

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**SISTEMA PROTOTIPO DE TELEMONITOREO
REMOTO DE SIGNOS VITALES COMO LA
FRECUENCIA CARDÍACA, USANDO TECNOLOGÍAS
INALÁMBRICAS DE COMUNICACIÓN DISPONIBLES
EN LOS TELÉFONOS CELULARES.**

PAMELA TATIANA MORALES TORRES

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Sistemas

Quito, Mayo 2012

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Sistema Prototipo de Telemonitoreo y Control Remoto de Signos Vitales como
la Frecuencia Cardíaca, usando Tecnologías Inalámbricas de Comunicación
Disponibles en los Teléfonos Celulares.**

Pamela Tatiana Morales Torres

Enrique Vinicio Carrera, PhD
Director de la Tesis (firma)

Fausto Pasmay, MBA
Director de la Carrera de Ingeniería (firma)
en Sistemas

Santiago Gangotena, PhD
Decano del Colegio Politécnico (firma)

Quito, Mayo 2012

© Derechos de autor

Pamela Tatiana Morales Torres

2012

RESUMEN

Durante los últimos años, las Tecnologías de la Información y Comunicación han evolucionado aceleradamente, convirtiéndose en el soporte para la automatización de diversas áreas. Una de estas áreas con mayores desafíos para su completa automatización, es la Telemedicina. Especialmente en la provisión de servicios de salud de manera remota, estos sistemas son extremadamente sensibles y de extrema criticidad, permitiendo una atención personalizada de control a pacientes con enfermedades crónicas o de la tercera edad. Asimismo, los sistemas de asistencia de salud en forma remota permitirán descongestionar los Centros de Salud, principalmente en países subdesarrollados como el nuestro. En este contexto, poder contar con un Sistema de Telemonitoreo Remoto de Signos Vitales sería de gran utilidad como un primer paso hacia la automatización de los servicios de salud. De tal manera, el desarrollo y evaluación de un prototipo para telemonitoreo de ECG desde la perspectiva de Ingeniería de Sistemas es el propósito principal de esta Tesis de Grado. A lo largo del documento se presentarán los conceptos y teorías más importantes para el desarrollo de este tipo de sistemas, se muestra el diseño y funcionamiento del prototipo, así como las pruebas realizadas durante el desarrollo y evaluación del mismo. Finalmente, las conclusiones más importantes son resaltadas y se discuten los principales trabajos futuros.

ABSTRACT

In recent years, information technology, IT, has evolved rapidly, becoming the support for the automating of many areas. One of these areas with greater challenges for full automation is telemedicine. Especially, in the provision of remote health services remotely, these systems are sensitive, critical, and they allow personal control to patients with chronic illnesses or elderly. Also, remote health care systems decongest health centers, mainly in developing countries like ours. In this context, having a Remote Telemonitoring System of Vital Signs would be useful, as a first step towards the automation of health services. Thus, the development and evaluation of a prototype for ECG Telemonitoring from the perspective of Systems Engineering is the main purpose of this thesis. Throughout, the thesis presents the major concepts and theories for the development of such systems and shows the design, the operation of the prototype, and the testing during development and evaluation. Finally, the most important conclusions are highlighted and the main future works are discussed.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
TABLA DE CONTENIDO.....	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABLAS	XV
CÁPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	5
1. TELEMEDICINA	5
1.1 MONITOREO CARDÍACO.....	6
1.1.1 FRECUENCIA CARDÍACA.....	6
1.2 ELECTROCARDIOGRAMA	7
1.3. SIMULADOR DE ECG [ECGSYN]	9
2. TIC'S Y DISPOSITIVOS MÓVILES	11
2.1 REDES DE COMUNICACIÓN.....	11
2.1.1 BLUETOOTH.....	12
2.1.2 SMS.....	14
2.2 HTTP	15
2.3 PLATAFORMA DE DESARROLLO	16
2.3.1 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO.....	16
2.3.1.1 NETBEANS 6.9	17

2.3.1.2 SUN JAVA WIRELESS TOOLKIT	17
2.3.2 J2ME	18
2.3.2.1 WIRELESS MESAGING API [JSR 205].....	19
2.3.2.2 API DE JAVA PARA BLUETOOTH [JSR 82]	20
2.3.2.3 GENERIC CONNECTION FRAMEWORK [GCF]	21
2.3.3 JAVA SERVLET	21
2.3.4 JAVASERVER FACES.....	22
CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	24
1. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS.....	24
1.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR REMOTO	27
1.1.1. ELEMENTOS DEL LUGAR REMOTO.....	28
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIONES.....	31
1.3 DESCRIPCIÓN DEL SERVIDOR CENTRAL.....	34
1.3.1 ELEMENTOS DEL SERVIDOR CENTRAL.....	35
2. DISEÑO DEL SISTEMA	40
2.1 LUGAR REMOTO.....	40
2.1.1 DISPOSITIVO CARDÍACO – SIMULADOR ECG.....	41
2.1.2 EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR	44
2.2 RED DE COMUNICACIONES.....	47
2.2.1 EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS.....	48
2.3 SERVIDOR CENTRAL.....	50
2.3.1 APLICACIÓN RECEPTORHTTP – Java Servlet.....	51
2.3.2 APLICACIÓN RECEPTORBLUETOOTH – Java desktop.....	52

2.3.3 BASE DE DATOS – MySql	54
2.3.4 SITIO WEB – CONTROL REMOTO – JavaServer Faces	55
3. IMPLANTACIÓN	58
CAPITULO IV: EVALUACIÓN.....	61
1. PRUEBAS FUNCIONALES.....	61
<i>1.1. LUGAR REMOTO.....</i>	<i>61</i>
1.1.1 SIMULADOR ECG	61
1.1.2. EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR	63
<i>1.2. RED DE COMUNICACIONES.....</i>	<i>64</i>
1.2.1. EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS	64
<i>1.3. SERVIDOR CENTRAL.....</i>	<i>66</i>
1.3.1. RECEPTOR HTTP	66
1.3.2. RECEPTOR BLUETOOTH	67
1.3.3. SITIO WEB.....	68
2. PRUEBAS DE DESEMPEÑO	70
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
1. COMPARACIÓN ENTRE SMS Y HTTP.....	75
2. COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE SMS E INTERNET	77
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES.....	81
TRABAJOS FUTUROS.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS	87

ANEXO A: DIAGRAMAS DE CLASES	87
<i>ANEXO A.1: DIAGRAMA DE CLASES DEL SIMULADOR ECG</i>	87
<i>ANEXO A.2: DIAGRAMA DE CLASES DEL EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR</i>	88
<i>ANEXO A.3: DIAGRAMA DE CLASES DEL EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS</i> ...	89
<i>ANEXO A.4: DIAGRAMA DE CLASES DEL RECEPTOR HTTP</i>	91
<i>ANEXO A.5: DIAGRAMA DE CLASES DE RECEPTOR BLUETOOTH</i>	92
<i>ANEXO A.6: DIAGRAMA DE CLASES DEL SITIO WEB</i>	93
ANEXO B: MANUAL TÉCNICO	94
<i>ANEXO B.1 SIMULADOR ECG</i>	94
<i>ANEXO B.2 EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR</i>	95
<i>ANEXO B.3 EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS</i>	96
<i>ANEXO B.4 RECEPTOR BLUETOOTH</i>	96
<i>ANEXO B.5 RECEPTOR HTTP</i>	97
<i>ANEXO B.6 SITIO WEB</i>	98
ANEXO C: MANUAL DE USUARIO	100
<i>ANEXO C.1. FUNCIONES</i>	100
<i>ANEXO C.2 TIPOS DE USUARIOS Y ROLES</i>	100
<i>ANEXO C.3 ESTRUCTURA</i>	101
<i>ANEXO C.4. FUNCIONAMIENTO</i>	102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ONDAS P-Q-R-S-T DE UN ECG (CASTILLO).....	7
FIGURA 2: ELECTROCARDIOGRAMA (CASTILLO).....	9
FIGURA 3: ECGSYN CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS (ELABORACIÓN PROPIA)	10
FIGURA 4: ECGSYN - SEÑAL ECG SIMULADA (ELABORACIÓN PROPIA)	11
FIGURA 5: WPAN CON DISPOSITIVOS BLUETOOTH (KNUDSEN Y LI)	13
FIGURA 6 : ESQUEMA DEL SISTEMA SMS (PUBLICORP).....	15
FIGURA 7: ESQUEMA PETICIÓN – RESPUESTA DE HTTP (W3C).....	16
FIGURA 8 : COMPONENTES DE WIRELESS MESSAGING API (ORTIZ)	20
FIGURA 9: ESQUEMA PETICIÓN-RESPUESTA USANDO JAVA SERVLET (HANSON)	22
FIGURA 10: MODELO VISTA – CONTROLADOR DE JAVASERVERFACES (JAVASERVER FACES TECHNOLOGY)	23
FIGURA 11: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TELEMONITOREO REMOTO (ELABORACIÓN PROPIA)...	25
FIGURA 12: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA (ELABORACIÓN PROPIA)	26
FIGURA 13: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL LUGAR REMOTO (ELABORACIÓN PROPIA).....	28
FIGURA 14: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SIMULADOR ECG (ELABORACIÓN PROPIA)	29
FIGURA 15: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR (ELABORACIÓN PROPIA)	31
FIGURA 16: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA RED DE COMUNICACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	32
FIGURA 17: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS (ELABORACIÓN PROPIA)	33

FIGURA 18: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SERVIDOR CENTRAL (ELABORACIÓN PROPIA).....	34
FIGURA 19: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DE RECEPTOR HTTP (ELABORACIÓN PROPIA)	35
FIGURA 20: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DE RECEPTOR BLUETOOTH (ELABORACIÓN PROPIA).....	36
FIGURA 21: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DE LA BASE DE DATOS (ELABORACIÓN PROPIA)	37
FIGURA 22: DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SITIO WEB (ELABORACIÓN PROPIA).....	38
FIGURA 23: DIAGRAMA DE CASO DE USO DEL LUGAR REMOTO (ELABORACIÓN PROPIA)	41
FIGURA 24: DIAGRAMA DE FLUJO DEL SIMULADORECG (ELABORACIÓN PROPIA).....	43
FIGURA 25: DIAGRAMA DE FLUJO DEL EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR (ELABORACIÓN PROPIA).46	
FIGURA 26: DIAGRAMA CASO DE USOS DE RED DE COMUNICACIONES (ELABORACIÓN PROPIA)....	47
FIGURA 27: DIAGRAMA DE FLUJO DEL EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS (ELABORACIÓN PROPIA).....	49
FIGURA 28: DIAGRAMA CASO DE USO SERVIDOR CENTRAL (ELABORACIÓNPROPIA).....	50
FIGURA 29: DIAGRAMA DE FLUJO DEL RECEPTOR HTTP (ELABORACIÓN PROPIA).....	51
FIGURA 30: DIAGRAMA DE FLUJO DEL RECEPTOR BLUETOOTH (ELABORACIÓN PROPIA)	53
FIGURA 31: DIAGRAMA ENTIDAD-RELACIÓN DE LA BASE DE DATOS (ELABORACIÓN PROPIA)	55
FIGURA 32: DIAGRAMA DE FLUJO DEL SITIO WEB (ELABORACIÓN PROPIA)	57
FIGURA 33: SECUENCIA DE PANTALLAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR ECG (ELABORACIÓN PROPIA)	62
FIGURA 34: SECUENCIA DE PANTALLAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR (ELABORACIÓN PROPIA).....	64

FIGURA 35: SECUENCIA DE PANTALLAS DEL EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS.....	65
FIGURA 36: PANTALLA DE LA APLICACIÓN RECEPTORHTTP (ELABORACIÓN PROPIA)	66
FIGURA 37: PANTALLA DE LA APLICACIÓN RECEPTORBLUETOOTH (ELABORACIÓN PROPIA)	67
FIGURA 38: SECUENCIA DE PANTALLAS DE INICIO DE SESIÓN DE ADMINISTRADOR.....	68
FIGURA 39: PANTALLA DE ADMINSTRACIÓN DE PERSONAL MÉDICO (ELABORACIÓN PROPIA).....	69
FIGURA 40: PANTALLA DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE PACIENTES (ELABORACIÓN PROPIA)	69
FIGURA 41: E-MAIL DE ALERTA DE ANOMALÍASAS (ELABORACIÓN PROPIA).....	70

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: DESEMPEÑO APLICACIÓN SIMULADOR ECG - 64 MUESTRAS (ELABORACIÓN PROPIA) ...	71
TABLA 2: DESEMPEÑO APLICACIÓN SIMULADOR ECG - 2048 MUESTRAS (ELABORACIÓN PROPIA)	72
TABLA 3: DESEMPEÑO APLICACIÓN SIMULADOR ECG – 256 MUESTRAS (ELABORACIÓN PROPIA)	72
TABLA 4: TIEMPO DE COMUNICACIÓN POR INTERNET (ELABORACIÓN PROPIA).....	73
TABLA 5: TIEMPO DE COMUNICACIÓN POR SMS (ELABORACIÓN PROPIA).....	73
TABLA 6: COMPARACIÓN DE COSTOS DE SERVICIOS DE SMS ENTRE LAS OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL EN ECUADOR	78
TABLA 7: COMPARACIÓN DE COSTOS DE SERVICIOS DE INTERNET ENTRE LAS EMPRESAS PROVEEDORAS	79

CÁPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de la Información y Comunicación han tenido un rápido crecimiento en las últimas décadas interconectando a millones de usuarios alrededor del mundo por internet, telefonía fija y móvil. Cada vez hay más integrantes en las redes de telecomunicaciones que comparten información, se comunican y hasta trabajan por medio de éstos. Asimismo, los aparatos tecnológicos que soportan estas conexiones han evolucionado aceleradamente, contando en la actualidad con computadores y dispositivos móviles de alta capacidad, redes de internet y telefonía de alta disponibilidad y velocidad, que comparten información y se comunican entre sí. Con estas tecnologías, usuarios que se encuentran ubicados en los lugares más remotos pueden comunicarse con el resto del mundo. Posteriormente, esta evolución tecnológica se ha experimentado en otras áreas de interés para el ser humano, como en la Medicina, dando lugar a la Telemedicina.

Dentro de los aparatos tecnológicos involucrados en Telecomunicaciones, están los teléfonos celulares, que son de uso común y accesibles para todo tipo de usuario. Permiten comunicación de voz, datos, mensajería instantánea [SMS] y conexión a internet por medio de diferentes tecnologías propias como GPRS, Wi-Fi, entre otras; usando el protocolo de comunicación HTTP. Cada día se hacen esfuerzos para que la mayor cantidad de pobladores tengan acceso a la comunicación. En muchos países, así como el nuestro, las empresas de telefonía celular amplían sus redes y llegan a lugares bastante alejados de la ciudad. También, los Smartphone de bajo costo son bastante populares y de fácil acceso, a la vez que brindan varios servicios de comunicación como transferencia de datos por Bluetooth, SMS e internet.

Por otro lado, la medicina que llega a los usuarios por medio de los servicios de salud, también busca evolucionar, con miras a incrementar la satisfacción de los usuarios y su calidad de vida. Los servicios de salud manifiestan congestión porque entre los servicios más populares están la consulta y el control. Para este último, especialmente, la medicina ha desarrollado una rama que permite brindar servicios de salud a distancia, la Telemedicina. Esta propuesta fue una respuesta a las necesidades de pacientes que no pueden movilizarse constantemente a los centros de salud para el control de sus enfermedades, sea por la gravedad de éstas o debido a su avanzada edad. En el caso de Ecuador, donde los servicios de salud pública son gratuitos, hay grandes colas de espera para acceder, tanto a consulta como a control. Los pacientes con enfermedades crónicas que requieren control de sus signos vitales con bastante frecuencia, tendrían que buscar un centro de salud donde se monitoreen sus enfermedades. Los centros de salud requerirían instalar unidades dedicadas únicamente al control de signos vitales, lo que resultaría ineficiente.

Con la finalidad de mitigar algunos de los problemas antes mencionados, se propone un Sistema de Telemonitoreo Remoto para controlar los signos vitales de aquellos pacientes que padecen de enfermedades crónicas y que por su condición y edad se les dificulta acercarse a un centro de salud frecuentemente. Este sistema cuenta con una infraestructura de comunicación poco sofisticada, de uso común y bajo costo; de tal manera que resulta bastante económico implementar este sistema para control de signos vitales para estos pacientes.

Uno de los signos vitales más críticos en el control de enfermedades crónicas en los pacientes de edad avanzada es la Frecuencia Cardíaca y debe ser medida con la mayor prioridad, porque cualquier variación de ésta puede significar una alteración médica, especialmente en la

salud cardiovascular del paciente. Por lo que, este Sistema Prototipo de Telemonitoreo Remoto se enfoca en el control de la Frecuencia Cardíaca.

El primer problema a resolver es que el usuario no se movilice a los centros médicos. Para esto, es necesario configurar un lugar remoto, donde se encuentre el paciente, que sería su domicilio, trabajo, entre otros. Este sitio se compone de un chip o dispositivo cardíaco implantado en el paciente, que es simulado mediante un teléfono celular que modela las señales eléctricas del corazón que son medidas en los Electrocardiogramas y envía mediante una interfaz de comunicación de bajo consumo, las señales a otro dispositivo para que las procese. Este teléfono celular simula un chip cardíaco de baja capacidad que no podría calcular la frecuencia cardíaca ni procesar las señales detectadas, únicamente las genera. Posteriormente, en el lugar remoto se configura un dispositivo que procese las señales, calculando la frecuencia cardíaca e inicializando la comunicación con el servidor central para el almacenamiento de la información obtenida.

Otro de los problemas a resolver es la comunicación entre el paciente y el personal médico. Entonces, se hace necesario configurar una red de comunicación. Tomando en cuenta que el paciente se encuentra alejado, se tiene que buscar vías de comunicación para el envío de los datos. Estas vías pueden ser por mensajes de texto o por Internet.

Por último, el problema del control sería resuelto mediante la implementación de un servidor central que almacene los datos y que permita disponer y acceder a la información 24/7. Lo que significa que se presente y administre la información desde una aplicación web que sea accesible desde cualquier lugar y tiempo que el personal médico lo requiera.

En este contexto, poder contar con un Sistema de Telemonitoreo Remoto de Signos Vitales sería de gran utilidad como un primer paso hacia la automatización de los servicios de salud e incursión en la Telemedicina de los servicios médicos públicos o privados. Así, se requiere de tecnología accesible tanto para usuarios como para casas de salud, sin mayor inversión en infraestructura ni incurrir en costos para el despliegue de los servicios. Este sistema requiere del desarrollo de aplicaciones móviles para el manejo de la comunicación con los equipos intermedios, lugar remoto y servidor central. Así también, se requieren desarrollos en bases de datos y aplicaciones web. Finalmente, se debe obtener el conocimiento médico necesario para lograr procesar las señales obtenidas.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo se presentan algunos conceptos que dan soporte al tema principal de esta investigación, Específicamente se revisan definiciones relacionadas a Telemedicina, plataforma Java para dispositivos móviles, red de comunicación y Simulador ECG.

1. TELEMEDICINA

La Telemedicina, que literalmente significa medicina a distancia, puede ser definida como el suministro de atención médica a pacientes usando tecnologías de la información y comunicación. Su principal característica es la separación geográfica entre médico y paciente.

Muchos autores han dado definiciones diferentes de telemedicina. A continuación se presentan algunas para un mayor entendimiento:

La Telemedicina es “un sistema de prestación de asistencia sanitaria en el que los médicos examinan a los pacientes a distancia utilizando tecnología de telecomunicaciones” (Preston, Brown y Hartley 25-32).

La Telemedicina es “el acceso rápido a conocimientos médicos puestos en común, a pesar de la distancia, gracias a las telecomunicaciones y a la informática, independientemente del lugar en que se encuentre el paciente o la información relativa a éste”(AIM 18).

Según la OMS, la Telemedicina es un “término compuesto que designa las actividades, servicios y sistemas ligados a la salud, practicados a distancia por medio de tecnologías de la información y de comunicaciones, para las necesidades mundiales de promoción de la salud, atención médica y control de epidemias, de la gestión y la investigación aplicadas a la salud”(OMS).

1.1. MONITOREO CARDÍACO

Se refiere al uso de monitores para controlar las funciones vitales de los pacientes, complementando la función del personal médico. La monitorización contempla el control, que no tiene por qué implicar gravedad, sino sólo la necesidad de un severo monitoreo de las funciones vitales. El monitoreo cardíaco se lo puede realizar sobre tres parámetros: frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y oxigenación por oximetría de pulso(Herruzo Grande y Reig Lorenzo).

1.1.1 FRECUENCIA CARDÍACA

La frecuencia cardíaca es el número de contracciones del corazón por unidad de tiempo, se expresa en latidos por minuto. La frecuencia normal para un adulto sano varía entre 60 y 100 latidos por minuto, aunque esta variación puede cambiar dependiendo de la genética, el estado físico, condiciones ambientales, edad y sexo (Vogel, Wolpert y Whling 461).

Asimismo, en el intervalo de tiempo de un minuto ocurre un determinado número de latidos y a esto también se le denomina frecuencia cardiaca. El corazón se ajusta a las necesidades del organismo, variando la frecuencia. Por lo que, en condiciones normales se

producen cambios a la frecuencia aumentando o disminuyendo, según la situación, es decir, ante el ejercicio o emociones aumenta, y ante el reposo disminuye(Rodríguez and Pulido).

Finalmente, mediante las señales en un Electrocardiograma, como se muestra en la Figura 1, se puede determinar la Frecuencia Cardíaca midiendo el intervalo de tiempo en segundos R-R entre dos Complejos Ventriculares QRS¹, posteriormente se divide 60 para el intervalo en segundos obtenido(Castillo).

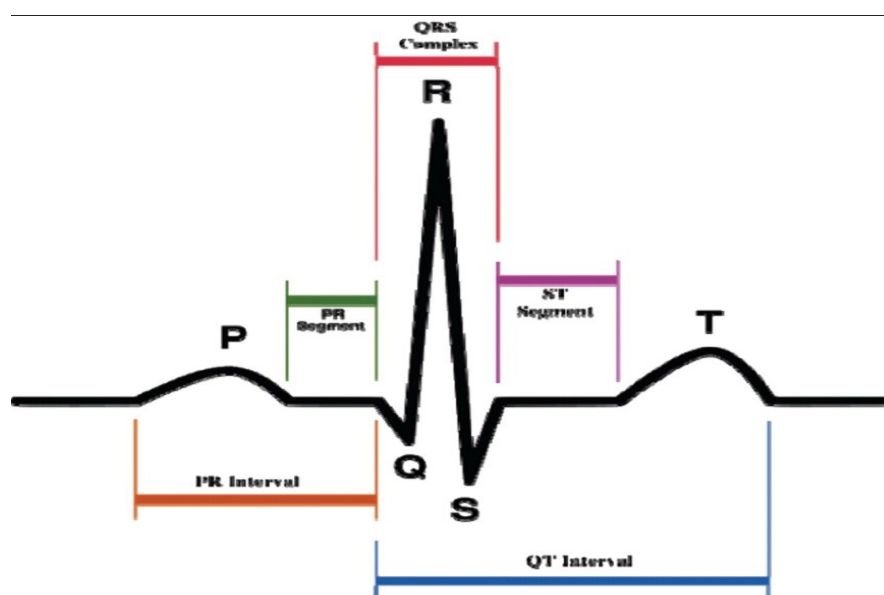


Figura 1: Ondas P-Q-R-S-T de un ECG (Castillo)

1.2. ELECTROCARDIOGRAMA

Electrocardiograma [ECG] es la representación gráfica en función del tiempo de la actividad eléctrica del corazón, que se obtiene desde la superficie corporal mediante un electrocardiógrafo².

¹ Son las ondas más importantes de un Electrocardiograma, pues aquí se detectan mayores alteraciones de la frecuencia cardíaca.

² Aparato electrónico que capta la actividad eléctrica del corazón a través de electrodos conectados al cuerpo de una persona.

Con esta información se puede detectar enfermedades cardiovasculares así como saber la frecuencia cardíaca y la duración del ciclo cardíaco(Ganz and Curtiss).

Un ECG es un estudio de rutina que se realiza para observar la actividad eléctrica del corazón y suministra mucha información sobre su funcionamiento. Con este estudio es posible averiguar más sobre el ritmo cardíaco, el tamaño y actividad de las cavidades del corazón y el músculo cardíaco. En una persona sana el trazado del electrocardiograma presenta una forma particular. Si se producen cambios en ese trazado, el médico puede determinar si existe un problema. Por ejemplo, durante un ataque cardíaco, la actividad eléctrica del corazón cambia y ese cambio se registra en el ECG(Electrocardiograma).

Existen normas internacionales para la interpretación de los registros obtenidos en un ECG adoptando con respecto a la velocidad del papel 25 mm/seg, la amplitud de calibración 1 mV = 1 cm y los sitios de la colocación de los electrodos cutáneos como derivaciones. Hay que tener en cuenta que las derivaciones no registran sólo el potencial eléctrico de la pequeña área del miocardio subyacente sino que registra los eventos eléctricos del ciclo cardiaco desde un sitio seleccionado(Castillo).

El ECG es considerado un examen aislado, mas no un diagnóstico de enfermedad cardíaca ni tampoco se lo puede excluir del todo. El ECG debe ser siempre interpretado en conjunto con los hallazgos clínicos y de otros exámenes paraclínicos(Guías de Laboratorio: Electrocardiograma). En la Figura 2, se presenta un ejemplo de electrocardiograma donde se muestra la forma de calcular visualmente la Frecuencia Cardiaca a partir de los voltajes graficados.

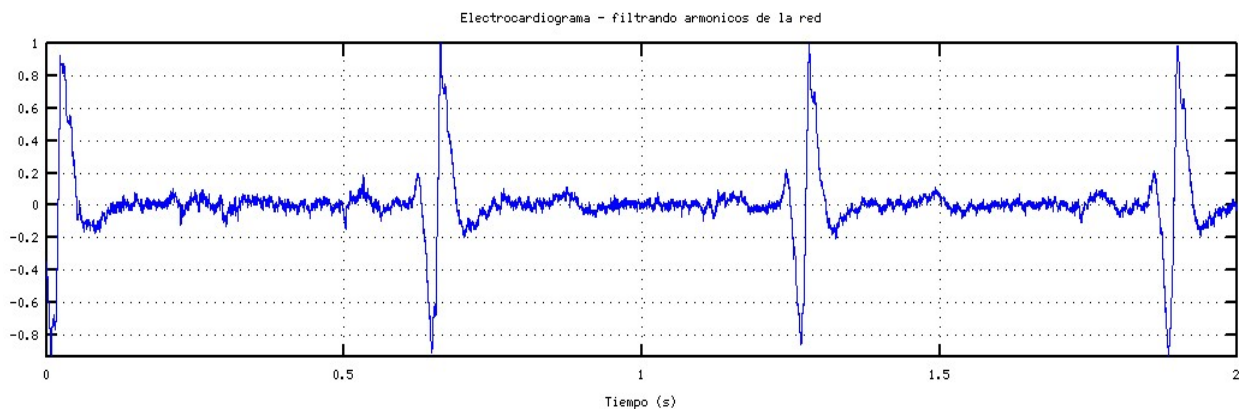


Figura 2: Electrocardiograma (Castillo)

1.3. SIMULADOR DE ECG[ECGSYN]

Simula las señales eléctricas del corazón que son graficadas en un ECG. Para realizar esta simulación, se requiere una aplicación que genere los pulsos eléctricos del corazón medidos en voltajes y relacionados con el tiempo. Estas señales modelan el Complejo Ventricular QRS que es el más importante de esta gráfica, estableciendo parámetros configurables, que ayuden a generar los pulsos eléctricos del corazón.

ECGSYN es un software libre, distribuido bajo la licencia GNU, es una investigación científica como contribución a Phisionet por parte de los investigadores de la Universidad de Oxford y del MIT, que permite simular las señales de un electrocardiograma mediante un modelo matemático.

ECGSYN genera una señal ECG sintetizada con la frecuencia cardíaca media, número de pulsaciones, frecuencia de muestreo, morfología de las ondas [P, Q, R, S, T y el tiempo, la amplitud y duración], la desviación estándar del intervalo RR, y otros parámetros configurables por el usuario. Utilizando un modelo basado en tres ecuaciones diferenciales ordinarias acopladas, ECGSYN reproduce muchas de las características del ECG del ser humano,

incluyendo la variación latido a latido de la modulación en la morfología y el momento, la arritmia sinusal respiratoria, la dependencia del intervalo QT en el ritmo cardíaco, y R, pico de amplitud. Las salidas de ECGSYN pueden ser empleadas para evaluar las técnicas de procesamiento de señales biomédicas que se utilizan para calcular las estadísticas clínicas del ECG (PhisioNet).

El software puede ser corrido como aplicación de escritorio o en un navegador web y permite visualizar la gráfica del ECG simulado, así como exportar los datos generados. El código fuente se puede encontrar en la siguiente dirección web:

<http://www.mit.edu/~gari/CODE/ECGSYN/JAVA/APPLET2/ecgsyn/ecg-java/index.html>

En la Figura 3, se muestra una captura de pantalla del Software donde se puede configurar los parámetros de la señal a simular.

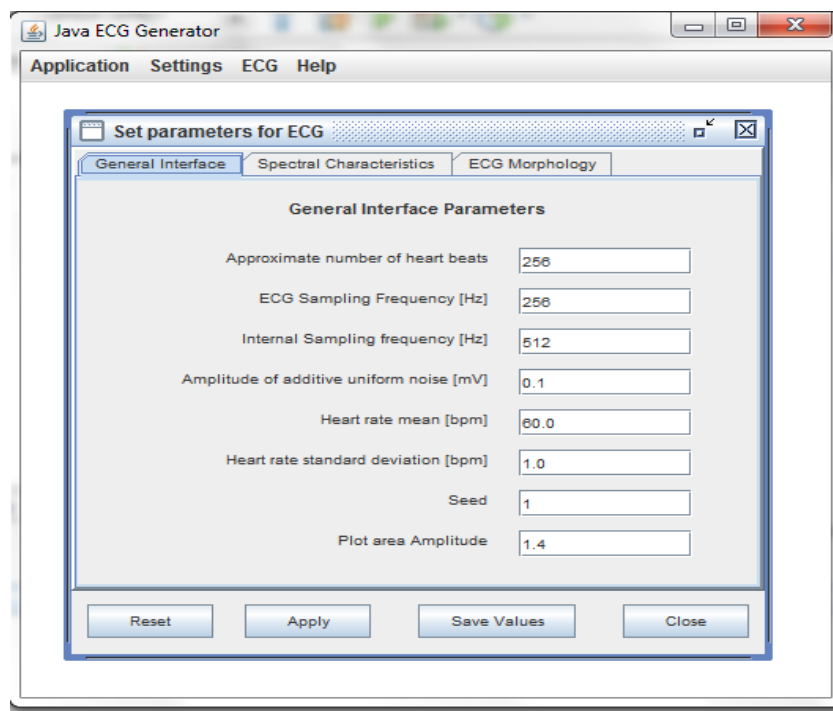


Figura 3: ECGSYN Configuración de parámetros (Elaboración Propia)

En la Figura 4, se muestra una captura de pantalla con la señal del ECG siendo simulado. Además de la gráfica, se encuentra la tabla con los valores de la señal.

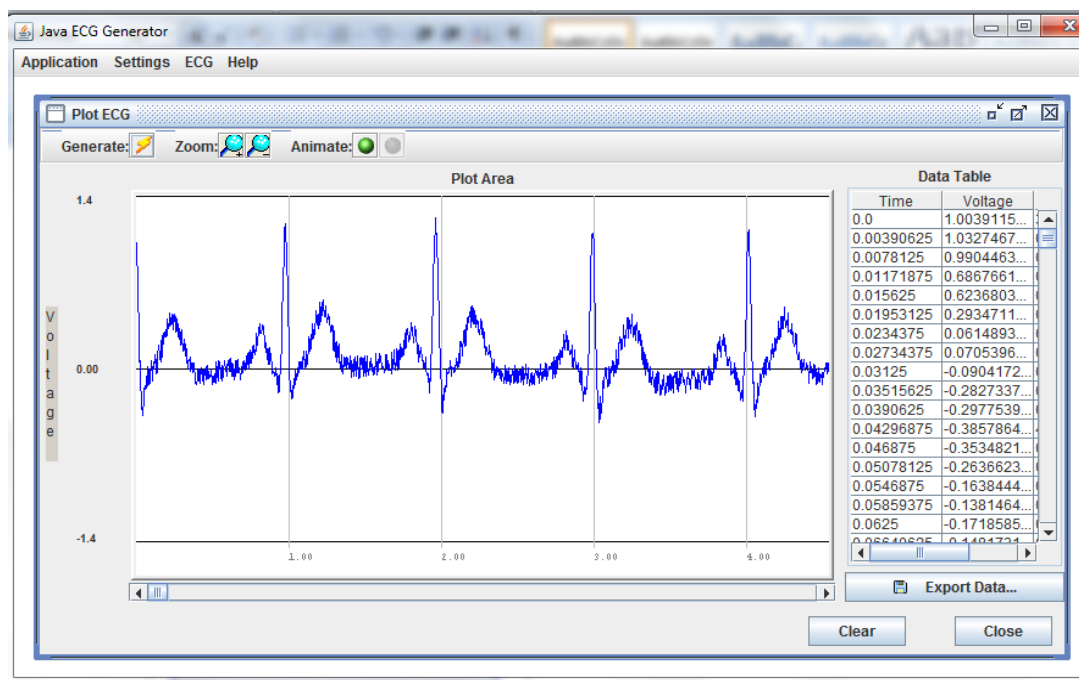


Figura 4: ECGSYN - Señal ECG Simulada (Elaboración Propia)

2. TIC'S Y DISPOSITIVOS MÓVILES

2.1. REDES DE COMUNICACIÓN

Las redes de comunicaciones brindan las capacidades y los elementos necesarios para el intercambio de información o comunicación por datos, voz u otros a largas distancias. Es necesario, disponer del acceso a la red de comunicación, de la forma de transportar la información, de los medios y de los procedimientos que deben interactuar para el intercambio de información entre los usuarios que se encuentran en los extremos de diferentes tipos de redes de comunicaciones.

2.1.1 BLUETOOTH

Bluetooth es una especificación industrial tecnológica para Redes Inalámbricas de Área Personal [WPAN]³ que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM⁴ de los 2,4 GHz., con altos niveles de seguridad y facilitando la sincronización entre dispositivos. La especificación se basa en tecnología de saltos de frecuencia de espectro ensanchado. Está desarrollada por Bluetooth SIG y, sus niveles más bajos [nivel físico y control de acceso al medio] se formalizan también en el estándar IEEE 802.15.1(Scarfone y Padgette)

Existen varias versiones de Bluetooth mejorando en cada una los niveles de conectividad y las distancias de conexión. Las versiones de los estándares de Bluetooth están diseñadas para la compatibilidad hacia abajo permitiendo que el último estándar cubra todas las versiones anteriores. Dentro de los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta especificación tecnológica está facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos; eliminar cables y conectores entre éstos; ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas; y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales (Bray y Sturman 5-22).

Las Telecomunicaciones y la Informática Personal son los sectores que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología. Entre los dispositivos que toman como herramienta esta especificación están los PDA's, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales (Knudsen y Li 195-211)

³ WPAN (Wireless Personal Area Network) es una red de comunicación que permite interconectar varios dispositivos electrónicos a la vez.

⁴Bandas Reservadas Internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial científica y médica.

Con el objetivo de lograr redes ad hoc simples de bajo coste y consumo, Bluetooth define un espacio de operación personal [*personal operating space*] omnidireccional en el seno del cual se permite la movilidad de los dispositivos(Guy). Entonces, el alcance de la señal de Bluetooth para teléfonos celulares es de alrededor 10 metros pudiendo reducirse dependiendo de la visibilidad que exista entre los teléfonos, es decir, si existe o no una pared que los separa, por ejemplo(Guy).

La tecnología Bluetooth es un protocolo basado en una estructura master-esclavo, donde un master puede conectarse con hasta 7 esclavos, conocido como una Piconet. Existe la posibilidad que un teléfono master sea a la vez un esclavo en otra Piconet, permitiendo interconectar varios teléfonos a la vez(Guy) . En la Figura 5, se muestra la configuración de una WPAN por medio de una Piconet.

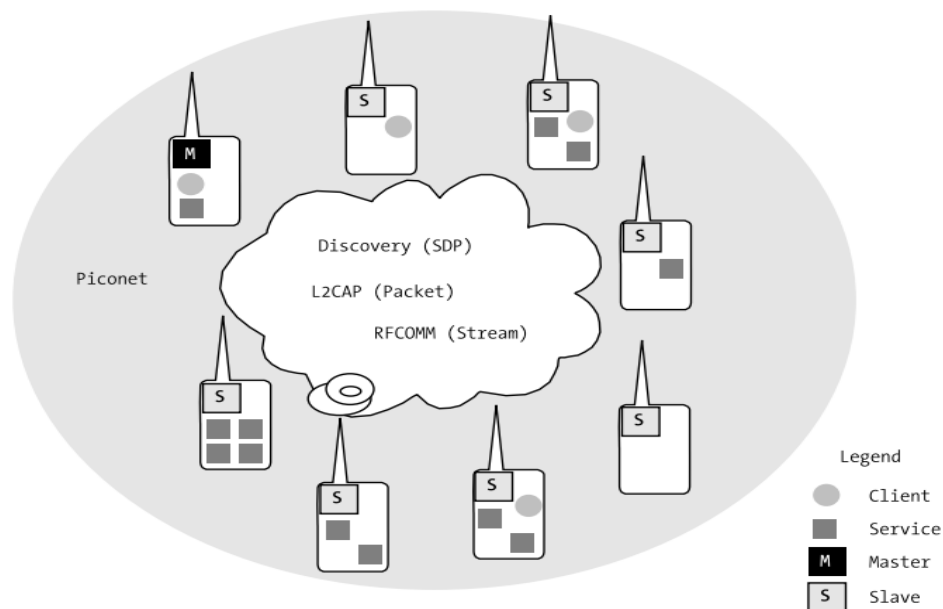


Figura 5: WPAN con Dispositivos Bluetooth (Knudsen y Li)

2.1.2 SMS

Significa Servicio de Mensajes cortos o Short Message Service, en inglés, es un servicio de mensajes de texto disponible para los teléfonos celulares. Los SMS son usados principalmente como medio de comunicación entre usuarios de la telefonía móvil, aunque debido a su versatilidad también es usado para confirmar transacciones bancarias, domótica, telemonitoreo, alarmas, confirmaciones de compras, vender boletos de sorteos, entre muchos usos más (Knudsen y Li 165-190)

El servicio de mensajes es muy usado a nivel mundial, especialmente por los jóvenes, es tanta su popularidad que el número total de SMS enviados a nivel mundial se triplico entre el 2007 al 2010, de 1.8 trillones a 6.1 trillones aproximadamente por año. Lo que equivale a cerca de 200000 mensajes de texto cada segundo(The World in 2010).

La ventaja más notoria del SMS, es que los mensajes se envían a una red que almacena y reenvía al receptor cuando esté disponible. De esta manera, un mensaje no se pierde cuando el receptor no está disponible(Knudsen y Li 165-190). En la Figura 6, se muestra las distintas fases por las que pasa un SMS para llegar de un teléfono móvil a otro.

Nótese, que la comunicación empieza en el teléfono celular que en la Figura 6 se encuentra en la fase 1; luego en la fase 2, pasa a una Torre Celular que retransmite las señales recibidas desde el teléfono celular hacia el MSC [Mobile Switching Center] más cercano; entonces, éste se encarga de conmutar el mensaje entre varias estaciones móviles hasta llegar a otro MSC, en la fase5 de la Figura 6, que se encuentra junto a una Torre Celular más cercana al teléfono celular destino, al que finalmente es entregado el SMS.

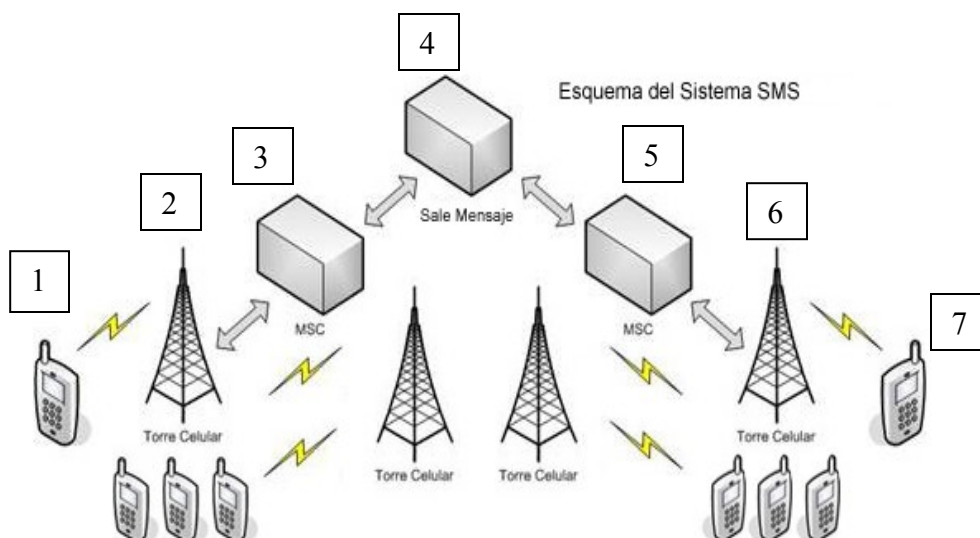


Figura 6 : Esquema del Sistema SMS (PubliCorp)

2.2. HTTP

Significa protocolo de transferencia de hipertexto, por sus siglas en inglés. Es el protocolo más usado a nivel mundial. Define la sintaxis y la semántica de comunicación que utiliza la red informática, más conocida como World Wide Web. HTTP está orientado a transacciones y sigue el esquema “petición-respuesta” entre un cliente y un servidor, para lo cual el cliente realiza una solicitud y espera a que el servidor procese y envíe una respuesta(Berners-Lee).HTTP define 8 métodos head, get, post, put, delete, trace, options, connect; siendo get y post los más usados (Berners-Lee).

En HTTP también existen códigos destinados a dar una descripción rápida del estatus de la conexión. Estos códigos se envían al usuario para que sepa que acciones debe tomar. Los códigos de estado se divide en cinco clases: respuestas informativas, peticiones correctas, redirecciones, errores del cliente, errores del servidor(Berners-Lee).En la Figura 7, se presenta el

esquema de comunicación del protocolo HTTP, donde se muestra el pedido que hace el cliente al servidor y éste le envía una respuesta.

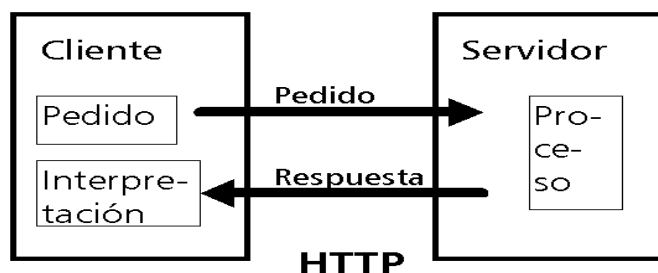


Figura 7: Esquema Petición – Respuesta de HTTP (W3C)

Este protocolo hace transparente el uso de la tecnología de conexión a Internet, como Wi-Fi, GPRS, entre otras, que está siendo usada para la comunicación con el servidor central. En el diseño de este sistema prototipo no concierne por qué tecnología se realiza el envío de datos al servidor, sólo interesa el protocolo por el que se envía.

2.3. PLATAFORMA DE DESARROLLO

La plataforma de programación se refiere al lenguaje de programación y las librerías necesarias que se utilizan para el desarrollo del proyecto. En este proyecto se utiliza la plataforma Java.

2.3.1. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Las herramientas de desarrollo son aquellos programas o aplicaciones que tienen cierta importancia para el desarrollo de un software. Pueden ser de vital importancia [como un ensamblador, un compilador o un editor] o de importancia secundaria [como una IDE - Integrated Development Environment - Entorno de Desarrollo Integrado].

2.3.1.1. NETBEANS 6.9

Es un IDE usado para el desarrollo de software especialmente en el lenguaje de programación Java. Netbeans IDE corre en varios sistemas operativos como Windows, Mac OS, Linux, entre otros(Knudsen y Li). Soporta el desarrollo de todo tipo de aplicaciones Java como J2SE, J2EE, EJB y J2ME implementan a partir de un conjunto de componentes llamados módulos, de esta manera las aplicaciones pueden ser fácilmente extendidas. Posee herramientas que facilita el desarrollo de software, entre ellas tenemos:

- Herramienta para desarrollo de Interfaz gráfica de usuario.
- Depuración de código.
- Generación de documentación.
- Refactorización.
- Profiling.
- Soporte de UML.
- Integración con ANT y Maven.
- Soporte para desarrollo de aplicaciones j2me
- Herramientas de colaborativas de desarrollos.
- Soporte de Servidores Apache y Glasfish(Knudsen y Li).

2.3.1.2. SUN JAVA WIRELESS TOOLKIT

Es un conjunto de herramientas para desarrollar aplicaciones Java para teléfonos celulares y otros dispositivos pequeños. Esta herramienta incluye un ambiente de emulación, optimización de desempeño, documentación, ejemplos de proyectos desarrollados, entre otras características que

facilitan el desarrollo de aplicaciones J2ME. La herramienta puede ser utilizada independientemente o como parte de un entorno de desarrollo integrada como Netbeans(Oracle).

2.3.2. J2ME

Es una especificación de un subconjunto de la plataforma Java para dispositivos con recursos limitados, como los teléfonos celulares y terminales diseñadas para tareas determinadas. Debido a su poca memoria y bajo procesamiento, Sun Microsystems desarrolló Java ME, un proyecto para llevar la tecnología Java a estos dispositivos(Introduction J2ME).

La Plataforma Java para el desarrollo de aplicaciones J2ME provee una máquina virtual que cuenta con librerías básicas y gráficas. Existen dos configuraciones importantes proveídas por esta máquina virtual *Connected Limited Device Configuration*[CLDC] y *Connected Device Configuration*[CDC]. Ambas configuraciones poseen un conjunto de librerías básicas como java.io, java.lang y java.util. Aunque éstas brindan la mayoría de las utilidades para el desarrollo de aplicaciones, ninguna provee librerías relacionadas con la interfaz gráfica de usuario [GUI].

Para aplicaciones que implementen GUI, que son aplicaciones J2ME más sofisticadas, la máquina virtual provee un subconjunto de librerías llamado *profile*. El *profile* para teléfonos celulares más común y usado es *Mobile Information Device Profile*, que incluye librerías para GUI y almacenamiento de datos(J2ME Profiles).

En el caso específico de teléfonos celulares, J2ME tiene un conjunto de APIS de comunicación que permite enviar y recibir SMS, usar la tecnología Bluetooth, seguridad en conexiones de red, entre otras características. La versatilidad, eficiencia y portabilidad de la

plataforma ha permitido que actualmente cerca de 3 billones de teléfonos móviles soporten Java (About Java)

J2ME cuenta con distintas bibliotecas de comunicación que son Frameworks⁵ que brinda la plataforma Java para el desarrollo de aplicaciones que implementan varios tipos de comunicación, haciendo uso de diversos tipos de protocolos. Entre éstas tenemos Wireless Messaging API, API de Java para Bluetooth y Generic Connection Framework.

2.3.2.1. WIRELESS MESAGING API [JSR 205]

Wireless Messaging Api (WMA) es un conjunto de funciones y métodos que permite a las aplicaciones MIDP⁶ enviar y recibir mensajes de texto, mensajes binarios y mensajes multimedia. Para el proceso de envío en el celular cliente se especifica el número de celular al cual se enviará el mensaje y el puerto que receptorá el mensaje. Esto permite que múltiples aplicaciones puedan aceptar mensajes en el mismo dispositivo(Knudsen y Li).

Existe dos opciones para recibir mensajes: usando un método bloqueante o implementando un Listener que será notificado cuando un mensaje llegue. En el primer caso, la aplicación queda bloqueada hasta que un mensaje sea recibido o hasta que la conexión termine; por este motivo, este método no es muy usado por los desarrolladores. Cuando se implementa un Listener, la aplicación no se bloquea, ya que se crea una nueva Thread que espera que llegue el mensaje, mientras la aplicación puede seguir realizando otras actividades. Cuando el mensaje es recibido, el Listener lo intercepta y avisa a la aplicación para realizar las operaciones programadas(Knudsen y Li).

⁵Conjunto estandarizado de Bibliotecas, módulos, y otros elementos programables que permiten fácilmente desarrollar proyectos de software.

⁶Es una versión de J2ME integrada en el hardware de celulares que permite el uso de programas Java denominados MIDLET.

La Figura 8 ilustra la Wireless Messaging Api donde se indica que posee un componente para realizar la conexión que es MessageConnection, un componente para recibir el mensaje que es MessageListener y un componente para crear mensajes que es Message, ya sea de texto con TextMessage o binarios con BinaryMessage.

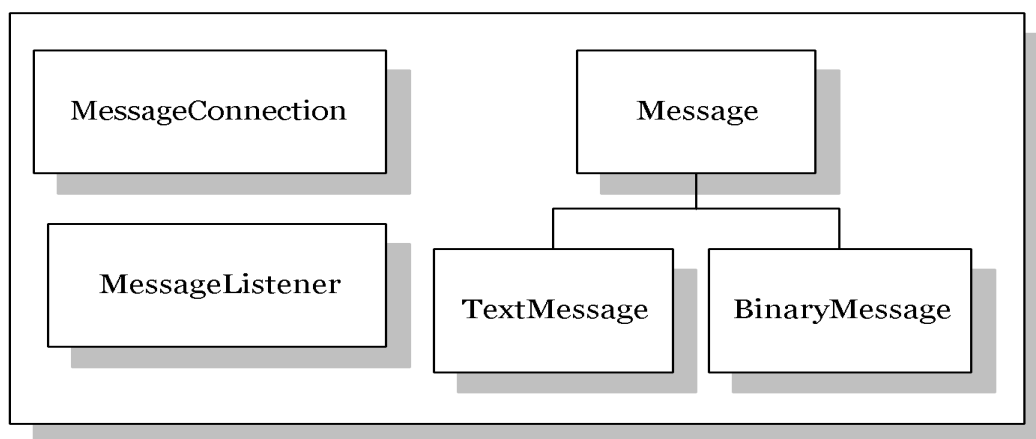


Figura 8 : Componentes de Wireless Messaging API (Ortiz)

2.3.2.2. API DE JAVA PARA BLUETOOTH [JSR 82]

Es una especificación de J2ME y J2SE que permite a las aplicaciones usar la interfaz de comunicación Bluetooth. Para implementar esta comunicación, se necesita configurar un dispositivo servidor y otro dispositivo cliente. El dispositivo servidor puede ofrecer uno o varios servicios de manera simultánea que son diferenciados por un UUID⁷. Luego, un teléfono cliente se encarga de descubrir los servicios disponibles y conectarse al servicio que requiera. Hay que tomar en cuenta que un dispositivo Bluetooth puede conectarse hasta con 7 dispositivos clientes y que un teléfono puede ser cliente y servidor a la vez (Knudsen y Li 195-211)

⁷UUID es un identificador único universal que diferencia a un servicio de otro.

2.3.2.3. GENERIC CONNECTION FRAMEWORK [GCF]

Es un conjunto de interfaces y clases para crear conexiones en aplicaciones J2ME usando un protocolo de comunicación como HTTP, Datagram, Streams, I/O. Es un framework genérico porque provee un API común para todos los tipos de conexiones básicas(Ortiz).

2.3.3. JAVA SERVLET

Son objetos Java que corren dentro de un servidor de aplicaciones usadas principalmente para responder peticiones de aplicaciones clientes, mediante un modelo de programación petición-respuesta(Java Servlet Technology). Los Java Servlet son especialmente usados en servidores web, pues permiten generar páginas web de manera dinámica a partir de las solicitudes que envía el navegador a éstos.

El ciclo de vida de un Servlet es el siguiente:

1. El cliente solicita una petición a un servidor vía URL.
2. El servidor recibe la petición.
 - a. Si es la primera, se utiliza el motor de Servlets para cargarlo y se llama al método `init()`.
 - b. Si ya está iniciado, cualquier petición se convierte en un nuevo hilo. Un Servlet puede manejar múltiples peticiones de clientes.
3. Se llama al método `service()` para procesar la petición devolviendo el resultado al cliente.
4. Cuando se apaga el motor de un Servlet se llama al método `destroy()`, que lo destruye y libera los recursos abiertos(Java Servlet Technology).

En la Figura 9, se presenta el proceso petición-respuesta usando Java Servlet. El navegador web realiza una petición Http que es interceptada por el ExtendedHttpServlet, el cuál realiza la operación deseada por el cliente de acuerdo a la lógica del negocio. Finalmente, el Servlet devuelve al navegador web la respuesta a su petición.

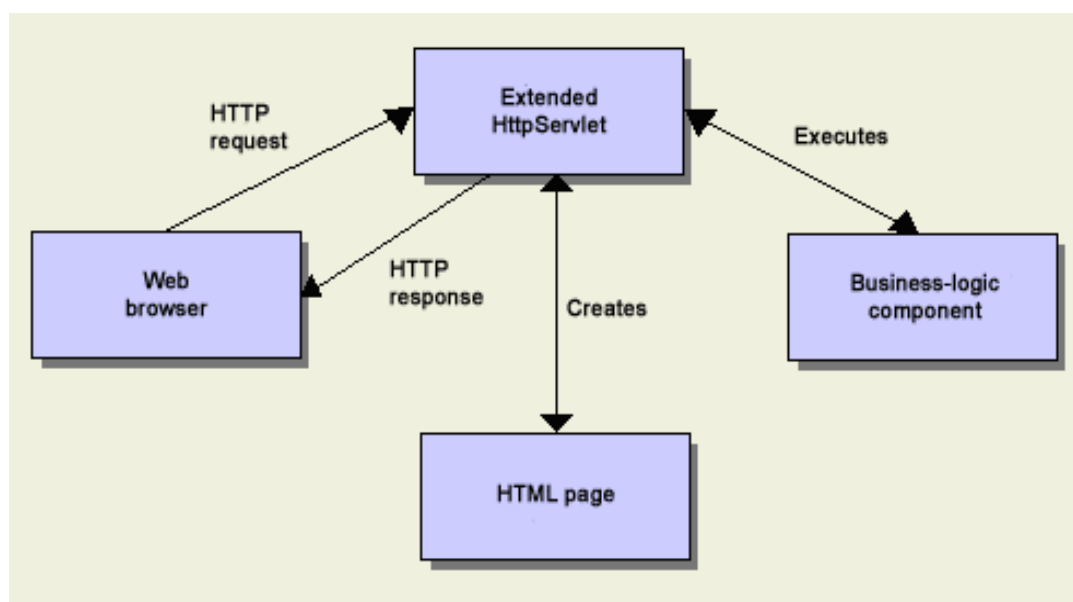


Figura 9: Esquema Petición-Respuesta usando Java Servlet (Hanson)

2.3.4.JAVASERVER FACES

Es un Framework para aplicaciones Java basadas en la Web que simplifica el desarrollo de interfaces de usuario ya que usa el modelo vista-controlador⁸. JavaServer Faces establece un estándar para crear interfaces de usuario desde el lado del servidor(JavaServer Faces Technology).

Este Framework facilita el manejo de componentes de la interfaz de usuario, estado de los componentes y eventos de entrada; encargándose del ciclo de vida de la interfaz de usuario.

⁸El modelo vista controlador obliga a separar la lógica del control, la lógica del negocio y la lógica de presentación.

Las características principales de Java Server Faces son:

- Asocia a cada vista un conjunto de objetos Java manejados por el controlador que facilitan la recogida, manipulación y visualización de los valores mostrados.
- Soporte para Ajax desde la versión 2.0
- Un conjunto de componentes UI de HTML y la posibilidad de crear componentes personalizados.
- Un modelo de eventos en el lado del servidor.
- Administración de estados como sesión, requerimiento, aplicación, entre otros (JavaServer Faces Technology).

En la Figura 10, se explica cómo JavaServer Faces utiliza el modelo vista-controlador para administrar la interfaz de usuario. Los faces servlet reciben la petición del usuario y se encarga de actualizar y crear las paginas JSF, de acuerdo a los datos existentes en la aplicación. Finalmente, se envía la respuesta al cliente.

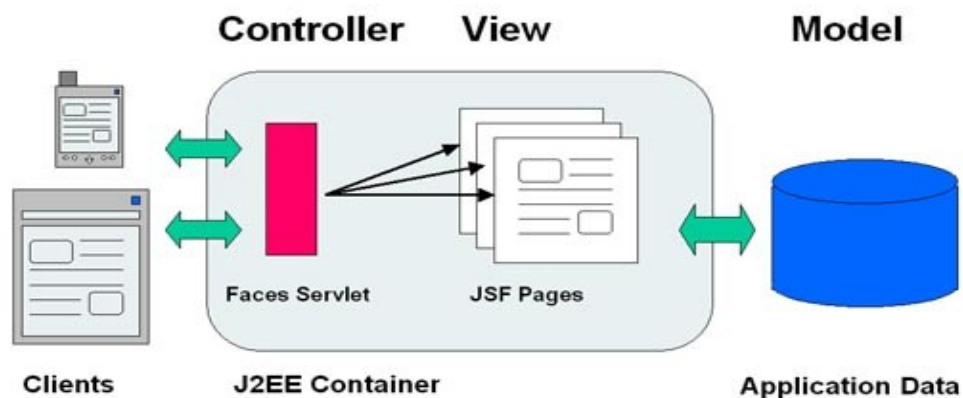


Figura 10: Modelo Vista – Controlador de JavaServerFaces (JavaServer Faces Technology)

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Dentro del proceso de diseño e implementación del Prototipo se identifican las necesidades de los posibles usuarios del Sistema. Se evalúan qué conceptos tienen los usuarios del sistema, para establecer su viabilidad. Se realiza un análisis técnico. Se asigna funciones al Hardware, Software, personal, base de datos, y otros elementos del Sistema. Se crea una definición del sistema que forme el fundamento de todo el trabajo de Ingeniería. Todo el análisis, diseño e implementación se detallan en este capítulo.

1.LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

La población objetivo de este Sistema serían tanto las casas de salud que prestan servicios, como los pacientes con enfermedades crónicas y de la tercera edad, quienes necesitan ser controlados constantemente mediante la implantación de dispositivos cardíacos para medir y monitorear sus signos vitales, como la frecuencia cardíaca.

Entonces, el principal problema a resolver es evitar la movilización de los pacientes hacia los hospitales. Otro problema es el monitoreo, para lo cual se necesitan exámenes rutinarios, como un Electrocardiograma. Por último, otro problema a mitigar con el sistema, es la comunicación entre el paciente y el personal médico que pueden localizarse a grandes distancias.

Por lo que, para este sistema prototipo existen dos tipos de usuarios: el personal médico que es el encargado de controlar el estado de salud del paciente mediante la solicitud de información al sistema e interactúa directamente con éste; y el paciente, que es un usuario que no

interactúa con el sistema, más bien recibe el servicio y sirve de fuente de datos que alimenta al sistema.

Partiendo de este análisis, tenemos varios escenarios en este Sistema Prototipo de Telemonitoreo: Lugar Remoto que es el domicilio del paciente; Red de Comunicación que son las vías de comunicación entre el paciente y el personal médico; y Servidor Central donde se almacenan y centralizan los datos. Estos escenarios se interconectan entre sí como se muestra en la Figura 11.

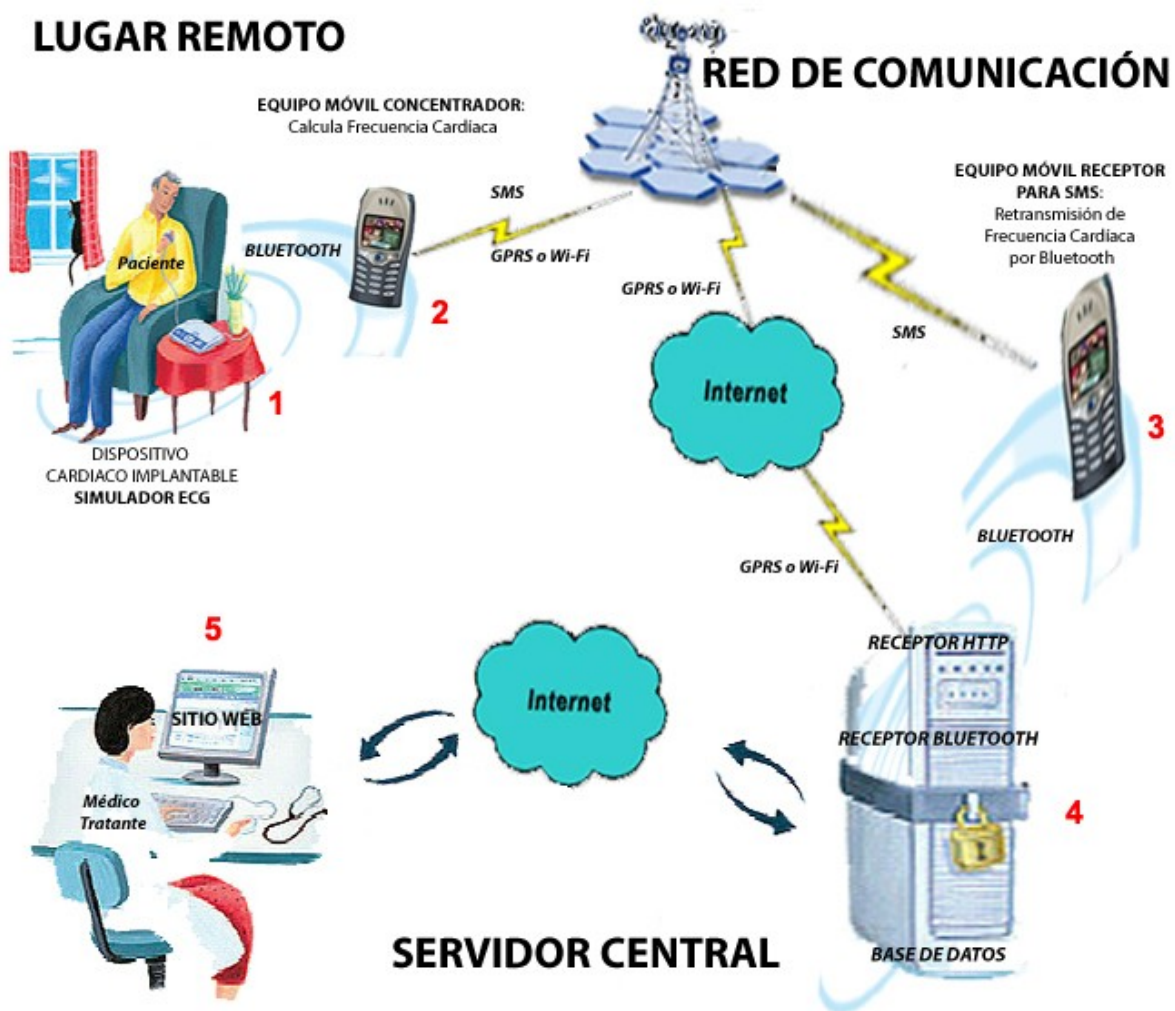


Figura 11: Descripción del Sistema de Telemonitoreo Remoto (Elaboración Propia)

Por lo tanto, la idea principal de un sistema de este tipo, es que al paciente que se encuentra en el Lugar Remoto, se implante un dispositivo cardíaco que mida el voltaje de los pulsos eléctricos del corazón mediante un sensor de baja potencia. Este dispositivo se comunica por Bluetooth con un teléfono celular que está en el mismo Lugar Remoto, éste se encarga de calcular la frecuencia cardíaca a partir de los voltajes obtenidos y la envía por la Red de Comunicación al Servidor Central, sea por SMS o Internet. Luego, antes de almacenar la Frecuencia Cardíaca en una Base de Datos, se verifica si existen anomalías; es decir, si la Frecuencia Cardíaca sale de los rangos normales o tuvo cambios bruscos, y se envía una alerta al personal médico encargado del paciente.

Finalmente, el personal médico puede consultar la información monitoreada del paciente desde Internet por el Sitio Web.

Para iniciar un análisis de los requerimientos del Sistema Prototipo de Telemonitoreo aquí propuesto, en la Figura 12, se muestra en forma general las Entradas y Salidas del Sistema.



Figura 12: Diagrama de Entradas y Salidas del Sistema (Elaboración Propia)

Nótese que:

- **Señales de Signos Vitales:** son los voltajes de los pulsos eléctricos del corazón.
- **Solicitud de Información por parte del Usuario:** se refiere a las consultas de información de monitoreo de los pacientes que realiza el personal médico [usuario].
- **Datos de Configuración del Sistema:** son el UUID de comunicación Bluetooth entre el dispositivo cardíaco[Simulador ECG] y el teléfono celular en el Lugar Remoto[Equipo Móvil Concentrador], el número de teléfono celular para el envío por SMS[Equipo Móvil Receptor para SMS], el URL del Receptor por HTTP, el UUID de comunicación Bluetooth entre el Equipo Móvil Receptor para SMS y el Receptor Bluetooth del Servidor Central. También, el nombre, usuario y clave de acceso de la base de datos.
- **Información de la Frecuencia Cardíaca:** se refiere a la información completa sobre el paciente y su historial de frecuencias cardíacas monitoreadas, resultado de consultas, monitoreo en tiempo real.
- **Alertas que anuncian anomalías:** e-mail enviado al personal médico encargado del paciente anunciando que hubo anomalías en la frecuencia cardíaca medida.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR REMOTO

El Lugar Remoto, cuyo diagrama de bloques se presenta en la Figura 13, está conformado por el dispositivo cardíaco llamado Simulador ECG y por el teléfono celular llamado Equipo Móvil Concentrador que cuenta con tecnología de comunicación Bluetooth, SMS y acceso a Internet.

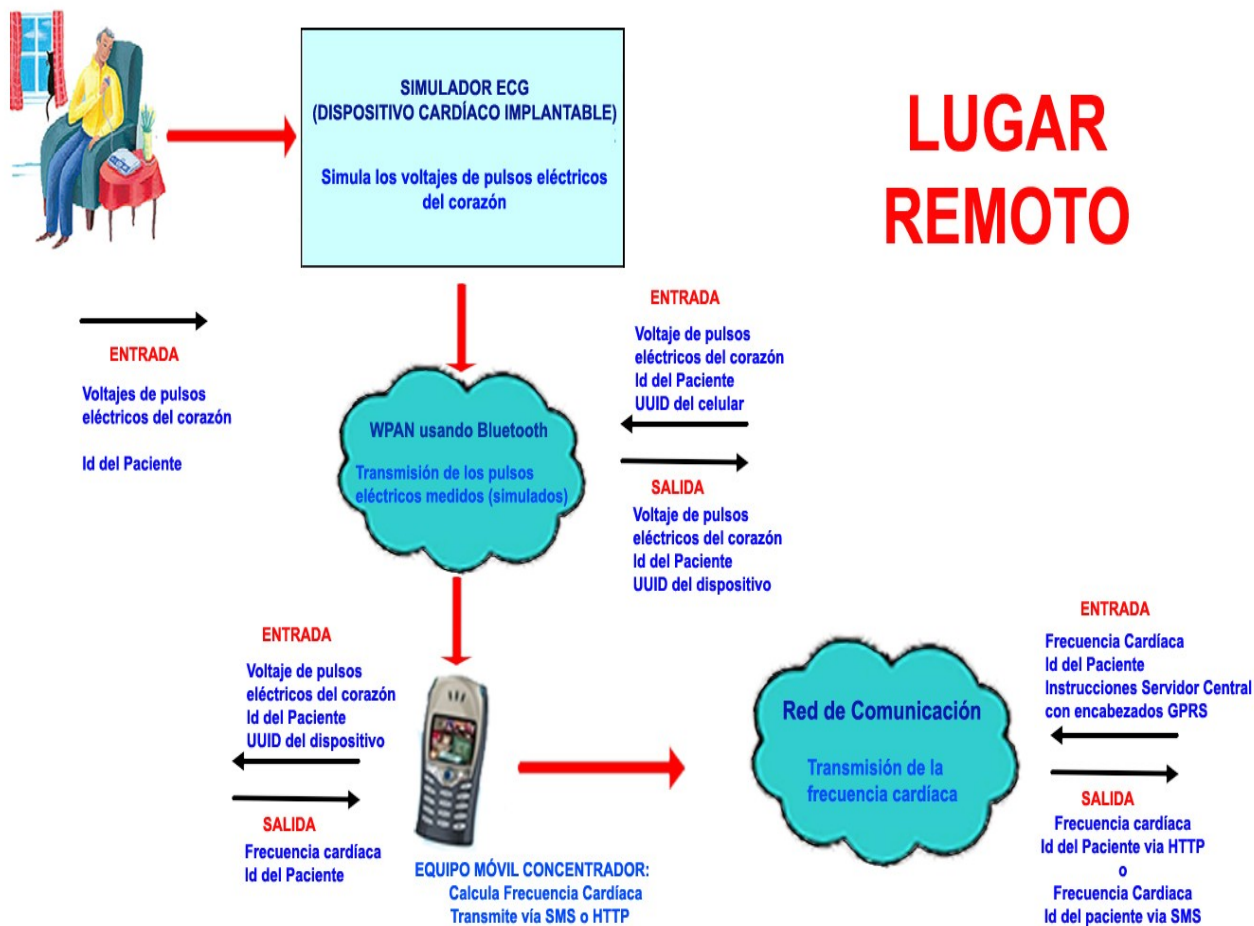


Figura 13: Diagrama de Bloques del Lugar Remoto (Elaboración Propia)

1.1.1. ELEMENTOS DEL LUGAR REMOTO

Para analizar los requerimientos del Lugar Remoto, se describen los elementos que se requieren implementar.

DISPOSITIVO CARDÍACO – SIMULADOR ECG

El dispositivo cardíaco es un aparato de adquisición de pulsos eléctricos del corazón. Se trata de un sensor simple implementado en un chip con una interfaz de comunicación Bluetooth de muy bajo

consumo. Algunos fabricantes como Texas Instruments⁹ ya han empezado a fabricar nuevos chipsets de Bluetooth. Éstos soportan una nueva especificación de Bluetooth que no hace otra cosa que reducir aún más el bajo consumo que caracterizaba a este estándar y están enfocados a dispositivos muy pequeños como relojes o equipamiento médico(Liarte).

Sin embargo, la implementación de este dispositivo cardíaco sale del alcance del Proyecto de Tesis aquí desarrollado. Por lo tanto, para efectos de este Sistema Prototipo de Telemonitoreo propuesto, se debe implementar una simulación de los voltajes de los pulsos eléctricos del corazón que producen la onda de un electrocardiograma. A lo que se llamará desde ahora Simulador ECG.

En la Figura 14, se muestra, mediante un diagrama, el requerimiento de entradas y salidas del Simulador ECG.

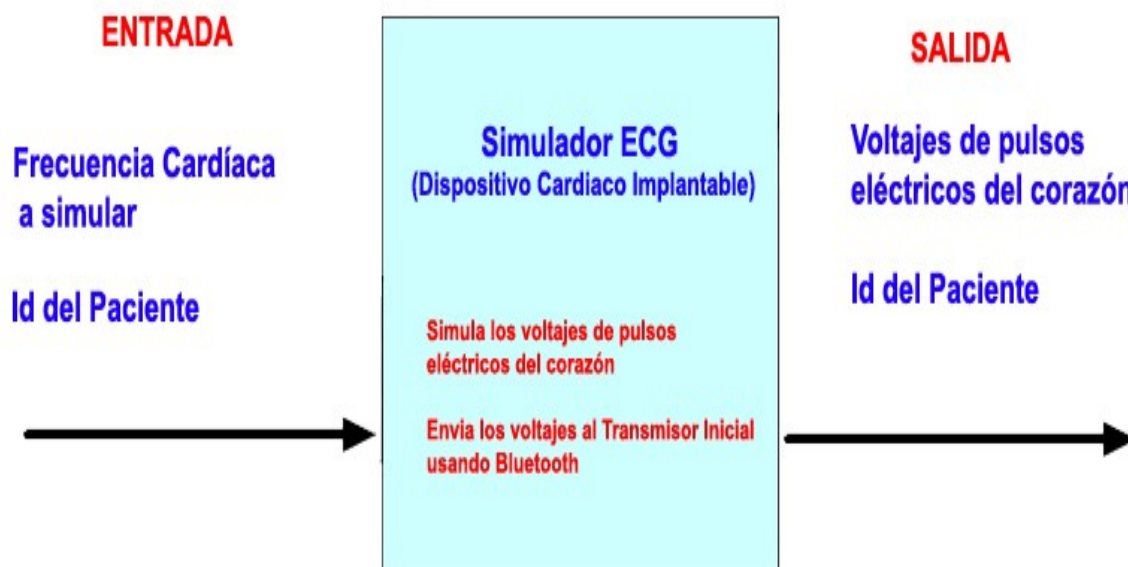


Figura 14: Diagrama de Entradas y Salidas del Simulador ECG (Elaboración Propia)

⁹Empresa norteamericana que desarrolla y comercializa semiconductores y tecnología para ordenadores. TI es el tercer mayor fabricante de semiconductores del mundo y es el mayor suministrador de circuitos integrados para teléfonos móviles.

Nótese que:

- **Frecuencia Cardíaca a Simular:** Es la frecuencia cardíaca que se ingresa para ser simulada; es decir, actúa como si fuera la frecuencia cardíaca real del paciente en el instante de la medición.
- **Id del Paciente:** Es un identificador asignado al paciente desde el Servidor Central para determinar a quién pertenece los datos medidos y transmitidos.
- **Voltajes de pulsos eléctricos del corazón:** Son los voltajes de pulsos eléctricos generados por el Simulador ECG a partir de la frecuencia cardíaca ingresada; y que servirán para calcular la frecuencia cardíaca

EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR

Debe estar ubicado en el Lugar Remoto formando una WPAN con el Simulador ECG. Es el encargado de calcular la Frecuencia Cardíaca a partir de los voltajes simulados por el Simulador ECG. Y luego enviar ésta hacia el Servidor Central por medio de la vía de comunicación disponible en este equipo móvil

En la Figura 15, se presenta el Diagrama de Entradas y Salidas del Equipo Móvil Concentrador.



Figura 15: Diagrama de Entradas y Salidas del Equipo Móvil Concentrador (Elaboración Propia)

Nótese que:

- **Id del Paciente:** Es el identificador del paciente recibido desde el Simulador ECG, que sirve para reconocer qué datos pertenecen a cada paciente.
- **Voltajes de pulsos eléctricos del corazón:** Son los voltajes de pulsos eléctricos recibidos desde el Simulador ECG; y que servirán para calcular la frecuencia cardíaca
- **Frecuencia Cardíaca Calculada:** Es la frecuencia cardíaca que se calcula a partir de los voltajes de pulsos eléctricos recibidos desde el Simulador ECG; es decir, actúa como si fuera la frecuencia cardíaca medida.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIONES

La Red de Comunicaciones, cuyo diagrama de bloques se presenta en la Figura 16, transporta los datos del paciente desde el Lugar Remoto hasta el Servidor Central.

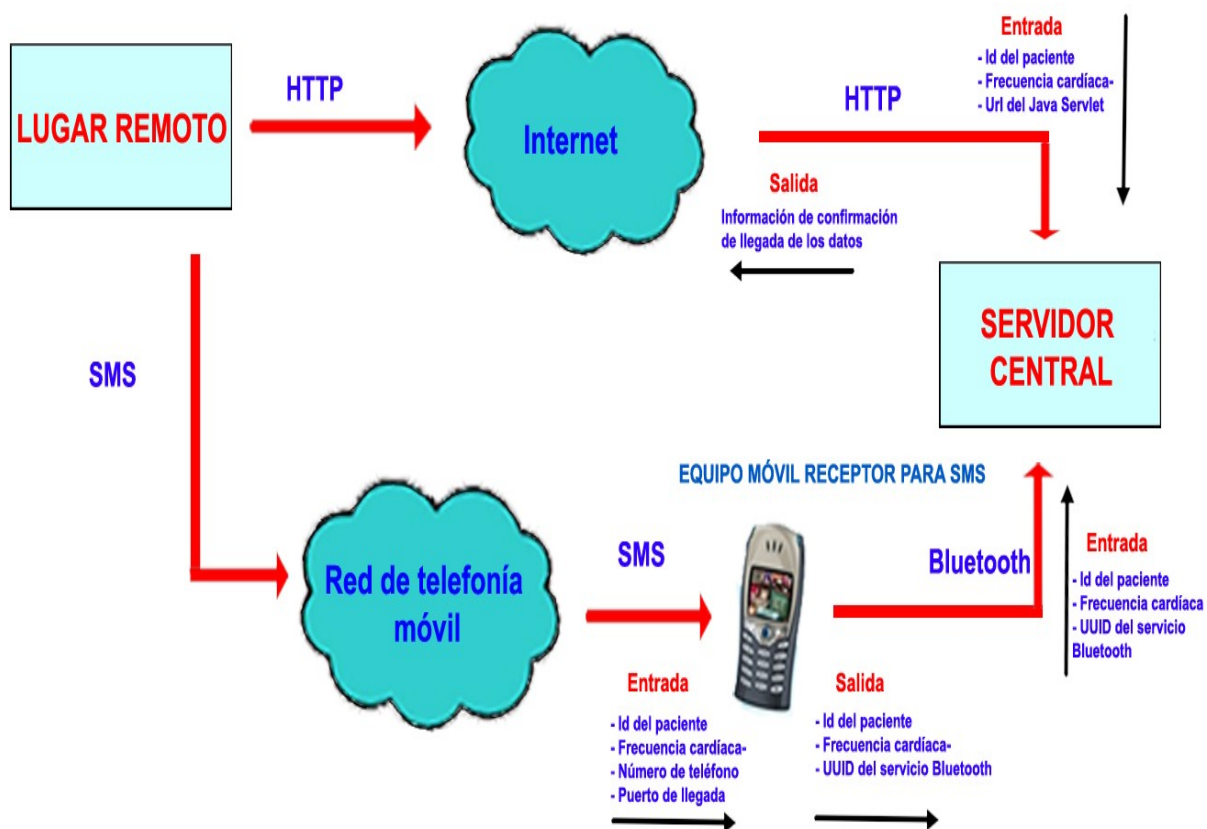


Figura 16: Diagrama de Bloques de la Red de Comunicación (Elaboración Propia)

Es importante recalcar lo que se indica en la Figura 16. Desde el Lugar remoto se debe tener dos posibles vías para llevar los datos al Servidor Central con la finalidad de tener un servicio 24/7. También, cuando se utiliza la red de telefonía móvil para enviar los datos por medio de SMS, se hace necesaria la utilización de un teléfono celular intermedio llamado Equipo Móvil Receptor para SMS.

EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS

Debe estar ubicado cerca del Servidor Central, formando una WPAN con éste. Es el encargado de retransmitir los datos recibidos por SMS desde el Equipo Móvil Concentrador hacia el Servidor Central por Bluetooth.

En la Figura 17, se presenta el Diagrama de Entradas y Salidas del Equipo Móvil Receptor para SMS.



Figura 17: Diagrama de Entradas y Salidas del Equipo Móvil Receptor para SMS(Elaboración Propia)

Nótese que:

- **Id del Paciente:** Es el identificador del paciente recibido desde el Equipo Móvil Concentrador para reconocer qué datos pertenecen a cada paciente.
- **Frecuencias Cardíacas Calculadas:** Es el conjunto de frecuencias cardíacas calculadas por el Equipo Móvil Concentrador a partir de los voltajes de pulsos eléctricos simulados, que pertenecen a un mismo paciente y han sido enviadas vía SMS

1.3. DESCRIPCIÓN DEL SERVIDOR CENTRAL

En la Figura 18, se presenta el Diagrama de Bloques del Servidor Central, que cumple los siguientes objetivos:

- Recibir los datos medidos en el Lugar Remoto y enviados por la red de comunicación.
- Almacenar en la base de datos la frecuencia cardíaca y el identificador del paciente remoto.
- Administrar los usuarios Web.
- Desplegar en tiempo real las frecuencias cardíacas de los pacientes monitoreados
- Generar consultas personalizadas de los datos históricos de los pacientes monitoreados.
- Generar y enviar alertas mediante correo electrónico a los usuarios Web si existen anomalías en las Frecuencias Cardíacas recibidas en el Servidor Central.



Figura 18: Diagrama de Bloques del Servidor Central (Elaboración Propia)

Nótese que, el Servidor Central brinda el servicio de recepción de datos para las dos vías de transmisión, pudiendo ser: por medio de un receptor de Http o a través de un receptor de Bluetooth. También, toda la información se almacena en una misma base de datos, sea que fue ingresada por Bluetooth o por Http.

1.3.1 ELEMENTOS DEL SERVIDOR CENTRAL

Para analizar los requerimientos para implementar el Servidor Central, se describen los siguientes elementos:

RECEPTOR HTTP

Este receptor, recibe los datos que vienen por medio de Internet, verifica si existe algún tipo de anomalía y almacena los datos en la base de datos del Servidor Central.

En la Figura 19, se presenta el Diagrama de Entradas y Salidas de la Aplicación Receptora para Http.

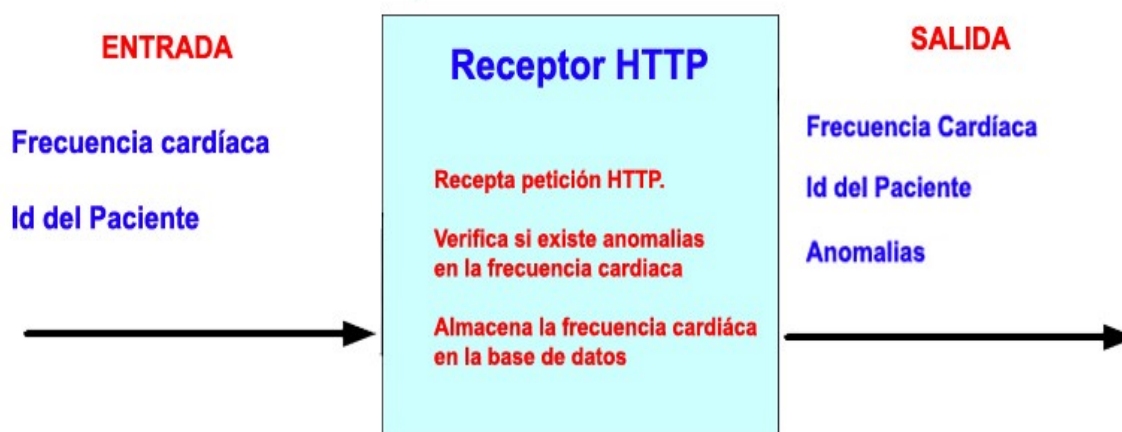


Figura 19: Diagrama de Entradas y Salidas de RECEPTOR HTTP (Elaboración Propia)

Nótese que:

- **Frecuencia Cardíaca:** Es la frecuencia cardíaca recibida desde el Equipo Móvil Concentrador.
- **Id del Paciente:** Es el Identificador del paciente recibido desde el Equipo Móvil Concentrador para reconocer a quién pertenecen los datos obtenidos
- **Anomalías:** Es una variable que cambia si la frecuencia cardíaca se sale de los rangos normales.

RECEPTOR BLUETOOTH

Este receptor, recibe por Bluetooth los datos que son transmitidos desde el Equipo Móvil Receptor para SMS, verifica si existe algún tipo de anomalía y almacena los datos en la base de datos del Servidor Central.

En la Figura 20, se presenta el Diagrama de Entradas y Salidas de la Aplicación Receptora para Bluetooth.

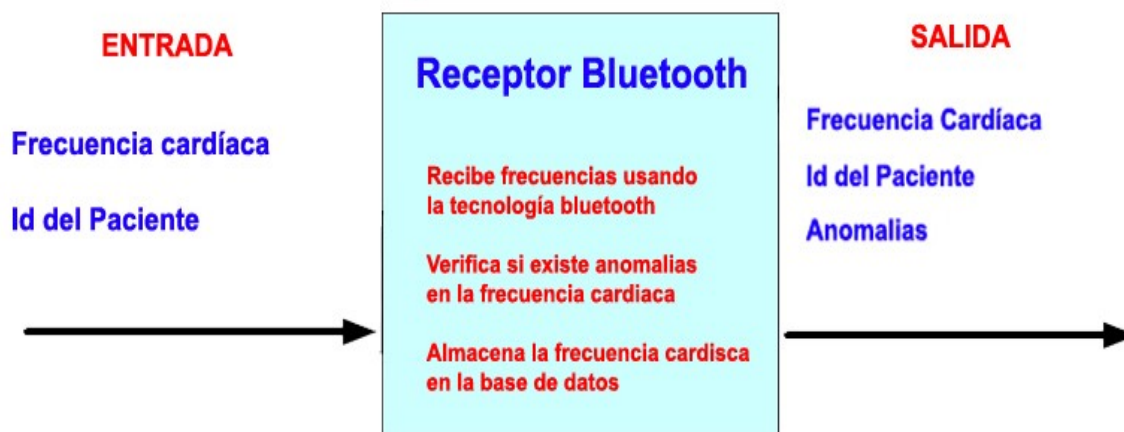


Figura 20: Diagrama de Entradas y Salidas de RECEPTOR BLUETOOTH (Elaboración Propia)

Nótese que:

- **Frecuencia Cardíaca:**Es la frecuencia cardíaca recibida desde el Equipo Móvil Receptor para SMS.
- **Id del Paciente:**Es el Identificador del paciente recibido desde el Equipo Móvil Receptor para SMS.
- **Anomalías:**Es una variable que cambia si la frecuencia cardíaca se sale de los rangos normales.

BASE DE DATOS

Es el sitio de almacenamiento de datos recibidos desde el Lugar Remoto y administración del Sitio Web. Permite el acceso a los datos desde el Sitio Web mediante consultas realizadas por el personal médico.

En la Figura 21, se muestra el Diagrama de Entradas y Salidas de la Base de Datos



Figura 21: Diagrama de Entradas y Salidas de la Base de Datos (Elaboración Propia)

Nótese que:

- **Frecuencia Cardíaca:** Es la frecuencia cardíaca recibida desde el Equipo Móvil Concentrador a través de cualquiera de las vías de comunicación disponibles.
- **Id del Paciente:** Es el Identificador del paciente recibido desde el Equipo Móvil Concentrador a través de cualquiera de las vías de comunicación disponibles.
- **Anomalías:** Contiene dos campos donde se determinan si la frecuencia cardíaca se sale de los rangos normales y si la frecuencia cardíaca ha tenido cambios bruscos.

SITIO WEB

Conjunto de páginas web que permite administrar a los usuarios del sistema. Permite al personal médico administrar, desplegar y consultar información sobre las frecuencias cardíacas monitoreadas de los pacientes.

En la Figura 22, se presenta el Diagrama de Entradas y Salidas del Sitio Web.



Figura 22: Diagrama de Entradas y Salidas del Sitio Web (Elaboración Propia)

Nótese que:

- **Frecuencias Cardíacas de los pacientes:** Son las frecuencias cardíacas recibidas desde el Lugar Remoto a través de cualquiera de las vías de comunicación disponibles y que han sido almacenadas en la base de datos.
- **Información del personal médico:** Nombre, apellido, e-mail de contacto para envío de alertas, nombre de usuario, clave de acceso y un identificador del personal médico encargado de monitorear a los pacientes.
- **Información de los pacientes:** Nombre, apellido e identificador del paciente monitoreado; y el identificador del personal médico que lo monitorea y controla.
- **Anomalías en las frecuencias cardíacas:** Contiene dos campos donde se determinan si la frecuencia cardíaca se sale de los rangos normales y si la frecuencia cardíaca ha tenido cambios bruscos.
- **Reporte del estado del paciente en tiempo real:** Se refiere al despliegue de la información en tiempo real; es decir, que se visualiza la recepción de los datos remotos que se actualizan instantáneamente en el Sitio Web.
- **Reporte de consultas:** Se refiere al despliegue de información solicitada por el personal médico.

2. DISEÑO DEL SISTEMA

En esta sección se descompone y organiza el sistema en elementos que puedan programarse por separado. Se elabora una descripción de la estructura relacional global del sistema y la especificación de lo que debe hacer cada una de sus partes, así como la manera en que se combinan unas con otras. También se definen los algoritmos empleados y cómo se establece la organización del código para comenzar la implementación.

2.1. LUGAR REMOTO

Dentro de las principales especificaciones del Lugar Remoto están contar con un Simulador ECG con Interfaz de comunicación Bluetooth; un teléfono celular con tecnología de comunicación SMS e Internet, capaz de calcular la Frecuencia Cardíaca a partir de los voltajes recibidos; y una WPAN entre el Simulador ECG y el teléfono celular. En la Figura 23, se presenta el Diagrama Caso de Uso (CU) del Lugar Remoto.

LUGAR REMOTO

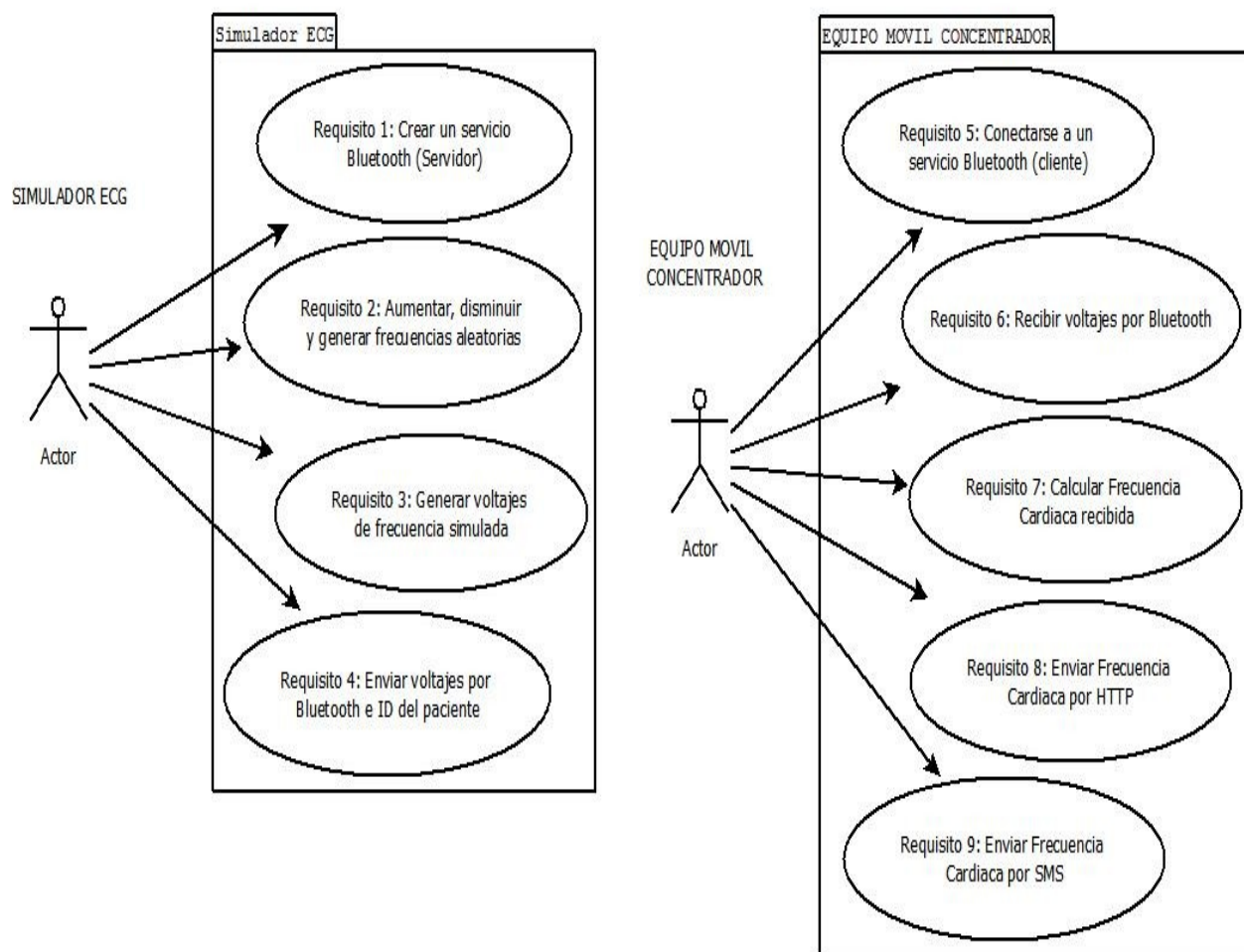


Figura 23: Diagrama de Caso de Uso del Lugar Remoto (Elaboración Propia)

2.1.1. DISPOSITIVO CARDÍACO – SIMULADOR ECG

Para efectos del Sistema Prototipo de Telemonitoreo Remoto se utiliza un teléfono celular con tecnología de comunicación Bluetooth, que soporte aplicaciones J2ME, cuente con las librerías CLDC-1.1, MIDP-2.0 y soporte JSR 82; en donde se implementa el Simulador ECG. Para la implementación de esta aplicación se usa parte del código fuente de ECGSYN¹⁰, adaptado a una aplicación móvil, que responda a los requerimientos del Sistema. Esta aplicación simula los

¹⁰Se explica en la sección 1.3 de este documento

voltajes de los pulsos eléctricos del corazón que son graficadas en un Electrocardiograma, se toman las muestras necesarias de éstos para que se pueda calcular la frecuencia cardíaca simulada y crea la comunicación Bluetooth como servidor.

Además, para identificar al paciente se asigna un identificador [Id del Paciente] en el Servidor Central, y éste es ingresado al iniciar la aplicación de Simulador ECG para reconocer a qué paciente pertenecen los datos simulados y enviados desde éste dispositivo. Se establece como formato para el Id. del Paciente un entero de 4 caracteres que puede estar entre 1 y 9999.

En el Anexo A.1 se presenta el Diagrama de Clases de Simulador ECG y en la Figura 24, se presenta el algoritmo al que responde el comportamiento de esta aplicación.

Una de las tareas importantes que se realizan en esta aplicación y se muestra en el algoritmo de la Figura 24, es “Generar los voltajes con la frecuencia cardíaca ingresada”. Es una operación que se realiza por medio de varios modelos matemáticos complejos¹¹ que salen del alcance de esta tesis de grado, por lo que se reusa el código fuente libre de ECGSYN, adaptando las operaciones matemáticas básicas para aplicaciones móviles.

¹¹Estos modelos matemáticos complejos aparecen en el siguiente enlace <http://www.physionet.org/physiotools/ecgsyn/paper/node4.html>

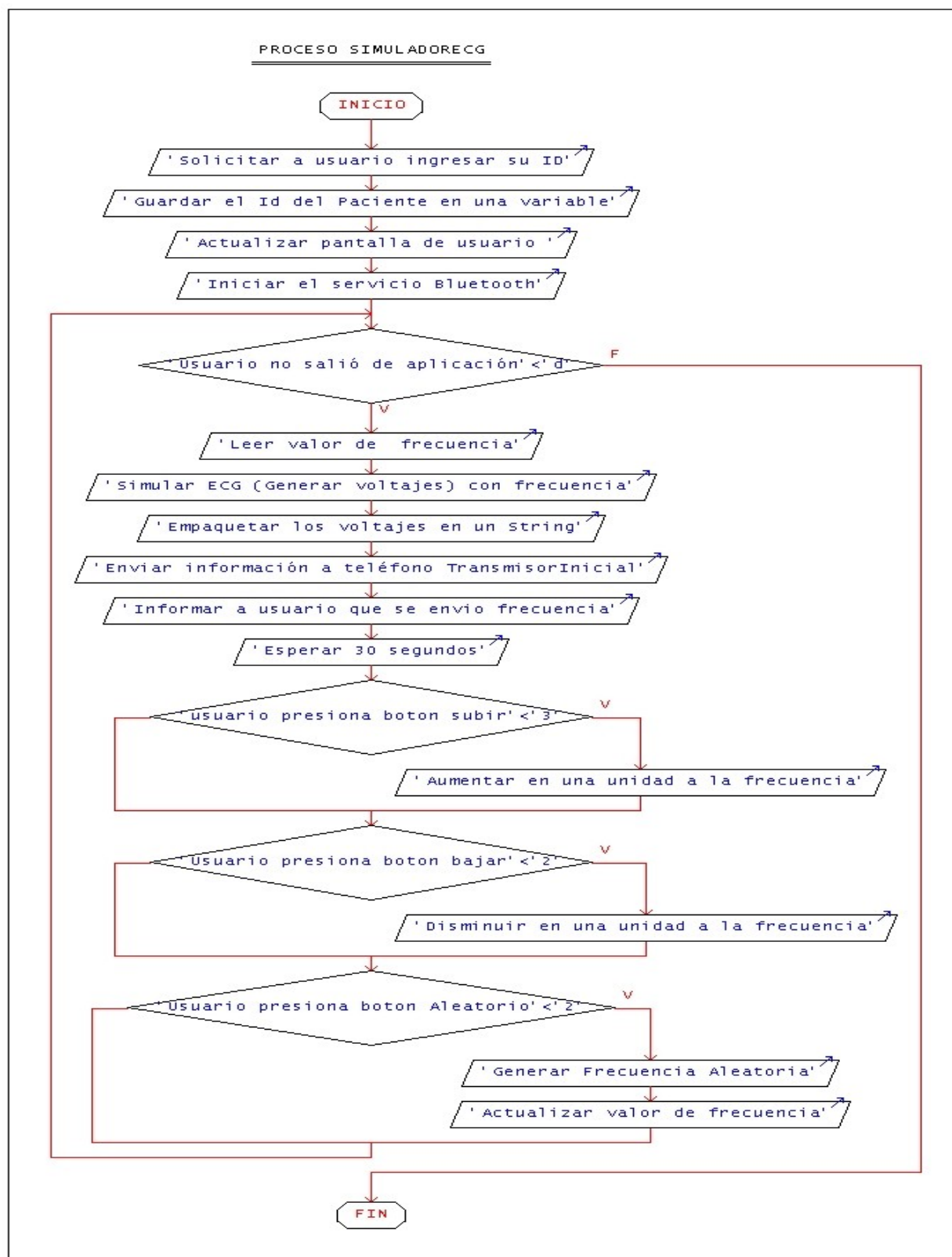


Figura 24:Diagrama de Flujo del SimuladorECG (Elaboración Propia)

Otro aspecto relevante en este algoritmo, es la manera en que los datos son empaquetados para ser transmitidos por Bluetooth. Una vez iniciada la comunicación, se envía primeramente el Id del Paciente como un String. Luego, se forma otro String con las muestras de los voltajes generados añadiendo [;] para separar cada una de éstas.

Cabe aclarar que por motivos demostrativos del prototipo, el ciclo de generar y enviar los voltajes es cada 30 segundos. Durante este tiempo se puede cambiar la frecuencia cardíaca a simular. Nótese que existe la posibilidad de simular una frecuencia cardíaca aleatoria presionando la opción “3 Aleatoria”; también, se puede aumentar y disminuir la frecuencia cardíaca con las opciones 1 y 2 respectivamente.

2.1.2. EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR

Es el que inicia la comunicación hacia el Servidor Central. Dentro de las especificaciones técnicas que debe cumplir este teléfono celular están: tener la interfaz de comunicación Bluetooth, contar con servicio de mensajería instantánea y acceso a Internet. Además, se requiere que este teléfono celular soporte las bibliotecas de comunicación JSR 82, JSR 205 y aplicaciones J2ME; y posea las bibliotecas CLDC-1.1 y MIDP-2.0.

Para lograr que el Equipo Móvil Concentrador cumpla con las funciones requeridas, se necesita una aplicación que reciba los datos por medio de Bluetooth; calcule la Frecuencia Cardíaca a partir de los datos recibidos; intente establecer una conexión HTTP con el Servidor Central, si logra conectarse, envíe un parámetro String que contiene hasta 4 caracteres del Id. del Paciente añadiendo un separador [;] y hasta 3 caracteres de la Frecuencia Cardíaca. Si no logra conectarse a Internet, abre la conexión SMS con el Equipo Móvil Receptor para SMS. Crea un mensaje de texto con un String que contiene hasta 4 caracteres para el Id. del Paciente añadiendo un

separador [:] y hasta 3 caracteres para la Frecuencia Cardíaca añadiendo un separador [;] para apartar cada una; espera que el mensaje se complete hasta con 150 caracteres que involucra varias frecuencias cardíacas; y envía al Equipo Móvil Receptor para SMS.

Entonces, para que la aplicación realice estas acciones se necesita varias clases habilitantes tanto para las operaciones matemáticas como las de comunicación. En el Anexo A.2, se presenta el Diagrama de Clases del Equipo Móvil Concentrador y en la Figura 25, se presenta el algoritmo de esta aplicación.

Es importante notar que en la tarea “Desempaquetar el String de voltajes” del algoritmo de la Figura 25, se toma los primeros caracteres hasta encontrar un separador [;] y se van almacenando en un arreglo¹²; y así sucesivamente hasta el fin del String.

Nótese también, que se requiere “Encontrar un pico R” para poder calcular la frecuencia cardíaca. El pico R es el voltaje más alto del Complejo Ventricular QRS. Luego, se encuentra el intervalo en segundos entre RR, para lo cual se cuentan cuántos voltajes se encuentran generados entre RR, número que se multiplica por el factor $1/\text{número de muestras}$ que se toman para calcular la frecuencia cardíaca, que en este caso es 256¹³ muestras. Finalmente, se calcula la frecuencia cardíaca mediante la siguiente fórmula:

$${}^{14}\text{Frecuencia Cardíaca} = \frac{60}{\text{intervalo RR}}$$

¹²Conjunto de datos indexados

¹³Número de muestras óptimo para calcular exactamente la frecuencia cardíaca ingresada a simular.

¹⁴Se describe en la sección 1.1.1

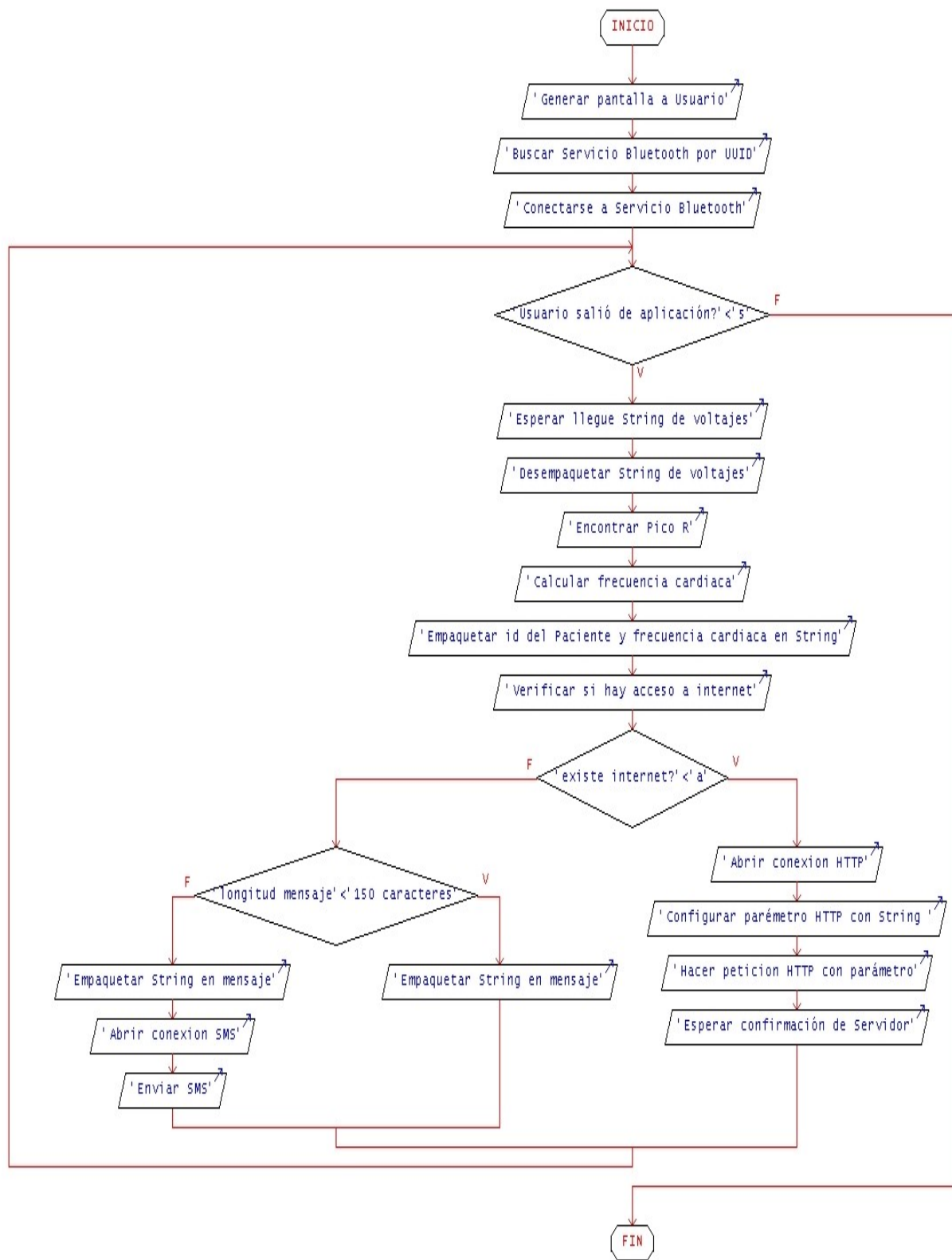


Figura 25: Diagrama de Flujo del Equipo Móvil Concentrador (Elaboración Propia)

2.2. RED DE COMUNICACIONES

Dentro de las especificaciones de Red de Comunicaciones están todas las tecnologías que se usan para transmitir los datos desde el Lugar Remoto hasta el Servidor Central. Se requieren aplicaciones móviles que implementen la creación de conexiones y transmisión por tecnologías de comunicación como Bluetooth, SMS e Internet. En la Figura 26, se presenta el Diagrama de Casos de Usos de este módulo del sistema.

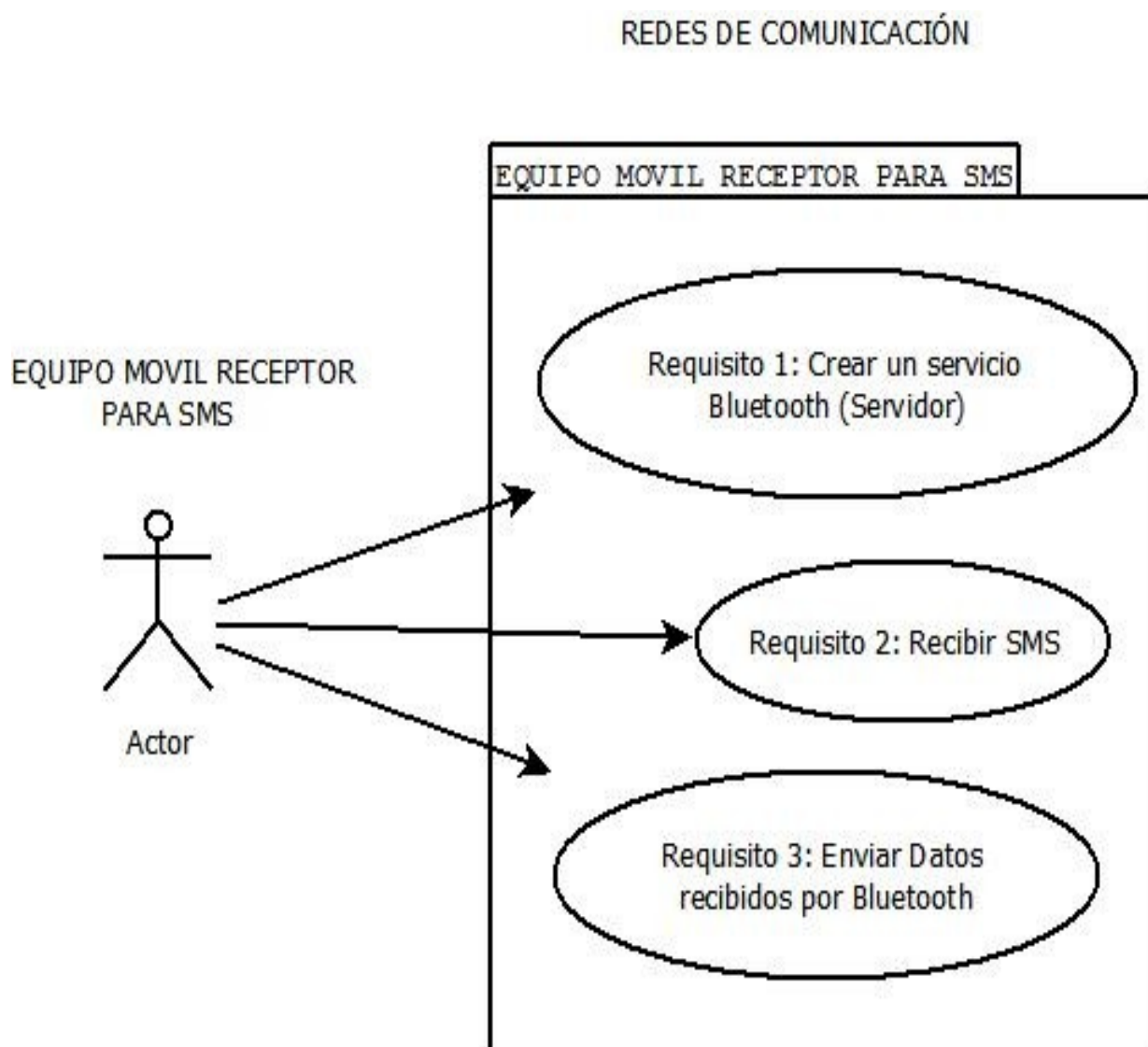


Figura 26: Diagrama Caso de Usos de Red de Comunicaciones (Elaboración Propia)

2.2.1. EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS

En la Red de Comunicaciones existen dos opciones o caminos para llegar al Servidor Central, que son las siguientes:

Envío de datos Vía SMS desde el Lugar Remoto:

Se involucra un teléfono celular que debe soportar aplicaciones J2ME, contar con las librerías CLDC-1.1, MIDP-2.0, JSR 82 y JSR 205; y debe estar formando una WPAN con el Servidor Central. Para lo cual, se implementa una aplicación denominada Equipo Móvil Receptor para SMS.

Envío de datos Vía Internet desde el Lugar Remoto:

Se involucra la estructura del servicio de Internet que se encarga de llevar los datos emitidos por la aplicación del Equipo Móvil Concentrador hacia la aplicación de recepción de datos del Servidor Central.

Finalmente, el Diagrama de Clases del Equipo Móvil Receptor para SMS se presenta en el Anexo A.3 y el algoritmo en la Figura 27.

Nótese que, el Equipo Móvil Receptor para SMS al iniciar el sistema realiza la tarea “Iniciar el servicio Bluetooth” para conectarse con el Servidor Central; cuando se completa esta conexión, empieza a esperar un SMS desde el Equipo Móvil Concentrador al realizar la tarea “Configurar un Listener para recibir SMS” del algoritmo de la Figura 27.

Otro aspecto a recalcar es que el String recibido mediante el mensaje de texto, no se desempaqueta, únicamente se retransmite hacia el Servidor Central, tal y como fue recibido. Es decir, el Equipo Móvil Receptor para SMS, únicamente hace la tarea de retransmisión de datos por medio del Bluetooth.

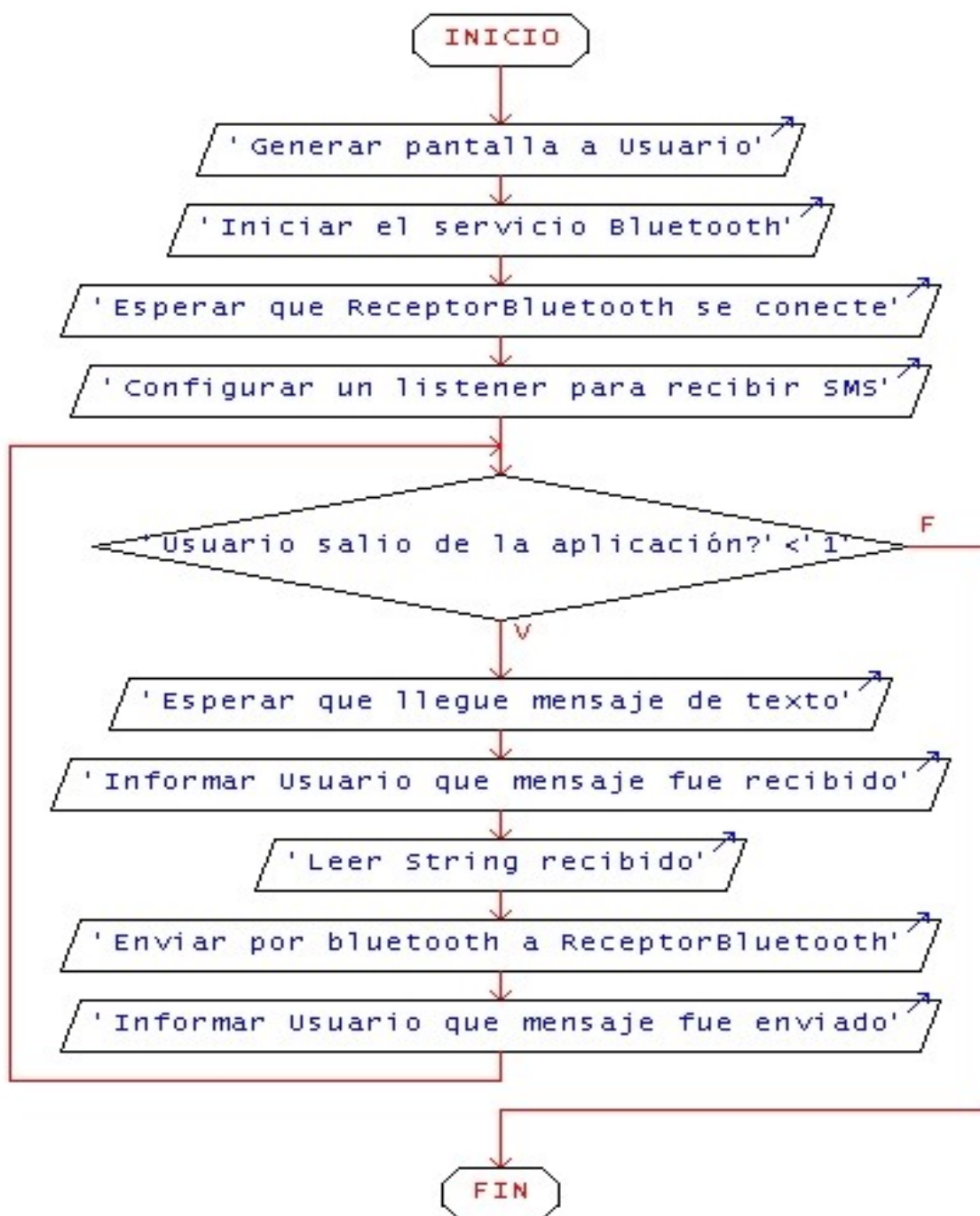


Figura 27: Diagrama de Flujo del Equipo Móvil Receptor para SMS(Elaboración Propia)

Finalmente, cuando se ha terminado la retransmisión, vuelve al estado de espera por un nuevo SMS desde el Equipo Móvil Concentrador.

2.3. SERVIDOR CENTRAL

Dentro de las principales especificaciones del Servidor Central está la existencia de una base de datos, servicio de Internet, interfaz de comunicación Bluetooth, aplicaciones de recepción de datos desde Internet y desde Bluetooth, aplicación de despliegue de información, y un servidor central. En la Figura 28, se muestra el Diagrama de Casos de Usos de Servidor Central.

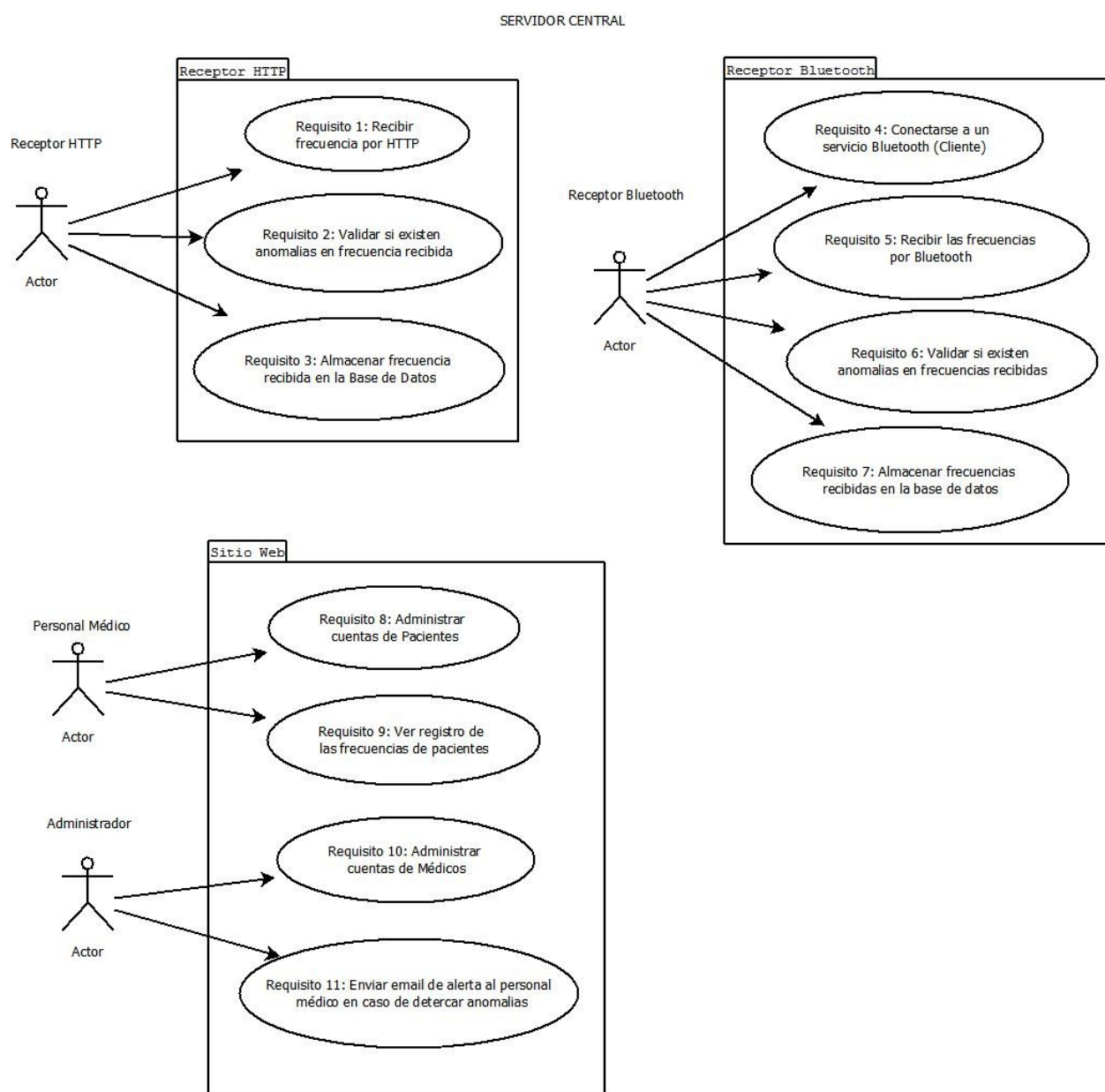


Figura 28: Diagrama Caso de Uso Servidor Central (Elaboración Propia)

2.3.1. APLICACIÓN RECEPTORHTTP – JAVA SERVLET

Es la encargada de responder la petición de comunicación de la aplicación del Lugar Remoto que intenta conectarse al Servidor Central por medio del Internet. Para lo cual, se requiere un Java Servlet que soporte conexiones HTTP, reciba parámetros vía Internet, almacene los datos recibidos en una base de datos, envíe confirmaciones de recepción y verifique anomalías. Las clases, los métodos y las variables que se manejan en esta aplicación aparecen en el Diagrama de Clases del anexo A.4. Asimismo, el algoritmo se muestra en la Figura 29.

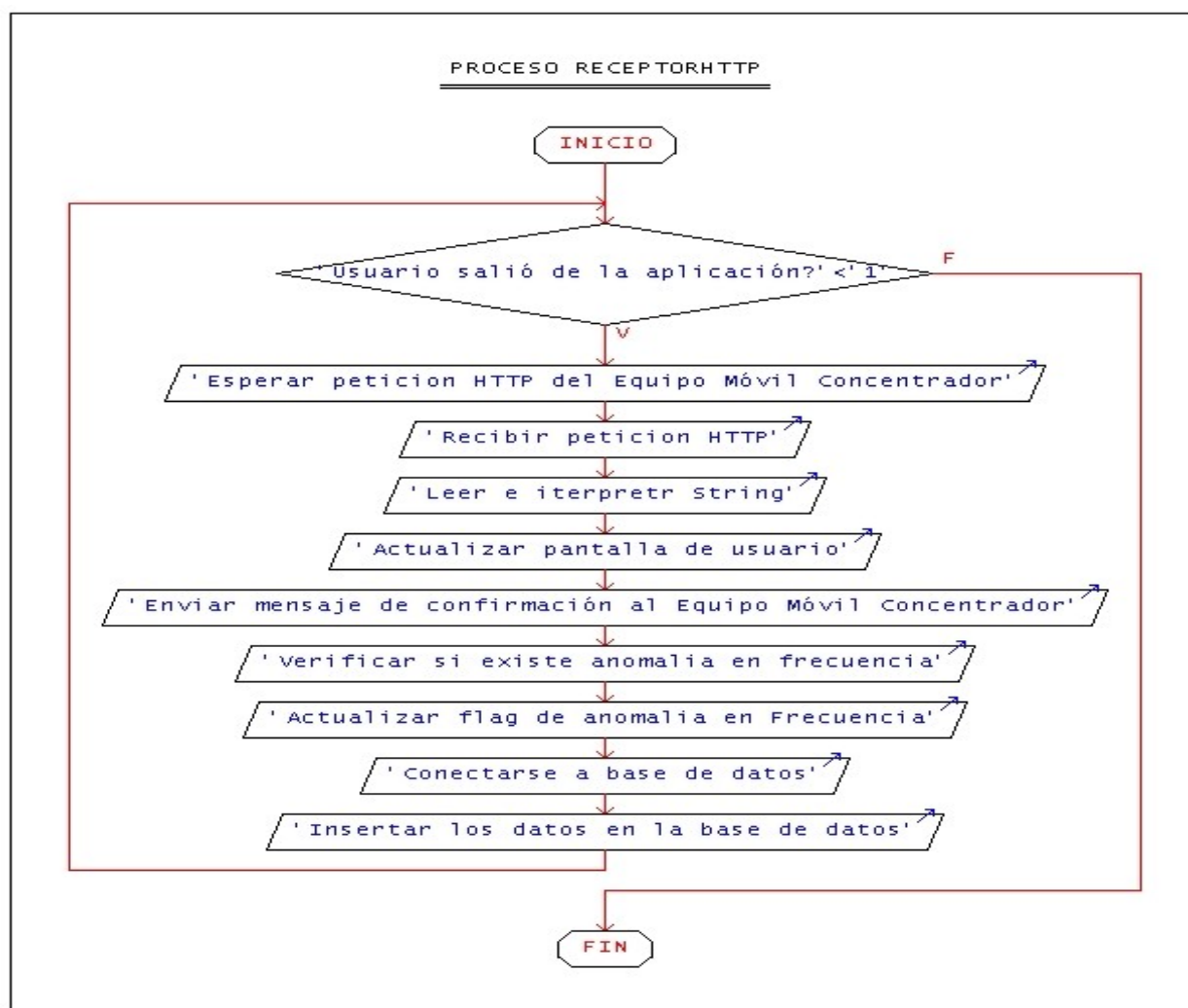


Figura 29: Diagrama de Flujo del Receptor HTTP (Elaboración Propia)

Nótese en la Figura 29, que al iniciar el Sistema esta aplicación se queda esperando por una petición Http desde el Equipo Móvil Concentrador. Al recibir el String con el Id. del Paciente y la Frecuencia Cardíaca, primero se desempaquetan los caracteres hasta encontrar un separador [:] que corresponden al Id del Paciente y se almacena en una variable. Luego, se desempaquetan los siguientes caracteres, que es la frecuencia cardíaca y se almacena en otra variable, para después verificar si el valor de la frecuencia cardíaca recibida se encuentra en el rango normal; es decir, entre 60 y 100. Finalmente, almacena en la base de datos: el Id del Paciente, la frecuencia cardíaca, la fecha y el flagNormal, que es el indicador de normalidad de la frecuencia cardíaca recibida. Se establece el valor de 1 cuando la frecuencia cardíaca es normal y el valor de 2 cuando la frecuencia cardíaca se sale de la normalidad.

2.3.2. APLICACIÓN RECEPTORBLUETOOTH – JAVA DESKTOP

Se requiere hacer uso de esta aplicación cuando la vía de comunicación entre el Lugar Remoto y el Servidor Central es por SMS. Las especificaciones para esta aplicación es que debe poder integrarse a una WPAN con el Equipo Móvil Receptor para SMS, como una aplicación cliente del servicio Bluetooth. Debe recibir un String de datos, revisar si existe alguna anomalía y almacenar en la base de datos.

Por lo tanto, debe ser una aplicación Java Desktop que incluya la librería JSR 82 para poder conectarse vía Bluetooth usando la interfaz de este tipo instalada, que reciba y que almacene los datos en una base de datos. Las clases, los métodos y las variables que se manejan en esta aplicación aparecen en el Diagrama de Clases del Anexo A.5. Asimismo, su algoritmo se presenta en la Figura 30.

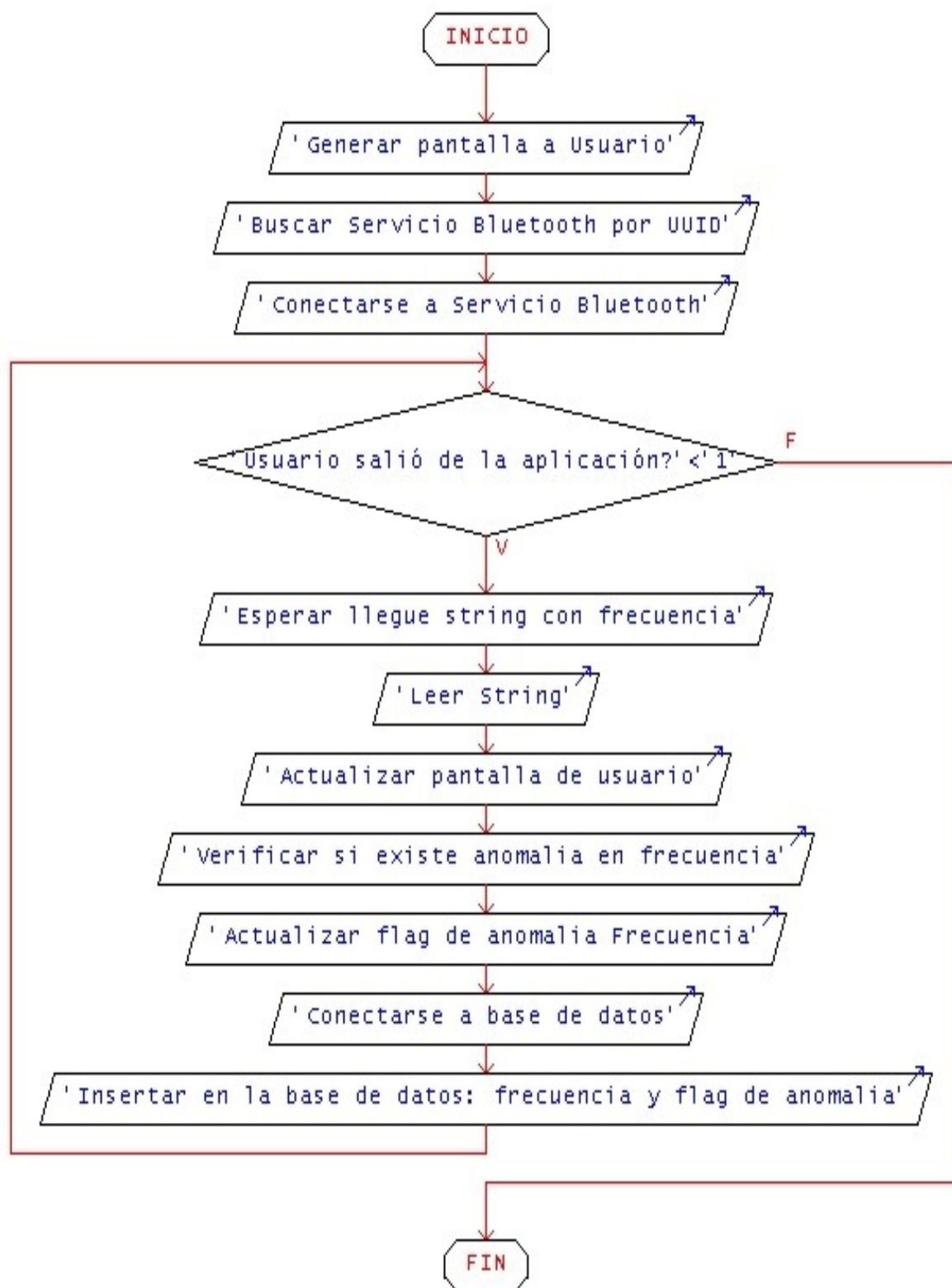


Figura 30: Diagrama de Flujo del Receptor Bluetooth (Elaboración Propia)

Cabe recalcar que en el algoritmo que se presenta en la Figura 30, al iniciar el Sistema esta aplicación busca comunicarse con el Equipo Móvil Receptor para SMS y espera por un String. Cuando recibe un String, lo desempaqueta obteniendo los caracteres hasta encontrar un separador [:] que corresponde al Id del Paciente que se almacena en una variable. Después, se desempaquetan los siguientes caracteres hasta encontrar un separador [;], éstos corresponden a una frecuencia cardíaca recibida y se almacena en una variable para luego verificar si el valor de la frecuencia cardíaca recibida se encuentra en el rango normal; es decir, entre 60 y 100; se realiza este proceso hasta desempaquetar todo el String. Finalmente, almacena en la base de datos: el Id del Paciente, las frecuencias cardíacas, las fechas de recepción y el flagNormal que es el indicador de normalidad de la frecuencia cardíaca recibida. Se establece el valor de 1 cuando la frecuencia cardíaca es normal y el valor de 2 cuando la frecuencia cardíaca se sale de la normalidad.

2.3.3. BASE DE DATOS – MYSQL

Dentro de las especificaciones del Servidor Central está la base de datos que se encarga de almacenar los datos requeridos por el sistema. Esta base de datos está conformada por tres tablas: Frecuencia, PersonalMédico y Paciente, que se desarrollan en MySQL. En la Figura 31, se presenta el Diagrama Relacional de la Base de Datos.

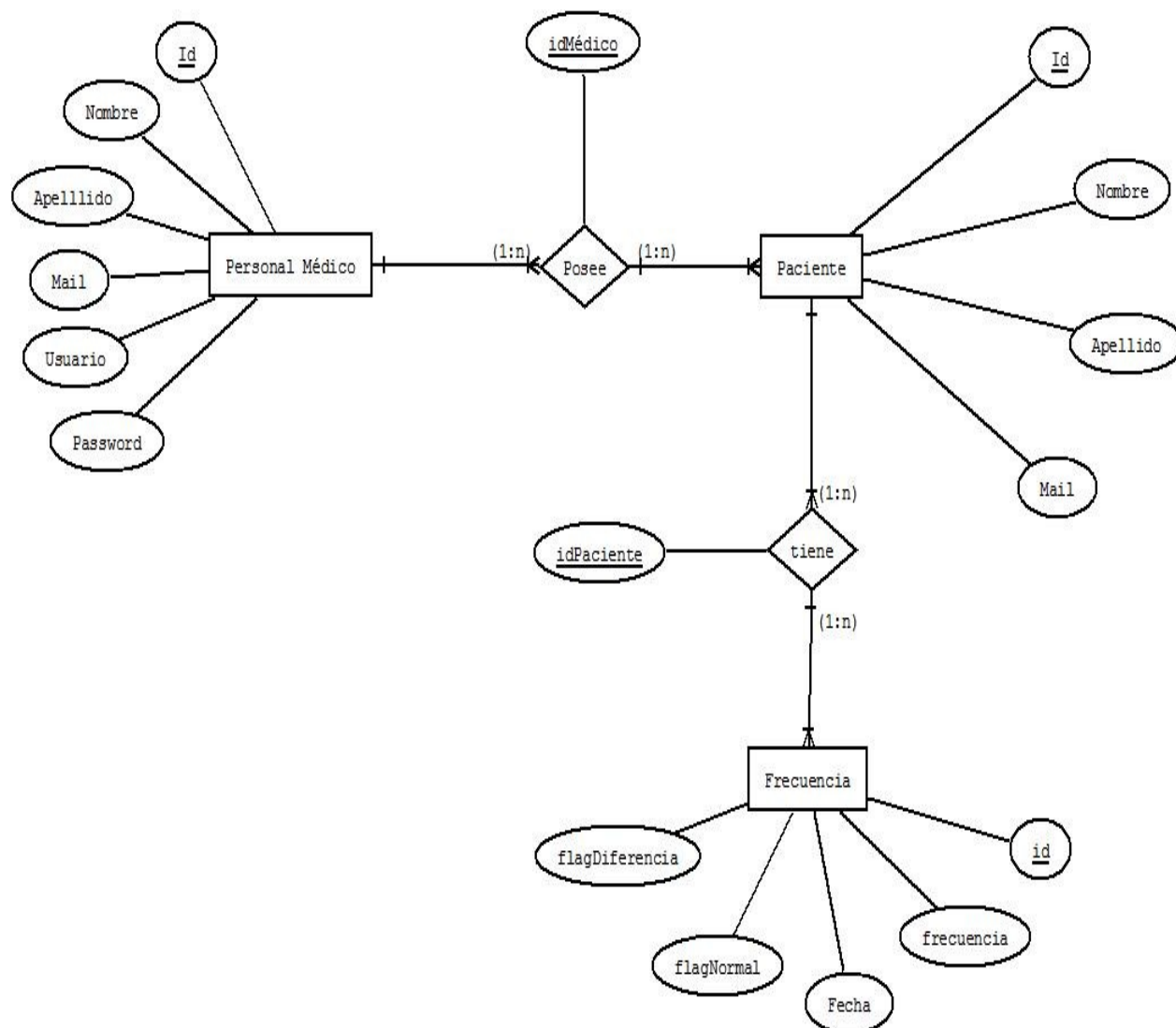


Figura 31: Diagrama Entidad-Relación de la Base de Datos (Elaboración Propia)

2.3.4. SITIO WEB – CONTROL REMOTO – JAVASERVER FACES

Para dar el debido control y monitoreo a los datos obtenidos en el Lugar Remoto y almacenados en la base de datos, se hace necesaria la implementación de una aplicación que permita desplegar la información de manera amigable, entendible y detallada para los usuarios del sistema. Una de las

necesidades para el surgimiento de este sistema, es la imposibilidad de acceder a los datos desde un lugar determinado, por lo que la aplicación de despliegue debe estar disponible en cualquier lugar, a cualquier hora. Entonces, esta aplicación debe ser una aplicación Web accesible 24/7 para el personal médico.

La tecnología elegida para esta implementación es JavaServer Faces, por su organización mediante el modelo view-controller, que permite la separación de la presentación y el comportamiento de la aplicación. Las tareas realizadas son consulta de datos, creación y administración del personal médico y pacientes, verificación de anomalías por cambios bruscos de la frecuencia cardíaca, y el envío de alertas cuando existen anomalías. En el Anexo A.6, se presenta el Diagrama de Clases y en la Figura 32, se presenta el algoritmo correspondiente a ésta aplicación.

Nótese que dentro de las tareas que se presentan en el algoritmo, se encuentra la verificación de anomalías por cambios bruscos de las frecuencias cardíacas. Esta tarea que se realiza cada 15 segundos, consiste en consultar las frecuencias cardíacas almacenadas en la base de datos y verificar si existe una diferencia mayor a 10 puntos entre las tres últimas frecuencias cardíacas. Luego, se actualiza el campo flagDiferencia de la base de datos, donde se indica con un valor 1 cuando las frecuencias cardíacas cambian con normalidad y con un valor 2 si las frecuencias cardíacas han tenido cambios bruscos.

Otro aspecto importante a notar, es que cada 15 segundos se verifica en la base de datos la existencia de anomalías de cualquier tipo; es decir, verifica si los campos flagNormal y flagDiferencia son distintos a 1, si lo son, entonces envía una alerta por medio de un e-mail al personal médico con el nombre del paciente, la fecha, el valor de la frecuencia cardíaca con anomalía.

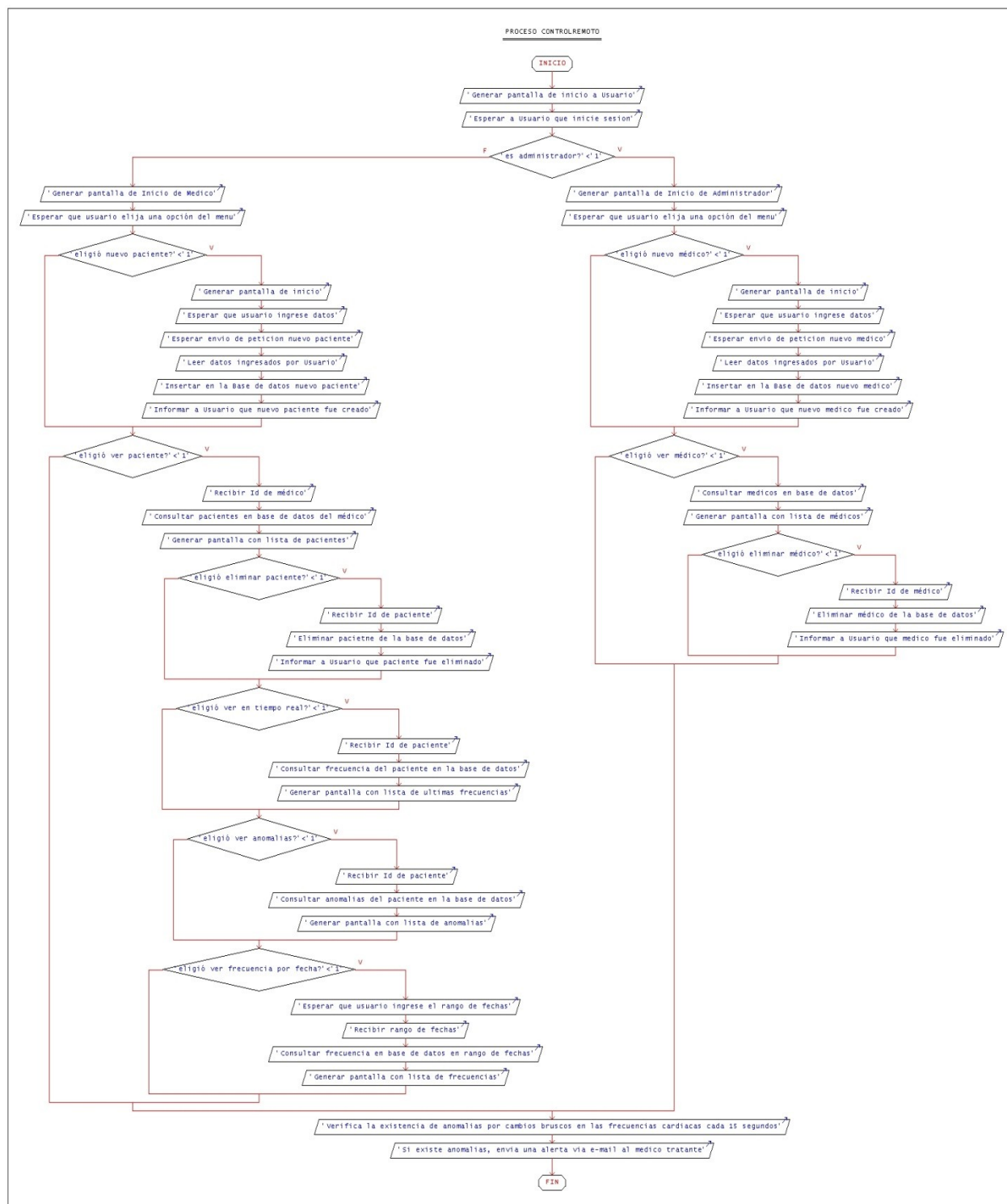


Figura 32: Diagrama de Flujo del Sitio Web (Elaboración Propia)

3. IMPLANTACIÓN

En esta etapa se realiza la codificación y la implantación de cada una de las aplicaciones descritas anteriormente, para finalmente integrarlas y crear el Sistema Prototipo de Telemonitoreo. La herramienta utilizada para el desarrollo de las aplicaciones es Netbeans 6.9. Además, se utiliza Sun Java Wireless Toolkit para el desarrollo de las aplicaciones móviles, en conjunto con las librerías JSR 205 y JSR 82.

A continuación se presenta las configuraciones y el desarrollo de cada una de las aplicaciones.

SITIO WEB

Es alojado en un servidor GlassFish. Durante la implantación de este sitio web es necesario configurar el DataSource¹⁵ en este servidor para la comunicación con la base de datos, y especificarlo en el archivo persistence.xml. Al momento de implantar el Sitio Web, la base de datos se crea automáticamente y es necesario insertar manualmente en la tabla personal médico, un usuario con rol de administrador [id=0], con el fin de ingresar al sistema para crear usuarios del personal médico.

RECEPTORHTTP

Durante la codificación, se implementa el método doPost para recibir las peticiones HTTP de los dispositivos clientes. Además, se debe especificar la información para conectarse a la base de datos como: nombre, usuario, contraseña y la url de la base de datos.

¹⁵Configuración de la conexión a la base de datos desde el servidor.

RECEPTORBLUETOOTH

Durante la codificación se especifica el UUID del servicio Bluetooth al cual se conectará esta aplicación. Además, se debe especificar la información para conectarse a la base de datos como: nombre, usuario, contraseña y la url de la base de datos.

EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS

Durante la codificación se debe especificar el UUID con el cual se creará el servicio Bluetooth como servidor. Además, es importante especificar el puerto por el que se recibirá los SMS's.

EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR

Durante la codificación, se debe configurar el número de teléfono del Equipo Móvil Receptor para SMS, y el puerto por el cual se recibe el SMS. Además, se debe configurar la dirección web del ReceptorHttp. Finalmente, se especifica el UUID del servicio Bluetooth al cual se conectará esta aplicación.

SIMULADORECG

Durante la codificación se debe especificar el UUID con el cual se creará el servicio Bluetooth como servidor.

En la implantación, se instala y se configuran todas las aplicaciones desarrolladas en los dispositivos que correspondan a la tecnología especificada en el desarrollo de este Sistema. Los teléfonos móviles utilizados son los que tienen mayor soporte a las aplicaciones J2ME. Para el correcto funcionamiento del Sistema Prototipo de Telemonitoreo de signos vitales, es necesario

instalar y luego correr en el siguiente orden: el SitioWeb, ReceptorHTTP, ReceptorBluetooth, EquipoMovilReceptorparaSMS, SimuladorECG y finalmente EquipoMovilConcentrador.

CAPITULO IV: EVALUACIÓN

En esta sección se muestran las pruebas funcionales y de desempeño que se realizan en el ambiente de desarrollo Netbeans y tres celulares con MIDP 2.0 y CLDC 1.0.: Nokia 5130 como SimuladorECG, Nokia 2730 como el Equipo Móvil Concentrador y Nokia 6101 como el Equipo Móvil Receptor para SMS.

1. PRUEBAS FUNCIONALES

Las pruebas funcionales se refieren a evaluar las tareas, actividades y funciones de cada aplicación y su correcto funcionamiento.

1.1. LUGAR REMOTO¹⁶

1.1.1. SIMULADOR ECG

Como se muestra en la captura de pantalla 1, de la Figura 33, al iniciar la aplicación, se ingresa el identificador del paciente. Selecciona “ok”. Entonces, la aplicación intenta abrir el servicio Bluetooth del teléfono donde se demora pocos segundos, como se observa en la pantalla 2 [cumple Requisito 1], éste pide confirmación al usuario para empezar la comunicación como servidor. Luego, se queda esperando la conexión de un teléfono cliente.

Cuando el equipo móvil concentrador, se conecta al servicio Bluetooth como cliente, el Simulador ECG empieza a generar los voltajes [cumple Requisito 3] y la pantalla se actualiza mostrando la Frecuencia Cardíaca que se simula. La frecuencia es simulada y enviada junto con

¹⁶Los requisitos del Lugar Remoto se presentan en la Figura 23, en la página 41.

el Id del Paciente cada 30 segundos[cumple Requisito 4], durante este tiempo el usuario puede cambiar la siguiente frecuencia a simularse, con lostres botones disponibles en el menú, como se indica en la pantalla 3 de la Figura 33:

- **Aumentar:**Aumenta el valor de la frecuencia en una unidad [cumple Requisito 2].
- **Disminuir:**Disminuye el valor de la frecuencia en una unidad[cumple Requisito 2].
- **Aleatorio:**Activa un temporizador, que cambia la frecuencia a simularse de manera aleatoria cada 30 segundos[cumple Requisito 2].

En la Figura 33, se observa la secuencia de pantallas de la aplicación “SimuladorECG”:

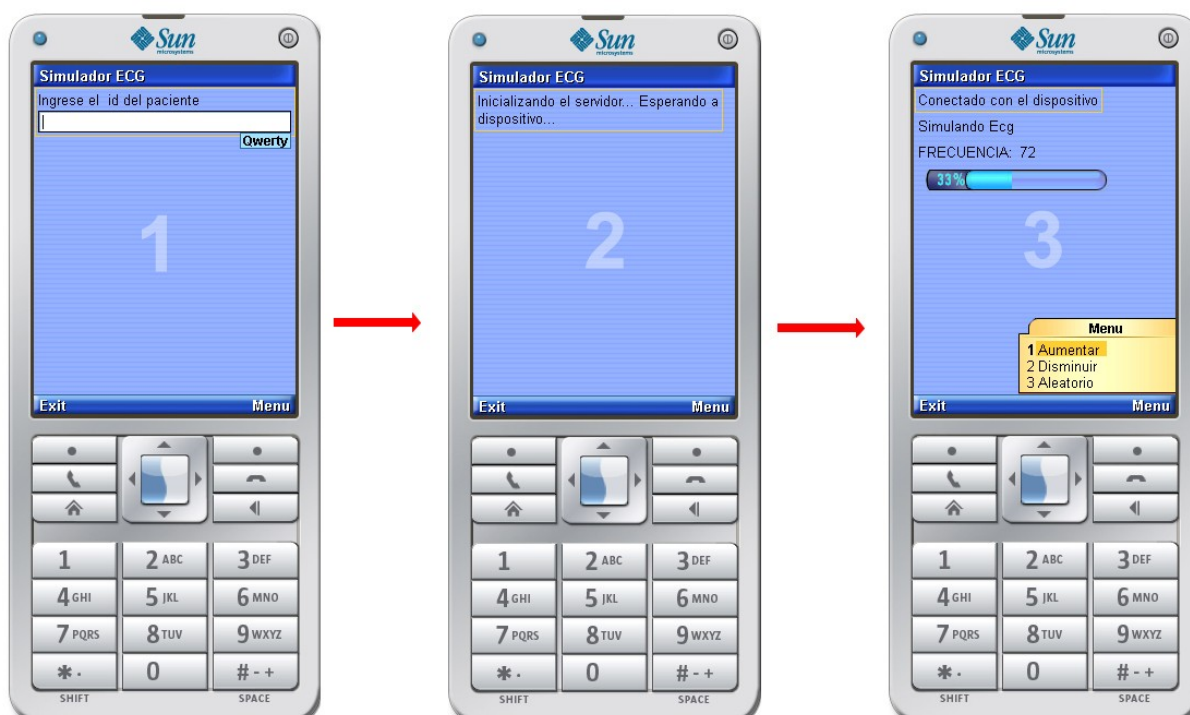


Figura 33: Secuencia de Pantallas del Funcionamiento del Simulador ECG (Elaboración Propia)

1.1.2. EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR

Al iniciar la aplicación, como se muestra en la pantalla 1 de la Figura 34, automáticamente se inicia el Bluetooth como cliente, busca conexiones disponibles que correspondan al UUID configurado, para conectarse [cumple Requisito 5]. Cuando la aplicación se conecta, actualiza la información desplegada en la pantalla, informando al usuario que está conectada a SimuladorECG y a la espera de los voltajes [cumple Requisito 6]. Luego, calcula la Frecuencia Cardíaca a partir de los voltajes recibidos [cumple Requisito 7].

Después, envía la frecuencia usando el método POST de una conexión HTTP a la aplicación Receptor HTTP [cumple Requisito 8]. Al momento de enviar, el teléfono informa al usuario que la aplicación quiere conectarse a una dirección web usando tiempo aire¹⁷, espera confirmación del usuario para permitir las acciones de la aplicación. Al confirmar, envía, como se muestra en la pantalla 2 de la Figura 34.

Si recibe la confirmación de recepción del parámetro desde la aplicación destino, se actualiza la pantalla informando que la frecuencia fue enviada. Si no se recibe la confirmación, se actualiza la pantalla informando que la conexión HTTP falló, e intenta enviar por SMS, como se muestra en la pantalla 3 de la Figura 34.

Para enviar por SMS, se espera completar un mensaje de texto de 160 caracteres, por lo que las frecuencias son almacenadas hasta cumplir con el tamaño del mensaje; de esta manera se intenta disminuir los costos por el servicio. Finalmente, cuando el SMS se va a enviar, la aplicación informa al usuario que se está intentando enviar un SMS, lo que podría tener

¹⁷ Tiempo aire es el crédito de dinero que tenemos en la tarjeta prepago, que también se contabiliza en unidades de tiempo.

algúncosto, se confirma y envía [cumple Requisito 9]. Finalmente, se queda esperando nuevos voltajes.

En la Figura 34, se presenta la secuencia de pantallas del Equipo Móvil Concentrador.



Figura 34: Secuencia de Pantallas del Funcionamiento del Equipo Móvil Concentrador (Elaboración Propia)

1.2. RED DE COMUNICACIONES¹⁸

1.2.1. EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS

Al inicializar la aplicación, se crea el servicio Bluetooth como servidor[cumple Requisito 1] y espera la conexión del Servidor Central mediante la aplicación “ReceptorBluetooth”. La aplicación queda esperando un SMS con las frecuencias cardiacas desde el Equipo Móvil

¹⁸Los requisitos de la Red de Comunicaciones se presentan en la Figura 26, en la página 47.

Concentrador [cumple Requisito 2], como se muestra en la pantalla 1 de la Figura 35. Luego que recibe el mensaje de texto, los datos se reenvían vía Bluetooth al Servidor Central [cumple Requisito 3], sin ningún proceso. Finalmente, la aplicación informa al usuario del envío, como en la pantalla 2 de la Figura 35, y se queda esperando la llegada del siguiente mensaje de texto.

En la Figura 35, se presenta una secuencia de las pantallas de esta aplicación.



Figura 35: Secuencia de Pantallas del Equipo Móvil Receptor para SMS

1.3. SERVIDOR CENTRAL¹⁹

1.3.1. RECEPTOR HTTP

Cuando inicia el Servlet, se queda esperando la una petición Http mediante el método POST. Al recibir la petición, emite una confirmación de recepción [cumple Requisito 1]. Luego procesa los datos recibidos y verifica la existencia de anomalías en la Frecuencia Cardíaca recibida [cumple Requisito 2], esto es, si está fuera de los rangos normales. Finalmente, se almacena en la base de datos estableciendo un flag en 1 o 0 dependiendo si existe o no anomalía, respectivamente [cumple Requisito 3]. Asimismo, despliega la hora, el identificador del paciente y la frecuencia recibida.

En la Figura 36, se muestra la página de información presentada al usuario.



Figura 36: Pantalla de la Aplicación ReceptorHTTP (Elaboración Propia)

¹⁹Los requisitos del Servidor Central se presentan en la Figura 28, en la página 50.

1.3.2.RECEPTOR BLUETOOTH

El usuario inicia la conexión Bluetooth con el Equipo Móvil Receptor para SMS dando clic en “Conectarse con celular”, la aplicación crea el servicio Bluetooth como cliente; busca con el UUID, el dispositivo que ofrece el servicio como servidor de Bluetooth [cumple Requisito 4]. Luego, inicializa la conexión Bluetooth y se queda esperando los datos. Finalmente, cuando recibe los datos [cumple Requisito 5], verifica si existe o no anomalías en las frecuencias recibidas[cumple Requisito 6], estableciendo un flag en 1 o 0, dependiendo si la frecuencia está fuera o no del rango normal, y almacena en la base de datos[cumple Requisito 7].

En la Figura 37, se muestra la pantalla de la aplicación.

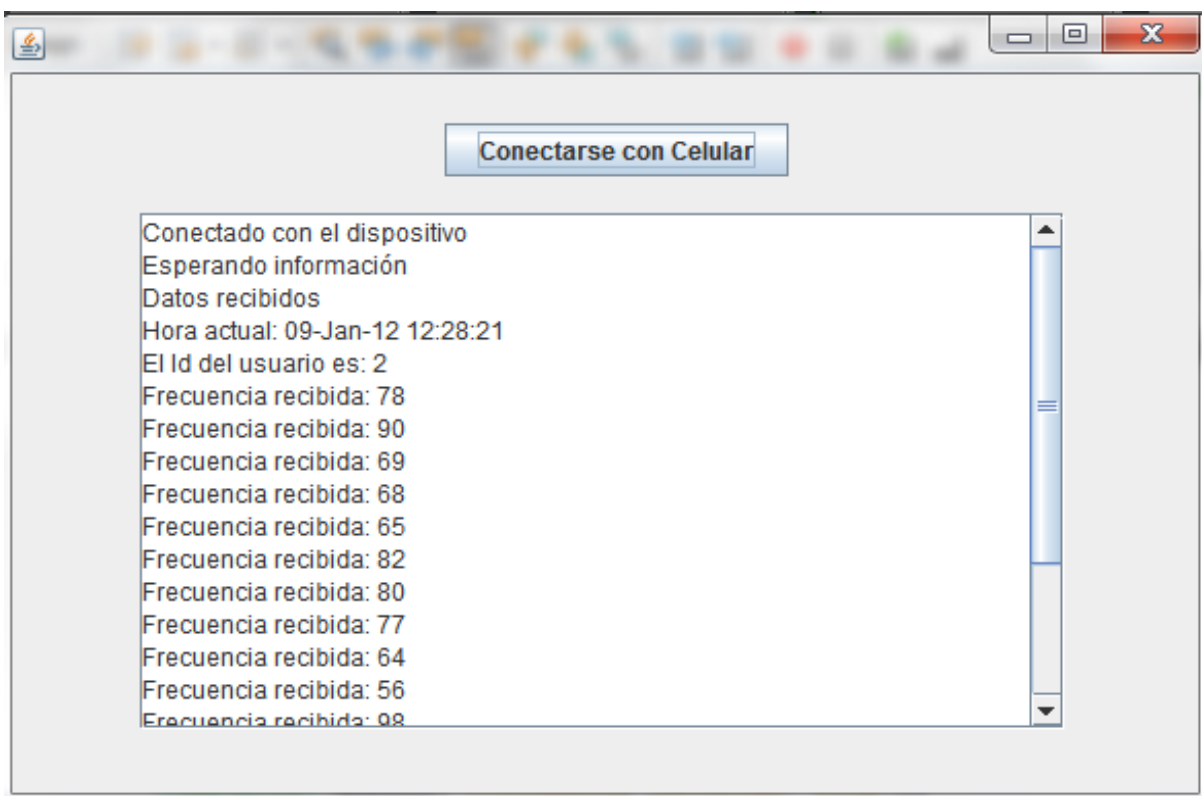


Figura 37: Pantalla de la Aplicación ReceptorBluetooth (Elaboración Propia)

1.3.3.SITIO WEB

El administrador del Sitio Web puede crear cuentas del personal médico. Las distribuye manualmente entre los usuarios que pertenecen a este grupo [cumple Requisito 8]. Entonces, el personal médico entra al sitio web ingresando el usuario y contraseña suministrados, para crear y administrar los pacientes[cumple Requisito 9]; y controlar las frecuencias cardíacas del paciente [cumple Requisito 10]. También, el Sitio Web envía un e-mail de alerta al personal médico encargado del paciente, en caso de verificar la existencia de alguna anomalía en las frecuencias cardíacas recibidas [cumple Requisito 11].

En la Figura 38, se presenta la pantalla de ingreso al sistema por medio del Sitio Web.



Figura 38: Secuencia de Pantallas de Inicio de Sesión de Administrador

En la Figura 39, se presenta la pantalla de administración del personal médico.

CONTROL REMOTO DE LA FRECUENCIA CARDIACA

Inicio

Nuevo Médico

Ver Médico

Medico borrado	Nombre	Apellido	Mail	Acciones
	admin	admin	admin	Eliminar
	Pamela	Morales	pamela.tmt@hotmail.com	Eliminar
	Cristian	Portero	cportero@hotmail.com	Eliminar
	Jhonatan	Torres	jtorres@hotmail.com	Eliminar
	Sara	Yáñez	syanez@hotmail.com	Eliminar
	pme	pme	pamela.tmt@hotmail.com	Eliminar

Figura 39: Pantalla de Adminsitración de Personal Médico (Elaboración Propia)

En la Figura 40, se presenta la pantalla de administración y control de pacientes

SISTEMA PROTOTIPO DE TELEMONITOREO Y CONTROL REMOTO DE LA FRECUENCIA CARDIACA

Bienvenido p

Inicio

Nuevo Paciente

Ver Paciente

Id	Nombre	Apellido	Mail	Acciones
16	Katyria	Morales	kmorales@hotmail.com	Ver en Tiempo Real Ver por fecha Ver Anomalias Eliminar
17	Paola	Cambisaca	pcambisaca@hotmail.com	Ver en Tiempo Real Ver por fecha Ver Anomalias Eliminar
18	Raul	Gutierrez	rgutierrez@hotmail.com	Ver en Tiempo Real Ver por fecha Ver Anomalias Eliminar
19	Angelica	Leon	aleon@hotmail.com	Ver en Tiempo Real Ver por fecha Ver Anomalias Eliminar

Figura 40: Pantalla de administración y Control de Pacientes (Elaboración Propia)

Y en la Figura 41, se presenta el formato del e-mail de alerta enviado al personal médico en caso de anomalía.

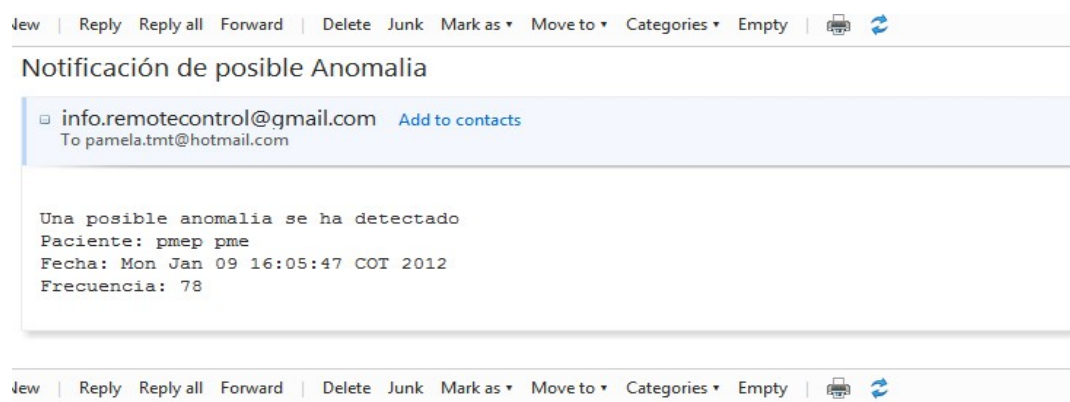


Figura 41: E-mail de Alerta de Anomalíasas (Elaboración Propia)

Luego de realizar las pruebas funcionales del sistema completo, se comprueba que todas las funcionalidades descritas trabajan correctamente.

2. PRUEBAS DE DESEMPEÑO

En términos generales, las tareas poseen un alto nivel de respuesta, pues el sistema intenta estar accesible 24/7 para los usuarios. También, el sistema tiene un alto nivel de desempeño debido a que los tiempos en que se realizar las operaciones son relativamente pequeños, ya que están en el orden de segundos. Aquí, se analizan los tiempos de ejecución de las operaciones más importantes de este sistema, como el cálculo de la frecuencia cardíaca y el envío de datos mediante las dos vías de comunicación; para lo cual se implementaron funciones que obtienen el tiempo de ejecución de cada operación.

PARÁMETROS PARA LAS PRUEBAS DE DESEMPEÑO

Uno de los parámetros más crítico del Sistema es la cantidad de muestras de los voltajes de los pulsos eléctricos de las ondas P-Q-R-S-T de un ECG que se requieren tomar para calcular la Frecuencia Cardíaca. Si esta cantidad es muy grande [2048], el número de operaciones aumenta innecesariamente y los datos a transmitir son mayores. Por lo tanto, se compromete el tiempo de respuesta del sistema, pues se requiere mayor duración en las operaciones, como se muestra en la Tabla 1.

Luego, si este número es muy pequeño [64], la frecuencia cardiaca calculada es errónea, con lo que se compromete la confiabilidad del sistema innecesariamente, porque los tiempos de respuesta no varían significativamente, como se presentan en la Tabla 2. Finalmente, luego de varias pruebas y análisis con diferentes tamaños de las muestras de estos voltajes, se determinó que el número de muestras para tener confiabilidad en el resultado y un buen nivel de repuesta es 256, pues la frecuencia calculada con estas muestras corresponde a la ingresada para simular y los tiempos de las operaciones se reduce a casi la mitad del tiempo, si se usan todos los voltajes generados, como se muestra en la Tabla 3.

Operación	Tiempo en milisegundos
Generar los valores de los volatajes del ECG Método: CalcularECG	2604
Enviar los voltajes via bluetooth Método: EnviarDatoATelefono	223
Generar una frecuencia aleatoria Método: GenerarFrecuenciaAleatoria	3
Actualizar la pantalla Método: ActualizarInformacionPantalla	4

Tabla 1: Desempeño Aplicación Simulador ECG - 64 muestras (Elaboración Propia)

Operación	Tiempo en milisegundos
Generar los valores de los volatajes del ECG Método: CalcularECG	5150
Enviar los voltajes via bluetooth Método: EnviarDatoATelefono	1831
Generar una frecuencia aleatoria Método: GenerarFrecuenciaAleatoria	3
Actualizar la pantalla Método: ActualizarInformacionPantalla	4
Operación	Tiempo en milisegundos

Tabla 2: Desempeño Aplicación Simulador ECG - 2048 muestras (Elaboración Propia)

Generar los valores de los volatajes del ECG Método: CalcularECG	3122
Enviar los voltajes via bluetooth Método: EnviarDatoATelefono	557
Generar una frecuencia aleatoria Método: GenerarFrecuenciaAleatoria	3
Actualizar la pantalla Método: ActualizarInformacionPantalla	4

Tabla 3: Desempeño Aplicación Simulador ECG – 256 Muestras (Elaboración Propia)

También, para analizar los tiempos de respuesta, se hace un estudio de la latencia de la comunicación entre el paciente y el médico tratante. Para efectos de éste análisis nos preguntamos ¿cuál sería el tiempo para que el médico conozca que el paciente sufrió un paro cardíaco? Tomando como referencia que para que suceda esto la frecuencia cardíaca calculada debería valer cero. Entonces, se considera que cuando existe una frecuencia cardíaca de cero, el mensaje de texto es enviado sin requerir que esté lleno; es decir, que los 160 caracteres disponibles no necesitan ser llenados.

Para este estudio, se toman los tiempos de las tareas de comunicación de las diferentes aplicaciones del sistema, haciendo uso de las dos vías de comunicación, SMS e Internet. En la

Tabla 4, aparecen los resultados cuando los datos son transmitidos desde el Lugar Remoto al Servidor Central vía Internet y en la Tabla 5, se muestran los resultados del envío por medio de SMS.

INTERNET	
Simulador ECG. Enviar voltajes vía Bluetooth	557 ms
EquipoMovilConcentrador. Calcular frecuencia	5 ms
EquipoMovilConcentrador. Enviar vía HTTP	5486 ms
Receptor HTTP. Recibir la frecuencia cardiaca	6 ms
Receptor HTTP. Insertar datos en la base de datos	8 ms
Sitio Web. Consultar ultimas frecuencias cardiacas	306 ms
TIEMPO TOTAL	6448 ms
Aproximadamente 7 segundos	

Tabla 4: Tiempo de Comunicación por Internet (Elaboración Propia)

SMS	
Simulador ECG. Enviar voltajes vía Bluetooth	557 ms
EquipoConcentradorMovil. Calcular frecuencia	5 ms
EquipoConcentradorMovil. Enviar vía SMS	10008 ms
EquipoMovilReceptorSMS. Recibir SMS	238 ms
EquipoMovilReceptorSMS. Enviar por Bluetooth	173 ms
ReceptorBluetooth. Procesar datos	8 ms
ReceptorBluetooth. Almacenar base de datos	7 ms
Sitio Web Consultar ultimas frecuencias cardiacas	306 ms
TIEMPO TOTAL	11302 ms
Aproximadamente 12 segundos	

Tabla 5: Tiempo de Comunicación por SMS (Elaboración Propia)

Al comparar los tiempos expuestos en las Tablas 4 y 5, se observa que enviar por SMS toma 12 segundos; mientras que enviar por Internet únicamente toma 7 segundos, disminuyendo a casi la mitad el tiempo de respuesta. Analizando cada una de las tareas de las tablas, se puede ver que la tarea de enviar por SMS toma 10 segundos, que es la diferencia más significativa entre estas dos vías de comunicación.

Estas diferencias entre el servicio de conexión de datos y mensajería instantánea, depende de los proveedores del servicio de telefonía móvil. Sin embargo, lo que compete al sistema aquí desarrollado, en el envío por SMS, los datos pasan por otro Equipo Móvil que los retransmite, lo que requiere más tiempo [411ms] que en el envío por Internet que es más directo e involucra menos tareas.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados obtenidos en la implementación de este sistema prototipo de telemonitoreo remoto de signos vitales, es importante realizar un estudio que sale de las pruebas técnicas realizadas a este sistema en el capítulo anterior. Este análisis se centra en las tecnologías de comunicación y los costos.

1.COMPARACIÓN ENTRE SMS Y HTTP

Dentro de la red de comunicaciones existen dos vías de acceso al servidor, con el fin de intentar que el servicio de Telemonitoreo y Control Remoto sea 24/7. Por lo que se considera que si no está disponible una tecnología de comunicación, se use la otra. Ahora, ¿cuál debería tratar de usar primero?

Una de las ventajas al usar Internet para la transmisión es la capacidad para llevar directamente al servidor central todo tipo de datos y de gran tamaño en un solo parámetro. También según las Tablas 4 y 5, es una ventaja que la tarea de enviar vía HTTP, tome casi la mitad de tiempo que la tarea de enviar por SMS, lo que brinda un mejor nivel de respuesta, pudiendo tener con Internet una transmisión de datos más rápido entre el Lugar Remoto y Servidor Central. Por lo que, el Equipo Móvil Concentrador intenta primero enviar los datos vía Internet. Finalmente, si el Receptor Http no se encuentra disponible, se conoce instantáneamente que el envío no se pudo realizar para que el usuario pueda tomar las debidas medidas de contingencias.

Una ventaja de usar SMS podría ser que cuando se envía el mensaje y el Equipo Móvil Receptor para SMS no está disponible en ese instante, el servicio de telefonía se queda verificando la disponibilidad del receptor hasta poder entregar el SMS, pero esta tarea tiene un tiempo limitado, luego de éste el mensaje se pierde. Sin embargo, tomando en cuenta la criticidad de los datos que se manejan en este sistema, si la demora en entregar la información es alta, más que una ventaja puede convertirse en un inconveniente. Pues la información no estará a tiempo y las decisiones del personal médico, sobre el paciente monitoreado en base a esta información, pueden resultar erróneas.

Entre las desventajas que se pueden mencionar para SMS, está la limitada longitud del mensaje, que es aproximadamente 160 caracteres. La velocidad de entrega del mensaje es inferior a la proveída por Internet, ya que en este sistema el SMS tiene que pasar por una estación intermedia antes de llegar al Servidor Central, donde pudieran surgir inconvenientes que salen del manejo del servicio de SMS, entregando datos erróneos al Servidor Central. Finalmente, la tecnología de comunicación SMS, como tal, tiene un tiempo de operación de 10s que sale del alcance de esta tesis manejarlo, haciendo que todo el servicio de comunicación por SMS usado por el sistema aumente considerablemente en el tiempo de respuesta.

En conclusión, se debería usar Internet como primera opción para el envío de los datos del Lugar Remoto al Servidor Central, por ser más directa la transmisión; es decir, que los datos se dirigen al Servidor Central sin pasar por un Equipo Móvil Receptor para SMS y consumir casi la mitad de tiempo que consume el envío por SMS.

2. COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE SMS E INTERNET

Antes de analizar los costos, se necesita establecer las generalidades del cálculo de la cantidad de datos enviados al Servidor Central mensualmente.

- La frecuencia cardíaca es medida cada 30 segundos. Por lo que, se tendrá:

$$\frac{1 Fc}{30seg} \times \frac{60seg}{1 min} \times \frac{60min}{1hora} \times \frac{24 horas}{1día} \times \frac{30días}{1 mes} = \frac{86400Fc}{1mes}$$

- La cantidad de datos enviados por mensaje difieren en su tamaño para Internet y para SMS; y son: una frecuencia cardíaca de máximo 3 caracteres, un identificador del paciente de máximo 4 caracteres y separadores.

SMS

Cada mensaje de SMS tiene una capacidad de envío de 160 caracteres. De los cuales 8 caracteres son utilizados por la aplicación J2ME para establecer el puerto destino. Entonces, como cada Frecuencia Cardíaca es como máximo 3 caracteres, a los cuales se suma un carácter separador (;), serían 4 caracteres por Frecuencia Cardíaca; y el identificador del paciente es máximo 4 caracteres que contiene un separador (:) que se agrega al mensaje una sola vez. Esta convención se adoptó en la etapa de diseño del sistema. Hasta aquí se tendrían 9 caracteres; por lo que, se espera que el mensaje se llene con el máximo de su capacidad para realizar el envío, añadiendo otras Frecuencias Cardíacas calculadas. Por lo tanto, se enviarían:

1 mensaje = 160 caracteres – 8 caracteres del puerto destino = 152 caracteres – 5 caracteres del

Identificador del paciente = 147 caracteres

$$\frac{1 \text{ mensaje}}{147 \text{ caracteres}} \times \frac{5 \text{ caracteres}}{1 \text{ Fc}} \times \frac{86400 \text{ Fc}}{1 \text{ mes}} \cong \frac{3000 \text{ mensajes}}{1 \text{ mes}}$$

Entonces, se requeriría contratar un paquete de 3000 mensajes aproximadamente por mes, para lograr un Telemonitoreo y Control Remoto 24/7, vía SMS. En las operadoras que ofrecen los servicios de Telefonía Móvil en Ecuador como son: CLARO²⁰, MOVISTAR²¹ y ALEGRO²², los costos mensuales por paquetes de mensajes SMS y mensajes adicionales se presentan en la Tabla 6.

SERVICIO PREPAGO DE PAQUETE DE MENSAJES ESCRITOS	TARIFA MENSUAL FINAL X OPERADORA (USD/MES)		
	CLARO	MOVISTAR	ALEGRO
2800 mensajes	13,43		
2500 mensajes		13,44	
Mensajes limitados			8,68
Mensajes Adicionales	0.07	0,067	
COSTO TOTAL X OPERADORA PARA USAR EL SISTEMA DE TELEMONITOREO PROPUESTO	27,43 ²³	46,94 ²⁴	8,63

Tabla 6: Comparación de Costos de Servicios de SMS entre las Operadoras de Telefonía Móvil en Ecuador

²⁰Para mayor información consultar página de tarifas de servicios de la operadora CLARO en el siguiente link: <http://www.claro.com.ec/wps/portal/ec/pc/personas/movil/servicios/servicios-adicionales-con-costo/mensajes-de-texto-sms> (tarifas consultadas al 05/01/2012)

²¹Para mayor información consultar página de tarifas de servicios de la operadora MOVISTAR en el siguiente link: <http://www.movistar.com.ec/site/movil-personas/servicios/mensajes-y-multimedia.html> (tarifas consultadas al 05/01/2012)

²²Para mayor información consultar página de tarifas de servicios de la operadora ALEGRO en el siguiente link: <http://www.alegro.com.ec/Servicios/SMS/PaquetedeSMS/tabid/885/Default.aspx> (tarifas consultadas al 05/01/2012)

²³Según la información de la Página Web de CLARO, no se pueden contratar paquetes de 3000 mensajes, tampoco tener dos planes de mensajería instantánea, por lo que se deben pagar 200 mensajes adicionales cada mes.

²⁴Según la información de la Página Web de MOVISTAR, no se pueden contratar paquetes de 3000 mensajes, tampoco tener dos planes de mensajería instantánea, por lo que se deben pagar 500 mensajes adicionales cada mes.

INTERNET

Cada mensaje que debe ser enviado vía Internet contiene una Frecuencia Cardíaca de máximo 3 caracteres, un identificador del paciente de 4 caracteres máximo con un separador [:], convención adoptada en la etapa de diseño del sistema. Dando un total de 9 caracteres. Por lo que se enviarían:

$$\frac{1 \text{ mensaje}}{1 \text{ Fc}} \times \frac{9 \text{ caracteres}}{1 \text{ mensaje}} \times \frac{8 \text{ bytes}}{1 \text{ caracter}} \times \frac{86400 \text{ Fc}}{1 \text{ mes}}$$

$$\cong \frac{6220800 \text{ bytes}}{1 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ Mb}}{1000000 \text{ bytes}} \cong 7 \text{ Mb}$$

Entonces, se requeriría contratar un paquete de 7Megabytes aproximadamente por mes, para lograr un Telemonitoreo y Control Remoto 24/7, vía Internet. En las operadoras que ofrecen los servicios de Telefonía Móvil y que ofrecen Internet en Ecuador como son: CLARO²⁵, MOVISTAR²⁶, ALEGRO²⁷ y CNT, los costos mensuales por paquetes de Internet se presentan en la Tabla 7.

SERVICIO PREPAGO DE PAQUETE DE INTERNET	TARIFA MENSUAL FINAL X OPERADORA (USD/MES)			
	CLARO	MOVISTAR	ALEGRO	CNT
Internet 10Mb	5,59		4,00	
Internet 15Mb		6,71		
Internet Ilimitado			19,99	20,50
MB Adicionales	1,72	0,56	0,99	

Tabla 7: Comparación de Costos de Servicios de Internet entre las Empresas Proveedoras

²⁵Para mayor información consultar página de tarifas de servicios de la operadora CLARO en el siguiente link: <http://www.claro.com.ec/wps/portal/ec/pc/personas/internet/banda-ancha-movil/oficina-movil> (tarifas consultadas al 05/01/2012)

²⁶Para mayor información consultar página de tarifas de servicios de la operadora MOVISTAR en el siguiente link: <http://www.movistar.com.ec/site/movil-personas/correo-e-internet/internet-en-el-movil.html> (tarifas consultadas al 05/01/2012)

²⁷Para mayor información consultar página de tarifas de servicios de la operadora ALEGRO en el siguiente link: <http://www.alegro.com.ec/Servicios/ServiciodeInternet/tabid/876/Default.aspx> (tarifas consultadas al 05/01/2012)

Comparando los costos de los servicios de Internet y telefonía móvil proveída por las operadoras en Ecuador, que se presentan en las Tablas 6 y 7, se observa claramente que el uso de Internet es más económico, en cualquiera de las empresas proveedoras del servicio. También, al tener el sistema una tasa de envío de datos bastante alta de hasta 3000 mensajes de texto o 7Mb de datos por mes, el uso del servicio ilimitado de Internet o paquetes de datos abarataría costos, frente a usar el servicio de mensajería Instantánea.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Junto con la evolución en el conocimiento médico, es necesario el desarrollo e implementación de proyectos tecnológicos, que apoyados en la comprensión médica contribuyan al mejoramiento en algunos problemas de atención al paciente e infraestructura que afecta constantemente al Sistema Hospitalario Ecuatoriano. El presente trabajo de investigación, fue realizado analizando esta problemática y la tecnología de comunicación con que se cuenta. Producto de ello, se presentan las siguientes conclusiones:

- Se ha demostrado que actualmente las tecnologías de la información y comunicación tienen capacidad suficiente para ofrecer niveles de desempeño y respuesta aceptables para la asistencia médica a distancia. Sin embargo, aún existen algunos problemas por resolver antes de contar con sistemas de atención médica con elevados niveles de confiabilidad.
- Este tipo de desarrollos nos brinda la experiencia necesaria para conocer y darnos cuenta que implementaciones de este tipo pueden ser diseñadas y puestas en marcha a un bajo costo relativamente, contrario a lo que generalmente se piensa que cuesta la Telemedicina.
- El uso de Internet para la transmisión de los datos entre el Lugar Remoto y el Servidor Central disminuye considerablemente los tiempos de respuesta del sistema con respecto al uso de SMS. Además, los costos del servicio de Internet es menor al servicio de SMS, considerando la cantidad de datos a enviar.

- Este Sistema Prototipo de Telemonitoreo no intenta suplir la necesidad de atención médica a personas con enfermedades crónicas. Más bien, está enfocado al monitoreo, que ayude a brindar una mejor atención y control médico.
- La latencia mínima del sistema es de 6 segundos y máxima de 12 segundos, lo que da como resultado un buen nivel de desempeño. Permitiendo a los médicos conocer rápidamente el estado del paciente que está siendo asistido.

TRABAJOS FUTUROS

Este Sistema Prototipo de Telemonitoreo y Control Remoto potencialmente podrá escalarse para supervisar un conjunto más amplio de signos vitales como la temperatura, nivel de azúcar en la sangre, etc. Además, se podría escalar el reuso de la red de comunicaciones, es decir, que varios dispositivos cardíacos de diferentes pacientes, se comuniquen a un mismo Equipo Móvil Concentrador, y éste envíe los datos al Servidor Central.

Asimismo, podría evolucionarse a un sistema más inteligente, mediante el uso de técnicas de aprendizaje de máquina en el Servidor Central, donde en adición a llevar el registro de los datos recogidos de la frecuencia cardíaca, se automatice la detección de enfermedades. Además se podría implementar otro tipo de emisión de alertas ante complicaciones de salud en los pacientes, como por ejemplo realizar llamadas de emergencia automáticas al personal médico. Finalmente, se debería implementar esquemas seguros de autenticación, así como opciones para garantizar la confiabilidad e integridad de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

About Java. 2009. 03 de Enero de 2012 <<http://www.java.com/en/about/>>.

AIM. «Research and Technology Development on Telematics Systems in Health Care: AIM1993.» Annual Technical Report on RTD: Health Care (1993): 18.

Berners-Lee, Tim. HyperText Transfer Protocol. 1992. 21 de Diciembre de 2011 <<http://www.w3.org/History/19921103-hypertext/hypertext/WWW/Protocols/HTTP.html>>.

—. The Original HTTP as defined in 1991. 1996. 19 de Diciembre de 2011 <<http://www.w3.org/Protocols/HTTP/AsImplemented.html>>.

Bray, Jennifer y Charles F. Sturman. Bluetooth 1.1: Connect Without Cables. Prentice Hall, 2002.

Castillo, Joaquín. Electrocardiografía Básica. 26 de Septiembre de 2008. 30 de Diciembre de 2011 <<http://www.slideshare.net/2Amedicina/ecg-normal-presentation>>.

Electrocardiograma. Septiembre de 2011. 14 de Diciembre de 2011 <http://texasheart.org/HIC/Topics_Esp/Diag/diekg_sp.cfm>.

Ganz, L. y E. Curtiss. «Electrocardiography.» Goldman, L y D Ausiello. Cecil Medicine. Philadelphia: Saunders Elsevier, 2007. Ch. 52.

«Guías de Laboratorio: Electrocardiograma.» 2011. Laboratorio de Fisiología PUJ. 21 de Diciembre de 2011 <http://fisiopuj.tripod.com/Guias/1_Electrocardiograma.pdf>.

Guy, Kewney. High Speed Bluetooth Comes A Step Closer: Enhanced Data Rate Approved. 16 de Noviembre de 2004. 23 de Diciembre de 2011 <Newswireless.net>.

Hanson, Jeff. Get Started With Java Servlets. 18 de Septiembre de 2002. 20 de Diciembre de 2011 <<http://www.techrepublic.com/article/get-started-with-java-servlets/1046646>>.

Herruzo Grande, María José y Rosa María Reig Lorenzo. Cap.35: Monitorizació Cardíaca. 2009. 21 de Septiembre de 2011 <<http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion4/capitulo55/capitulo55.htm>>.

«Introduction J2ME.» 2009. Right Place For Right Person. 30 de Diciembre de 2011 <http://r4r.co.in/java/J2ME/basic/tutorial/j2me/Introduction_J2ME%20.shtml>.

«J2ME Profiles.» 2009. Right Place For Right Person. 28 de Diciembre de 2011 <http://r4r.co.in/java/J2ME/basic/tutorial/j2me/J2ME_profiles.shtml>.

Java Servlet Technology. 24 de Abril de 2002. 24 de Diciembre de 2011 <http://java.sun.com/j2ee/tutorial/1_3-fcs/doc/Servlets.html>.

JavaServer Faces Technology. 04 de Mayo de 2009. 21 de Diciembre de 2011 <http://aragorn.pb.bialystok.pl/~dmalyszko/PSS_Project/JavaServer%20Faces.htm>.

Knudsen, Jonathank y Sing Li. Beggining J2ME from Novice to Professional. United States: Apress, 2005.

Liarte, Diego. Nuevos Chips Bluetooth de Bajo Consumo. 22 de Octubre de 2009. 13 de Diciembre de 2011 <<http://todoappleblog.com/hardware/nuevos-chips-bluetooth-de-bajo-consumo/>>.

OMS. «Asesor en informática de la OMS. Informe al Director General de la OMS a la 99 reunión del Consejo Ejecutivo.» 1997.

Oracle. «Basic Customization Guide.» Septiembre de 2007. Oracle. 21 de Diciembre de 2011 <<http://docs.oracle.com/javame/dev-tools/wtk-cldc-2.5.2-01/BasicCustomizationGuide.pdf>>.

Ortiz, Enrique. The Generic Connection Framework. Agosto de 2003. 23 de Diciembre de 2011 <<http://developers.sun.com/mobility/midp/articles/genericframework/>>.

PhysioNet. ECG waveform generator for Matlab/Octave. 16 de Diciembre de 2011. 23 de Diciembre de 2011 <<http://www.physionet.org/physiotools/matlab/ECGwaveGen/>>.

Preston, J, F. W. Brown y M. Hartley. «Using telemedicine to improve health care in distant areas.» Hospital and Community Psychiatry (1992): 25-32.

PubliCorp. Mensajería Publicitaria por celular SMS. 2010. 30 de Diciembre de 2011 <<http://www.publicorpmexico.com/mensajeriasms>>.

Rodríguez, Heliodoro y Moisés Pulido. Laboratorio de Electrofisiología del IMLF, Caracas-Venezuela. s.f. 14 de Diciembre de 2011 <<http://www.suarritmia.com/preg.htm>>.

Scarfone, Karen y John Padgette. Guide to Bluetooth Security. Septiembre de 2008. 8 de Diciembre de 2011 <<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-121/SP800-121.pdf>>.

The World in 2010. 20 de Octubre de 2010. 22 de Diciembre de 2011 <<http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/FactsFigures2010.pdf>>.

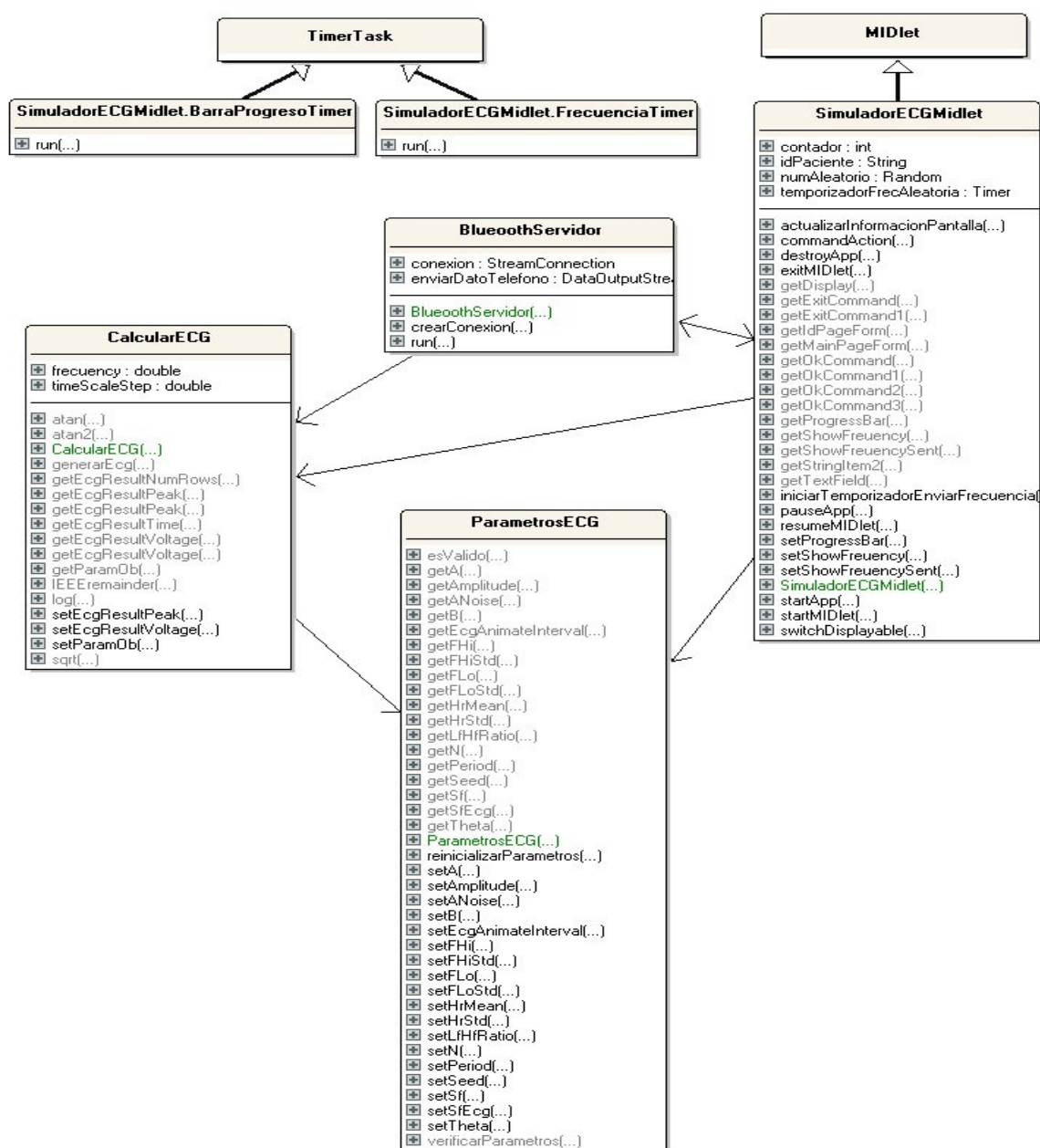
Vogel, C. U., C. Wolpert y M. Whling. «How to measure heart rate?» European Journal of Clinical Pharmacology 60 (2004): 461-466.

W3C. HTTP - Hypertext Transfer Protocol. Octubre de 2011. 10 de Diciembre de 2011 <<http://www.w3.org/Protocols/>>.

ANEXOS

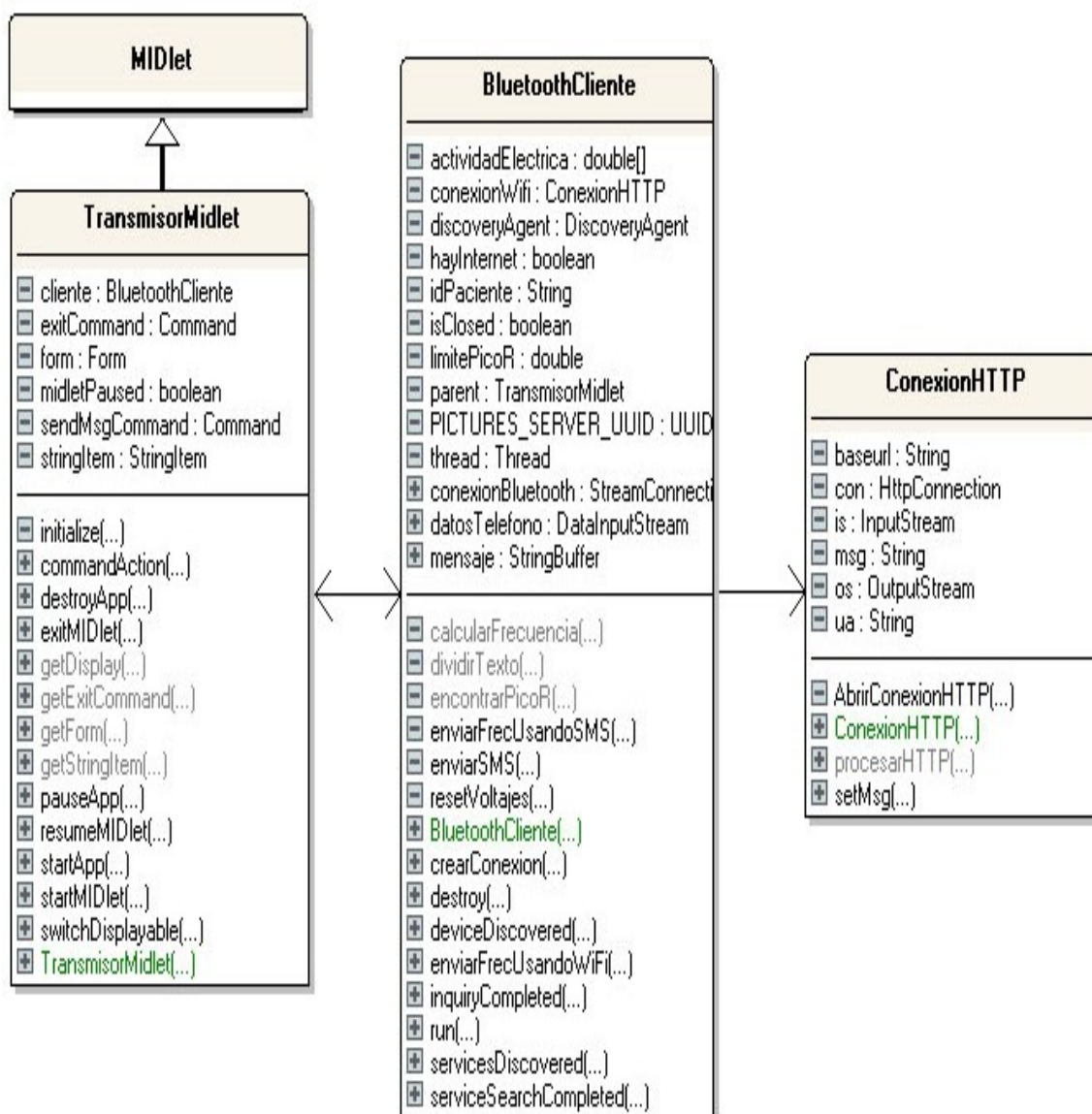
ANEXO A: DIAGRAMAS DE CLASES

ANEXO A.1: DIAGRAMA DE CLASES DEL SIMULADOR ECG



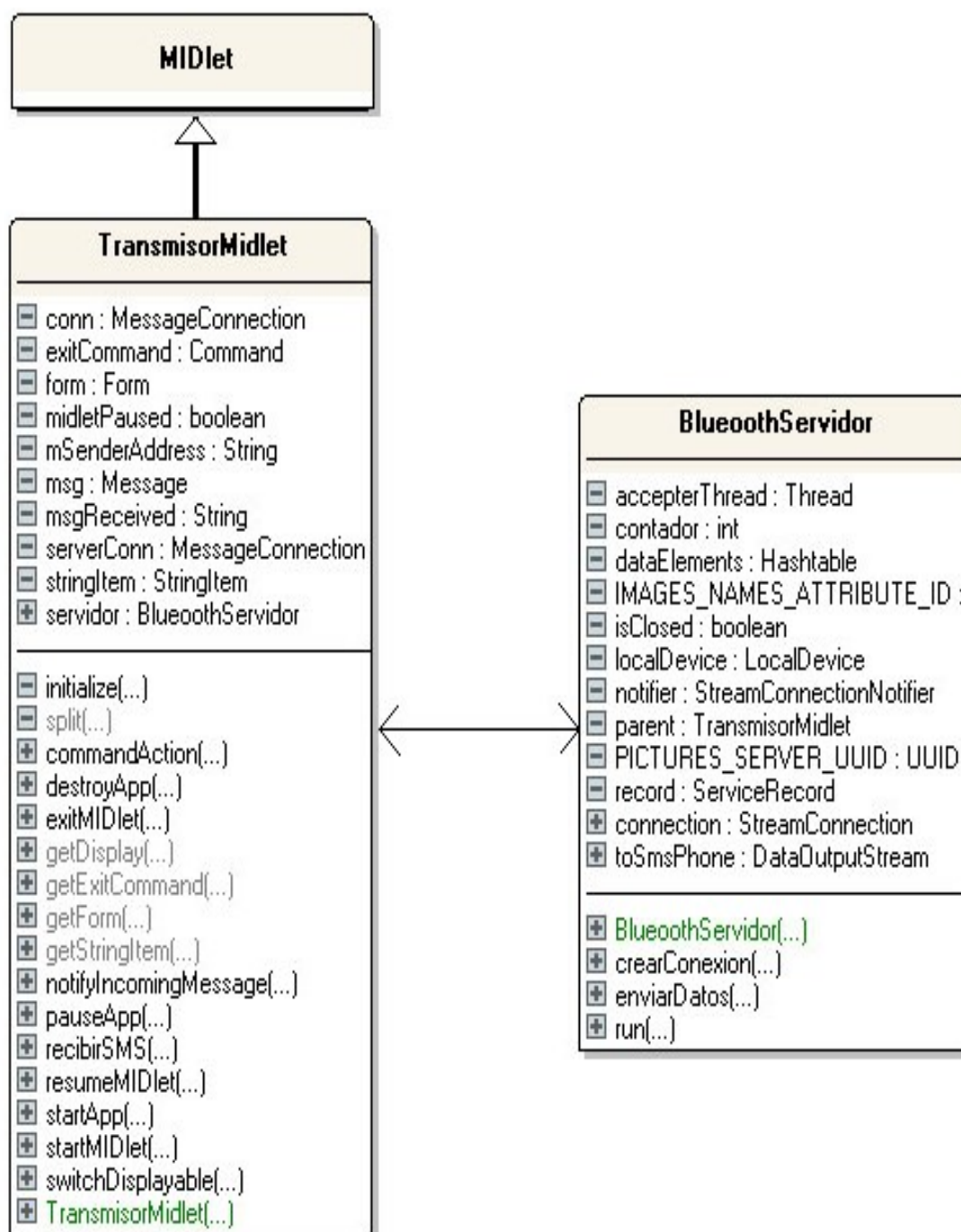
ANEXO A.2: DIAGRAMA DE CLASES DEL EQUIPO MÓVIL

CONCENTRADOR

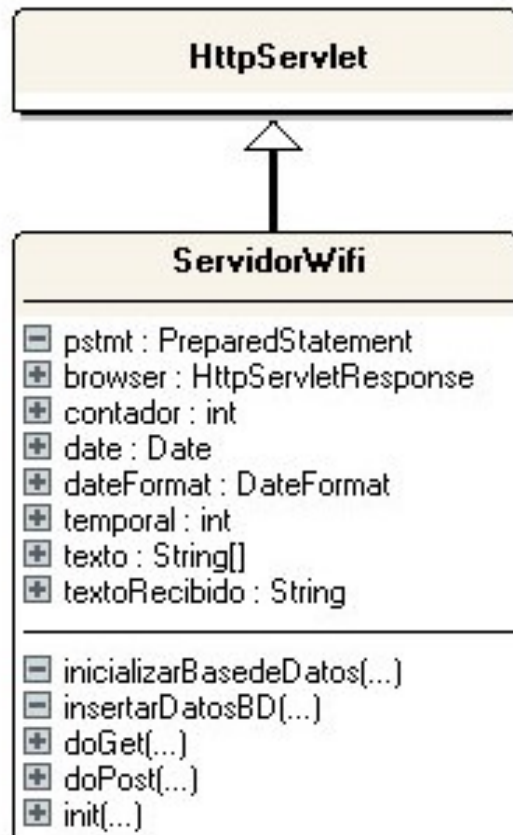


ANEXO A.3: DIAGRAMA DE CLASES DEL EQUIPO MÓVIL

RECEPTOR PARA SMS

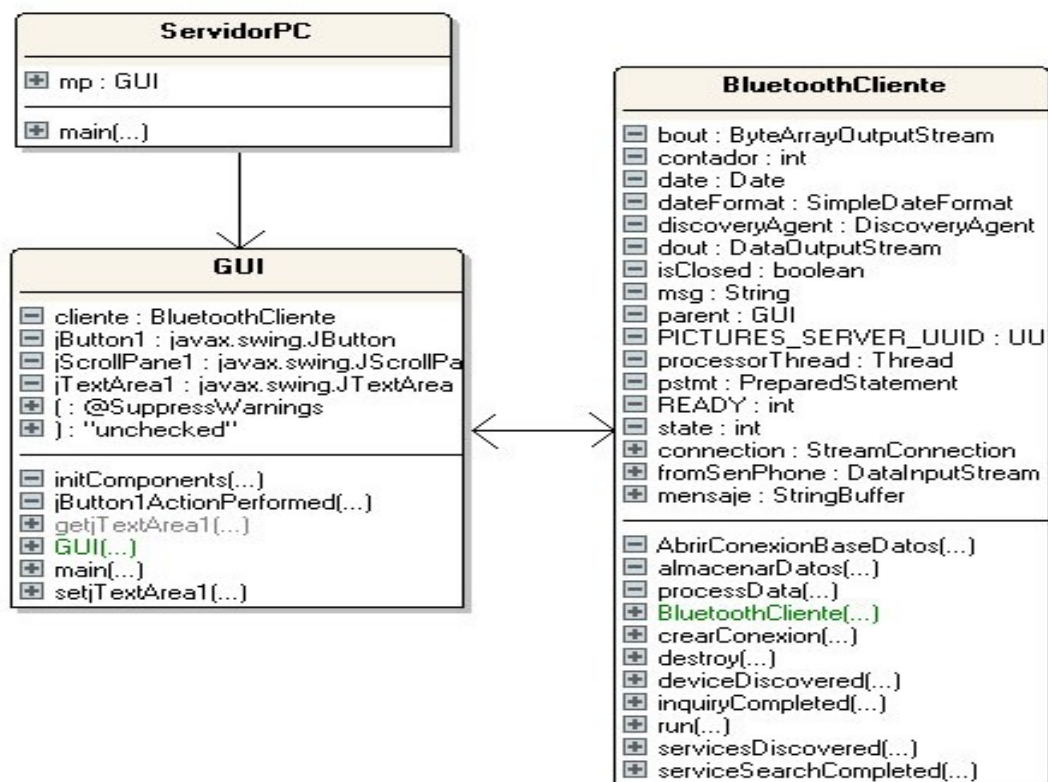


ANEXO A.4: DIAGRAMA DE CLASES DEL RECEPTOR HTTP

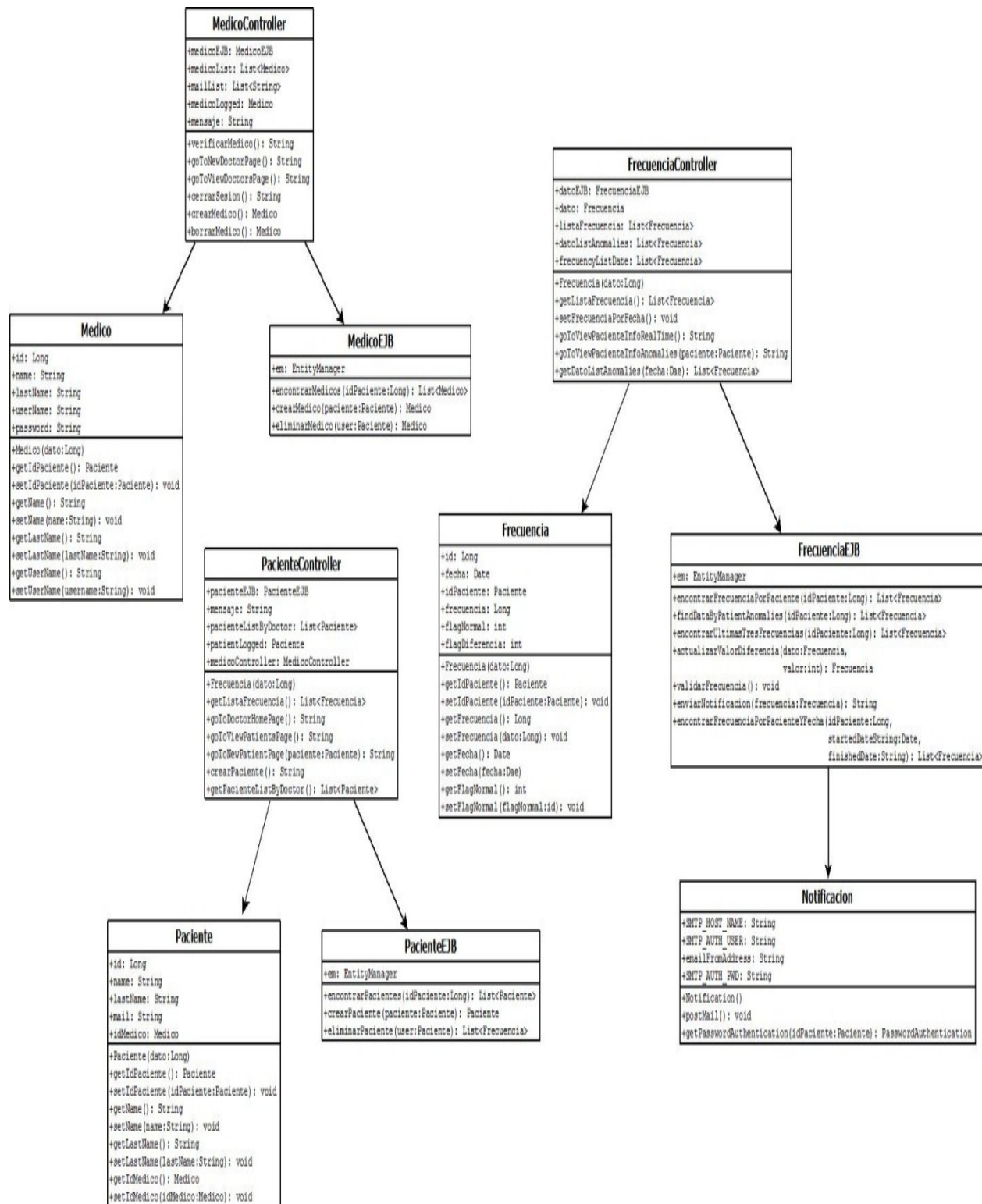


ANEXO A.5: DIAGRAMA DE CLASES DE RECEPTOR

BLUETOOTH



ANEXO A.6: DIAGRAMA DE CLASES DEL SITIO WEB



ANEXO B: MANUAL TÉCNICO

Este manual técnico tiene como objetivo describir las principales funciones de las clases con las que se implementó el sistema propuesto.

ANEXO B.1 SIMULADOR ECG

Esta aplicación consta de 4 clases, que son descritas a continuación.

B.1.1 Clase SimuladorECGMidlet

```
public class SimuladorECGMidlet extends MIDlet
```

```
implements CommandListener
```

Administra la parte gráfica de la aplicación, permitiendo ingresar, eliminar o actualizar información que se presenta al usuario. Además, gestiona los eventos que realiza el usuario al interactuar con la aplicación.

B.1.2 Clase ParametrosECG

```
public class ParametrosECG
```

Administrar los parámetros que se necesitan configurar para simular los voltajes de un ECG.

B.1.3 Clase CalcularECG

```
public class CalcularECG
```

Genera los voltajes de los pulsos eléctricos del corazón simulados.

B.1.4 Clase BluetoothServidor

```
public class BluetoothServidor implements Runnable
```

Esta clase administra la conexión Bluetooth como servidor y se encarga de enviar los datos al teléfono cliente.

ANEXO B.2 EQUIPO MÓVIL CONCENTRADOR

Esta aplicación consta de 3 clases, que son descritas a continuación.

B.2.1 Clase BluetoothCliente

```
public class BluetoothCliente
implements Runnable, DiscoveryListener
```

Administra la conexión Bluetooth como cliente, se encarga de recibir los datos por bluetooth.

Además se encarga de enviar la frecuencia por Internet o SMS.

B.2.2 Clase ConexionHTTP

```
class ConexionHTTP
```

Administra la conexión HTTP entre el Equipo Móvil Concentrador y el Receptor HTTP.

B.2.3 Clase TransmisorMidlet

```
public class TransmisorMidlet extends MIDlet implements
CommandListener
```

Administra la parte gráfica de la aplicación, permitiendo ingresar, eliminar o actualizar información que se presenta al usuario. Además, gestiona los eventos que realiza el usuario al interactuar con la aplicación.

ANEXO B.3 EQUIPO MÓVIL RECEPTOR PARA SMS

Esta aplicación consta de 2 clases, que son descritas a continuación.

B.3.1 Clase BluetoothServidor2

```
public class BlueoothServidor2
```

```
implements Runnable
```

Administra la conexión Bluetooth como servidor y se encarga de enviar los datos al Receptor Bluetooth.

B.3.2 Clase TransmisorMidlet2

```
public class TransmisorMidlet2
```

```
extends MIDlet
```

```
implements CommandListener, MessageListener
```

Administra la parte gráfica de la aplicación, permitiendo ingresar, eliminar o actualizar información que se presenta al usuario. Además, gestiona los eventos que realiza el usuario al interactuar con la aplicación. También se encarga de recibir los SMS enviados por el Equipo Móvil Concentrador.

ANEXO B.4 RECEPTOR BLUETOOTH

B.4.1 Clase BluetoothCliente2

```
public class BluetoothCliente2
```

```
implements Runnable, DiscoveryListener
```

Administra la conexión Bluetooth como cliente, se encarga de recibir los datos por Bluetooth. Además, administra la conexión con la base de datos permitiendo almacenar la frecuencia en la base de datos.

B.4.2 Clase GUI

```
public class GUI extends javax.swing.JFrame
```

Administra la parte gráfica de la aplicación, permitiendo ingresar, eliminar o actualizar información que se presenta al usuario. Además, gestiona los eventos que realiza el usuario al interactuar con la aplicación.

B.4.3 Clase ReceptorBluetooth

```
public class ReceptorBluetooth
```

Es la clase que contiene el método main que se encarga de inicializar a la Clase GUI.

ANEXO B.5 RECEPTOR HTTP

B.5.1 Clase ReceptorHTTP

```
public class ReceptorHTTP extends HttpServlet
```

Se encarga de recibir la frecuencia mediante las peticiones HTTP, además administra la conexión con la base de datos permitiendo almacenar la frecuencia en la base de datos.

ANEXO B.6 SITIO WEB

B.6.1 Clase Frecuencia

```
public class Frecuencia implements Serializable
```

Es la entidad persistente de la tabla Frecuencia de la base de datos.

B.6.2 Clase FrecuenciaController

```
public class FrecuenciaController
```

Se encarga de responder los eventos de los usuarios relacionados a la tabla Frecuencia, en esta clase se implementa la lógica del sitio web.

B.6.3 Clase FrecuenciaEJB

```
public class FrecuenciaEJB
```

Administra el acceso y actualización de la base de datos relacionada a la tabla Frecuencia.

B.6.4 Clase Paciente

```
public class Paciente implements Serializable
```

Es la entidad persistente de la tabla Paciente de la base de datos.

B.6.5 Clase PacienteController

```
public class PacienteController
```

Se encarga de responder los eventos de los usuarios relacionados a la tabla Paciente, en esta clase se implementa la lógica del sitio web.

B.6.6 Clase PacienteEJB

```
public class PacienteEJB
```

Administra el acceso y actualización de la base de datos relacionada a la tabla Paciente.

B.6.7 Clase Medico

```
public class Medico implements Serializable
```

Es la entidad persistente de la tabla Medico de la base de datos.

B.6.8 Clase MedicoController

```
public class MedicoController
```

Se encarga de responder los eventos de los usuarios relacionados a la tabla Medico, en esta clase se implementa la lógica del sitio web.

B.6.9 Clase MedicoEJB

```
public class MedicoEJB
```

Administra el acceso y actualización de la base de datos relacionada a la tabla Medico.

B.6.10 Clase Notificacion

```
public class Notificacion
```

Se encarga de configurar y enviar e-mails.

ANEXO C: MANUAL DE USUARIO

Este manual de usuario tratará cuatro temas de relevante interés para los usuarios: Funciones, Tipos de Usuarios y Roles, Estructura y Funcionamiento.

ANEXO C.1. FUNCIONES

El Sistema de Telemonitoreo Remoto tiene como objetivo principal posibilitar al personal médico las funcionalidades de un Hospital Virtual, en lo referente a control y monitoreo de la Frecuencia Cardíaca. Lo cual se realiza mediante la medición de los voltajes de los pulsos eléctricos del corazón detectados con un dispositivo cardíaco implantable bastante sencillo. Se calcula frecuencia cardíaca usando el mismo método que los médicos usan para obtener la Frecuencia Cardíaca mediante la gráfica de un Electrocardiograma y se envía a un Servidor Central que se encarga de almacenar y desplegar la información.

El despliegue de información se realiza mediante un Sitio Web que puede ser accedido desde cualquier lugar por el Médico Tratante. La información que se puede consultar es: historial de frecuencia cardíaca, historial de anomalías, frecuencias en tiempo real.

ANEXO C.2 TIPOS DE USUARIOS Y ROLES

Existen tres tipos de usuarios que son:

PACIENTE: persona con enfermedad crónica que requiere ser monitoreada y controlada constantemente mediante la medición de la Frecuencia Cardíaca. Se encuentra en un Lugar Remoto distinto al Hospital.

PERSONAL MÉDICO: Son los médicos tratantes o enfermeras encargados del monitoreo y control de los pacientes. Éstos se encargan de analizar los datos obtenidos en un Electrocardiograma, para verificar la Frecuencia Cardíaca. También, son encargados de crear y administrar sus pacientes, desde el Sitio Web. Se encuentra en el Hospital o en un lugar distinto al Lugar Remoto.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA: este usuario es el que crea y administra al personal médico, desde el Sitio Web.

ANEXO C.3 ESTRUCTURA

Este sistema se estructura en distintas aplicaciones y está dividido en cuatro bloques, de los cuales dos son prácticamente transparentes a los usuarios. El primer Bloque llamado Lugar Remoto, interactúa con el Paciente, en este caso como se simula la medición del voltaje, el usuario tiene 3 opciones para cambiar la Frecuencia Cardíaca a simular. Los botones permiten subir, disminuir o generar de forma aleatoria el dato a simular. También en esta misma pantalla el usuario puede ver el proceso de envío de la frecuencia, mediante una barra de progreso y mensajes de notificación de envío.

La siguiente vez que un Usuario puede visualizar una pantalla del sistema es cuando una estación intermedia recibe un SMS con los datos enviados desde el Lugar Remoto. En la pantalla se despliegan el estado de envío y recepción. También, hay dos pantallas diferentes al llegar al Servidor Central, donde se despliegan los datos recibidos en tiempo real.

Por último, los usuarios Personal Médico y Administrador visualizan pantallas de un Sitio Web para realizar múltiples acciones.

ANEXO C.4. FUNCIONAMIENTO

En esta sección se explica el funcionamiento del Sistema Prototipo de Telemonitoreo Remoto y Control de signos vitales, para uso del usuario. A continuación, se detallan las tareas a realizar de cada usuario, para utilizar este sistema:

ADMINISTRADOR:

- **Tarea 1:** Iniciar el Servidor Central.
- **Tarea 2:** Ingresar como administrador al Sitio web.
- **Tarea 3:** Crear cuentas del Personal Médico al sistema.
- **Tarea 4:** Entregar claves de acceso a personal médico.

MÉDICO:

- **Tarea 5:** Ingresar como médico al Sitio Web.
- **Tarea 6:** Crear pacientes en el sistema.
- **Tarea 7:** Verificar el Id de los pacientes registrados.
- **Tarea 8:** Entregar el Id respectivo a cada usuario.

PACIENTE:

- **Tarea 9:** Iniciar el teléfono SimuladorECG
- **Tarea 10:** Ingresar el id dado por el médico.
- **Tarea 11:** Iniciar el Equipo Móvil Concentrador