

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO  
PARA LA ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE SEÑALES  
BIOMÉDICAS A TRAVÉS DE LA RED CELULAR

*NELSON FELIPE ROSAS JIMÉNEZ*  
*Código: 299696*

Tesis presentada para optar al título de Magíster en  
Ingeniería de Telecomunicaciones

DIRECTOR  
*Ing. CARLOS IVÁN CAMARGO BAREÑO., MsC.*  
Profesor, Dep. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
E INDUSTRIAL  
Bogotá D.C., 2011

A mis padres, Felipe y Graciela

# Agradecimientos

Esta tesis no se habría realizado sin el apoyo de muchas personas, que directa e indirectamente aportaron en su culminación, razón por la cual destino este espacio a agradecer su colaboración y gran labor.

Deseo expresar mi inmensa gratitud al profesor Carlos Iván Camargo B, mi director, por su ayuda, comprensión, confianza y orientación en el transcurso de este proceso de aprendizaje. Expreso mi gratitud al profesor Eduardo Romero por su colaboración y participación en el desarrollo del proyecto. Agradezco enormemente a Andreita y al profesor Hugo, quienes desinteresadamente me colaboró en el diseño y corrección del documento.

Expreso mi gratitud al Ing. Andrés Calderón, al profesor Henry Moreno, a todos los integrantes del grupo de investigación BioIngenium, a mis grandes amigos Jimmy, Juan, Diego, Ricardo, Carolina, Viviana, Diego Urbano, Carlos V, Elkin, Lucho, Rocío y muchos otros que con una sonrisa me incentivaron.

A todos los profesores que a lo largo de mi educación me han impartido su conocimiento y con el amor a su trabajo me han dado las herramientas para llegar a este punto.

Por último, pero a la vez a las personas más importante en mi vida, mis padres Felipe y Graciela, mi hermanita Carolina, mi novia Sandra, mi tía Negrita, mi abuelita Graciela, mis tres abuelitos que ya no me acompañan, mi familia, a los papas de Sandra, Hernando y Rosita, a todos ellos les agradezco especialmente por su paciencia y comprensión en los momentos difíciles pero gratos vividos en todo este proceso y por comprender la importancia de mi esfuerzo en la culminación de esta etapa de mi vida. :)

# Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Estructura del Documento . . . . .	2
<b>2. Marco Teórico y Antecedentes</b>	<b>4</b>
2.1. Señales Biomédicas . . . . .	4
2.1.1. Electrocardiograma (ECG) . . . . .	4
2.1.2. Saturación de Oxígeno en la Sangre (SO <sub>2</sub> ) . . . . .	7
2.1.3. Presión Arterial (PA) . . . . .	9
2.1.4. Sistema de Información SARURO . . . . .	10
2.2. Sistemas de Telecomunicaciones . . . . .	12
2.2.1. Redes de Área Personal o PAN (Personal Area Network) . . . . .	13
2.2.2. Redes de Área Local o LAN (Local Area Network) . . . . .	14
2.2.3. Redes Celulares . . . . .	16
2.3. Sistemas Embebidos . . . . .	16
2.3.1. Hardware . . . . .	17
2.3.2. Software . . . . .	20
2.4. Marco Legal . . . . .	23
2.4.1. Normas Nacionales . . . . .	24
<b>3. Sistema de Telemonitorización de Señales Biomédicas</b>	<b>27</b>
3.1. Descripción Técnica del Problema . . . . .	28
3.1.1. Análisis de Requerimientos . . . . .	29
3.2. Sistema de Telemonitorización Propuesto . . . . .	30
3.3. Dispositivo de Adquisición de Señales . . . . .	31
3.3.1. Adquisición de las Señales Biomédicas . . . . .	31
3.4. Sistema Embebido TES_ROv2.0 . . . . .	36
3.4.1. Selección del Sistema Embebido . . . . .	36
3.4.2. Generalidades del Sistema TES_ROv2.0 . . . . .	39
3.4.3. Módulos del Sistema TES_ROv2.0 . . . . .	42

3.4.4. Componentes Electrónicos . . . . .	43
3.4.5. Módulo de Procesamiento . . . . .	44
3.4.6. Sistema Operativo Embebido . . . . .	45
3.5. Diseño del Módulo de Comunicación y Adquisición del sistema TES_ROv2.0 . . . . .	47
3.5.1. Módulo de Adquisición . . . . .	48
3.5.2. Módulo de Comunicación . . . . .	49
3.5.3. Componentes Electrónicos de los Módulos de Adquisición y Comunicación . . . . .	49
3.5.4. Funcionamiento de los Módulos de Adquisición y Comunicación . . . . .	50
3.5.5. Funcionamiento en Redes Celulares (GSM) . . . . .	51
3.5.6. Funcionamiento en Redes WLAN (WiFi) . . . . .	52
3.5.7. Funcionamiento en Redes WPAN (Bluetooth) . . . . .	53
3.6. Integración con el Sistema de Información SARURO . . . . .	53
3.6.1. Captura de las Señales Biomédicas con SARURO . . . . .	56
3.7. Dispositivo de Telemonitorización Implementado con el Sistema TES_ROv2.0 . . . . .	58
3.7.1. Estructura Interna . . . . .	58
3.7.2. Panel Frontal del Dispositivo . . . . .	59
3.7.3. Panel posterior del Dispositivo . . . . .	59
3.7.4. Sistema TES_ROv2.0 . . . . .	60
3.7.5. Análisis de Costos del sistema TES_ROv2.0 . . . . .	60
<b>4. Conclusiones</b>	<b>62</b>
4.1. Trabajos Futuros . . . . .	64
<b>Apéndices</b>	<b>65</b>
<b>A. Productos</b>	<b>66</b>
A.1. Sistema Embebido . . . . .	66
A.2. Ponencia . . . . .	66
A.3. Conferencias . . . . .	66
A.4. Artículos . . . . .	67
A.4.1. Artículos en Edición . . . . .	67
A.5. Reporte Técnico . . . . .	67
<b>B. Conexiones de los FTDIs y del Hub TUSB</b>	<b>69</b>
<b>C. Arquitecturas de Procesadores</b>	<b>73</b>

<b>D. Componentes de Software en el Sistema TES_ROv2.0</b>	<b>76</b>
D.1. Darrell's Loader . . . . .	76
D.2. u-boot . . . . .	77
D.3. Kernel . . . . .	77
D.4. Root Filesystem . . . . .	80
D.5. Herramienta de Desarrollo Openembedded . . . . .	81
<b>Bibliografía</b>	<b>83</b>

# Lista de Figuras

2.1. Electrocardiografía. . . . .	5
2.2. Implementación del sensor para la Oximetría de pulso por transmisión. [59]	8
2.3. Señales en la Oximetría de pulso. . . . .	9
2.4. Captura simultánea de la derivación II del electrocardiograma y la onda de presión arterial. [84] . . . . .	9
2.5. Aplicación gráfica del sistema de información SARURO [104]. . . . .	11
2.6. Aplicación gráfica de la sección de electrocardiografía. . . . .	11
2.7. Aplicación gráfica de la sección de Oximetría. . . . .	12
2.8. Aplicación gráfica de la sección de presión arterial. . . . .	12
2.9. Arquitectura de la pila de protocolos de Bluetooth [109]. . . . .	14
2.10. Esquema general de las redes celulares. . . . .	16
2.11. Arquitectura general de un Sistema de Linux Embebido. [110] . . . . .	22
2.12. Normas NTC-IEC 60601, homologadas por el ICONTEC, aplicables a los dispositivos de telemonitorización. . . . .	24
3.1. Esquema general del sistema de telemonitorización de señales biomédicas del Centro de Telemedicina, implementado con SARURO [104]. . . . .	28
3.2. Esquema general de la solución a implementar. . . . .	30
3.3. Plano interno del dispositivo de adquisición de señales. . . . .	31
3.4. Adquisición de las señales biomédicas. . . . .	32
3.5. Componentes electrónicos para la captura del ECG. [65] . . . . .	33
3.6. Componentes electrónicos para la medición de SpO <sub>2</sub> . [65] . . . . .	34
3.7. Componentes electrónicos para la medición de PA. [65] . . . . .	35
3.8. Esquema general para el diseño del Sistema Embebido TES_ROv2.0. . . . .	39
3.9. Plataforma ECB_AT91. . . . .	40
3.10. Arquitectura típica de un Sistema Embebido. [19] . . . . .	41
3.11. Fotos del sistema TES_ROv2.0. . . . .	42
3.12. Identificación de los principales componentes y periféricos en el sistema TES_ROv2.0. . . . .	43

3.13. Arquitectura de los componentes de software del sistema embebido y la herramienta de desarrollo en el Host. . . . .	45
3.14. Diagrama de bloques del hardware que realiza la adquisición de las señales y la comunicación del S.E. TES_ROv2.0.. . . .	48
3.15. Diagrama de bloques del Módulo de Adquisición de señales biomédicas del sistema TES_ROv2.0. . . . .	48
3.16. Diagrama de bloques del Módulo de Comunicación del sistema TES_ROv2.0. . . . .	49
3.17. Esquema del sistema de telemonitorización para la red Celular. . . . .	51
3.18. Esquema del sistema de telemonitorización para la red WLAN. . . . .	52
3.19. Esquema del sistema de telemonitorización para la red LAN Cableada. . . . .	52
3.20. Esquema del sistema de telemonitorización para la red WPAN. . . . .	53
3.21. Diagrama de bloques de la integración del sistema TES_ROv2.0 con SARURO. . . . .	54
3.22. Diagrama de Flujo del programa Cliente.c utilizado en el sistema embebido TES_ROv2.0. . . . .	55
3.23. Visualización de las señales biomédicas en el sistema de información SARURO [104]. . . . .	56
3.24. Visualización de las señales biomédicas en el sistema de información SARURO [104]. . . . .	57
3.25. Estructura interna del dispositivo para la telemonitorización. . . . .	58
3.26. Panel frontal del dispositivo. . . . .	59
3.27. Panel posterior del dispositivo. . . . .	59
3.28. Sistema TES_ROv2.0 en el dispositivo de telemonitorización. . . . .	60
B.1. Diagramas de conexión de los FTDIs. . . . .	70
B.2. Diagramas de conexión de los FTDIs. . . . .	71
B.3. Diagrama de conexión del Hub TUSB2077A. . . . .	72
C.1. Diagrama de bloques de la arquitectura interna del AT91RM9200, extraído de la hoja de especificaciones. . . . .	75



# Lista de Tablas

2.1. Ejemplo de algunas señales biomédicas generadas por el cuerpo humano [72]. . . . .	5
2.2. Principales grupos de trabajo de la IEEE. [22, 52, 99] . . . . .	13
2.3. Especificaciones técnicas en seguridad eléctrica según la norma NTC-IEC 60601-1 . . . . .	25
3.1. Características técnicas principales de la Tarjeta de Adquisición de ECG. . . . .	33
3.2. Características técnicas principales de la Tarjeta de Adquisición de SpO <sup>2</sup> . . . . .	35
3.3. Características técnicas principales de la Tarjeta de Adquisición de PA. . . . .	36
3.4. Criterios analizados para el diseño e implementación del sistema embebido TES_ROv2.0. . . . .	38
3.5. Costos de los componentes del Sistema TES_ROv2.0. . . . .	61
3.6. Costos del dispositivo de telemonitorización integrado con un computador o con el sistema TES_ROv2.0. . . . .	61
C.1. Principales arquitecturas de procesadores utilizadas en los Sistemas Embebidos. . . . .	74

# Resumen

La utilización de las herramientas tecnológicas y de las tecnologías de información y comunicación (TICs) en campos tan importantes como el cuidado de la salud, ha permitido generar desarrollos innovadores en áreas de investigación como la telemonitorización de señales biomédicas. Particularmente, esta tesis presenta el diseño e implementación de un Sistema Embebido capaz de capturar y transmitir por diversos tipos de redes de telecomunicaciones la información de señales biomédicas, correspondientes a: señales de electrocardiografía, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre y presión arterial. Esta información es transmitida al sistema clínico “SARURO [104]”, en el cual se realiza la visualización y se puede efectuar un análisis detallado por parte de un médico y/o de un especialista, sin la necesidad del contacto directo con el paciente.

*Palabras Claves:*

Sistemas Embebidos, Telemonitorización, señales biomédicas, sistema de información clínico y redes de telecomunicaciones.

# Abstract

The utilization of technological tools and information and communication technologies (ICTs) in areas as important as health care, it has helped to generate innovative developments in research areas such as telemonitoring of biomedical signals. In particular, this thesis presents the design and implementation of an embedded system for acquiring data and transmission through the different kind of telecommunication networks of biomedical signals information, corresponding to: electrocardiographic signals, heart rate, blood pressure and blood oxygen saturation. This information is transmitted to the clinical system “SARURO [104]”, which it is used to display and realize a detailed analysis of the biomedical signals by a doctor and/or specialist, without the need to have contact with the patient.

*Keywords:*

Embedded system, telemonitoring, biomedical signals, clinical information system and telecommunications networks.

# Glosario y Abreviaturas

**ECG:** Electrocardiograma.

**PA:** Presión arterial.

**TA:** Tensión arterial.

**SoC:** System-on-Chip.

**HW:** Hardware.

**SW:** Software.

**S.O.:** Sistema Operativo.

**OE:** Openembedded.

**E/S:** Entrada/Salida.

**RAM:** Random-access memory.

**ROM:** Read-only memory.

**ARM:** Advanced RISC Machines.

**RISC:** Reduced Instruction Set Computer.

**RFCOMM:** Radio Frequency Communication o Comunicación por radio frecuencia.

**PPP:** Point to point protocol o protocolo punto a punto.

**PAN:** Redes de Área Personal o Personal Area Network.

**WPAN:** Red de Área Personal Inalámbrica.

**LAN:** Local Area Network o Redes de Área Local.

**WLAN:** Redes inalámbricas de área local.

**Bluetooth:** Especificación industrial para WPANs.

**Ethernet:** Red LAN de mayor utilización a nivel mundial.

**TIC:** Tecnologías de información y comunicación.

**UNAL:** Universidad Nacional de Colombia.

**WiFi:** Tecnología de WLAN basada en las especificaciones del estándar IEEE 802.11.

**SpO<sub>2</sub>:** Cálculo de la saturación de oxígeno arterial por el método de pulsioximetría.

**Sistema Embebido - S.E. (Embedded System):** Sistema de Hardware/Software de propósito específico, diseñado para realizar una o más actividades definidas.

**Linux Embebido:** Corresponde a la utilización del sistema operativo Linux en los sistemas embebidos.

**TES\_ROv2.0 (Telemonitoring Embedded System\_ROv2.0):** Sistema Embebido diseñado e implementado en la tesis, el cual permite la captura y transmisión de señales biomédicas por redes inalámbricas.

**ECB\_AT91:** Plataforma para aplicaciones académicas e industriales, la cual hace parte de varios desarrollos que se han venido trabajando en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (DIEE) de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL).

**SARURO:** Sistema de Información del Centro de Telemedicina de la Universidad Nacional, utilizado en la prestación de los servicios de salud.

**Redes Celulares:** Se enmarcan en el alcance de las redes WANs. El alcance de esta red comprenden áreas extensas como países y continentes.

**NTC-IEC 60601-1:** Norma principal donde se especifican los requerimientos generales de seguridad para los dispositivos médicos.

# Capítulo 1

## Introducción

El mundo actual esta altamente ligado a la evolución y uso de las tecnologías en las actividades humanas. En particular, las telecomunicaciones han cambiado nuestra percepción del mundo y la manera como interactuamos en nuestro entorno. Un aspecto tan importante como el cuidado de la salud ha tenido cambios sustanciales en los últimos años con la utilización de los avances tecnológicos y de las tecnologías de información y comunicación (TIC). Esto ha generando nuevas áreas de investigación y desarrollo entre las que se encuentra la Telemedicina<sup>1</sup>, la cual busca mejorar la calidad de vida de las personas, prestando un mejor y más completo servicio médico.

La Telemedicina se ha convertido en una solución óptima para la prestación de los servicios de salud, la cual requiere la utilización de herramientas tecnológicas que permitan adquirir, almacenar, procesar, analizar y transmitir la información médica de un paciente, con el objetivo de generar un diagnostico apropiado y oportuno. Además, con la utilización de la Telemedicina se obtienen varias ventajas, entre las que se encuentran: la disminución de los tiempo de atención, realizar consultas especializadas, prevenir enfermedades con controles periódicos, mejorar la cobertura del servicio, tener una atención continua y reducir los costos.

---

<sup>1</sup>La legislación Colombiana define: “Telemedicina: Es la provisión de servicios de salud a distancia, en los componentes de promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento o rehabilitación, por profesionales de la salud que utilizan tecnologías de la información y la comunicación, que les permiten intercambiar datos con el propósito de facilitar el acceso de la población a servicios que presentan limitaciones de oferta, de acceso a los servicios o de ambos en su área geográfica.” Extraído de la Resolución No 2182 del régimen Legal de Bogotá D.C., Diario Oficial 45611. Julio 16 de 2004.

En la Telemedicina, la monitorización de las señales biomédicas es un elemento importante en el diagnóstico y seguimiento de la condición de un paciente. Este aspecto motivó el desarrollo de la tesis, en el cual se diseñó e implementó una herramienta capaz de capturar y transmitir por las redes de telecomunicaciones la información de señales biomédicas, útiles en la detección de diversas patologías<sup>2</sup>, a un sistema de información, en el cual se realiza la visualización y se puede efectuar un análisis detallado por parte de un médico o de un especialista, sin la necesidad del contacto directo con el paciente.

La solución que se trabajó en la tesis tiene como estrategia de desarrollo el diseño e implementación del Sistema Embebido TES\_ROv2.0, el cual funciona como una herramienta de comunicación entre el paciente y el médico tratante. Esta herramienta permite adquirir, adecuar y transmitir la información de las señales de electrocardiografía, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre y presión arterial<sup>3</sup>, a un sistema de información clínico<sup>4</sup> sin ligar el funcionamiento a una única alternativa de comunicación<sup>5</sup>, haciendo al sistema de telemonitorización más versátil en su funcionalidad.

## 1.1. Estructura del Documento

Este documento presenta el proceso de diseño e implementación de un sistema embebido para la adquisición y transmisión de señales biomédicas a través de la red celular. Esta organizado de la siguiente manera:

- **Capítulo 2** *Marco Teórico y Antecedentes*, esboza los conceptos fundamentales utilizados en el sistema de telemonitorización de señales biomédicas. Inicia presentando las señales biomédicas y el sistema de información SARURO [104], utilizado para realizar la visualización de

---

<sup>2</sup>Las señales biomédicas trabajadas en la tesis permiten realizar un diagnóstico y control de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y de la hipertensión.

<sup>3</sup>La captura de las señales de electrocardiografía, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre y presión arterial se realizó con tres dispositivos electrónicos comerciales (Ver Sección 3.3.1).

<sup>4</sup>La visualización se realiza en el sistema de información SARURO [104], propiedad de la Universidad Nacional y utilizado en el Centro de Telemedicina en la prestación de los servicios de salud bajo esta modalidad (Ver Sección 2.1.4).

<sup>5</sup>El sistema embebido implementado en la tesis permite transmitir por redes WPAN, WLAN, LAN y CELULARES

las señales. Posterior a esto, muestra los conceptos básicos de los sistemas de telecomunicaciones y los sistemas embebidos. Finaliza con la identificación de los estándares o normas, más relevantes, ligados a la regulación de este tipo de dispositivos.

- **Capítulo 3** *Sistema de Telemonitorización de Señales Biomédicas*, presenta en forma detallada las actividades desarrolladas en el diseño del Sistema Embebido TES\_ROv2.0. Inicia con la descripción técnica del problema a solucionar, a continuación muestra el esquema general del sistema de telemonitorización propuesto. Después, se presenta el dispositivo de adquisición de señales, el sistema embebido TES\_ROv2.0, el diseño de los módulos de comunicación y adquisición; describiendo el proceso de integración con SARURO [104], presentando algunos ejemplos de capturas realizadas y finaliza presentando el dispositivo de telemonitorización de señales biomédicas implementado con el sistema TES\_ROv2.0.
- **Capítulo 4** *Conclusiones*, recopila las reflexiones del trabajo realizado y se definen las posibles líneas a explorar, inspiradas en la tesis desarrollada.
- **Apéndice A** *Productos*, lista las actividades y productos obtenidos durante el desarrollo de la tesis, entre las que se encuentran: conferencias, una ponencia, artículos, un reporte técnico y el sistema TES\_ROv2.0.
- **Apéndice B** *Conexiones de los FTDIs y del Hub TUSB*, presenta los esquemáticos diseñados para los módulos de comunicación y adquisición del sistema TES\_ROv2.0.
- **Apéndice C** *Arquitecturas de Procesadores*, lista información básica de las arquitecturas principales de procesadores utilizadas en los Sistemas Embebidos.
- **Apéndice D** *Componentes de Software en el Sistema TES\_ROv2.0*, describe los componentes de software utilizados en el sistema embebido TES\_ROv2.0 y la adecuación realizada.



## Capítulo 2

# Marco Teórico y Antecedentes

El diseño e implementación de un dispositivo de telemonitorización de señales biomédicas requiere la utilización y análisis de algunos conceptos fundamentales pertenecientes, principalmente a tres temas: Señales Biomédicas, Sistemas de Telecomunicaciones y Sistemas Embebidos. En este capítulo se presentan estos conceptos, se identifican las normas técnicas que deben cumplir este tipo de dispositivos y se exponen el Sistema de Información SARURO [104], proyecto utilizado en el desarrollo de la tesis.

### 2.1. Señales Biomédicas

Las señales biomédicas se presentan en todo el organismo originadas por diversos fenómenos bioeléctricos<sup>1</sup>. Estas señales son utilizadas como herramientas que permiten examinar el funcionamiento del cuerpo humano, y por lo tanto, cumplen un papel muy importante en la medicina [25]. Algunas de estas señales se muestran en la Tabla 2.1.

#### 2.1.1. Electrocardiograma (ECG)

El corazón es uno de los órganos más importantes del cuerpo humano, genera una actividad eléctrica o biopotencial que al ser registrada se conoce como electrocardiograma (ECG), con el cual se puede diagnosticar tanto

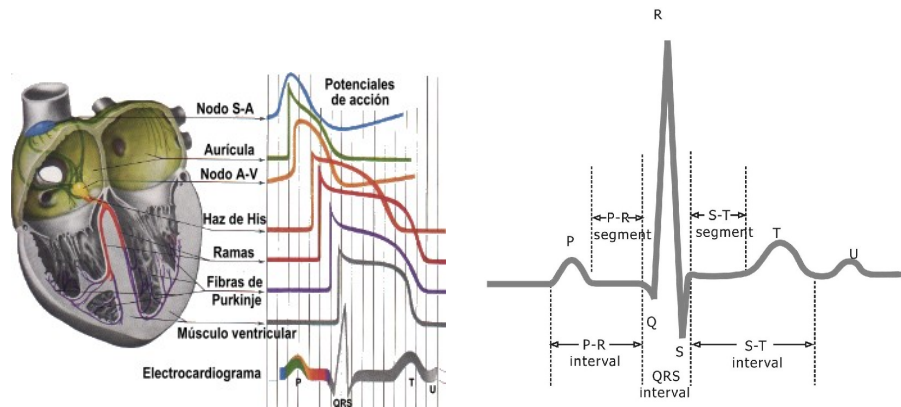
---

<sup>1</sup>El grupo de señales biomédicas generadas por fenómenos bioeléctricos se denominan en la medicina como “Señales Bioeléctricas”.

Señal Bioeléctrica	Fuente
Electrocardiograma (ECG)	Corazón
Electroencefalograma (EEG)	Cerebro
Electromiograma (EMG)	Músculos
Electrooculograma (EOG)	Ojo
Electrogastrograma (EGG)	Estomago

Tabla 2.1: Ejemplo de algunas señales biomédicas generadas por el cuerpo humano [72].

su funcionamiento como el desempeño del cuerpo en general. En la Figura 2.1(a) se representan los potenciales de acción que intervienen en la formación del ECG<sup>2</sup>. [27, 36, 42, 53, 87]



(a) Actividad eléctrica del corazón y formación del electrocardiograma. [36]

(b) Representación gráfica de un ECG. [53]

Figura 2.1: Electrocardiografía.

## Características de un Electrocardiograma

En condiciones normales el ECG tiene la forma característica mostrada en la Figura 2.1(b), en la cual se observan las diferentes secciones [10, 21, 28, 41, 42, 66, 74, 111] que conforman la traza, presentadas a continuación:

- *Onda P (P)*: representa la despolarización auricular y la contracción de

<sup>2</sup>El ECG registra únicamente los potenciales de despolarización (estimulación) y repolarización (recuperación), producidos por el miocardio. [9, 102, 106]

las aurículas. Esta onda se caracteriza por tener un *tiempo de duración de 60 a 120 milisegundos* y una *amplitud aproximada de 0.25mV*.

- *Intervalo PR (P-R interval)*: corresponde al inicio de la despolarización auricular hasta el inicio de la despolarización ventricular. Normalmente tiene una duración entre *120 y 200 milisegundos*.
- *Complejo QRS (QRS interval)*: representa los cambios eléctricos producidos por la despolarización o contracción de los ventrículos. El complejo QRS esta formado por una onda negativa *Q*, una onda positiva *R* y por una onda negativa *S*, tienen una duración relativamente corta, entre *60 y 100 milisegundos*, que varía dependiendo de la edad de la persona. La amplitud aproximada de la *onda R es de 1,6mV* y de la *onda Q es del 25 % de R*.
- *Complejo ST-T-U (S-T segment, T, U)*: esta compuesto por:
  - *Segmento ST (S-T segment)*: corresponde al intervalo de tiempo entre la finalización de la despolarización ventricular y el comienzo de su repolarización. Tiene una duración menor a los *0,08 segundos*.
  - *Onda T (T)*: representa la repolarización de los ventrículos. Es una onda de baja frecuencia. su amplitud típica se encuentra entre *0.1-0.5mV*. Tiene una duración menor a los *200 milisegundos*.
  - *Onda U (U)*: La onda U es poco visible y su origen no está determinado plenamente, se cree que es producida por la repolarización ventricular de las células de Purkinje [107]. Su duración es menor a los *40 milisegundos*.

Desde el punto de vista eléctrico, la señal del ECG tiene una amplitud cercana a 1mV y posee componentes de frecuencia entre 0.05 y 100Hz [4,7,10,102].

## Derivaciones del Electrocardiograma

La medición de esta señal eléctrica<sup>3</sup> se realiza por medio de electrodos [6, 12, 72, 102] ubicados en la superficie del cuerpo. Existen doce posibles configuraciones para procesar la información eléctrica del corazón, las cuales

---

<sup>3</sup>Algunas de las ventajas principales que tiene el uso y medición del ECG en la medicina corresponden a que es un método económico, no invasivo y que puede ser obtenido en forma inmediata [87].

reciben el nombre de derivaciones y se dividen en: seis derivaciones de los miembros (Tres bipolares: I, II y III, y Tres unipolares: aVR, aVL, aVF), y seis derivaciones precordiales o torácicas (V1, V2, V3, V4, V5 y V6). [10, 67, 73]

## Frecuencia Cardíaca

Es el número de latidos que produce el corazón en un minuto, su unidad es *lpm* o *latidos por minuto*. Su medición es realizada tomando el tiempo de duración entre dos ondas R consecutivas (Ver Figura 2.1(b)).

### 2.1.2. Saturación de Oxígeno en la Sangre (SO<sub>2</sub>)

El porcentaje de hemoglobina oxigenada presente en la sangre se denomina “saturación de oxígeno o SO<sub>2</sub>” [48, 101]. En condiciones normales, el nivel de saturación en una persona sana debe ser igual o superior al 95 % [58, 108], es decir, en el momento en que los glóbulos rojos pasen por los pulmones, mínimo el 95 % de la hemoglobina (Hb)<sup>4</sup> debe saturarse de oxígeno.

A continuación se presenta el método utilizado para realizar esta medición.

## Oximetría de Pulso

El término utilizado para referirse al cálculo del porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre es: “**Oximetría**”. La mayoría de los dispositivos actuales trabajan con dos longitudes de onda, una en la región de la luz roja y otra en la región infrarroja. Este método de medición recibe el nombre de **Pulsioximetría u Oximetría de Pulso**, desarrollada por el ingeniero Takuo Aoyagi hacia 1970. [37, 48, 68, 71, 92–94, 101]

Este método solo mide 2 tipos de hemoglobina, oxihemoglobina (HbO<sub>2</sub>) y desoxihemoglobina (HHb). Usa dos longitudes de onda de la luz: 660nm (espectro rojo) y 940nm (espectro infrarrojo) para realizar la medición<sup>5</sup> [103,

---

<sup>4</sup>La hemoglobina es una proteína presente en los glóbulos rojos que tiene la propiedad de combinarse con el oxígeno en los pulmones, permitiendo su distribución a todas las células del cuerpo.

<sup>5</sup>En la región roja el HHb absorbe más luz que el HbO<sub>2</sub> y en la infrarroja sucede lo contrario, permitiendo diferenciar sus concentraciones.

111]. El cálculo de la saturación de oxígeno arterial  $\text{SaO}_2$ <sup>6</sup> por el método de pulsioximetría se abrevia como  $\text{SpO}_2$ . Existen dos tipos de  $\text{SpO}_2$ :

- a. *Oximetría de pulso por transmisión*: mide la cantidad de luz que pasa por el tejido. Presenta el inconveniente de tener que realizar la medición en zonas del cuerpo delgadas como los dedos o el pabellón de la oreja, los cuales son propensos al movimiento por parte del paciente.
- b. *Oximetría de pulso por reflectancia*: mide la cantidad de luz reflejada. Elimina en parte el inconveniente generado por el movimiento del paciente, pues, su implementación se puede realizar en zonas como el pecho o la mejilla.

La información relevante de la Oximetría de pulso se encuentra en el espectro de frecuencias de 0.5 a 5 Hz.

### Oximetría de Pulso por Transmisión

Actualmente, es el método más utilizado [101]. En la Figura 2.2 se muestra la implementación del sensor de oximetría.

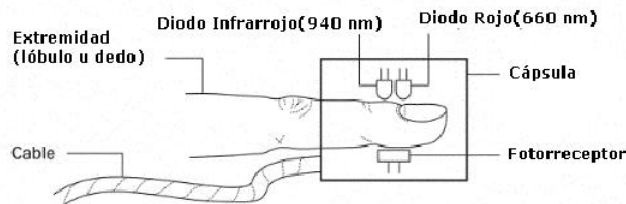


Figura 2.2: Implementación del sensor para la Oximetría de pulso por transmisión. [59]

Su funcionamiento se basa en analizar la luz absorbida por la sangre en las arterias, venas, huesos y tejido. Un patrón típico de esta absorción se presenta en la Figura 2.3(a), en la cual se identifica un nivel DC, este representa la luz absorbida por los huesos, tejido y sangre no pulsátil en las venas y arterias, y un nivel AC, el cual representa un incremento de la absorción de la luz en la sangre que circula por las arterias producida con cada latido del corazón. En la Figura 2.3(b) se presentan los componentes  $\text{AC}$ <sup>7</sup> para cada una de las regiones, eliminando el nivel DC.

<sup>6</sup> $\text{SaO}_2$  corresponde a la medición realizada con respecto a la sangre que circula por las

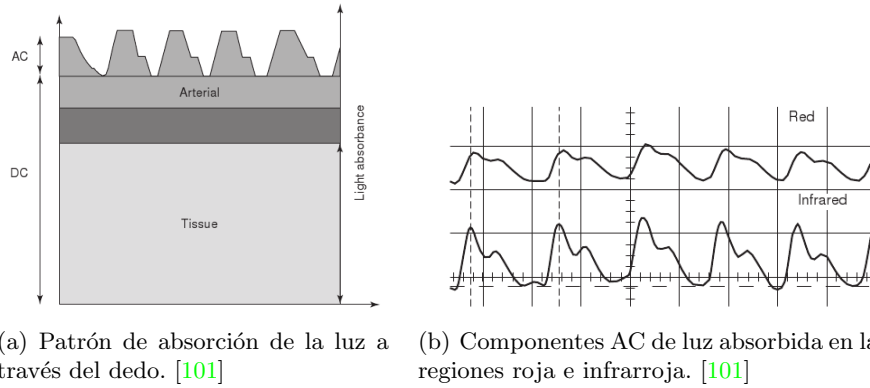


Figura 2.3: Señales en la Oximetría de pulso.

### 2.1.3. Presión Arterial (PA)

También es conocida como Tensión Arterial (TA)<sup>8</sup>. Es el resultado de la presión ejercida en el sistema vascular por la sangre expulsada durante la contracción del corazón, la cual se propaga por las paredes de las arterias, venas y vasos capilares en forma de onda (Ver Figura 2.4).

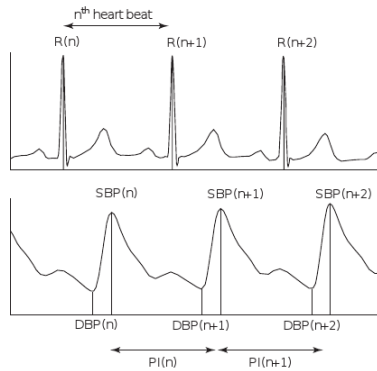


Figura 2.4: Captura simultánea de la derivación II del electrocardiograma y la onda de presión arterial. [84]

arterias.

<sup>7</sup>En los Oxímetros digitales es frecuente mostrar la componente AC de la luz en el espectro infrarrojo, con el valor del nivel de  $SpO_2$ .

<sup>8</sup>Las unidad manejada para expresar los niveles de TA es el milímetro de mercurio ( $mmHg$ ) sobre la presión atmosférica.

## Parámetros de la PA

Como se presenta en la Figura 2.4, la onda de PA está compuesta por:

- *PA Sistólica o systolic blood pressure (SBP)*: corresponde al valor máximo de la tensión. Se presenta cuando el corazón se contrae (sístole). Los niveles normales en un adulto están entre: 90-140 mmHg.
- *PA Diastólica o diastolic blood pressure (DBP)*: corresponde al valor mínimo de tensión. Se presenta entre los latidos del corazón, momento en el cual se encuentra en relajación (diástole). Los niveles en un adulto deben estar entre 60 y 90 mmHg.
- *Intervalo de pulso o pulse interval (PI)*: es el intervalo de tiempo entre cada pico de la onda de PA.

### 2.1.4. Sistema de Información SARURO

El sistema de Información SARURO [104]<sup>9</sup>, desarrollado por el grupo de investigación BioIngenium<sup>10</sup>, es una plataforma diseñada para prestar servicios de salud en la modalidad de Telemedicina en áreas como la radiología, dermatología, cardiología, medicina interna, entre otras [89,97]. Específicamente, en las especialidades de cardiología y medicina interna es frecuente la medición y análisis de las señales biomédicas en el control y diagnóstico de los pacientes, entorno en el cual se enmarca el desarrollo de la tesis.

SARURO [104] permite realizar una monitorización local y/o remota de las señales biomédicas utilizando una aplicación gráfica, en la cual se realiza la visualización de las señales. A continuación se presenta las características de este software.

#### Aplicación Gráfica

La aplicación gráfica utilizada en SARURO [104] se presenta en la Figura 2.5, la cual se divide en tres secciones: Electrocardiografía, Oximetría y Presión Arterial, permitiendo cada una de ellas configurar y modificar el proceso de visualización y captura de las señales.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup>La página web de SARURO [104] es <https://168.176.61.27/TelemWeb/>.

<sup>10</sup>La página web del Grupo BioIngenium es: <http://www.bioingenium.unal.edu.co/>.

<sup>11</sup>La configuración de la aplicación gráfica y del sistema de información SARURO [104] se explica en el “Manual SARURO TCB 081” que se encuentra en el CD.

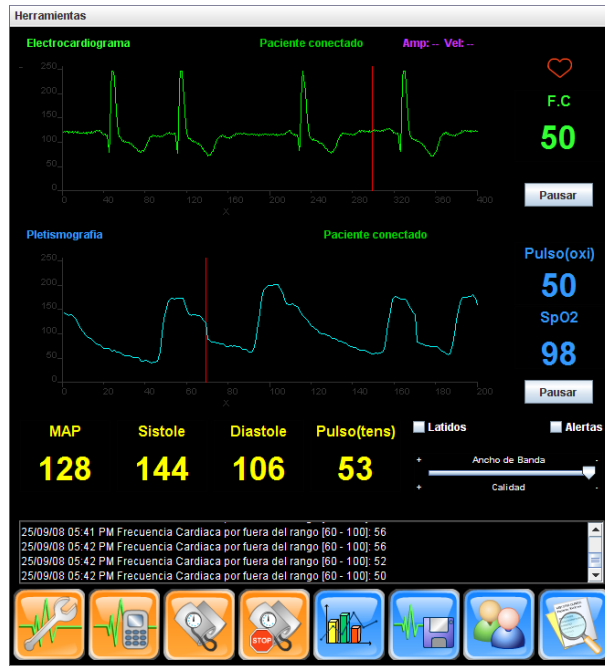


Figura 2.5: Aplicación gráfica del sistema de información SARURO [104].

Las características principales de las secciones se presenta a continuación:

- *Electrocardiografía*: esta sección muestra en la parte superior la información sobre la conexión del paciente (“Paciente Conectado”, “Paciente No Conectado”, “Sensor Desconectado”, “Sin Señal”). En el lado derecho se observa la amplitud “Amp:” y la velocidad “Vel:” de muestreo de la señal. En la parte derecha hay un corazón que muestra al usuario las palpitaciones del paciente y las iniciales “F.C” que indica la frecuencia cardíaca (Ver Figura 2.6).

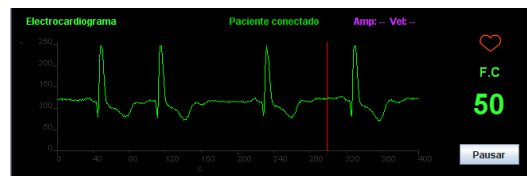


Figura 2.6: Aplicación gráfica de la sección de electrocardiografía.

- *Oximetría*: en la parte superior de esta sección se presentan los men-



sajes de la conexión del paciente (“Paciente Conectado”, “Paciente No Conectado”, “Sensor Desconectado”, “Sin Señal”). En la parte derecha se pueden observar las medidas del nivel de saturación de oxígeno “SpO2” y frecuencia cardiaca “Pulso(oxi)” (Ver Figura 2.7).

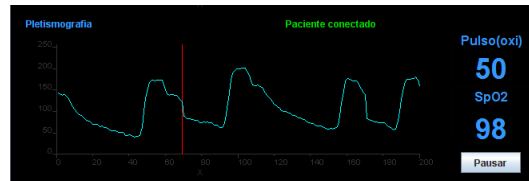


Figura 2.7: Aplicación gráfica de la sección de Oximetría.

- *Presión Arterial*: en la zona izquierda de esta sección se presentan los valores de las medidas de presión arterial media “MAP”, “Sistole”, “Diástole” y frecuencia cardiaca del tensiómetro “Pulso(tens)”. En la zona derecha del módulo el usuario puede activar el sonido de los “Latidos” (Ver Figura 2.8).

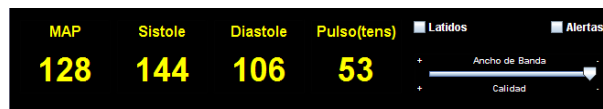


Figura 2.8: Aplicación gráfica de la sección de presión arterial.

## 2.2. Sistemas de Telecomunicaciones

En los sistemas de Telemedicina, es importante contar con sistemas de telecomunicaciones<sup>12</sup> que ofrezcan las características técnicas adecuadas para cada uno de los servicios a prestar. En el caso de los sistemas de telemonitoreo, las redes que se utilicen deben garantizar la seguridad e integridad de información transmitida.

En la Tabla 2.2 se muestran algunos de los principales grupos de trabajo del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) que desarrollan estándares en las telecomunicaciones.

<sup>12</sup>Las principales fuentes de información para la realización de esta sección son: [1, 35, 38, 39, 49, 85, 90, 91, 96, 99].