

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES



**“APLICACIÓN MÓVIL PARA EL MONITOREO DE LA FRECUENCIA CARDIACA
UTILIZANDO EL SISTEMA OPERATIVO ANDROID”**

TESIS QUE

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

PRESENTA

JORGE ALANÍZ SIDA

Ensenada, B. C.

Diciembre del 2011

CONSTANCIA DE APROBACION

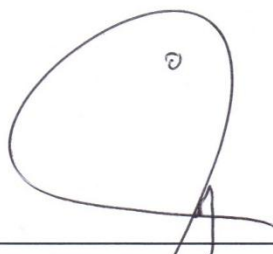
Director de la Tesis: _____



Dr. Arturo Serrano Santoyo

Aprobado por los integrantes del Sínodo:

1. _____



MAI. José Manuel Valencia Moreno

2. _____



Dra. Mabel Vázquez Briseño

Dedicatoria

A mis padres y hermana por todo el apoyo y cariño que siempre me brindaron durante esta etapa de formación profesional, su ejemplo de superación y perseverancia

AGRADECIMIENTOS

A dios por darme fe y tranquilidad en todo el camino.

A mi familia que me brindo compañía y apoyo siempre.

A Arely por todo su amor.

A mi director de tesis Dr. Arturo Serrano por su experiencia y guía para la realización de esta investigación.

A mis asesores Dra. Mabel Vázquez Briseño y el MAI. José Manuel Valencia por su apoyo y conocimientos.

A mis amigos Cristian C., Bereniz C., Javier V., Omar C, Luis Ch, Arturo L. y Omar P. por su confianza, amistad y paciencia.

A CONACYT por el subsidio que me otorgo para la realización de la Maestría en Tecnologías de la Información y Comunicación en la Universidad Autónoma de Baja California.

RESUMEN

En este trabajo se lleva a cabo el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles enfocada al monitoreo de pacientes con afecciones de patología cardíaca. La herramienta informática apoya al especialista médico y al paciente para un manejo y tratamiento de la enfermedad en forma remota. La aplicación se aloja en un dispositivo móvil de última generación con sistema operativo Android; tiene la finalidad de monitorear de forma inalámbrica la frecuencia cardíaca del paciente, así como generar alertas y bitácoras para el médico, lo cual permite conocer el estado del paciente de forma ubicua.

La aplicación móvil se desarrolla en base en el Sistema Operativo Android. El dispositivo móvil trabaja en conjunto con un sensor de frecuencia cardíaca con capacidades de interconexión usando la tecnología Bluetooth. Las pruebas de la aplicación desarrollada se llevaron a cabo en dos pacientes con patología cardíaca, ambos derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) clínica 8 en Ensenada, Baja California, México.

Palabras Clave: Aplicación móvil, frecuencia cardíaca, Android.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Área de oportunidad	2
1.3 Objetivo general	3
1.4 Objetivos específicos	3
1.5 Justificación	3
1.6 Alcance	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Diseño de Aplicaciones para Móviles	5
2.2 Sistema Operativo Android	5
2.3 Salud Móvil	8
2.4 Sistemas de Comunicación Inalámbrica	9
2.5 Monitor de Ritmo Cardíaco	10
2.6 Telemetría de Cuidados Críticos	10
2.7 Telemedicina	10
2.8 Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca	10
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	12
3.1 Metodología General	12
3.1.1. Delimitación del Problema	12
3.1.2. Revisión de Literatura	13
3.1.3. Análisis y Diseño	13
3.1.4. Desarrollo de la Aplicación	13
3.1.5. Consulta a Usuario Final	13
3.1.6. Pruebas	14
3.1.7. Evaluación	14
3.2 Metodología de Desarrollo de la Aplicación	14
3.2.1. Metodología Scrum	14
CAPÍTULO IV: ESTUDIO PRELIMINAR Y DISEÑO DE LA APLICACIÓN	17
4.1 Delimitación del Problema	17
4.1.1 Encuesta a Doctores	17
4.2 Selección del Dispositivo de Monitoreo de Frecuencia Cardíaca	23

4.3	Sensor Seleccionado	24
4.4	Análisis y Diseño de la Aplicación	25
4.4.1	Gráficas Ricas.....	26
4.4.2	Casos de uso	28
CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN		32
5.1	Ambiente de Desarrollo.....	32
5.2	Base de Datos	33
5.3	Arquitectura.....	34
5.4	Pantallas	36
5.5	Requerimientos del Sistema	43
CAPÍTULO VI: EXPERIMENTOS Y RESULTADOS.....		46
6.1	Metodología	46
6.1.1	Selección del Participante	46
6.1.2	Capacitación	46
6.1.3	Entrega de Equipo	47
6.1.4	Experimento.....	47
6.1.5	Recolección de Datos	49
6.1.6	Recepción de Equipo	49
6.1.7	Análisis de Resultados.....	49
6.2	Resultados	50
6.2.1	Resultados Participante Uno	50
6.2.2	Resultados Participante Dos	56
CAPÍTULO VII: ANALISIS DE RESULTADOS.....		67
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES		68
8.1	Conclusiones	68
8.2	Trabajo Futuro	69
CAPÍTULO IX: REFERENCIAS		70

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Mercado de los Smarthphones en Estados Unidos.	6
Figura 2. Arquitectura Sistema Operativo Android.	7
Figura 3. Metodología general	12
Figura 4. Metodología Scrum.....	15
Figura 5. Gráfica de Resultados Reactivo 1	18
Figura 6. Gráfica de Resultados Reactivo 2	18
Figura 7. Gráfica de Resultados Reactivo 3	19
Figura 8. Gráfica de Resultados Reactivo 4	19
Figura 9. Gráfica de Resultados Reactivo 5	20
Figura 10. Gráfica de Resultados Reactivo 7	21
Figura 11. Gráfica de Resultados Reactivo 10	22
Figura 12. Grafica rica del Escenario general.....	26
Figura 13. Grafica rica de la interacción usuario - aplicación	27
Figura 14. Casos de uso del usuario	28
Figura 15. Diagrama de flujo Caso de uso: Introducir información del paciente	29
Figura 16. Diagrama de flujo Caso de uso: Monitoreo de frecuencia cardiaca.	30
Figura 17. Diagrama de flujo Caso de uso: Enviar bitácora al médico especialista.....	31
Figura 18. Ambiente de desarrollo Eclipse	32
Figura 19. Dispositivo Móvil HTC Nexus One.....	33
Figura 20. Código "DatabaseHelper.Java"	33
Figura 21. "tablados" y "tablaconfig"	34
Figura 22. Código "AndroidManifest.xml"	35
Figura 23. Pantalla Principal	36
Figura 24. Bitácora.....	37
Figura 25. Agregar Nota.....	38
Figura 26. Selecciona Modo	38
Figura 27. Gráfica de Monitoreo	39
Figura 28. Llamada de Emergencia.....	39
Figura 29. Botón Menú en dispositivo móvil	40
Figura 30. Menu pantalla Principal.....	40
Figura 31. Seleccionar Dispositivo Bluetooth	41
Figura 32. Pantalla de Ajustes	41
Figura 33. Boton Salvar	42
Figura 34. Boton Borrar Datos	43
Figura 35. FCM en HTC Nexus One.....	44
Figura 36. FCM en HTC Magic	44
Figura 37. FCM en LG Optimus	45
Figura 38. FCM en Motorola Atrix	45
Figura 39. Metodología del Experimento	46
Figura 40. Diagrama de flujo del experimento	47
Figura 41. Posición del Sensor	48
Figura 42. Participante 1, Día 1, Monitoreo Matutino, Gáfica 1	51
Figura 43. Participante 1, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1	51
Figura 44. Participante 1, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....	52
Figura 45. Participante 1, Día 2, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1	52

<i>Figura 46. Participante 1, Día 3, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 47. Participante 1, Día 3, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>53</i>
<i>Figura 48. Participante 1, Día 4, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 49. Participante 1, Día 5, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>55</i>
<i>Figura 50. Participante 1, Día 6, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 51. Participante 1, Día 6, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>56</i>
<i>Figura 52. Participante 2, Día 1, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 53. Participante 2, Día 1, Monitoreo Matutino, Gráfica 2.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 54. Participante 2, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>58</i>
<i>Figura 55. Participante 2, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 2</i>	<i>58</i>
<i>Figura 56. Participante 2, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 3</i>	<i>59</i>
<i>Figura 57. Participante 2, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 58. Participante 2, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 2.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 59. Participante 2, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 3.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 60. Participante 2, Día 2, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>61</i>
<i>Figura 61. Participante 2, Día 2, Monitoreo Vespertino, Gráfica 2</i>	<i>61</i>
<i>Figura 62. Participante 2, Día 3, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 63. Participante 2, Día 3, Monitoreo Matutino, Gráfica 2.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 64. Participante 2, Día 3, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>63</i>
<i>Figura 65. Participante 2, Día 4, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 66. Participante 2, Día 4, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>64</i>
<i>Figura 67. Participante 2, Día 4, Monitoreo Vespertino, Gráfica 2</i>	<i>64</i>
<i>Figura 68. Participante 2, Día 4, Monitoreo Vespertino, Gráfica 3</i>	<i>65</i>
<i>Figura 69. Participante 2, Día 5, Monitoreo Matutino, Gráfica 1.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 70. Participante 2, Día 5, Monitoreo Matutino, Gráfica 2.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 71. Participante 2, Día 5, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1</i>	<i>66</i>

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La existencia de una gama de sensores avanzados que permiten la interconexión del cuerpo humano con dispositivos móviles inteligentes y que a su vez, estos mismos dispositivos se comuniquen con diferentes instancias para llevar a cabo un monitoreo a distancia por un especialista, revela un enorme potencial de aplicación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en el área de la salud.

Durante los últimos años la población del mundo ha crecido exponencialmente creando una demanda de servicios de salud eficiente y de bajo costo. En relación a padecimientos cardíacos en México, se ha reportado que durante el 2007, poco más de 87 millones de personas fallecieron a causa de alguna enfermedad del corazón (INEGI, 2007). Para Estados Unidos de América cerca del 35% de las mujeres que ha padecido de un ataque cardíaco tendrán un segundo ataque en el mismo año, para los hombres esto sucede para un 20% de ellos (Ford, 2009). El dato anterior resalta la necesidad de monitorear a pacientes para proveer de información en tiempo real a los médicos, ya que así puedan conocer el comportamiento de la frecuencia cardíaca del paciente fuera del consultorio u hospital. Al tener acceso a estos datos, se obtiene información que permite brindar al paciente un tratamiento personalizado y a la vez mejora la toma de decisiones.

La aplicación móvil de monitoreo de frecuencia cardíaca inalámbrica se implementó en pacientes propensos a fallas cardíacas, las cuales requerían estar en constante chequeo médico para observar la evolución de su padecimiento.

1.1 Antecedentes

Los seres humanos son criaturas sociales con una necesidad instintiva y un deseo de intercambiar información con algún otro miembro de la comunidad. Al compartir metas comunes y actividades se refuerzan las estructuras comunitarias, el esparcimiento de nuevas ideas y conocimiento ayuda a las comunidades a evolucionar y crecer. Durante la historia, las comunidades han empleado diversos tipos de tecnología para transmitir información. Ya sea si fue un grupo de historias, sonando un tambor o mandando señales de humo, las personas siempre han sabido sobrellevar el tiempo, la distancia y otros obstáculos para compartir ideas, pensamientos y experiencias (Leh, Kouba & Davis, 2005).

Podemos ver que la información es lo que hace girar a nuestro mundo, la sangre y el combustible, el principio vital. La información está en las ciencias de principio a fin, transformando cada parte del conocimiento. La teoría de la información comenzó como un puente de las matemáticas hacia la ingeniería eléctrica y de ahí a la computación. Lo que en América significaba ciencias computacionales, en Europa se le conocía como *informatique*, *informática* e *informatik*. Ahora inclusive la biología se ha convertido en una

ciencia de la información, una materia de mensajes, instrucciones y códigos. Los genes encapsulan información y procedimientos para leer y escribir en ellos. La evolución misma involucró un intercambio de información entre el organismo y el medio ambiente (Gleick, 2011).

Las comunicaciones móviles por su parte han tenido una penetración explosiva en la sociedad durante los últimos años. Con el surgimiento de nuevos dispositivos capaces de transmitir voz, datos e imágenes, la gama de posibles aplicaciones ha crecido sustancialmente. Estas aplicaciones pueden ir desde simples agendas, manejo de documentos de oficina o incluso aplicaciones dentro del área de la medicina.

Hoy en día el uso de nuevas tecnologías dentro del campo de la medicina ha incrementado, un ejemplo de ello es la eliminación de cables y transmisión de información a altas velocidades de forma inalámbrica con las tecnologías, como Bluetooth con lo cual se ha logrado que la gama de aplicaciones mediante dispositivos móviles en el campo de los servicios de salud sea muy amplio.

Por otro lado, existe en la actualidad una amplia gama de sensores con capacidad de monitorear signos vitales de las personas, entre ellos, uno de los que ha adquirido importancia es el sensor de monitoreo de frecuencia cardíaca, especialmente para deportistas, en donde el individuo ajusta el sensor alrededor de su pecho para mandar información de forma inalámbrica a un dispositivo localizado en la muñeca. Es en este contexto que el presente trabajo se desarrolla. Es decir, se aprovecha de las capacidades de sensores de última generación y del sistema operativo Android para teléfonos portátiles inteligentes.

1.2 Área de oportunidad

La existencia de una nueva generación de sensores avanzados que permiten la interconexión del cuerpo humano con dispositivos móviles inteligentes y que a su vez, se comuniquen con otros dispositivos para llevar a cabo un monitoreo a distancia por un especialista, revela un enorme potencial para las TIC's en el área de la medicina. Es aquí donde la tecnología móvil juega un papel importante para reducir las distancias entre los pacientes y los servicios médicos. En los últimos años se han desarrollado soluciones que incorporan en un único dispositivo compacto la capacidad de comunicación inalámbrica directa con el centro de monitoreo.

Se han desarrollado aplicaciones de diagnósticos móviles donde los especialistas pueden revisar las tomografías, resonancias magnéticas y radiografías de los pacientes desde su dispositivo móvil; dispositivos detectores de estrés en donde el paciente es monitoreado a distancia; básculas conectadas a la red para el monitoreo de peso e índice de masa corporal a distancia; sensores inalámbricos implantados en las arterias pulmonares para

medir la presión de los fluidos. Estas son algunas de las nuevas aplicaciones en donde las TIC's y la medicina convergen (Abraham, 2011).

En un escenario tradicional de prestación de servicios médicos, cuando un paciente se le presenta algún padecimiento, este acude a la clínica y se le realizan los exámenes correspondientes, una vez obtenidos los resultados se le asigna algún tratamiento acorde a su padecimiento. Cuando un paciente es dado de alta y no se lleva a cabo un monitoreo de su padecimiento se tienen limitaciones para proveer un tratamiento oportuno, personalizado y en tiempo real.

En específico, la aplicación de este trabajo se enfoca al monitoreo de la frecuencia cardíaca del paciente para generar historiales de comportamiento cardíaco y alertas en caso de que la salud del paciente se vea comprometida para así brindar una ayuda rápida y un tratamiento personalizado.

1.3 Objetivo general

Diseñar e implementar una aplicación móvil para el monitoreo de la condición de la frecuencia cardíaca.

1.4 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros a monitorear por la aplicación móvil.
- Diseñar aplicación móvil para el monitoreo de la condición de la frecuencia cardíaca.
- Implementar la aplicación móvil en conjunto con el sensor de monitoreo de frecuencia cardíaca mediante el uso del sistema operativo Android.
- Realizar pruebas de la aplicación móvil.

1.5 Justificación

Las instituciones de salud alrededor del mundo están aprovechando de las tecnologías inalámbricas como una alternativa de comunicación con sus derechohabientes. Así mismo, los estudiantes, maestros y administradores de las facultades acceden a redes inalámbricas que proveen la oportunidad de acceder a aplicaciones educativas cada vez más amigables y fáciles de desplegar en un dispositivo portátil (Drew & Wilfred, 2003).

Dentro del área de la salud, la telemedicina provee una alternativa hacia el cuidado preventivo y crónico. En el mundo industrializado, la telemedicina continuará moviendo la prestación de servicios de salud del hospital o clínica hacia el hogar (Heinzelmann, Lugn & Kvedar, 2005).

La creciente demanda de rápido acceso a servicios médicos locales, el uso de internet y tecnologías móviles aunado al déficit de cobertura y calidad de servicios en los sistemas de salud actuales, crean un escenario de oportunidad para aprovechar el potencial de las tecnologías de la información en el sector salud.

Otro de los factores de oportunidad es que la población tiende a envejecer y los costos tienden a elevarse. Por ejemplo, solamente en México en el 2010 había 9.4 millones de adultos mayores a los 59 años (INEGI, 2010). Al tener esto en cuenta, es necesario crear soluciones prácticas y de bajo costo para ayudar en el cuidado de la salud desde casa. En estas condiciones es importante poder llevar un cuidado y una atención personalizada de pacientes con posibles fallas cardíacas el monitoreo de su condición fuera del consultorio del doctor o del hospital.

Así entonces, cuando se cuenta con información de calidad sobre un paciente, se ayuda a prevenir posibles padecimientos y puede mantenerse fuera del hospital logrando con esto reducción de costos (Raible, 2009).

1.6 Alcance

En este trabajo se utilizará un sensor Zephyr HxM BT capaz de enviar la frecuencia cardíaca del paciente al dispositivo móvil seleccionado haciendo uso de la tecnología Bluetooth. Dicho sensor trabaja sobre la red de área corporal (BAN, por sus siglas en inglés) del paciente para la captura de los datos. Estos datos son recibidos por un dispositivo móvil con Sistema Operativo Android 2.0 o alguna versión más nueva. Esta limitante se debe a que el kit de desarrollo de software de Android solo permite el desarrollo de aplicaciones con Bluetooth bajo la versión 2.0 o mayor.

La herramienta desarrollada en este trabajo será capaz de llevar a cabo el monitoreo de la frecuencia cardíaca de un paciente, la bitácora de su comportamiento así como también la generación de alertas en caso de ser necesario. El paciente podrá enviar la bitácora al personal especializado para que este pueda llevar a cabo un análisis de la información. La información se enviará por medio de correo electrónico y contendrá información general sobre el paciente, los datos registrados por el sensor y una liga hacia una gráfica generada a partir de los datos recolectados. La herramienta móvil se implementará en individuos de diferente edad y género para observar que la información obtenida permita a especialistas dar un seguimiento y un mejor tratamiento a pacientes con potenciales problemas cardíacos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Diseño de Aplicaciones para Móviles

Cuando se habla de diseñar aplicaciones para móviles se deben de plantear algunas preguntas de inicio, tales como, ¿Quiénes van a ser los usuarios?, ¿Qué es lo que se requiere que la aplicación va a realizar?, ¿La aplicación realmente ayudara al usuario? Al tener esto en cuenta se pueden empezar a plantear los casos de uso de la aplicación. Una de las ventajas principales de diseñar aplicaciones para dispositivos móviles es que, estos son portables y siempre estarán junto con el usuario, pero no por eso se tiene que obligar al usuario a estar en constante uso con la aplicación, sino que esta debe de realizar su tarea y ser lo más transparente posible para el usuario (Hintermeister, 2010). En la actualidad los dispositivos móviles contienen diversas capacidades tecnológicas como: cámara portátil, pantalla táctil y reproducción de video, entre otras. Sin embargo una de sus principales capacidades se encuentra en la capacidad de conexión inalámbrica. Cuando se encuentra en el diseño temprano de la aplicación móvil, se debe de determinar cuál es la tecnología del dispositivo a la cual se le puede sacar mejor provecho para el desempeño de aplicación a realizar.

Con las tecnologías de redes inalámbricas como WiFi, GSM, 3G, Bluetooth e IrDa junto con el desarrollo de dispositivos móviles con mayores capacidades, los usuarios ya no están obligados a realizar sus labores desde un lugar fijo.

2.2 Sistema Operativo Android

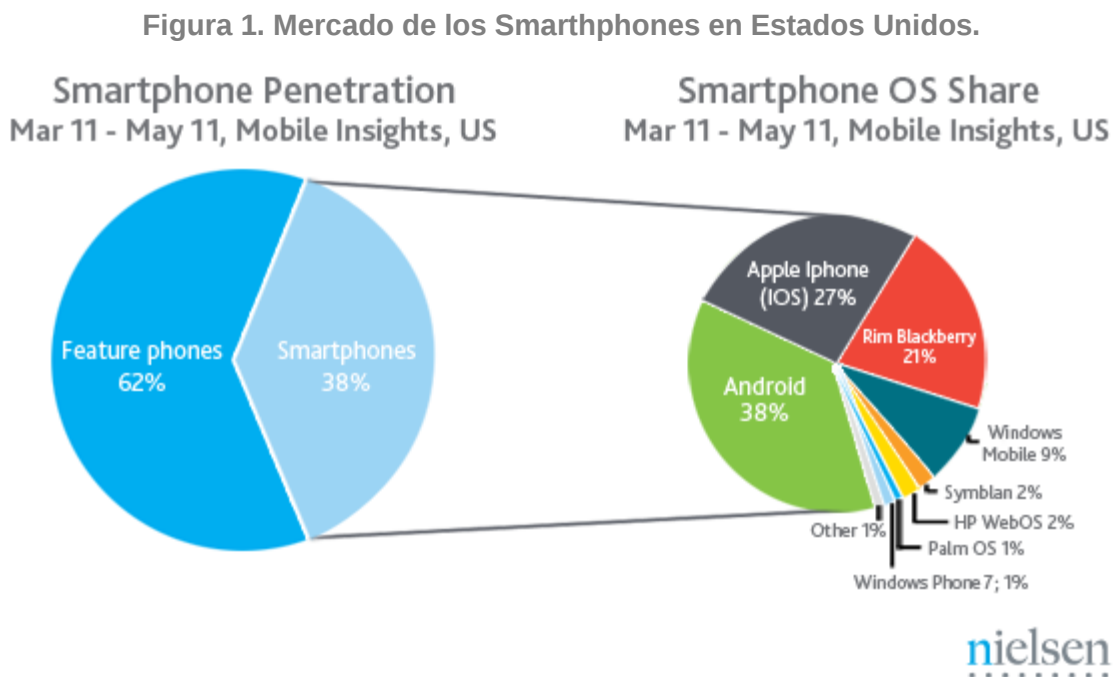
En el 2005 Google adquirió una pequeña empresa llamada Android, Inc. que tenía en su desarrollo un sistema operativo para dispositivos móviles basado en Linux. En el 2007 Google junto con otras compañías como: HTC, Motorola, Intel, Qualcomm, Sprint Nextel, T-Mobile y Nvidia formaron la alianza denominada “*Open Handset Alliance*” con la meta de desarrollar estándares abiertos para dispositivos móviles y como resultado surgió Android.

Durante los primeros 2 años de existencia, Android paso por tiempos difíciles, el primer dispositivo que adoptó el sistema operativo fue el HTC G1 para T-Mobile en el 2008 pero fue sobrellevado por teléfonos de más alto perfil como el iPhone de Apple y el Blackberry Storm.

En el 2009 Motorola Droid es liberado con el sistema operativo Droid y vendió más de 1 millón de unidades convirtiéndose en uno de los estandartes de Android.

Se esperaba que para finales del 2010 los dispositivos con Android superaran a los dispositivos con Blackberry OS y el iPhone OS, dejando solamente a el sistema Symbian de Nokia en el camino para poder convertirse en el Sistema Operativo de más uso en el mundo (Reed, 2010).

En la Figura 1 se puede apreciar como en un estudio llevado a cabo por la compañía de información y medios a nivel global Nielsen en el 2011, el sistema operativo Android lleva la delantera en cuanto a Smartphones vendidos con dicho sistema operativo:



Fuente: Nielsen, 2011.

En cuanto a su arquitectura, Android es considerado como una pila de software para dispositivos móviles que incluye un sistema operativo, un middleware y aplicaciones. Esta plataforma de software proporciona una base para las aplicaciones como una verdadera plataforma de trabajo (Speckmann, 2008). La arquitectura de Android se encuentra dividida en 5 capas:

- Capa de aplicación (Applications).
- Capa de marco de la aplicación (Application Framework).
- Capa de librerías (Libraries).
- Capa de ejecución (Android Runtime).
- Capa del Kernel (Linux Kernel).

La Figura 2 a continuación muestra los componentes de la arquitectura del sistema operativo Android:

Figura 2. Arquitectura Sistema Operativo Android.



Fuente: Google, 2011.

El sistema operativo Android se considera atractivo por diversas características, entre ellas se encuentran: (Malave & Beauperthuy, 2011)

- Android se presenta como una plataforma totalmente libre, basada en Linux, permitiéndole desarrollar aplicaciones y/o modificar las ya existentes con lenguaje Java.
- Es una plataforma multi-tareas permitiendo manejar distintas aplicaciones corriendo al mismo tiempo
- Compatible con una gran variedad de hardware en el mercado (tabletas y dispositivos celulares de marcas como: Motorola, Samsung, HTC, Ericsson, entre

otras) permitiéndole al usuario elegir el dispositivo que mejor se ajuste a sus necesidades.

- Cuenta con el portal “Android Market” en donde se tiene acceso a las aplicaciones que pueden ser instaladas.
- Permite la realización de actualizaciones del sistema operativo en línea, siempre y cuando el dispositivo soporte los requerimientos del mismo.
- Entre las soluciones tecnológicas que puede utilizar el sistema operativo son referentes al uso de redes sociales, mensajería instantánea, correo electrónico, creación y modificación de procesadores de palabras, hojas de cálculo, presentaciones, formatos “pdf”, entre otros.
- Existe mucha documentación del sistema a través de internet o en libros.
- Cuenta con el soporte tecnológico de Google.

2.3 Salud Móvil

Una de las áreas que se ha desarrollado con rapidez en donde convergen la medicina y las tecnologías de la información y comunicación lleva como nombre “Salud Móvil” o “M-Health”, y se le conoce así a la convergencia entre el cómputo móvil y las tecnologías de la comunicación en los cuidados y servicios públicos de salud. Las aplicaciones de Salud Móvil utilizan dispositivos electrónicos móviles como asistentes digitales personales (PDA) y teléfonos móviles para funciones que van desde soporte en decisiones clínicas y recolección de datos para profesionales de la salud, hasta soporte en los cambios del comportamiento en la salud y manejo de enfermedades crónicas (Free, 2010).

Entre las aplicaciones de Salud Móvil documentadas se encuentran: mensajes de texto para el soporte en el manejo la diabetes, hipertensión, asma, desordenes de alimentación y tratamientos contra el sida; uso de mensajes de texto entre móviles y PDA's para ayudar a dejar el cigarro, pérdida de peso, reducción de ingesta de alcohol y prevención de enfermedades de transmisión sexual; uso de móviles y PDA's para recolección de datos para la investigación en la salud y aprendizaje clínico (Free, 2010).

La tecnología móvil cuenta con ventajas importantes para aplicaciones relacionadas con los servicios de la salud. Una de ellas es que los móviles tienen la capacidad de comunicación celular inalámbrica, lo que le brinda interacción continua desde cualquier lugar vía llamadas telefónicas, mensajes de texto, mensajes multimedia y accesos a internet. Otra de las ventajas de estos dispositivos es que son portables, ligeros, recargables y muchos de ellos cuentan con suficiente poder de cómputo para soportar las aplicaciones multimedia relacionadas con la Salud Móvil (Free, 2010).

2.4 Sistemas de Comunicación Inalámbrica

Hoy en día si no tuviéramos las transmisiones inalámbricas no habría medios de comunicación masiva, radios, televisión o comunicación instantánea vía satélite. El mundo se ha convertido en una villa global, en gran parte gracias a la tecnología inalámbrica; incluso en muchos países de pobreza extrema, es más fácil comunicarse utilizando un teléfono celular que utilizar una línea tradicional (teléfono fijo), esto por el inmenso costo que involucra el tendido de cables en distancias grandes.

Todas las transmisiones inalámbricas son capaces de superponer información en ondas invisibles. Estas ondas forman parte del espectro electromagnético en donde se contienen la luz visible, rayos-x, luz ultravioleta, microondas entre otros tipos de onda. La porción del espectro electromagnético que puede ser usado para transmitir información se le llama radio frecuencia (RF). La RF es usada para transmitir todo tipo de información, no solo emisiones de radio. La información superpuesta en las ondas de RF puede ser de cualquier tipo, ya sea voz, señal de televisión o datos informáticos.

La información es superpuesta en las ondas utilizando un dispositivo llamado modulador y después transmitida por aire. Esta información puede ser enviada a algún dispositivo a un pie de distancia o transmitida a cientos de personas a miles de millas de distancia. El proceso en donde la información es extraída de la onda se le llama demodulación (Gralla, 2001).

El sistema de comunicación inalámbrico utilizado para este trabajo es llamado Bluetooth, el cual es un método de transmisión de información que usa señales cortas de radio para remplazar cables entre las computadoras y sus unidades conectadas. Sus aplicaciones van desde grabar, imprimir, monitorear etc., además de que es capaz de controlar 8 variables a la vez. Una de las limitantes de esta tecnología es la distancia con la que es capaz de mantener una conexión que es de 10 metros; dentro de esta distancia es capaz de transmitir a velocidades de 780 Kb/s (Gupta, Desai, Gaikawad, Pawar & Gangal, 2008).

Las redes utilizadas en este trabajo son la Red de Área de Cuerpo (Body Area Network, BAN) y la Red de Área Personal (Personal Area Network, PAN).

Red de Área de Cuerpo (Body Area Network, BAN): Estas redes se componen por sensores de parámetros en el cuerpo con tecnología Bluetooth que pueden comunicarse con el dispositivo móvil (Chan, Ray & Parameswaran, 2008).

Red de Área Personal (Personal Area Network, PAN): Dentro de la PAN se encuentran los dispositivos móviles con capacidades para transmitir información de la BAN a las Redes de Área Amplia (Wide Area Network, WAN) como el internet (Chan et al., 2008).

2.5 Monitor de Ritmo Cardíaco

La introducción de la tecnología para monitorear el ritmo cardíaco de una persona ha provisto a los deportistas y a los profesionales de herramientas para aplicar la intensidad cardíaca dependiendo del ejercicio o de la prescripción. Durante los últimos 15 años se han desarrollado numerosos tipos de monitores de ritmo cardíaco, muchos de estos traen consigo beneficios adicionales, ya sea tecnología inalámbrica hasta aplicaciones que ayudan a mantener registro de la actividad cardíaca (Terbizan, Dolezal & Albano, 2002).

2.6 Telemetría de Cuidados Críticos

La telemetría de cuidados críticos se encarga de monitorear constantemente a los pacientes de cuidados intensivos en un hospital y al mismo tiempo desplegar toda la información de telemetría al doctor encargado en donde se encuentre y a cualquier hora. Así, el doctor responsable puede estar informado sobre la condición del paciente las 24 hrs y así proveer de una consulta aun cuando no se esté físicamente presente. Todo esto es posible gracias a la Telemedicina (Barro et al., 1999).

2.7 Telemedicina

La telemedicina se define como la transmisión de conocimiento relacionado con atención médica usando medios de telecomunicación. Por lo tanto el propósito de la telemedicina es proveer de atención médica de expertos a pacientes a distancia y poder proporcionar cuidado avanzado en caso de emergencia a través de telecomunicaciones modernas y tecnologías de la información. El concepto de telemedicina fue introducido hace alrededor de 30 años usando tecnologías comunes en la actualidad como el celular. Hoy en día los sistemas de telemedicina se encuentran rodeados de tecnología de punta como video interactivo, monitores de alta resolución, redes de alta velocidad, sistemas de conmutación, telecomunicaciones satelitales y teléfonos celulares (Lin, 1999).

2.8 Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es el resultado de las interacciones entre el sistema nervioso autónomo y el aparato cardiovascular. Estas interacciones funcionan como un circuito de control retroalimentado. El sistema nervioso central recibe diversos estímulos y utiliza al sistema nervioso autónomo para dar una respuesta. Esta respuesta altera la frecuencia cardíaca y otros parámetros cardiovasculares. Los barorreceptores

retroalimentan al sistema nervioso central sobre el efecto en la presión arterial y con ello se inicia una nueva respuesta. Puesto que la frecuencia cardiaca es alterada constantemente, el análisis de la VFC permite que se pueda estudiar la actividad del sistema nervioso autónomo de manera no invasiva (Lerma, Infante & José, 2000).

Actualmente en México y en el mundo las enfermedades cardiacas se encuentran entre las causas principales de mortalidad, por esa razón existe un interés evidente en el desarrollo de modelos que tiendan a mejorar las técnicas de análisis, de la diagnosis y de la prognosis de riesgo de muerte súbita cardiaca (Arriola & Reyna, 2009).

La VFC describe variaciones entre los latidos consecutivos del corazón y varios estudios han demostrado que su disminución, por ejemplo, es un buen indicador como técnica medica no invasiva en la predicción del riesgo de la morbilidad y mortalidad por consecuencia de algunas enfermedades cardiovasculares (Arriola & Reyna, 2009).

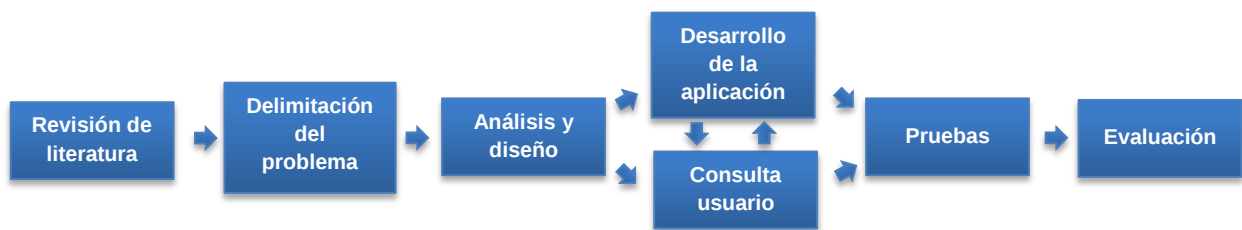
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo se encuentra dividida en dos partes, la metodología general para el desarrollo del presente trabajo y la metodología el desarrollo de la aplicación.

3.1 Metodología General

La metodología utilizada en este trabajo se muestra en el siguiente diagrama de flujo (Figura 3):

Figura 3. Metodología general



Fuente: Elaboración propia

A continuación se describen las etapas de la metodología utilizada mostrados en el diagrama de flujo.

3.1.1. Revisión de Literatura

Es aquí donde se revisa el estado del arte para saber qué es lo que se ha hecho con anterioridad y las tendencias respecto al tema de estudio, descubrir las variables importantes y establecer un contexto de la investigación. Es importante mencionar que esta etapa de la metodología se presenta a lo largo de todas las etapas de la metodología.

3.1.2. Delimitación del Problema

En esta etapa de la metodología se realiza una comprensión inicial del problema presentado, se identifican todos aquellos aspectos importantes en la investigación y se aíslan los que pudieran interferir con la misma. Es aquí es donde se definen los objetivos, los tiempos, alcance y sujetos de estudio para obtener así una visión preliminar de cómo será el producto final de la investigación.

3.1.3. Análisis y Diseño

En esta etapa se definen los escenarios y casos de uso de la aplicación; se definen las funciones principales que se espera realice el software y se muestra un diagrama de flujo de cuál será el comportamiento del sistema.

Esta fase de la metodología es esencial para poder llevar una etapa de desarrollo de la aplicación exitosa que cumpla con los requerimientos planteados en este trabajo.

3.1.4. Desarrollo de la Aplicación

En base al análisis y diseño de la aplicación se lleva a cabo la programación de la herramienta planteada en este trabajo. En esta etapa se desarrollan las funciones y las interfaces gráficas necesarias para cumplir con los requerimientos de la herramienta.

3.1.5. Consulta a Usuario Final

Esta etapa de la metodología dentro de este trabajo va siempre a la par con el desarrollo de la herramienta; lo que se busca es que en cada iteración del desarrollo de la aplicación móvil se le muestre al usuario final para que se dé una retroalimentación sobre aspectos positivos y negativos de la herramienta, todo esto con la finalidad de que el producto resultante sea una aplicación que cumpla con los requerimientos establecidos en este trabajo, que la interfaz de usuario sea amigable y la interacción con el usuario sea lo más transparente posible. Al lograr esto, el usuario final vera la aplicación como una verdadera herramienta para mejorar su calidad de vida y no como una aplicación más para su dispositivo móvil.

3.1.6. Pruebas

En esta fase se realiza la verificación de que lo que se planteó como requerimientos y funcionalidades de la aplicación sean realmente los presentados en el producto final. En caso de que no se cumplan, se volverá a realizar otra iteración en la etapa de desarrollo.

3.1.7. Evaluación

Una vez realizadas las pruebas necesarias se pasara a una etapa de evaluación donde un especialista y un usuario final darán sus opiniones en forma de retroalimentación respecto a la herramienta para saber si realmente cumplió con sus expectativas.

3.2 Metodología de Desarrollo de la Aplicación

Se utilizó la “Metodología Ágil” para el desarrollo de la aplicación. Este tipo de metodologías de desarrollo de software cuentan con características especiales que ayudaron con la realización de este proyecto; las metodologías ágiles son incrementales (es posible liberar pequeñas versiones del software utilizando ciclos rápidos), cooperativas (el usuario final está siempre trabajando con el desarrollador), fáciles (la metodología es sencilla, fácil de aprender y se encuentran bien documentadas) así como adaptables (son capaces de realizar cambios de último momento) (Abrahamsson, Salo, Ronkainen & Warsta, 2002).

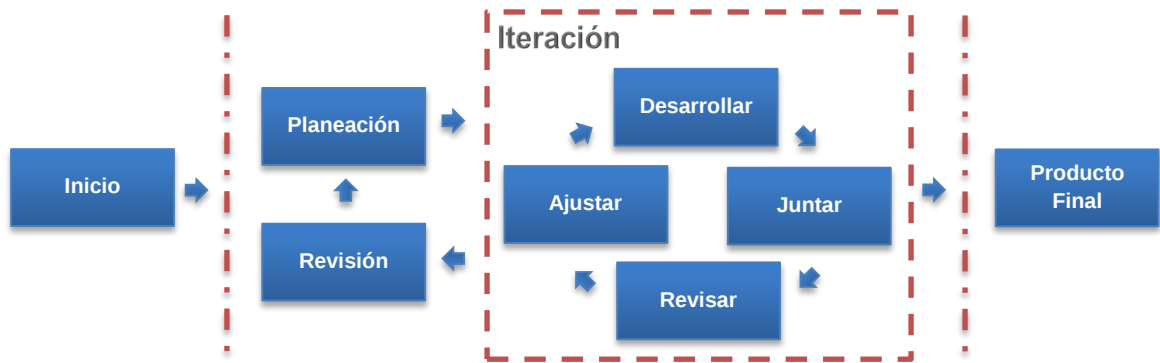
La metodología Ágil utilizada para el desarrollo de esta aplicación fue la Metodología Scrum ya que sus iteraciones ayudaron a que la aplicación fuera desarrollada de una forma adecuada.

3.2.1. Metodología Scrum

La metodología de desarrollo Scrum (Figura 4), se basa en el manejo de iteraciones. Antes de cada iteración, el equipo de desarrollo planea la corrida, identificando y documentando los requerimientos y asignando a cada equipo sus responsabilidades. Estos equipos desarrollan, revisan y ajustan cada uno de sus deberes (Serena, 2007).

A continuación se muestra un diagrama de cómo funciona la metodología Scrum:

Figura 4. Metodología Scrum



Fuente: Serena, 2007.

A continuación se describen cada uno de los pasos de la metodología Scrum.

3.2.1.1 Inicio

Es en donde se lleva el diseño de alto nivel de la aplicación y se definen los requerimientos iniciales y que es lo que se espera obtener de producto final.

3.2.1.2 Planeación

Es aquí donde se lleva a cabo la planeación de las iteraciones, se definen los equipos de trabajo y las responsabilidades de cada uno. Se definen los objetivos a alcanzar al final de la iteración.

Desarrollar: En esta fase de la metodología se desarrolla en la aplicación los puntos seleccionados para la iteración en curso.

Juntar: Esta fase se refiere a preparar los puntos desarrollados para la presentación en la revisión de la iteración en curso.

Revisar: Se lleva a cabo una revisión de los objetivos establecidos al inicio de la iteración con los puntos desarrollados.

Ajustar: Basándose en la revisión anterior, se hacen los ajustes necesarios para cumplir por completo con los objetivos establecidos para la iteración.

3.2.1.3 Revisión

Se lleva a cabo una revisión completa de la iteración. Para el caso de este trabajo, en este punto se llevó a cabo revisión con el usuario final al final de cada iteración para asegurarse de que el producto final fuera lo que realmente se requería.

3.2.1.4 Producto Final

Después de realizarse todas las iteraciones necesarias, se obtiene un producto que cumple con los requerimientos iniciales y que se encuentra muy cercano a lo que realmente el usuario final necesita.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO PRELIMINAR Y DISEÑO DE LA APLICACIÓN

En este capítulo se describen a detalle la delimitación del problema, la selección del dispositivo de monitoreo así como el diseño de la aplicación, mostrando gráficas ricas y casos de uso. La aplicación “Frecuencia Cardíaca Móvil” de ahora en adelante se referirá como “FCM”.

4.1 Delimitación del Problema

Para poder llevar un desarrollo exitoso es crucial el definir qué es lo que se pretende realizar, delimitando lo más posible para que así, el producto final sea algo que realmente ayude al usuario final a mejorar la calidad de su tratamiento con el especialista.

4.1.1 Encuesta a Doctores

Con el propósito de recopilar información sobre el uso de dispositivos móviles y manejo de información de pacientes con problemas cardíacos se aplicó una encuesta a 13 doctores. La encuesta aplicada se encuentra en el Anexo 1. A continuación se muestra el perfil de los encuestados:

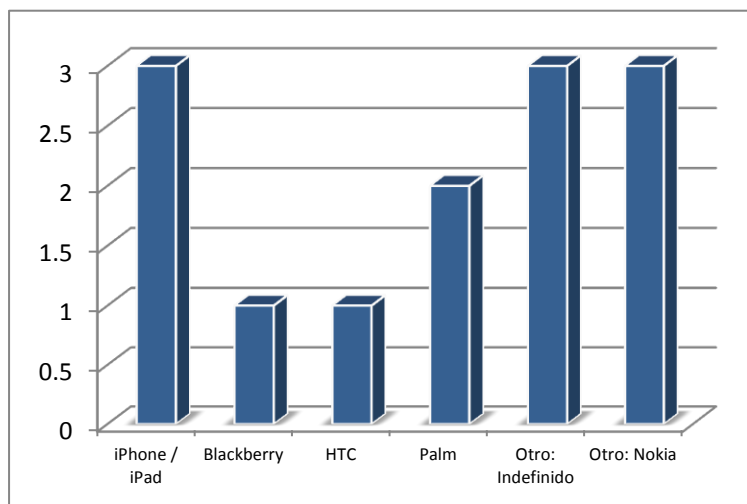
- Edad: Entre 31 y 53 años
- Años Ejerciendo: Entre 4 y 30 años
- Lugar de Trabajo: ISESALUD, IMSS, ISSTE, ISSSTECALI, Hospital General y Clínicas Privadas
- Fecha de la encuesta: del 7 de Noviembre del 2010 al 18 de Noviembre del 2010
- Lugar: Ensenada Baja California México
- Numero de Reactivos: 10

A continuación se muestran los resultados de la encuesta aplicada:

Reactivo 1: ¿Qué dispositivo móvil utiliza?

Figura 5. Gráfica de Resultados Reactivo 1

Resultados	
iPhone / iPad	3
Blackberry	1
HTC	1
Palm	2
Otro:	3
Indefinido	
Otro: Nokia	3
Total:	13

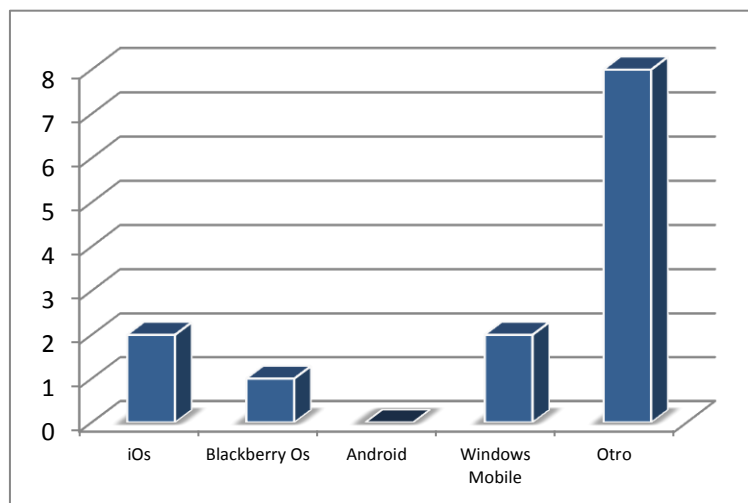


Fuente Elaboración propia.

Reactivo 2: ¿Con que Sistema Operativo cuenta su móvil?

Figura 6. Gráfica de Resultados Reactivo 2

Resultados	
iOS	2
Blackberry Os	1
Android	0
Windows Mobile	2
Otro	8
Total:	13

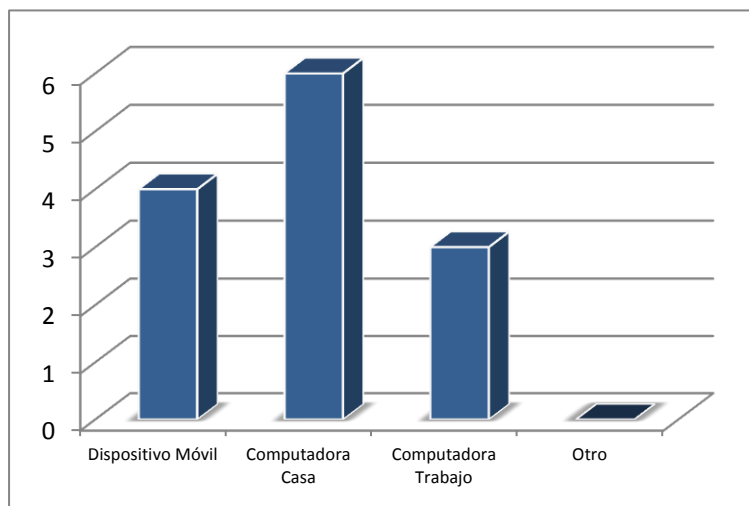


Fuente Elaboración propia.

Reactivo 3: ¿Dónde revisa su correo principalmente?

Figura 7. Gráfica de Resultados Reactivo 3

Resultados	
Dispositivo Móvil	4
Computadora Casa	6
Computadora Trabajo	3
Otro	0
Total:	13

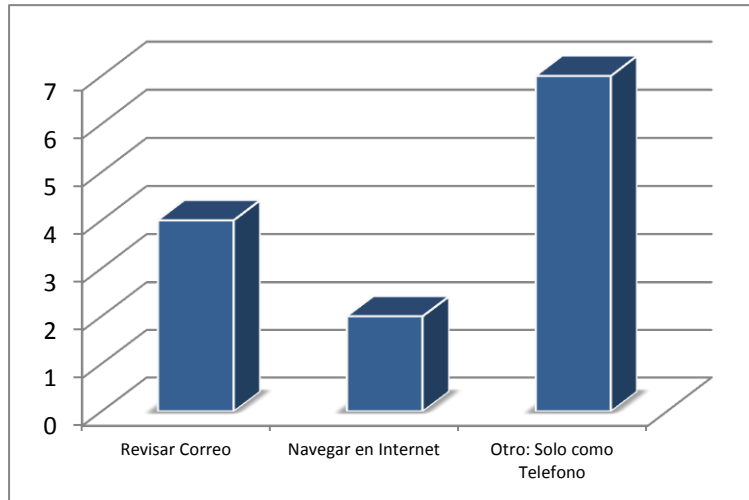


Fuente Elaboración propia.

Reactivo 4: Además de realizar llamadas y mandar mensajes ¿Qué actividades realiza desde su Celular?

Figura 8. Gráfica de Resultados Reactivo 4

Resultados	
Revisar Correo	4
Navegar en Internet	2
Otro: Solo como Teléfono	7
Total:	13

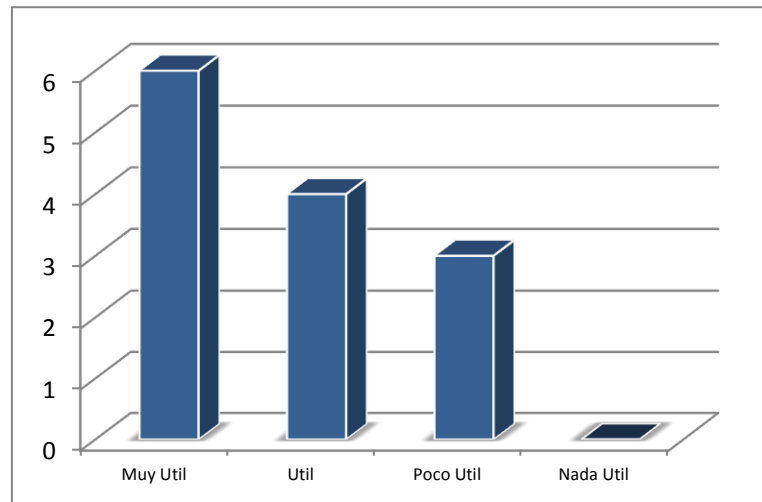


Fuente Elaboración propia.

Reactivo 5: ¿Qué tan útil es el poder monitorear a sus pacientes las 24 horas desde su casa u oficina?

Figura 9. Gráfica de Resultados Reactivo 5

Resultados	
Muy Útil	6
Útil	4
Poco Útil	3
Nada Útil	0
Total:	13



Fuente Elaboración propia.

Reactivo 6: Respecto a un paciente con patología cardíaca ¿Qué información además de los signos vitales, serían importantes para monitorearlo a distancia?

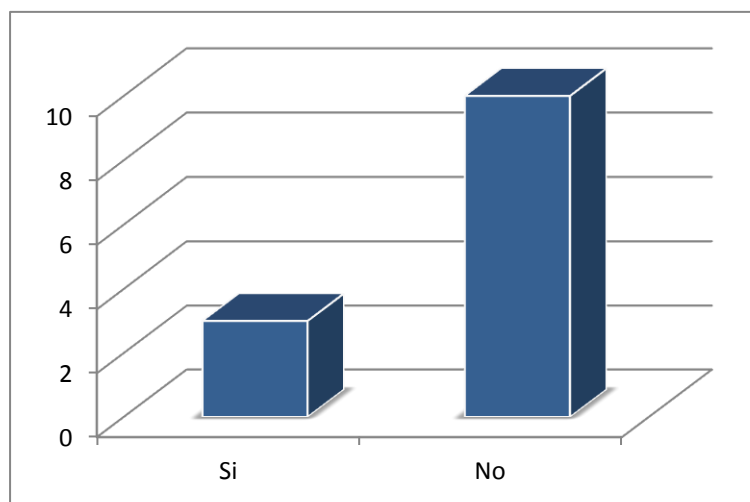
Resultados

1.-	Dolor, fatiga
2.-	CPR, DHL
3.-	Respuesta al tratamiento, Información sobre nuevos tratamientos que tenga que utilizar (Interacciones)
4.-	Saturación O2, Flujo urinario, Píe Ir
5.-	Disnea, Edema, Mareos, Problemas visuales, Dolor abdominal
6.-	Tratamiento (Seguimiento)
7.-	Estado Alerta
8.-	El trazo cardíaco
9.-	Presión Arterial, Trazo electro cardíográfico,
10.-	Saturación de Oxígeno, Ritmo Cardíaco
11.-	Trazo EKG
12.-	Sintomatología
13.-	El registro o monitoreo de la función cardíaca en 24-48 o más y los cambios que se presentan en ella

Reactivo 7: ¿Ha trabajado con algún sistema de monitoreo de ritmo cardiaco 24 horas?

Figura 10. Gráfica de Resultados Reactivo 7

Resultados	
Si	3
No	10
Total:	13



Fuente Elaboración propia.

Reactivo 8: ¿Cuál?

Resultados	
1.-	Holter 24 horas.
2.-	
3.-	
4.-	
5.-	
6.-	
7.-	Holter.
8.-	
9.-	
10.-	
11.-	
12.-	
13.-	Holter, Registro de la función cardiaca durante 48 horas o más según considere el médico.

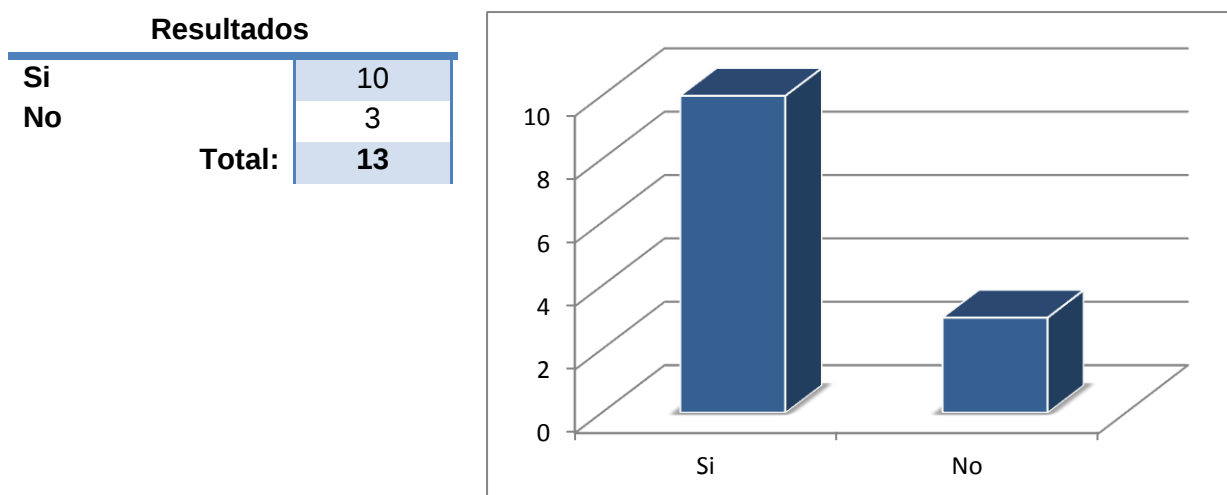
Reactivo 9: En caso de haber trabajado con alguno ¿Cuál ha sido su experiencia?

Resultados

1.-	Útil pero no en tiempo real
2.-	Aun no son muy confiables
3.-	
4.-	
5.-	
6.-	
7.-	Excelente para diagnostico
8.-	
9.-	
10.-	
11.-	
12.-	
13.-	Bueno, muy útil de seguridad y apoyo al médico para valorar adecuadamente a su paciente y el Paciente también se sienta más seguro y confiado

Reactivo 10: ¿Cree que sus pacientes tengan la disposición de adoptar un sistema que les ayude a mantener su condición monitoreada las 24 horas?

Figura 11. Gráfica de Resultados Reactivo 10



Fuente Elaboración propia.

4.2 Selección del Dispositivo de Monitoreo de Frecuencia Cardíaca

Para empezar el desarrollo de la aplicación es necesario conocer con anterioridad con que sensor hará la conexión el dispositivo móvil. Para esto fue necesario que tuviera ciertas características que cumplieran con los requerimientos del trabajo. A continuación se muestran los requerimientos con los que debió de cumplir el sensor:

- Capacidad de monitorear Frecuencia Cardíaca.
- Inalámbrico.
- Consumo de energía moderado.
- Ergonómico.
- Pequeño.
- Compatibilidad con Sistema Operativo Android.
- Disponibilidad.
- Documentación.
- Precio Accesible.

Los sensores a continuación fueron los que cumplieron con los requerimientos previamente mencionados:

- Zephyr Bioharness BT (Zephyr-1,2010).
- Zephyr HxM BT (Zephyr-2, 2010).
- Kyto HRM 2805 (Kyto, 2011).
- Polar WearLink+ Bluetooth (Polar, 2009).

A continuación se muestra una tabla comparativa entre los sensores mencionados, que fue determinante para poder seleccionar cual fue el sensor ideal para la realización de la aplicación:

	Zephyr BioHarness BT	Zephyr HxM BT	Kyto HRM 2805	Polar WearLink+ Bluetooth
Consumo de Energía	24 hrs / carga	24 hrs / carga	12 meses / pila	150 hrs / pila
Inalámbrico	Bluetooth 2.0	Bluetooth 2.0	Bluetooth 2.0	Bluetooth 2.0
Forma Fisica	Cinturón	Cinturón	Cinturón	Cinturón
Tamaño	7.5 cm x 5.7 cm	6.5 cm x 3.2 cm	4.5 cm x 3.1 cm	n/d
Peso	85 gr	47 gr	52gr	n/d
Soporte Android	Si	Si	Si	Si
Disponibilidad	Sitio Zephyr	Sitio Zephyr	Indefinida	Amazon
Documentación	SDK, foros	SDK, foros	Casi nula	Foros
Precio	\$749 dólares	\$99 dólares	\$110 dólares	\$80 dólares

4.3 Sensor Seleccionado

Al analizar la matriz comparativa de los sensores disponibles podemos destacar que todos cumplen con la mayoría de las características necesarias para la realización del trabajo. Sin embargo al realizar investigación sobre cada uno de ellos, se encontró que el sensor Kyto es un tanto difícil de conseguir, no existe documentación alguna sobre como interconectarlo con algún dispositivo móvil por lo que el sensor fue descartado. Al comparar la documentación de ambos sensores Zephyr y el sensor Polar, se encontró que existe mucha más documentación de proyectos exitosos utilizando los sensores Zephyr mientras que se encontraron críticas negativas sobre el uso del sensor Polar.

El sensor que se selecciono fue el Zephyr HxM Bluetooth, la decisión se tomó en base a que cumplía con todas las características necesarias para la realización del trabajo y era de menor costo en comparación al sensor Zephyr BioHarness BT. Sin embargo hay que destacar que el sensor Zephyr Bioharness BT tiene la capacidad de detectar un mayor número de variables sobre la condición del paciente pero el precio es un tanto elevado.

A continuación se muestra una matriz comparativa de las variables medibles de ambos sensores Zephyr.

	Zephyr BioHarness BT	Zephyr HxM BT
Frecuencia Cardíaca	Si	Si
Frecuencia Respiratoria	Si	No
Temperatura Corporal	Si	Si
Postura	Si	No
Amplitud ECG	Si	No
Ruido ECG	Si	No

El sensor seleccionado fue el Zephyr HxM BT gracias a los argumentos en cuanto al precio y en cuanto a que maneja las variables necesarias para la realización de este trabajo, sin embargo si se quisieran utilizar más variables para un análisis más completo del paciente es altamente recomendable utilizar el sensor Zephyr BioHarness BT con el único defecto de que su precio es aun considerablemente alto en el mercado.

4.4 Análisis y Diseño de la Aplicación

Gracias a la delimitación del problema, podemos obtener que la aplicación debe de ser capaz de realizar ciertas funciones:

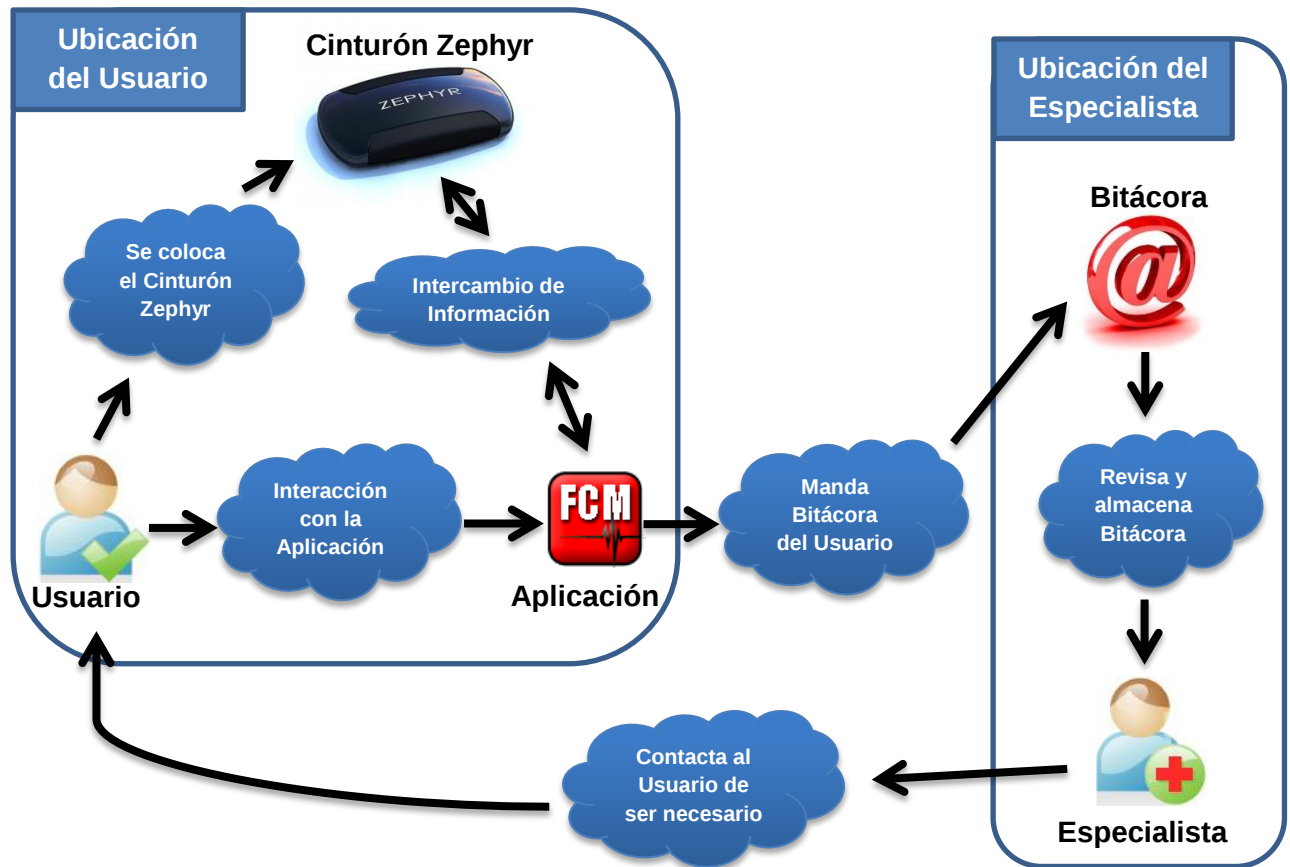
- Realizar conexión con el sensor en el cinturón Zephyr.
- Capturar la información enviada por el sensor.
- Mostrar la información capturada en pantalla de forma visual.
- Permitirle al usuario capturar su información personal así como la del especialista.
- Enviar la información capturada al médico especialista.
- Borrar los datos capturados.

Para poder describir el escenario general se diseñaron gráficas ricas que ayudaron a modelar la aplicación.

4.4.1 Gráficas Ricas

A continuación en la Figura 12 se muestra una gráfica rica que describe el escenario general en donde se lleva a cabo la interacción entre el Usuario, el Cinturón Zephyr, la Aplicación y el Especialista Medico.

Figura 12. Grafica rica del Escenario general

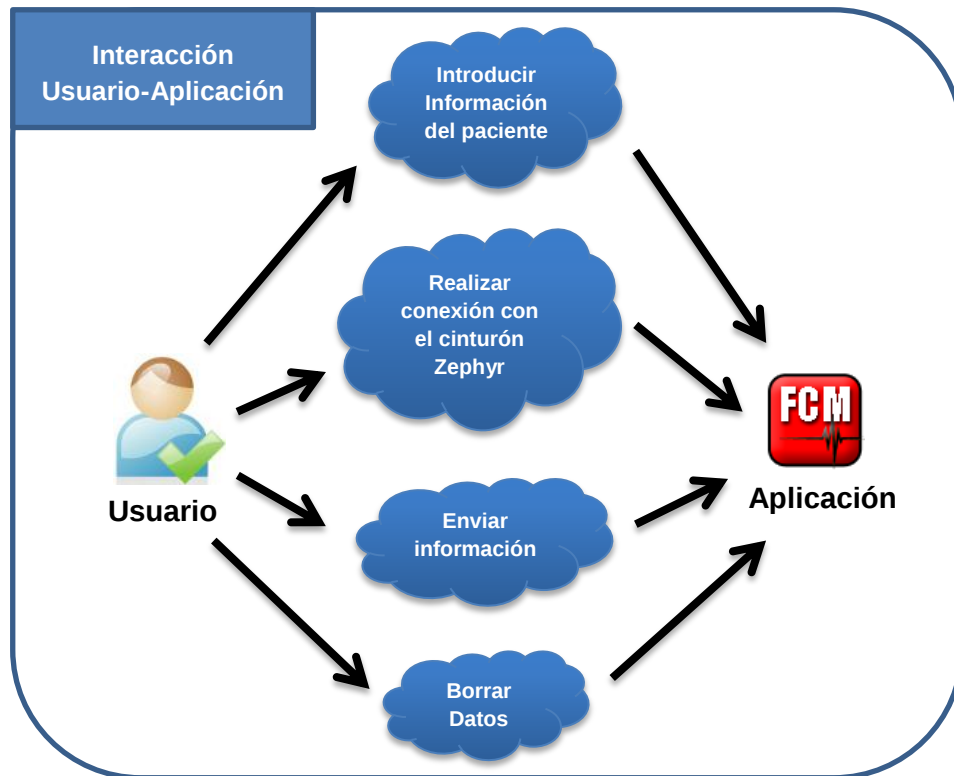


Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que las actividades se llevan a cabo en 2 lugares diferentes, en la ubicación del usuario y en la ubicación del especialista brindando así la movilidad que se busca en este tipo de aplicaciones médicas. El usuario lleva a cabo 2 actividades, la colocación del cinturón Zephyr y la interacción que lleva con la aplicación. Por parte del Especialista medico se lleva a cabo la revisión de la bitácora y en caso de ser necesario, el contacto con el usuario para agendar una cita en la clínica.

Para describir con mayor claridad la interacción entre el Usuario y la Aplicación se presenta la siguiente gráfica rica (Figura 13):

Figura 13. Gráfica rica de la interacción usuario - aplicación



Fuente: Elaboración propia

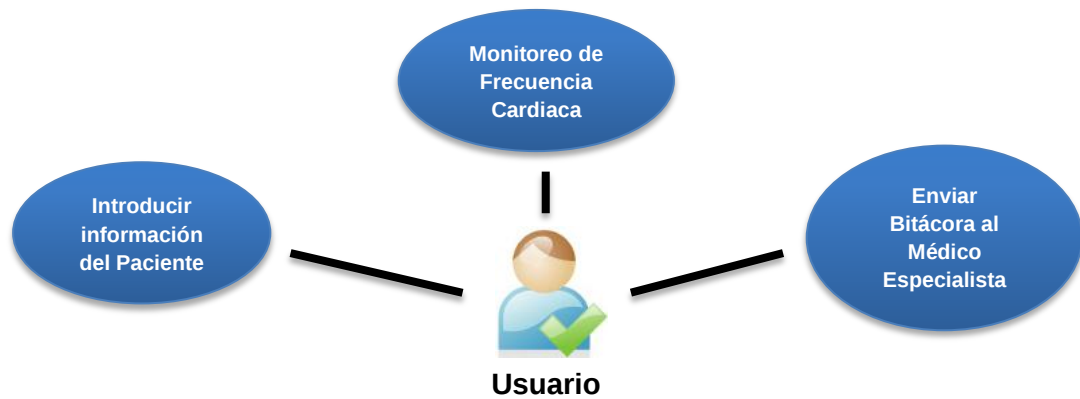
En la Figura 13 se puede apreciar que el usuario interactúa de 4 formas con la aplicación:

- Introducir información personal del paciente: Se llenan los campos de información personal del paciente y los datos de contacto del médico especialista (esto se realiza solo una vez).
- Realizar conexión con el cinturón Zephyr: Esto es para que puedan estar en comunicación y así la aplicación capture los datos enviados por el sensor en el cinturón.
- Enviar la información: El usuario envía los datos capturados por la aplicación al médico especialista.
- Borrar los datos: Una vez enviados los datos, estos deben de ser borrados para que no se mezclen con los capturados en el monitoreo posterior.

4.4.2 Casos de uso

Con base en los escenarios establecidos se representan a continuación los diagramas de casos de uso:

Figura 14. Casos de uso del usuario



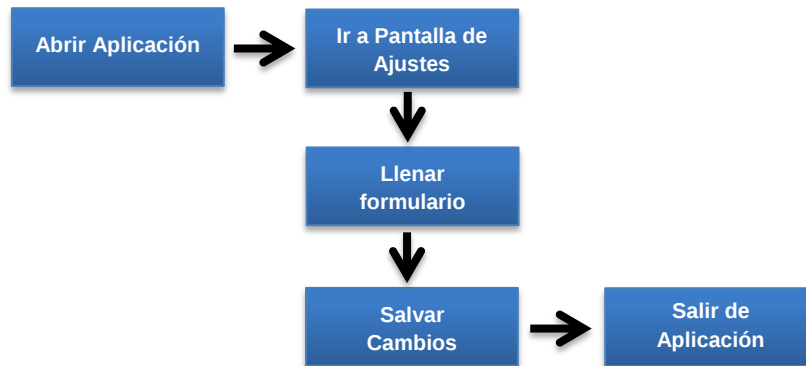
Fuente: Elaboración propia.

Existen tres diferentes casos de uso que se le presentan al usuario (Figura 14). A continuación se muestran los diagramas de flujo de cada uno de los casos de uso.

4.4.2.1 Introducir información del paciente

El caso de uso expuesto en el diagrama de flujo a continuación (Figura 15), se refiere al llenado del formulario de información personal del paciente y datos de contacto del especialista medico:

Figura 15. Diagrama de flujo Caso de uso: Introducir información del paciente



Fuente: Elaboración propia.

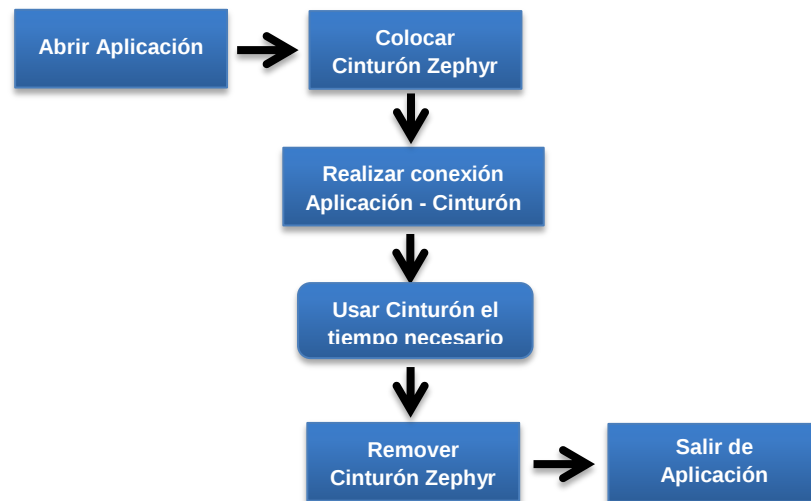
Los pasos del diagrama de flujo anterior se describen a continuación:

- Ir a pantalla de ajustes: El usuario debe de presionar el botón de “Menú” y seleccionar la opción de “Ajustes”.
- Llenar formulario: El usuario debe de llenar todos los campos del formulario correspondientes a su información personal y los datos de contacto del especialista médico asignado.
- Salvar cambios: El usuario debe de presionar el botón de “Salvar”.

4.4.2.2 Monitoreo de frecuencia cardiaca

El caso de uso expuesto en el diagrama de flujo a continuación (Figura 16), se refiere al uso de la aplicación para monitorear la frecuencia cardiaca del usuario y enviar la bitácora al especialista:

Figura 16. Diagrama de flujo Caso de uso: Monitoreo de frecuencia cardiaca.



Fuente: Elaboración propia.

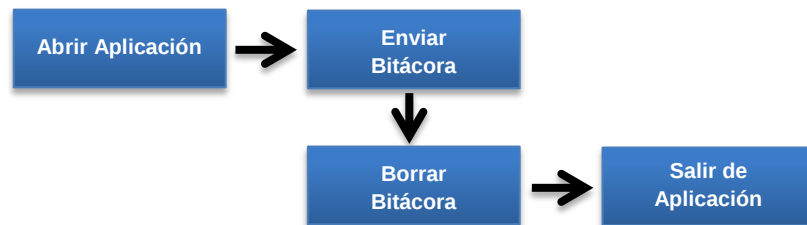
Los pasos del diagrama de flujo anterior se describen a continuación:

- Colocar Cinturón Zephyr: El usuario debe de colocarse el cinturón a la altura del corazón.
- Realizar conexión Aplicación – Cinturón: El usuario debe de buscar el cinturón por medio de la aplicación y realizar la conexión.
- Usar Cinturón el tiempo necesario: El usuario deberá de usar el cinturón el tiempo que le haya requerido el especialista. El usuario podrá realizar sus actividades cotidianas en el tiempo que dure el monitoreo.
- Remover Cinturón Zephyr: Una vez realizado el monitoreo el usuario deberá remover el cinturón.

4.4.2.3 Enviar bitácora al médico especialista

El caso de uso expuesto en el diagrama de flujo a continuación (Figura 17), se refiere al envío de la bitácora al médico especialista:

Figura 17. Diagrama de flujo Caso de uso: Enviar bitácora al médico especialista



Fuente: Elaboración propia.

Los pasos del diagrama de flujo anterior se describen a continuación:

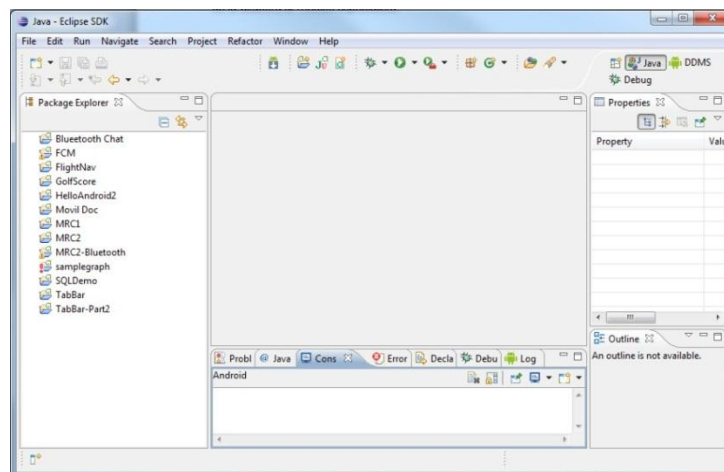
- **Enviar Bitácora:** El usuario debe presionar el botón “Enviar”, al hacer esto, la bitácora generada por el monitoreo será enviada al médico especialista.
- **Borrar Bitácora:** El usuario debe de presionar el botón de “Menú” y seleccionar la opción de “Ajustes”. Una vez en pantalla, presionar el botón “Borrar”.

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

5.1 Ambiente de Desarrollo

Dentro del Kit de Desarrollo que proporciona Android se encuentran contenidas las herramientas e interfaces necesarias para el desarrollo de las aplicaciones para la plataforma Android utilizando el lenguaje de programación JAVA. El ambiente de desarrollo que se utilizó para la realización de la aplicación descrita en este trabajo es: Eclipse en su versión 3.6.2 (Figura 18).

Figura 18. Ambiente de desarrollo Eclipse



El ambiente de desarrollo eclipse permitió que el desarrollo dentro del dispositivo móvil se realizara en tiempo real, agilizando así el desarrollo de la aplicación. El dispositivo móvil utilizado para las pruebas en el desarrollo fue un HTC Nexus One (Figura 19), con un sistema operativo Android 2.3.4 (Gingerbread).

Figura 19. Dispositivo Móvil HTC Nexus One



5.2 Base de Datos

El gestor de base de datos que se utilizó para el desarrollo de la aplicación descrita en este trabajo es SQLite en su versión 3.4, la cual se incluye en el Kit de Desarrollo de Android. Para poder utilizar el gestor SQLite fue necesario el uso de una clase auxiliar llamada “*DatabaseHelper.java*” (Figura 20); es en esa clase donde se genera la base de datos y se crearon las dos tablas utilizadas para el funcionamiento de la aplicación.

El nombre que se le dio a la base de datos fue: “*ritmo.db*”, la cual contiene las tablas “*tablados*” y “*tablaconfig*”.

Figura 20. Código “DatabaseHelper.Java”

```
package com.MRC2;

import android.content.Context;

public class DatabaseHelper extends SQLiteOpenHelper {
    private static final String DATABASE_NAME = "ritmo.db";
    //tabla de los datos
    public static final String TABLE1 = "tablados";
    public static final String HORA = "hora";
    public static final String FC = "fc";
    public static final String NOTA = "nota";
    //tabla de config
    public static final String TABLE2 = "tablaconfig";
    public static final String NOMBREP = "nombrep";
    public static final String EDAD = "edad";
    public static final String SEXO = "sexo";
    public static final String DIR = "dir";
    public static final String SANGRE = "sangre";
    public static final String EMERGENCIA = "emergencia";
    public static final String EXTRA = "extra";
    public static final String NOMBRED = "nombred";
    public static final String TELEFONO = "telefono";
    public static final String CORREO = "correo";

    public DatabaseHelper(Context context) {
        super(context, DATABASE_NAME, null, 1);
    }

    @Override
    public void onCreate(SQLiteDatabase db) {
        db.execSQL("CREATE TABLE tablados (_id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT, hora TEXT, fc TEXT, nota TEXT);");
        db.execSQL("CREATE TABLE tablaconfig (_id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT, nombrep TEXT, edad TEXT, sexo TEXT, dir TEXT, sangre TEXT, emergencia TEXT, extra TEXT, nombred TEXT, telefono TEXT, correo TEXT);");
    }

    @Override
    public void onUpgrade(SQLiteDatabase db, int oldVersion, int newVersion) {
        android.util.Log.v("tablados", "Upgrading database, which will destroy all old data");
        db.execSQL("DROP TABLE IF EXISTS tablados");
        android.util.Log.v("tablaconfig", "Upgrading database, which will destroy all old data");
        db.execSQL("DROP TABLE IF EXISTS tablaconfig");
        onCreate(db);
    }
}
```

Fuente Elaboración propia.

En la tabla “*tablados*” se encuentra contenida la información correspondiente a la bitácora, la cual almacena los datos capturados durante el monitoreo por el Cinturon Zephyr; mientras que en la tabla “*tablaconfig*” se encuentra contenida la información correspondiente a los datos personales del paciente y los datos de contacto del médico especialista.

A continuación se enlistan los campos contenidos en las tablas “*tablados*” y “*tablaconfig*” (Figura 21):

Figura 21. “*tablados*” y “*tablaconfig*”

<i>tablados</i>	
	hora
	fc
	nota

<i>tablaconfig</i>	
	nombrep
	edad
	sexo
	dir
	sangre
	emergencia
	extra
	nombred
	teléfono
	correo

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Arquitectura

El ambiente de desarrollo que nos proporciona Android (Eclipse) proporcionó una arquitectura que facilitó el desarrollo de la aplicación. Mediante una estructura de árbol, se separan las clases (en donde se llevó a cabo la programación de la lógica), las interfaces (pantallas visuales en donde interactúa el usuario) y archivos del sistema propios de Android (AndroidManifest.xml y R.java).

El archivo “*AndroidManifest.xml*” tiene como objetivo describir los componentes de la aplicación, declarar los permisos que la aplicación debe de tener sobre el dispositivo para su funcionamiento y definir la versión mínima de sistema operativo Android para funcionar, entre otras cosas. A continuación se muestra el código del “*AndroidManifest.xml*” que se utilizó para el desarrollo de la aplicación (Figura 22):

Figura 22. Código "AndroidManifest.xml"

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.MRC2"
    android:versionCode="1"
    android:versionName="1.0">
    <application android:icon="@drawable/icon" android:label="@string/app_name" android:debuggable="false">
        <activity android:name=".TabBar"
            android:label="@string/app_name"
            android:theme="@style/CustomTheme"
            android:screenOrientation="portrait">
            <intent-filter>
                <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
                <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
            </intent-filter>
        </activity>
        <activity android:name=".FirstTab" android:screenOrientation="portrait"/>
        <activity android:name=".SecondTab" android:screenOrientation="portrait"/>
        <activity android:name=".ThirdTab" android:screenOrientation="portrait"/>
        <activity android:name=".DeviceListActivity" android:label="@string/select_device"
            android:theme="@android:style/Theme.Dialog"
            android:configChanges="orientation|keyboardHidden" />
    </application>

    <uses-sdk android:minSdkVersion="5" />
    <uses-permission android:name="android.permission.CALL_PHONE"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH_ADMIN" />
    <uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH" />
</manifest>
```

Fuente Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el código anterior, los permisos que se necesitan sobre el dispositivo son los siguientes:

- *CALL_PHONE*: Utilizado para realizar llamadas desde la aplicación.
- *WRITE_EXTERNAL_STORAGE*: Se necesitó para guardar la información en la memoria externa del dispositivo móvil.
- *INTERNET*: Utilizado para acceder al internet desde la aplicación, permitiendo así mostrar una gráfica generada a partir de los datos del monitoreo del usuario.
- *BLUETOOTH_ADMIN*: Permite la administración de los dispositivos Bluetooth.
- *BLUETOOTH*: Permite el uso de Bluetooth dentro del dispositivo móvil.

Las clases utilizadas en la programación de la aplicación se describen a continuación:

- *"BluetoothChatService.java"*: Esta clase es la que se encarga de la lógica correspondiente a la comunicación Bluetooth entre el dispositivo móvil y el sensor Zephyr ubicado en el cinturón.
- *"DatabaseHelper.java"*: Es la clase encargada de la creación y manejo de la base de datos utilizada en la aplicación.

- “*DeviceListActivity.java*”: Clase encargada de hacer la búsqueda y lista de dispositivos Bluetooth disponibles para conexión con el dispositivo móvil donde se encuentra la aplicación.
- “*FirtsTab.java*”: Esta clase es la que lleva la lógica de la pantalla principal de la aplicación.
- “*SecondTab.java*”: Esta clase es la que lleva la lógica de la pantalla de ajustes de la aplicación.
- “*TabBar.java*”: Es la clase encargada de la administración de las 2 pantallas de la aplicación.

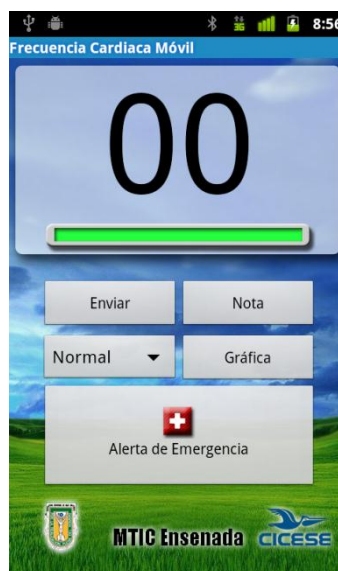
Por parte de las interfaces gráficas, se diseñaron 2 pantallas para la interacción con el usuario:

- “*Principal.xml*”: Interfaz gráfica de la pantalla principal de la aplicación.
- “*Config.xml*”: Interfaz gráfica de la pantalla de ajustes de la aplicación.

5.4 Pantallas

Como se describió anteriormente en este trabajo, la aplicación cuenta con 2 pantallas principales: Principal y Ajustes. E diseño de estas pantallas se realizó en programación xml de una forma gráfica y en tiempo real. La pantalla Principal (Figura 23) se describe a continuación:

Figura 23. Pantalla Principal



Fuente: Elaboración propia.

En la parte superior de la pantalla principal se despliega la frecuencia cardiaca del paciente, así como una barra indicadora que muestra al usuario si se presenta alguna anomalía en sus intervalos de frecuencia; para ello se utilizaron los colores verde (normal), amarillo (precaución) y rojo (crítico), esto dependiendo de la frecuencia cardiaca.

Posteriormente se muestran cinco botones: Enviar, Nota, Normal, Gráfica y Alerta de Emergencia; estos se encuentran descritos a continuación:

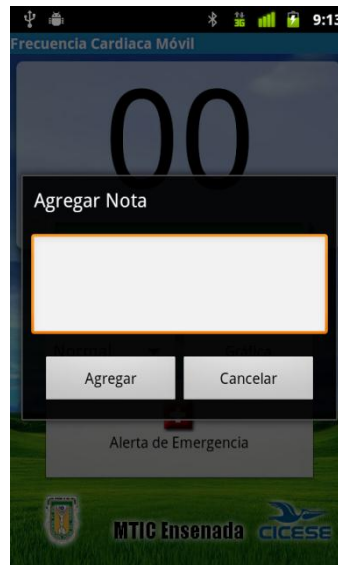
- *Botón Enviar:* Permite al paciente enviar la bitácora de los datos capturados en la aplicación, al especialista mediante correo electrónico. Dicha bitácora se muestra en la Figura 24.
- *Botón Nota:* Permite al usuario introducir alguna nota para reportar alguna anomalía relacionada con su padecimiento (Figura 25).
- *Botón Normal:* El usuario puede seleccionar una de las tres modalidades que describen su estado de actividad actual: normal, dormido o deporte (Figura 26). Estas al ser seleccionadas causan variaciones en los rangos del indicador.
- *Botón Gráfica:* Despliega una gráfica sobre el comportamiento de la frecuencia cardiaca del paciente (Figura 27).
- *Botón Alerta de Emergencia:* La aplicación realiza una llamada al teléfono de emergencia establecido por el usuario en la pantalla de ajustes (Figura 28).

Figura 24. Bitácora

```
*****
CORREO ENVIADO POR FRECUENCIA CARDIACA MOVIL
*****
* Nombre del Paciente:
* Edad:
* Sexo:
* Dirección:
* Tipo de Sangre:
* Telefono Emergencia:
* Datos Extras:
*****
GRAFICAS
Grafica1
*****
DATOS Y NOTAS DEL SENSOR
17/04/2011 12:14:49 PM, 117,
17/04/2011 12:14:53 PM, 114,
17/04/2011 12:14:57 PM, 111,
17/04/2011 12:15:01 PM, 109,
17/04/2011 12:15:05 PM, 109,
17/04/2011 12:15:09 PM, 104,
17/04/2011 12:15:13 PM, 102,
17/04/2011 12:15:17 PM, 101,
17/04/2011 12:15:21 PM, 99,
17/04/2011 12:15:25 PM, 103,
17/04/2011 12:15:29 PM, 104,
17/04/2011 12:15:33 PM, 99,
17/04/2011 12:15:37 PM, 96,
17/04/2011 12:15:41 PM, 94,
17/04/2011 12:15:45 PM, 93,
17/04/2011 12:15:49 PM, 93,
17/04/2011 12:15:53 PM, 91,
17/04/2011 12:15:57 PM, 88,
17/04/2011 12:16:01 PM, 91.
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Agregar Nota



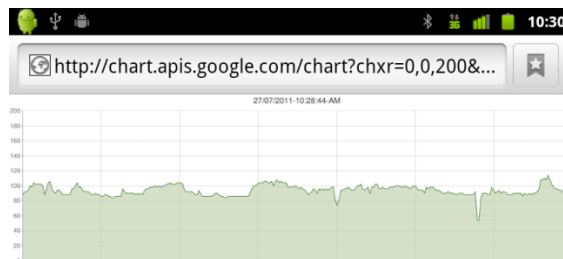
Fuente Elaboración propia.

Figura 26. Selecciona Modo



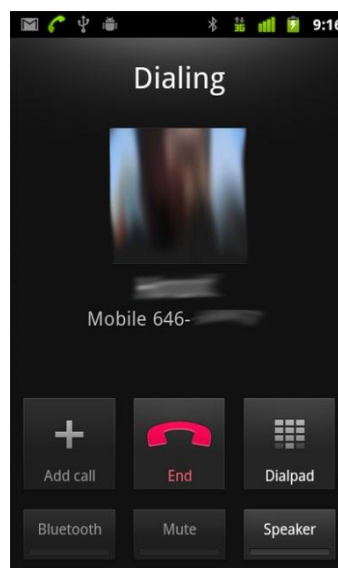
Fuente Elaboración propia.

Figura 27. Gráfica de Monitoreo



Fuente Elaboración propia.

Figura 28. Llamada de Emergencia



Fuente Elaboración propia.

Dentro de la pantalla Principal el usuario puede acceder opciones extra si se presiona el botón “Menú” en el dispositivo Móvil (Figura 29). Este Menú (Figura 30) contiene las opciones de “Conectar HxM” y “Ajustes”.

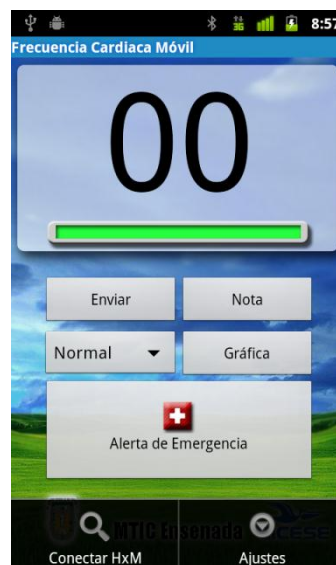
- *Conectar HxM*: Esta opción le permite al usuario hacer una búsqueda de los dispositivos Bluetooth que se encuentren cercanos y realizar la conexión entre el dispositivo móvil y el sensor Zephyr (Figura 31).
- *Ajustes*: Esta opción lleva al usuario a la pantalla de Ajustes (Figura 32).

Figura 29. Botón Menú en dispositivo móvil



Fuente Elaboración propia.

Figura 30. Menu pantalla Principal



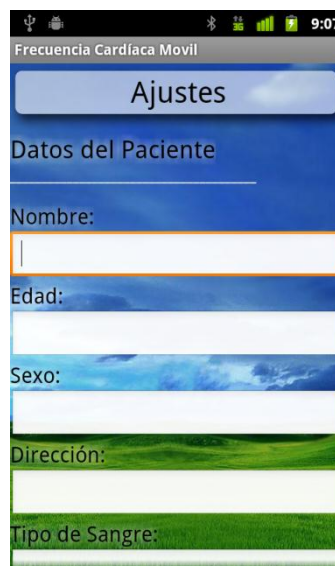
Fuente Elaboración propia.

Figura 31. Seleccionar Dispositivo Bluetooth



Fuente Elaboración propia.

Figura 32. Pantalla de Ajustes



Fuente Elaboración propia.

En la pantalla de ajustes el usuario puede introducir los datos del paciente: Nombre, Edad, Sexo, Dirección, Tipo de Sangre, Teléfono de Emergencia y un campo Extra para guardar datos importantes sobre el paciente tales como medicamentos que actualmente se le encuentran asignados. Esta pantalla cuenta también con campos para introducir datos del especialista médico: Nombre, Teléfono y un Correo Electrónico al que se le enviarán los datos del paciente capturados por la aplicación. Al final de la pantalla de Ajustes, se encuentran dos botones: Salvar y Borrar Datos. Estos botones se encuentran descritos a continuación:

- *Botón Salvar*: Este botón le da la opción al usuario de salvar los cambios en el formulario de la pantalla de Ajustes (Figura 33).
- *Botón Borrar Datos*: Este botón le da la opción al usuario de borrar los datos almacenados en la bitácora generada a partir del sensor Zephyr (Figura 34). Esta opción es importante ya que si no se borran los datos, se mezclarían las bitácoras de diferentes monitoreos, creando así confusión para el médico especialista.

Figura 33. Boton Salvar



Fuente Elaboración propia.

Figura 34. Boton Borrar Datos



Fuente Elaboración propia.

5.5 Requerimientos del Sistema

Para que el sistema funcione correctamente es necesario contar con un dispositivo móvil que cumpla ciertos requerimientos y un sensor Zephyr HxM Bluetooth. Los requerimientos del dispositivo móvil se enlistan a continuación:

- Sistema operativo Android Versión 2.0 o mayor.
- Bluetooth 2.0 o mayor.
- Conexión a internet 3G o por medio de WiFi.
- Tarjeta de almacenamiento externo.

En cuanto al usuario, aunque el sistema haya sido diseñado para pacientes con alguna patología cardíaca, es capaz de monitorear a todo tipo de pacientes sin importar su condición. Por parte del especialista médico, es necesario que cuente con una cuenta de correo electrónico y acceso a internet para poder realizar el análisis de la bitácora.

La aplicación fue probada en diversos dispositivos que cumplieron con los requerimientos del sistema. Estos se enlistan a continuación:

- HTC Nexus One (Figura 35).

Figura 35. FCM en HTC Nexus One



- HTC Magic (Figura 36).

Figura 36. FCM en HTC Magic



- LG Optimus (Figura 37).

Figura 37. FCM en LG Optimus



- Motorola Atrix (Figura 38).

Figura 38. FCM en Motorola Atrix



CAPÍTULO VI: EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

6.1 Metodología

La metodología que se siguió para la realización del experimento en este trabajo, se muestra en la Figura 39:

Figura 39. Metodología del Experimento



Fuente Elaboración propia.

Las etapas de la metodología utilizada para el experimento se describen a continuación:

6.1.1 Selección del Participante

La aplicación FCM puede ser utilizada por cualquier tipo de persona que quiera o requiera estar en constante monitoreo de su frecuencia cardíaca. Para este experimento la selección del participante se basó en que tuviera un nivel básico en el uso de dispositivos móviles para facilitar la etapa de capacitación, esto para garantizar que el experimento se realizara con éxito.

6.1.2 Capacitación

En esta etapa del experimento se le da una capacitación al usuario sobre la aplicación FCM, se le explico cada una de las funciones del sistema de monitoreo así como los pasos que se debían de seguir para la realización del experimento. Para asegurar que el participante no tuviera problema alguno, se le mostro también un manual de usuario de la aplicación FCM para cualquier duda que llegara a suscitarse.

6.1.3 Entrega de Equipo

En esta fase se hace entrega del equipo necesario para llevar a cabo el experimento al participante; la lista de artículos entregados fue la siguiente:

- Dispositivo móvil (HTC Magic o HTC Nexus One).
- Cargador del dispositivo móvil.
- Sensor de monitoreo Zephyr HxM y cinturón.
- Cargador del sensor de monitoreo.
- Estuche para guardar el equipo.
- Manual de usuario de la aplicación FCM.

6.1.4 Experimento

A continuación en la Figura 40 se muestra un diagrama de flujo que el participante siguió para la realización del experimento:

Figura 40. Diagrama de flujo del experimento



Fuente Elaboración propia.

Es importante destacar que el experimento deberá de realizarse 2 veces al día, de preferencia un monitoreo matutino y un monitoreo vespertino; esto por un lapso de 5 a 6 días. Los pasos del diagrama de flujo del experimento se describen a continuación:

6.1.4.1 Colocar Sensor

Primero, el participante del experimento deberá de mojar las almohadillas del cinturón con agua; segundo, deberá de colocar el cinturón con el sensor por debajo de la ropa, a la altura del pecho como se muestra en la Figura 41.

Figura 41. Posición del Sensor



El cinturón deberá de quedar ajustado, pero sin que este lastime al participante.

6.1.4.2 Realizar Conexión

El participante deberá de acceder a la aplicación FCM y en la pestaña de “Conectr HxM”, seleccionar el dispositivo “HXM007115” correspondiente al sensor que se utilizara para el experimento. Una vez que se realice la conexión entre dispositivo y sensor, se mostrara en la pantalla principal de la aplicación, el ritmo cardiaco del participante en tiempo real. En caso de que la conexión sea fallida, se deberá de revisar que se hayan seguido los pasos de “Colocar sensor” de forma correcta y volver a intentar.

6.1.4.3 Mantener Monitoreo

Una vez que el dispositivo móvil se encuentre recolectando datos, es necesario que el participante continúe con el monitoreo durante 60 minutos como mínimo; esto para poder recolectar datos suficientes para realizar el análisis.

6.1.4.4 Enviar Datos

Terminado el monitoreo, el usuario deberá enviar los datos utilizando la aplicación FCM desde la pantalla de “ajustes”. Esto para que los datos capturados en el monitoreo lleguen a manos del especialista médico o persona encargada de realizar el análisis de la información almacenada.

6.1.4.5 Borrar Datos

Una vez que los datos han sido enviados exitosamente, es necesario borrar la información almacenada; esto con el fin de que en el próximo monitoreo, los datos no se mezclen y el análisis de la información se vea comprometido. Para borrar los datos el participante deberá de presionar el botón de “Borrar Datos” en la pantalla de “ajustes” de la aplicación FCM.

6.1.4.6 Remover Sensor

Ya terminado el monitoreo, el participante podrá remover el cinturón con el sensor. Es recomendable que se carguen tanto el dispositivo móvil, como el sensor HxM cada vez que se termine un monitoreo, utilizando los cargadores proporcionados; esto para que la conexión no se vea comprometida por falta de carga en los dispositivos durante el siguiente monitoreo.

6.1.5 Recolección de Datos

Esta etapa fluye a la par con la fase donde se realiza el experimento ya que la aplicación FCM, recolecta los datos durante cada monitoreo; por otro lado, el envío de la información recolectada, es realizado por el participante utilizando la aplicación.

6.1.6 Recepción de Equipo

Al terminar los días de monitoreo estipulados con el participante, se deberán de entregar en su totalidad, el equipo que se le asignó al principio del experimento.

6.1.7 Análisis de Resultados

Una vez terminado el experimento, llega la etapa final, que se refiere al análisis de los resultados, en donde primero se realiza una organización de los datos colectados por fecha y por tipo de monitoreo (matutino o vespertino), así como sus respectivas gráficas; y segundo se realiza el análisis para corroborar que el sistema funcione correctamente o se presentó alguna anomalía.

6.2 Resultados

La aplicación FCM entrego como resultado, la información capturada en forma de gráficas; esto, para que la lectura de los datos fuera más legible para la persona designada a llevar a cabo el análisis del experimento de monitoreo. Para una mayor comprensión de las gráficas presentadas, en el eje Y, se encuentra el ritmo cardiaco registrado por la aplicación FCM mientras que en el eje X se encuentra el número de pulso. Es importante destacar que cada una de las gráficas representan un número máximo de 450 datos y no un lapso de tiempo, por lo tanto el número de gráficas es directamente proporcional al número de datos registrados por el sensor de monitoreo.

Fueron dos participantes los que se ofrecieron voluntariamente para la realización del experimento; a continuación se muestran los datos de los mismos así como los resultados arrojados por la aplicación FCM; los datos arrojados por el sensor se encuentran en el Anexo 3.

6.2.1 Resultados Participante Uno

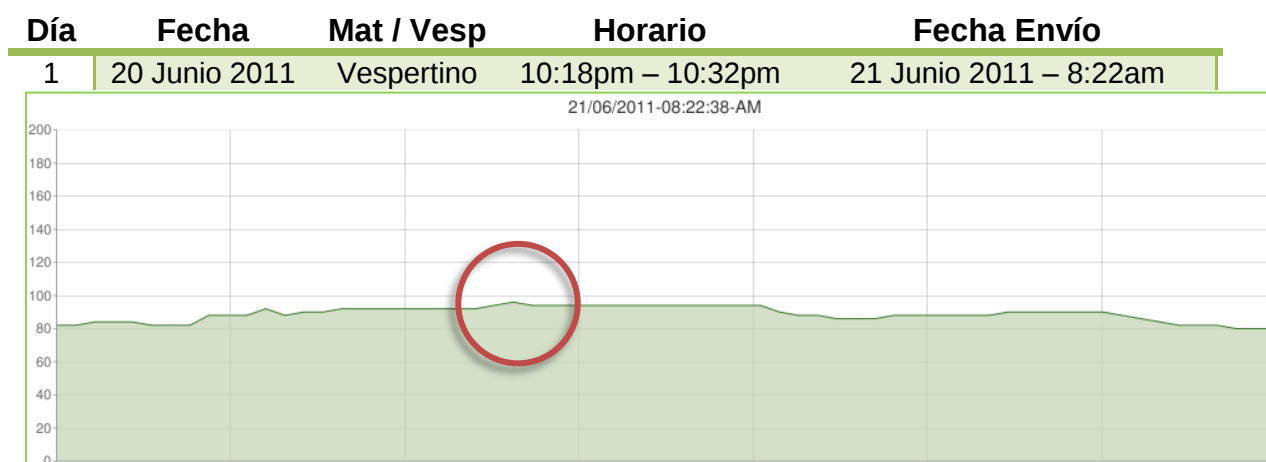
Datos del Participante 1	
Edad	56
Sexo	Masculino
Ciudad	Ensenada
Tipo Sangre	O Positivo
Datos Extras	Paciente con falla cardiovascular reciente, tomando el siguiente medicamento: • Plavix 75mg • BiEglucon M 500mg – 2.5mg • Lanoxin .25mg • Lipitor 80mg • Dilactrend 25mg • Aspirina 25mg
Días Monitoreado	6
Dispositivo Móvil Utilizado	HTC Nexus One
Sensor Utilizado	Zephyr HxM

Figura 42. Participante 1, Día 1, Monitoreo Matutino, Gáfica 1



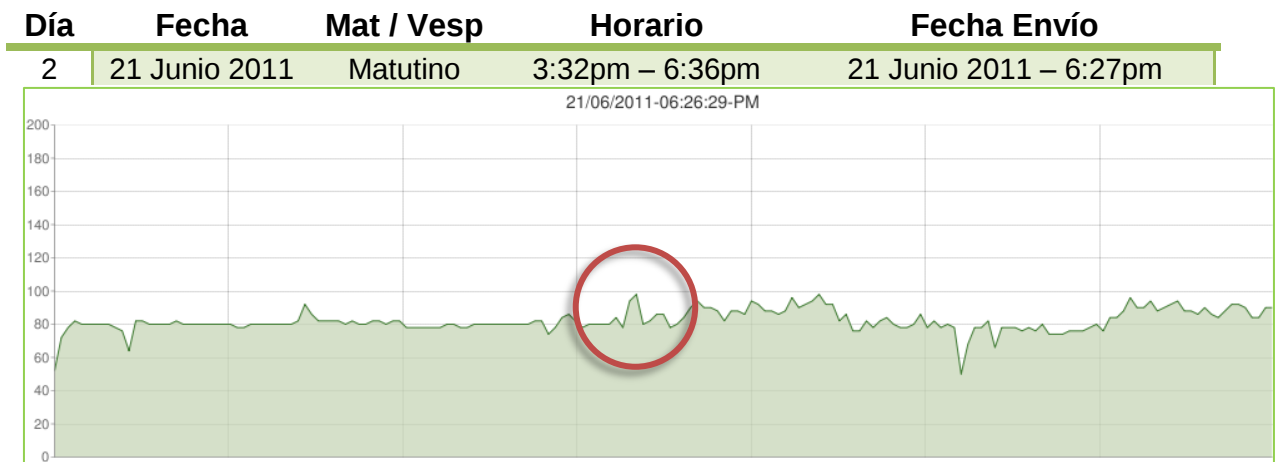
Fuente Elaboración propia.

Figura 43. Participante 1, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 44. Participante 1, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 45. Participante 1, Día 2, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 46. Participante 1, Día 3, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 47. Participante 1, Día 3, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 48. Participante 1, Día 4, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Día	Fecha	Mat / Vesp	Horario	Fecha Envío
4	23 Junio 2011	Vespertino	-	-

No se registraron datos para este monitoreo.

Día	Fecha	Mat / Vesp	Horario	Fecha Envío
5	24 Junio 2011	Matutino	-	-

No se registraron datos para este monitoreo.

Figura 49. Participante 1, Día 5, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



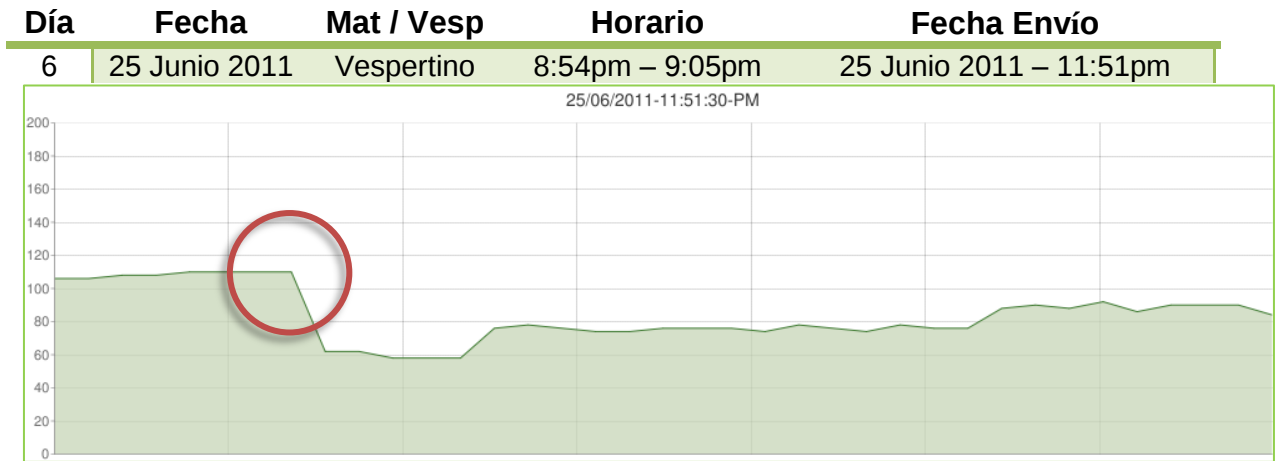
Fuente Elaboración propia.

Figura 50. Participante 1, Día 6, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 51. Participante 1, Día 6, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

6.2.2 Resultados Participante Dos

Datos del Paciente	
Edad	27
Sexo	Masculino
Ciudad	Ensenada
Tipo Sangre	O Positivo
Datos Extras	-
Días Monitoreado	5
Dispositivo Móvil Utilizado	HTC Nexus One
Sensor Utilizado	Zephyr HxM

Figura 52. Participante 2, Día 1, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



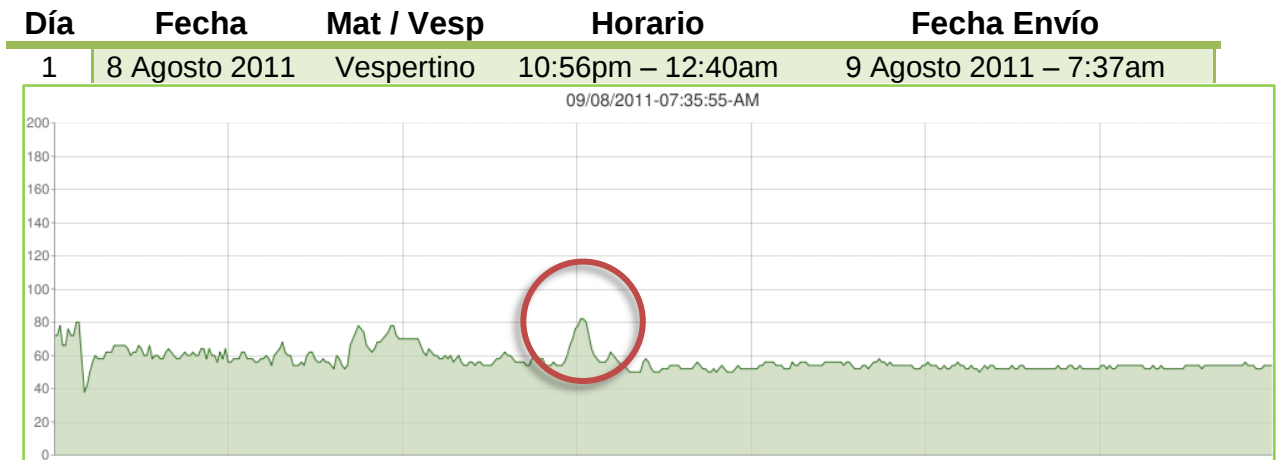
Fuente Elaboración propia.

Figura 53. Participante 2, Día 1, Monitoreo Matutino, Gráfica 2



Fuente Elaboración propia.

Figura 54. Participante 2, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 55. Participante 2, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 2



Fuente Elaboración propia.

Figura 56. Participante 2, Día 1, Monitoreo Vespertino, Gráfica 3



Fuente Elaboración propia.

Figura 57. Participante 2, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 58. Participante 2, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 2



Fuente Elaboración propia.

Figura 59. Participante 2, Día 2, Monitoreo Matutino, Gráfica 3



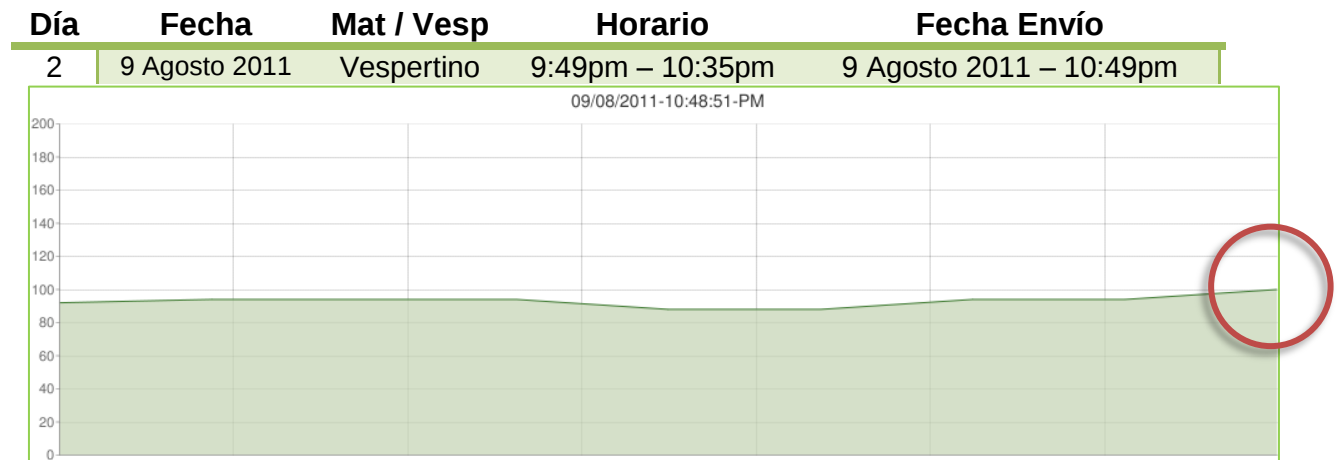
Fuente Elaboración propia.

Figura 60. Participante 2, Día 2, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 61. Participante 2, Día 2, Monitoreo Vespertino, Gráfica 2



Fuente Elaboración propia.

Figura 62. Participante 2, Día 3, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



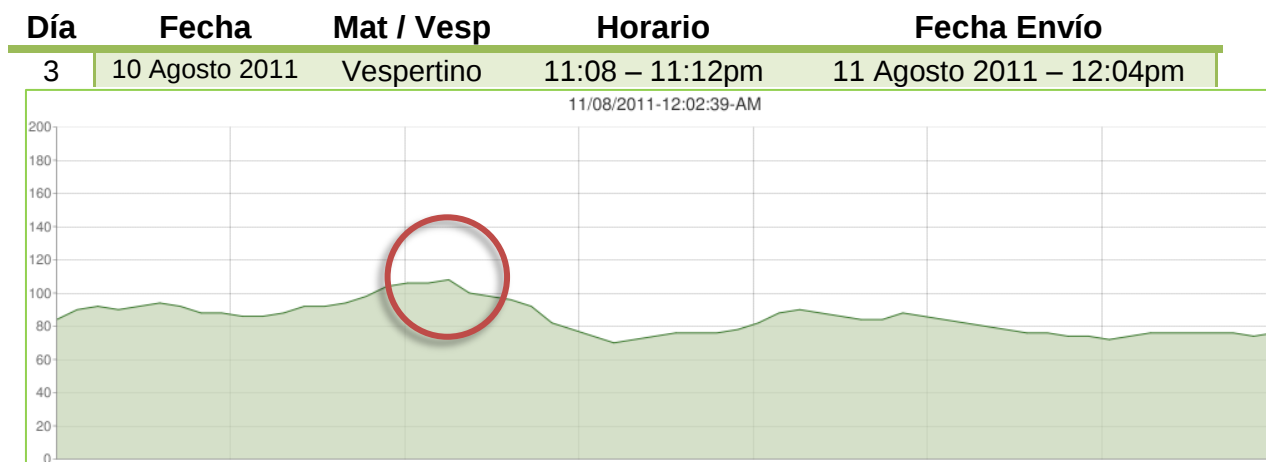
Fuente Elaboración propia.

Figura 63. Participante 2, Día 3, Monitoreo Matutino, Gráfica 2



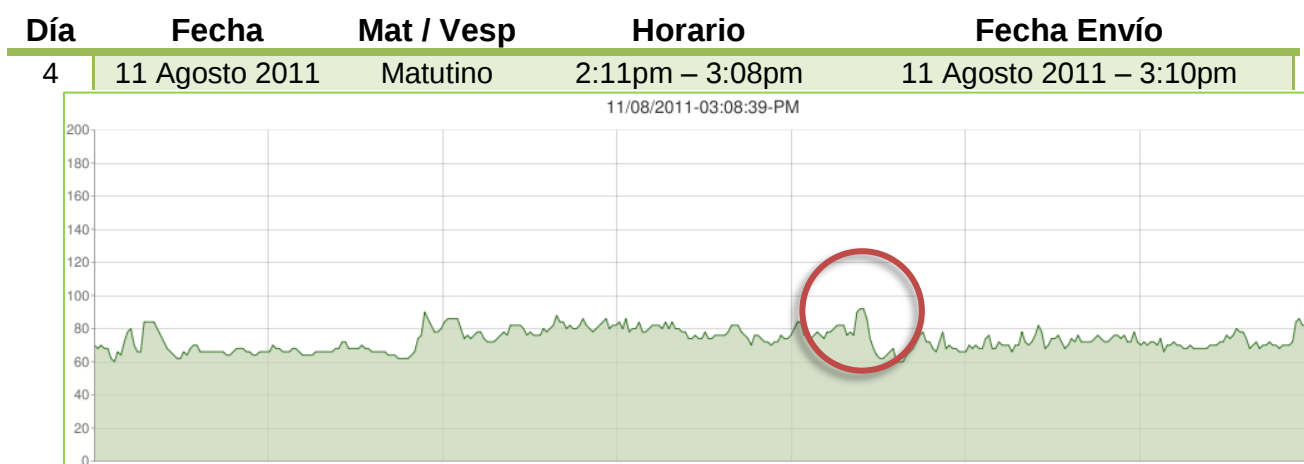
Fuente Elaboración propia.

Figura 64. Participante 2, Día 3, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 65. Participante 2, Día 4, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

Figura 66. Participante 2, Día 4, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



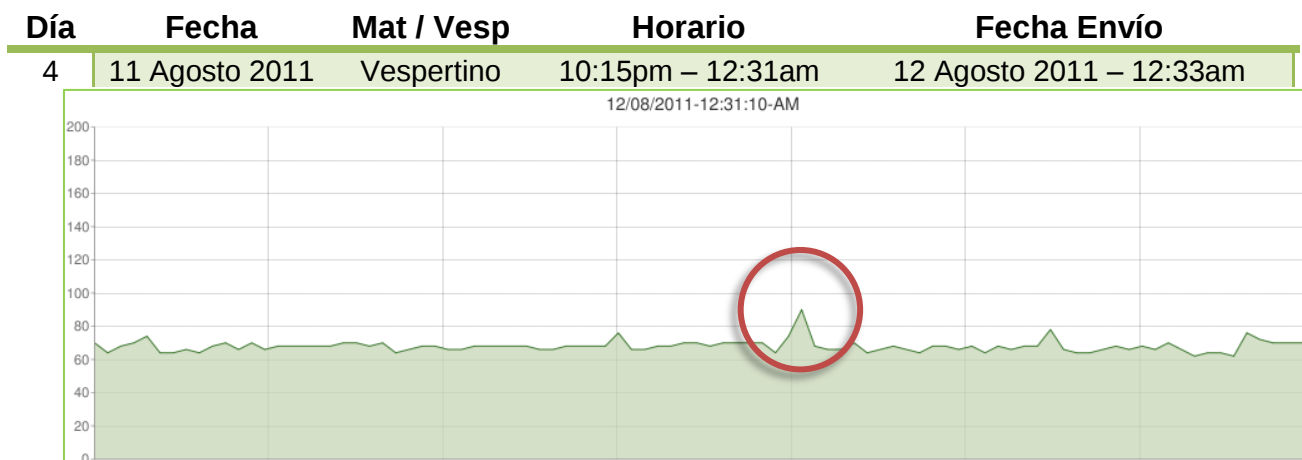
Fuente Elaboración propia.

Figura 67. Participante 2, Día 4, Monitoreo Vespertino, Gráfica 2



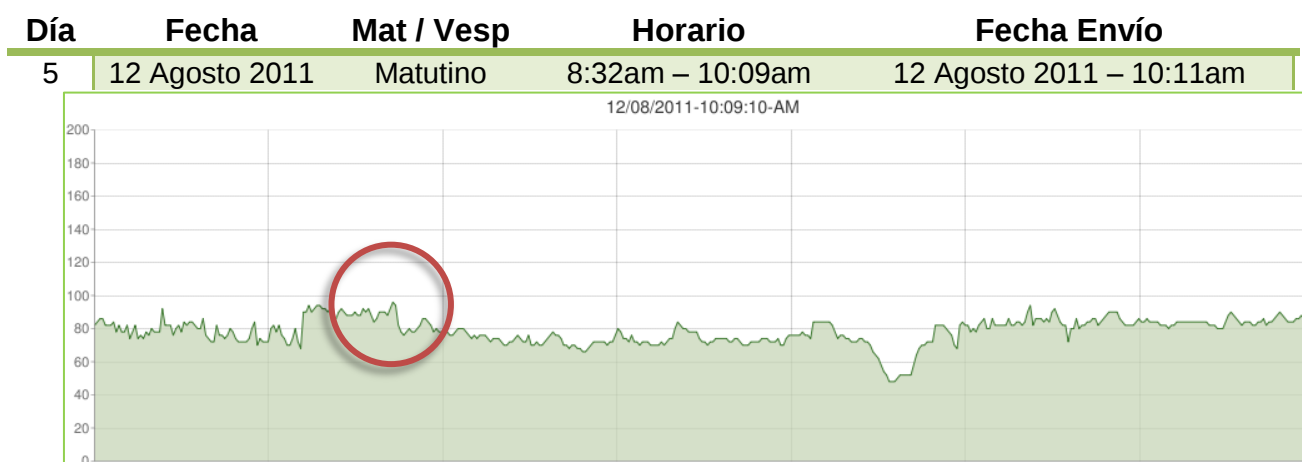
Fuente Elaboración propia.

Figura 68. Participante 2, Día 4, Monitoreo Vespertino, Gráfica 3



Fuente Elaboración propia.

Figura 69. Participante 2, Día 5, Monitoreo Matutino, Gráfica 1



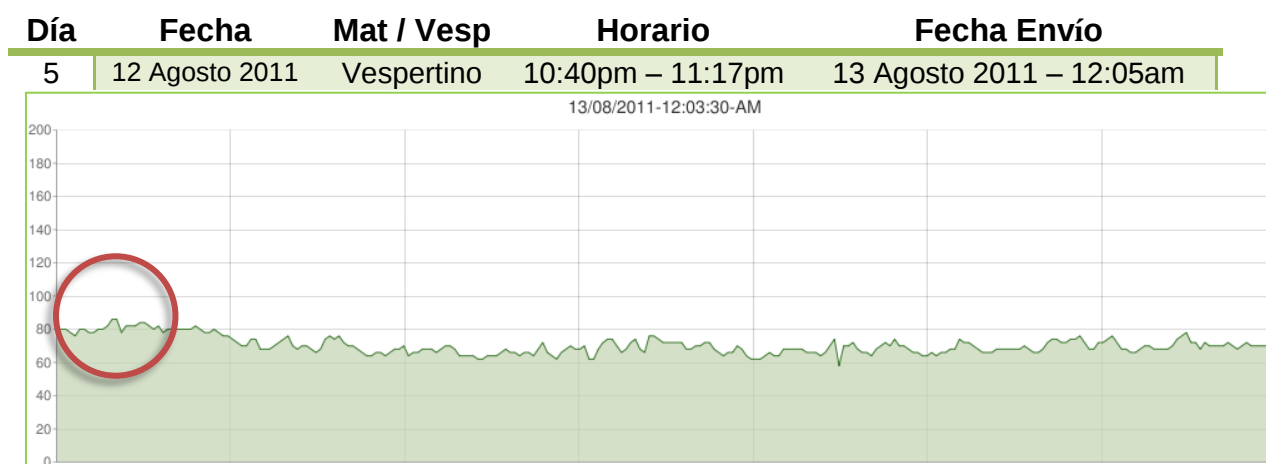
Fuente Elaboración propia.

Figura 70. Participante 2, Día 5, Monitoreo Matutino, Gráfica 2



Fuente Elaboración propia.

Figura 71. Participante 2, Día 5, Monitoreo Vespertino, Gráfica 1



Fuente Elaboración propia.

CAPÍTULO VII: ANALISIS DE RESULTADOS

El experimento se llevó a cabo con dos participantes diferentes, el primero con una historia clínica de falla cardíaca reciente en proceso de recuperación, mientras que el segundo participante presentó un cuadro clínico saludable. El lapso del experimento fue de 5 a 6 días, realizándose dos monitoreos por día.

La presentación de la información en forma de gráficas facilitó la lectura de los datos, haciendo visibles los picos de actividad del participante así como su variabilidad cardíaca. Esto ayuda a saber si la persona monitoreada se encuentra realizando actividades posiblemente perjudiciales para su condición.

Se puede observar que en el experimento del participante uno, se obtuvieron una mayor cantidad de datos por minuto registrados, que en el experimento del participante dos; la diferencia fue causada ya que por parte del participante uno se utilizó un dispositivo móvil HTC Magic mientras que el participante dos un HTC Nexus One. Las especificaciones con respecto a Bluetooth entre ambos dispositivos son iguales; la diferencia radica en las versiones del sistema operativo y el poder de procesamiento de cada uno; el primero manejando una versión 2.2.1 con un procesador corriendo a 528 Mhz y el segundo, una versión 2.3.4 con un procesador corriendo a 1 Ghz.

Por parte del participante uno, durante los monitoreos del día cinco vespertino y día seis matutino, no se registró dato alguno; esto fue ya que el sensor se quedó sin carga y por ende, la aplicación FCM se vio imposibilitada a recolectar información. Otro de los casos en donde la aplicación FCM almaceno un menor número de datos fue durante el monitoreo vespertino del día 3 del participante dos, en donde solo se registraron 4 minutos de información; esto a consecuencia de falta de carga en el sensor. Al presentarse estas inconsistencias, resalta la importancia de que el sensor y el dispositivo móvil que se esté utilizando para el uso de la aplicación, deben de ser cargados al término de cada monitoreo.

El participante uno realizó el monitoreo un total de cinco días, fue monitoreado por 12 hrs 29 min, con un promedio de 1hra 15 min por monitoreo; de los 12 monitoreos esperados, realizó 10 de ellos, cumpliendo así con un 83.33% de lo esperado. Los 2 monitoreos faltantes fueron a causa de falta de carga en el sensor.

El participante dos realizó el monitoreo un total de cinco días, fue monitoreado por 12 hrs 40 min, con un promedio de 1 hra 17 min por monitoreo; de los diez monitoreos esperados, realizó diez, cumpliendo así con el 100% de lo esperado.

Toda información enviada por parte de los participantes utilizando la aplicación, fue recibida correctamente.

No se presentó ninguna alerta por parte de los usuarios ya que al no haber incidentes, no fue necesario.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES

8.1 Conclusiones

Respecto a conocer los parámetros médicos a considerar para el desarrollo de la aplicación FCM, se realizó una encuesta puntual a especialistas médicos que arrojó como resultado variables tales como, que era necesario monitorear el trazo cardíaco (EKG) y su variabilidad cardíaca; con la recomendación de que de ser necesario, el monitoreo se realizara las 24 horas dependiendo del paciente. La aplicación FCM tiene la capacidad de medir la variabilidad cardíaca al usar el sensor seleccionado, esto es importante ya que ofrece otra alternativa para el monitoreo de pacientes a distancia.

En cuanto al sensor de monitoreo, se tomaron en cuenta factores como: ergonomía, disponibilidad, precio accesible, adaptabilidad del sensor con diversos dispositivos móviles, así como un consumo moderado de energía. El sensor seleccionado fue un Zephyr HxM BT.

En lo referente al diseño de la aplicación móvil FCM, se modeló el proceso que debía seguir por medio de gráficas ricas y casos de uso, considerando aspectos principales que debía de realizar el sistema, como la de conectividad con el sensor de monitoreo, almacenamiento de los datos recibidos, mostrar información de forma visual y el poder enviar los datos capturados al médico especialista. Dando como resultado una aplicación de fácil uso que cumplió con los objetivos originalmente planteados.

En el mercado actual existen otras aplicaciones similares, sin embargo, la contribución de este trabajo se basó en el diseño de la aplicación, ya que fue desarrollada pensando en la transparencia de la interacción con el usuario así como su facilidad de uso, además de que la información que se envía al especialista lleva consigo datos que le son de importancia para llevar un monitoreo a distancia con información más completa.

Además a diferencia de otras aplicaciones parecidas, FCM tiene la capacidad de enviar la bitácora y las gráficas de comportamiento al médico seleccionado.

En lo que concierne al desarrollo, este se llevó a cabo para el sistema operativo Android ya que en la actualidad la mayor parte de los dispositivos móviles inteligentes vendidos, llevan dicho sistema operativo. El ambiente de desarrollo utilizado fue Eclipse, el lenguaje de programación fue Java para Android. El ambiente de desarrollo y la capacidad de compilar directamente en el dispositivo móvil en tiempo real, agilizó la realización de la aplicación móvil FCM.

En cuanto a la implementación, esta se llevó a cabo en diferentes dispositivos móviles, con el único requisito de que usaran como mínimo la versión 2.0 del sistema operativo Android. Los dispositivos en donde se llevaron a cabo pruebas de implementación de la

aplicación móvil fueron: HTC Nexus One, HTC Magic, LG Optimus y Motorola Atrix. Esto comprobó que la aplicación no depende de un solo dispositivo móvil inteligente.

La plataforma del sistema operativo Android es en la actualidad, la más usada en dispositivos móviles en el mundo, aumentando así el número de dispositivos que pueden usar la aplicación desarrollada en este trabajo.

Finalmente, con el objeto de validar el desarrollo de software motivo de este trabajo, se llevaron a cabo pruebas en dos participantes, utilizando el sensor Zephyr HxM BT y los dispositivos móviles HTC Nexus One para el participante uno y un HTC Magic para el participante dos. El comportamiento de la aplicación durante el monitoreo fue el esperado, ya que cumplió con los requerimientos establecidos en el diseño del sistema; presentándose así como una alternativa para el monitoreo de la variabilidad cardiaca a distancia, enfocada a pacientes con patología cardiaca, pero también a usuarios que requieran estar en constante monitoreo de su condición cardiaca.

8.2 Trabajo Futuro

La aplicación móvil FCM actualmente lleva a cabo solamente el monitoreo de la frecuencia cardiaca, esto se debe a la capacidad del sensor utilizado; sin embargo existen otros sensores en el mercado capaces de monitorear el trazo cardiaco, el cual sería de bastante utilidad para llevar a cabo un monitoreo más completo de los pacientes.

Por otro lado se pretende que esta aplicación móvil forme parte de un sistema completo de monitoreo de diferentes signos vitales en donde FCM sea solo un módulo a escoger en el monitoreo; esto dependiendo de las necesidades de cada paciente. Al poder lograr este trabajo futuro, se podrán lograr monitoreos de signos vitales a la medida de las necesidades de cada paciente.

En cuanto a las pruebas realizadas, el número de pacientes pudiera aumentar con el propósito de obtener una gama de estadísticas amplia que pudieran ayudar a validar de una forma más rigurosa los resultados.

En este trabajo los experimentos realizados fueron a participantes voluntarios, por lo que sería importante implementar el uso de la aplicación móvil FCM en pacientes reales en una institución pública o privada. De arrojar resultados positivos, el uso de este sistema representaría una alternativa de bajo costo para llevar a cabo monitoreos a distancia. Ahorrando costos para el hospital y llevando a cabo tratamientos personalizados para los pacientes.

Finalmente, la aplicación móvil FCM se encuentra desarrollada para dispositivos móviles con sistema operativo Android, por lo que sería importante migrar el sistema a otros sistemas operativos móviles.

CAPÍTULO IX: REFERENCIAS

- Abraham, W., Adamson, P., Bourge, R., Aaron, M., Costanzo, M., Stevenson, L., Strickland, W., Neelagaru, S., Raval, N., Krueger, S., Weiner, S., Shavelle, D., Jeffries, B. & Yadav, J. (2011), Wireless pulmonary artery haemodynamic monitoring in chronic heart failure: a randomized controlled trial. *The Lancet*, 377(9766), 658-666.
- Abrahamsson, P., Salo, O., Ronkainen, J. & Warsta, J. (2002), Agile software development methods: Review and analysis. *VTT Publications*, 478, 98.
- Allan, R. (2010). Medical Devices Get Ready to Make House Calls. *Electronic Design*, 58(2), 33.
- Arriola, H. & Reyna, C. (2009), Evaluación de riesgo de muerte súbita cardiaca mediante un sistema neurodifuso. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 30(1), 25-32.
- Barro, S., Presedo, J., Castro, D., Fernandez, M., Fraga, S., Lama, M. & Vila, J. (1999). Intelligent telemonitoring of Critical Care patients. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 18(4), 80-88.
- Chan, V., Ray, P. & Parameswaran, N. (2008). Mobile e-health monitoring: an agent-based approach. *IET Communications*, 2(2), 223-230.
- Drew & Wilfred, B. (2003). Wireless Networks: *New Meaning to Ubiquitous Computing*. *Journal of Academic Librarianship*, 29(2), 102-106.
- Ford, O. (2009). Heart attack patients get Guardian Angel with implantable device. *Medical Device Daily*, 13(181), 1.
- Free, C., Phillips, G., Felix, L., Galli, L., Patel, V. & Edwards, P. (2010). The effectiveness of M-health technologies for improving health and health services: a systematic review protocol. *BMC Research Notes*, 3(250), 250-256.
- Gleick, J. (2011). *The information, a history, a theory, a flood*. Nueva York: Phanteon Books.
- Google (2011). What is Android?. *Google*.
- Gralla, P. (2001). *How Wireless Works*. Indianapolis: Que.
- Gupta, S., Desai, K., Gaikawad, D., Pawar, V. & Gangal, D. (2008). Mobile based Appliances switching using Bluetooth. *AIP Conference Proceedings*, 1004(1), 146-151.
- Heinzelmann, P., Lugn, N. & Kvedar, J. (2005). Telemedicine in the future. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 11(8), 384-390.
- Hintermeister, G. (2010), Design a Mobile user Experience. *System iNEWS*, 365, 25-33.

Instituto Nacional de estadística Geografía (2009), Estadística a propósito del día mundial del corazón.

Instituto Nacional de estadística Geografía (2010), Mujeres y hombres en México 2010.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010), Perspectiva Estadística Baja California, 15.

Koole, M. L. (2009). A model for framing mobile learning. *Mobile learning: Transforming the delivery of education and training*, 25-47.

Kyto Electronic (2011). Bluetooth heart rate belt HRM-2805. *Kyto Electronic*.

Kukulska-Hulme, A. & Traxler, J. (2005), Mobile teaching and learning. *Mobile learning: A handbook for educators and trainers*, 25-44.

Leh, A., Kouba, B. & Davis, D. (2005). Twenty-First Century Learning: Communities, Interaction and Ubiquitous Computing. *Educational Media International*, 42(3), 237-250.

Lerma, C., Infante, O. & José, M. V. (2000), Sistema de análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca. *Memorias de Electro 2000*, 22, 63-67.

Lin, JC. (1999). Applying Telecommunication Technology to Healthcare Delivery. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 18(4), 28-31.

Malave, K., Beauperthuy, J. (2011). Android el sistema operativo de Google para dispositivos móviles. *Revista Científica Electrónica Ciencias gerenciales*, 19(7), 79-96.

Polar (2009). Polar WearLink+ transmitter Bluetooth. *Polar*.

Raible, E. (2009). Despite limitations, techniques for monitoring patients with HF are improving. *Cardiology Today*, 12(11), 1-2.

Reed, B. (2010). How Android conquered the mobile world in just three years. *Network World*, 12.

Serena (2007). An introduction to agile software development. *Serena*.

Speckmann, B. (2008). The Android mobile platform. *Eastern Michigan University Department of Computer Science*, 11.

Terbizan, D., Dolezal, B. & Albano, C. (2002). Validity of Seven Commercially Available Heart Rate Monitors. *Measurement in Physical Education & Exercise Science*, 6(4), 243-247.

Zephyr (2010). BioHarness BT Data Sheet. *Zephyr*.

Zephyr (2010). BT HxM product data Sheet. *Zephyr*.