos.
7          for($i=0; $i < count($datos); $i++) {
8              #Índice de tiempo.
9              fwrite($archivo, $datos[$i][0] . " ");
10             #Voltaje registrado .
11             fwrite($archivo, number_format($datos[$i][1],6) . " ");
12             #Salto de línea
13             fwrite($archivo, "\n");
14         }
15         #Se cierra el archivo.
16         fclose($archivo);
17         #Si se realizó con éxito, retorna verdadero.
18         return true ;
19     }
20     else {
21         # Si ocurre un error, retorna falso.
22         return false;
23     }
24 }
25 ?>

```

CÓDIGO 4.12. Función para escribir datos en un archivo de texto plano.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La construcción de una interfaz gráfica capaz de facilitar la realización de consultas dinámicas por contenido en bases de datos de ECGs es factible, y además, es posible representar de manera gráfica los resultados obtenidos de dichas consultas. Esto permite conseguir las condiciones apropiadas en una página Web para el reconocimiento visual tanto de la señal consultada como de sus respectivas anotaciones, posibilitando de esta manera un acercamiento considerable entre los estudiosos del área en cuestión y las bases de datos de ECGs.

La implementación de consultas dinámicas desde un cliente Web, a una base de datos estructurada de acuerdo a un modelo en el que se describe de manera general cómo se conforma el proceso de almacenamiento de ECGs digitales, fue uno de los objetivos de este proyecto. Al poblar nuestra base de datos, en ésta fueron almacenados ECGs provenientes de dos bases de datos distintas, teniendo características diferentes unas electrocardiografías con respecto a otras. De esta manera es posible demostrar que no se presentan inconvenientes en el almacenamiento y la posterior realización de consultas desde una página Web a la base de datos que contiene las señales referidas. Asimismo, se demostró que es posible realizar la graficación de las señales de ECG cuyos datos son obtenidos mediante las consultas antes mencionadas, efectuando búsquedas por contenido en los datos de la señal. Esto nos permite obtener datos concretos de la totalidad de su contenido, segmentos específicos de tiempo que, posteriormente, fueron presentados de manera gráfica mediante el visualizador de señales.

La consecuente graficación de los resultados obtenidos por medio de consultas realizadas sobre estos datos, fue otro de los objetivos del presente trabajo. Ya que la representación gráfica de los ECGs almacenados en bancos de datos de este tipo

particular de señales biomédicas, puede contribuir a una mayor facilidad en la interpretación y el análisis visual de patrones en ellas, aportando así información de interés. Dada la complejidad y el tamaño de las señales digitalizadas en las condiciones de su almacenamiento en medios electrónicos, la posibilidad de su interpretación visual se convierte en una ventaja considerable.

Ahora bien, considerando la importancia de una razonable fluidez en la interacción del usuario con estos datos, además de lo antes mencionado, se optó por la implementación de un control en la interfaz gráfica que hiciera posible la visualización de una señal completa y sus anotaciones, sin las complicaciones que esto podría implicar debido a la cantidad de datos que componen a un ECG digitalizado. El control empleado con tal fin, fue una barra de desplazamiento horizontal cuya funcionalidad se encuentra vinculada de manera relativa al contenido de la señal cuyos datos son consultados. Dicha barra de desplazamiento fue diseñada desde cero con la finalidad de mantener un control total sobre el manejo de los datos representados en la interfaz, adaptable de acuerdo a los propósitos de este proyecto. Lo cual se consiguió con su implementación.

En la interfaz Web para la visualización de señales de ECG, se incluye funcionalidad para la descarga de un archivo de texto que contiene los datos que conforman a las respectivas señales visualizadas. Actualmente, el archivo es generado en formato ASCII (.txt). Cabe considerar la posibilidad de ofrecer distintos formatos de archivos de texto para la descarga de los datos, en ciertos escenarios esto podría representar beneficios en cuanto a la utilización de dichos archivos para su posterior procesamiento y/o análisis por parte de expertos.

Una cuestión de interés es la que involucra a los tiempos de respuesta de la interfaz gráfica, siendo éstos una de las características fundamentales que afectan de manera directa a su productividad. Consideramos que el desarrollo de experimentos de eficiencia sobre los resultados obtenidos en este trabajo de tesis, puede contribuir a optimizar de manera notable el rendimiento de la interfaz Web.

Partiendo de las cantidades de datos requeridos por segmento de señal de ECG en las consultas realizadas sobre la base de datos, es posible que la realización de experimentos de eficiencia capaces de evaluar las repercusiones de estas cantidades sobre el rendimiento general de la interfaz, llegue a brindar nociones más específicas sobre un monto idóneo de datos por segmento que permita agilizar la rapidez con que son ejecutadas dichas consultas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Bonell, A.S. Cherniz, A. Hadad, and B. Drozdowicz. BaSeBio: Base de Datos de Señales Biomédicas Accesible desde Internet. In *Proceedings of the XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería*, Mar del Plata, Argentina, Septiembre 2011. SABI.
- [2] Pedro A. Carrión Pérez, José J. Rieta Ibáñez, and Juan Rídenas García. *Procesado de Señales Biomédicas*. Universidad de Castilla-La Mancha, 2007.
- [3] M. Cañizares, N. Gómez, R. I. González, and M. M. Rivero. Nuevo método para el análisis del electrocardiograma. *Memorias V Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería*, 2003.
- [4] Francisco J. Chorro, Roberto García Civera, and Vincent López Merino. *Cardiología Clínica*. Universidad de Valencia, Valencia, España, 2007.
- [5] The World Wide Web Consortium. HTML 5.1 Nightly. <http://www.w3.org/html/wg/drafts/html/master/Overview.html/>, Agosto 2014. Visitado 26/08/2014.
- [6] The World Wide Web Consortium. Open Web Platform Milestone Achieved with HTML5 Recommendation. <http://www.w3.org/2014/10/html5-rec.html.en>, Enero 2015. Visitado 20/01/2015.
- [7] Tratado de Enfermería en Cuidados Críticos Pediátricos y Neonatales. Electrocardiograma. <http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion4/capitulo56/capitulo56.htm>, Febrero 2014. Visitado 3/07/2014.
- [8] Shahram Ebadollahi, Shih-Fu Chang, Tanveer Syeda-Mahmood, Anni R. Coden, Arnon Amir, and Michael A. Tanenblatt. Concept-based electronic health re-

- cords: Opportunities and challenges. In *Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia*, pages 997–1006. ACM, Octubre 2006.
- [9] Biblioteca Virtual en Salud Cuba. Enfermería en Urgencias. Tomo II: Capítulo 11. <http://gsdl.bvs.sld.cu/greenstone/collect/enfermeria/index/assoc/HASH01ba.dir/fig1317.png>, Febrero 2014. Visitado 3/07/2014.
- [10] David Flanagan. *JavaScript: The definitive guide: Activate your web pages*. O'Reilly Media, Inc., 2011.
- [11] Ary L. Goldberger, Luis A. N. Amaral, Leon Glass, Jeffrey M. Hausdorff, Plamen Ch. Ivanov, Roger G. Mark, Joseph E. Mietus, George B. Moody, Chung-Kang Peng, and H. Eugene Stanley. PhysioBank, PhysioToolKit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23):e215–e220, 2000.
- [12] PHP Group. PHP: Manual de PHP. <http://php.net/manual/es/>, Septiembre 2014. Visitado 27/09/2014.
- [13] The PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL: Documentation: 9.3. <http://www.postgresql.org/docs/9.3/interactive/index.html/>, Agosto 2014. Visitado 21/08/2014.
- [14] Robert J. Huszar. *Arritmias: Principios, Interpretación y Tratamiento*. Elsevier España, S.A., Madrid, España, 2007.
- [15] Sandra L. Lara-Dévora and Inés F. Vega-López. Búsqueda de patrones en bases de datos de electrocardiogramas: Un análisis comparativo. *Memorias del XXXIII Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica*, 2011.
- [16] Daniel E. López-Barrón, Inés F. Vega-López, and Oswaldo Cuen-Tellez. Supporting query by content on ECG data with User Defined Functions. *Proceedings*

*of the IASTED International Conference Advances in Computer Science*, pages 392–399, 2013.

- [17] George B. Moody and Roger G. Mark. The Impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 20(3):45–50, 2001.
- [18] George B. Moody, Roger G. Mark, and Ary L. Goldberger. Physionet: A web-based resource for the study of physiologic signals. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 20(3):70–75, 2001.
- [19] PhysioNet. Physiobank. <http://www.physionet.org/physiobank/>, Enero 2012. Visitado 19/08/2014.
- [20] Inés F. Vega-López and Oscar Infante-Vázquez. Diseño conceptual de una base de datos para el almacenamiento estructurado de electrocardiogramas digitales en el INCICH. In *Proceedings of the Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, León, Guanajuato, México, Octubre 2010. SOMIB.